

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
Departamento de Economía Aplicada



**Evaluación del Desempeño:
Nuevos Enfoques desde las Teorías de
Subconjuntos Difusos y de la
Decisión Multi-criterio**

Rocío de Andrés Calle

2009

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
Departamento de Economía Aplicada



Evaluación del Desempeño: Nuevos Enfoques desde las Teorías de Subconjuntos Difusos y de la Decisión Multi-criterio

Autor: Rocío de Andrés Calle
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Directores: Dr. José Luis García Lapresta
Dr. Luis Martínez López

Memoria presentada para optar al grado de Doctor con Mención Europea
por la Universidad de Valladolid

2009

A la memoria de mis abuelos

Agradecimientos

En primer lugar deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis directores, José Luis García Lapresta y Luis Martínez López, por su generosidad al concederme la oportunidad de recurrir a su sabiduría en un marco de confianza, afecto y amistad. Su dedicación y excelente dirección han hecho realidad esta memoria. Ellos me han enseñado que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr objetivos.

También deseo agradecer a Luca Iandoli y Giuseppe Zollo, de la *Università degli Studi di Napoli Federico II*, así como a Jun Liu, de la *University of Ulster*, el haberme brindado la posibilidad de realizar mis estancias en sus respectivos centros durante el desarrollo de esta tesis.

Asimismo, deseo dar las gracias a mis compañeros del grupo de investigación PRESAD, y en especial a Bonifacio Llamazares Rodríguez, Miguel Martínez Panero y David Pérez Román por sus valiosas sugerencias y acertados consejos durante la elaboración de esta memoria.

A Jacinto González Pachón y Mariano Jiménez López agradezco su

valiosa ayuda y colaboración en el diseño de modelos de evaluación basados en la Programación por Metas.

A José Carlos Rodríguez Alcantud agradezco su generosidad y sus consejos para superar los obstáculos con alegría.

A mis compañeras Herminia Duque Villalba, M. Ángeles García Juan y Patricia Gómez Costilla agradezco su amable e ilimitado apoyo en el progreso de esta memoria; ellas me han prestado su incondicional amistad en algunos momentos difíciles.

También deseo agradecer a mis hermanos su ayuda y su cariño; a mis padres, Rafa y María Jesús, a quienes debo cuanto soy, agradezco de corazón su esfuerzo, apoyo y dedicación a lo largo de toda mi formación.

Mi más profundo agradecimiento a mi marido, Javier, por su apoyo emocional y sus consejos. Él, más que nadie, ha sufrido esta tesis y mis largas ausencias en el extranjero con infinita paciencia.

Por último, no puedo desaprovechar esta oportunidad para dar las gracias a todos aquéllos que de una u otra manera me han apoyado y ayudado durante el desarrollo de esta tesis. Gracias a todos, porque sin ellos no lo hubiera conseguido.

Índice general

Introducción	XIX
1. La evaluación del desempeño	1
1.1. Toma de decisiones y evaluación	2
1.1.1. Clasificación de los problemas de toma de decisiones .	3
1.1.2. Modelado de las opiniones en la toma de decisiones .	6
1.1.3. Esquema básico de resolución en problemas decisionales	10
1.1.4. Análisis de decisión y evaluación	11
1.2. El proceso de evaluación del desempeño en empresas y organizaciones	14
1.2.1. Funciones de la evaluación del desempeño	17
1.2.2. Criterios del desempeño	18
1.2.3. Métodos de evaluación del desempeño	23
1.2.4. Problemas presentes en la evaluación del desempeño .	35

1.2.5. Beneficios derivados de los procesos de evaluación del desempeño	41
1.3. Evaluación de 360-grados	42
1.3.1. Modelo básico de evaluación del desempeño de 360- grados	44
2. Algunas metodologías para la toma de decisiones	53
2.1. Métodos de optimización para la toma de decisiones	54
2.1.1. La Programación Multi-criterio	55
2.2. La toma de decisiones en un contexto lingüístico	59
2.2.1. Nociones básicas de la Teoría de Conjuntos Difusos	60
2.2.2. Conjuntos de términos lingüísticos	65
2.2.3. Modelo de representación de la información lingüística basado en 2-tuplas	68
2.3. Agregación de la información	71
3. Un modelo de evaluación del desempeño basado en técnicas de Programación por Metas	79
3.1. La Programación por Metas	80
3.1.1. Estructura general de un modelo de Programación por Metas	81
3.1.2. Metodologías en la Programación por Metas	83

3.2. Un modelo de evaluación de 360-grados con múltiples escalas mediante la utilización de técnicas de Programación por Metas	87
3.2.1. Marco de evaluación	89
3.2.2. Fase de agregación	90
3.2.3. Fase de explotación	105
3.3. Un ejemplo ilustrativo	106
3.3.1. Marco de evaluación	107
3.3.2. Fase de agregación	110
3.3.3. Fase de explotación	121
4. Un modelo lingüístico de evaluación del desempeño de 360- grados	123
4.1. Información lingüística multi-granular	124
4.2. Un modelo de evaluación del desempeño de 360-grados con múltiples escalas lingüísticas	131
4.2.1. Marco de evaluación	133
4.2.2. Fase de agregación	134
4.2.3. Fase de explotación	142
4.3. Ejemplo ilustrativo	144
4.3.1. Marco de evaluación	145
4.3.2. Fase de agregación	149
4.3.3. Fase de explotación	153

Conclusiones y trabajos futuros	163
Performance Appraisal: New approaches by using Fuzzy Logic and Multi-criteria Decision Making	1
A. Introduction	7
B. Performance appraisal based on distance functions methods	17
C. A multi-granular linguistic model for management decision- making in performance appraisal	51
D. Conclusions and future works	67
Bibliografía	71

Índice de figuras

1.1. Proceso de resolución de un problema de toma de decisiones	11
1.2. Esquema de un proceso de toma de decisión	13
1.3. Ejemplo del método de las distribuciones forzadas	30
1.4. Ejemplo del método de las escalas gráficas	31
1.5. Ejemplo de elección forzada	34
1.6. Ejemplo del método BARS	36
1.7. Ejemplo del método BARS para la evaluación de un supervisor	37
1.8. Ejemplo del error halo	38
1.9. Ejemplos de tendencia central en la evaluación	40
1.10. Evaluación 360-grados o evaluación integral	43
1.11. Proceso de resolución de un problema de evaluación de desempeño	46
1.12. Proceso de evaluación del desempeño de 360-grados	48
2.1. Desviaciones positiva y negativa	57

2.2. Subconjunto difuso A con $\text{supp } A = [a, b]$, $A_\alpha = [a_\alpha, b_\alpha]$ y $A_\beta = [a_\beta, b_\beta]$	62
2.3. Subconjunto difuso triangular (a, b, c)	64
2.4. Subconjunto difuso trapecial (a, b, c, d)	65
2.5. Conjunto de etiquetas lingüísticas	66
2.6. Ejemplos de cuantificadores lingüísticos no-decrecientes	78
3.1. Modelo de evaluación del desempeño 360-grados con información numérica	88
3.2. Propuesta de agregación basada en distancias	93
3.3. Equidad vs Eficiencia	98
4.1. Fase de agregación	125
4.2. Transformación de $s_1 \in S$ en un subconjunto difuso de \bar{S}	129
4.3. Modelo de evaluación del desempeño 360-grados lingüístico multi-granular	132

Índice de cuadros

1.1. Valoraciones colectivas para cada criterio	50
1.2. Valoraciones globales para cada criterio	50
1.3. Valoraciones globales	51
3.1. Valoraciones colectivas para cada criterio	106
3.2. Valoraciones globales para cada criterio	106
3.3. Opiniones sobre cada empleado y cada criterio	109
3.4. Opiniones sobre cada empleado y cada criterio	110
3.5. Opiniones sobre cada empleado y cada criterio	111
3.6. Opiniones sobre cada empleado y cada criterio	112
3.7. Pesos de los diferentes evaluadores para el cálculo de las evaluaciones colectivas por criterio	114
3.8. Pesos de los diferentes evaluadores para el cálculo de las evaluaciones colectivas por criterio	115
3.9. Pesos de los diferentes colectivos para el cálculo de las evaluaciones globales por criterio	115

3.10. Pesos de los criterios para el cálculo de las evaluaciones globales	116
3.11. Parámetros para el cálculo de las evaluaciones colectivas . . .	116
3.12. Parámetros para el cálculo de las evaluaciones globales . . .	116
3.13. Valoraciones colectivas correspondientes a los diferentes conjuntos de evaluadores para cada criterio	117
3.14. Valoraciones globales para cada criterio	117
3.15. Valoraciones globales para el empleado x_1	118
3.16. Valoraciones globales para el empleado x_2	118
4.1. Conjunto de etiquetas para el colectivo de superiores y el criterio Y_2	147
4.2. Conjunto de etiquetas para el colectivo de colaboradores y el criterio Y_2	148
4.3. Conjunto de etiquetas para el colectivo de clientes y el criterio Y_2	148
4.4. Conjunto de etiquetas para el colectivo de empleados y el criterio Y_2	149
4.5. Conjunto de etiquetas para el colectivo de superiores y el criterio Y_1	149
4.6. Conjunto de etiquetas para el colectivo de colaboradores y el criterio Y_1	150

4.7. Conjunto de etiquetas para el colectivo de clientes y el criterio Y_1	150
4.8. Conjunto de etiquetas para el colectivo de empleados y el criterio Y_1	151
4.9. Opiniones sobre cada empleado y cada criterio	156
4.10. Auto-evaluación de cada empleado	157
4.11. Opiniones transformadas para cada empleado y cada criterio	158
4.12. Auto-opiniones transformadas de cada empleado	159
4.13. Vectores de pesos para cada colectivo y cada criterio	159
4.14. Valoraciones colectivas correspondientes a los diferentes conjuntos de evaluadores para cada criterio $v_-^k(x_j)$	160
4.15. Vectores de pesos para cada criterio	160
4.16. Valoraciones globales para cada criterio $v^k(x_j)$	161
4.17. Vector de pesos para las valoraciones globales	161
4.18. Valoraciones globales para cada empleado	161

Introducción

La evaluación del desempeño es una actividad habitual en las empresas y en las organizaciones, cuyo objetivo principal es el estudio y el análisis de la capacidad de los empleados en sus actividades habituales en el desempeño de su trabajo.

En los métodos de evaluación utilizados habitualmente por las empresas se han detectado algunos problemas, los cuales son descritos a continuación.

1. Generalmente, los procesos de evaluación del desempeño han sido realizados directamente por equipos directivos, que finalmente eran los encargados de tomar las decisiones sobre los empleados. Sin embargo, los profundos cambios en las estructuras organizativas de las empresas, desencadenados por la globalización de los mercados, han provocado que cada vez en más empresas y organizaciones no sólo se tengan en cuenta las opiniones de los directivos sino que se incluyan en el proceso de evaluación las opiniones de los compañeros del empleado evaluado, así como la de subordinados, colaboradores, clientes, e incluso la que

el propio individuo tiene sobre sí mismo.

2. El hecho de utilizar metodologías para la evaluación del desempeño que incorporen en el proceso de evaluación la opinión de diferentes colectivos podría llevar consigo la necesidad de utilizar múltiples escalas o dominios de expresión, atendiendo al grado de conocimiento de los evaluadores sobre el empleado a evaluar y en relación a un determinado criterio o atributo. En los métodos tradicionales las valoraciones son emitidas en la misma escala de expresión, sin tener en cuenta los diferentes niveles de conocimiento de los evaluadores sobre el empleado a evaluar. Por tanto, la incorporación de diversas escalas o dominios de expresión en el proceso de evaluación podría mejorar la precisión de las valoraciones emitidas por los evaluadores.
3. Actualmente el proceso de evaluación del desempeño se realiza mediante métodos “no formales”, lo que provoca falta de precisión y objetividad en los resultados. Asimismo, en los sistemas tradicionales los evaluadores se ven forzados a emitir valoraciones numéricas sobre los atributos a evaluar, aunque dichos atributos sean difícilmente cuantificables debido a su naturaleza cualitativa. Este hecho genera la utilización de metodologías no adecuadas para el tratamiento de la incertidumbre en el proceso de evaluación.

4. Por otra parte, en los modelos tradicionales de evaluación del desempeño, donde las valoraciones sobre los empleados se realizan de forma numérica, existe una escasa variedad de métodos de agregación, lo que limita el análisis de los datos obtenidos en el proceso de evaluación.

Debido a las múltiples deficiencias observables en los procedimientos de evaluación del desempeño utilizados por empresas y organizaciones, uno de los propósitos de esta memoria de investigación consiste en diseñar métodos formales para abordar el proceso de evaluación del desempeño de 360-grados en el que participan evaluadores procedentes de diversos colectivos relacionados con el empleado a evaluar, así como lograr un tratamiento correcto de la incertidumbre inherente a estos problemas. Con el fin de conseguir este propósito en esta memoria se establecen los siguientes objetivos:

- Establecer un procedimiento flexible de evaluación del desempeño de 360-grados que pueda adaptarse a las diferentes circunstancias existentes en cada empresa y organización, con el objeto de facilitar el proceso de toma de decisiones dentro del Departamento de Recursos Humanos.
- Definir un modelo básico de evaluación del desempeño de 360-grados fundamentado en la Teoría de la Toma de Decisiones, que permita

realizar este proceso de manera formal y estructurada.

- Fijar un marco de evaluación capaz de manejar múltiples escalas de valoración que se adapten al grado de conocimiento que poseen los distintos colectivos de evaluadores: directivos, compañeros, colaboradores, subordinados, clientes, el propio empleado (autoevaluación), etc., y según los diferentes criterios establecidos por la empresa.
- Flexibilizar el marco de evaluación permitiendo a los evaluadores verter sus juicios sobre los empleados en diferentes escalas de evaluación, en función del tipo de criterio evaluado y del colectivo al que pertenezcan dichos evaluadores.
- Diseñar un modelo de evaluación del desempeño de 360-grados en el que se mejore el tratamiento de la información, de manera que se permita la utilización de diversas escalas numéricas para la evaluación de los empleados atendiendo a los diferentes criterios y colectivos.
- Tener en cuenta en el desarrollo de los diferentes métodos de evaluación del desempeño planteados en esta memoria que la cualificación de los individuos respecto de un determinado criterio o atributo, por lo general vago e impreciso, pueda ser considerada desde una perspectiva distinta a la de la lógica clásica, mediante valoraciones cualitativas.

- Proponer un modelo de evaluación del desempeño de 360-grados en el que las opiniones de los evaluadores sean expresadas mediante diversas escalas cualitativas, definidas a través de términos lingüísticos, las cuales permitan capturar la imprecisión con la que los evaluadores se enfrentan a la hora de emitir sus juicios basados en percepciones.

Con el objetivo de alcanzar los objetivos previamente mencionados, esta memoria se estructura de la siguiente forma:

- **Capítulo 1:** *Toma de decisiones y evaluación: La evaluación del desempeño.* Este capítulo comienza con una revisión detallada de la estructura y características presentes en los problemas de toma de decisiones, así como su relación con los procesos de evaluación. A continuación se realiza un análisis de los diversos procesos de evaluación del desempeño, prestando una especial atención a los diferentes procedimientos usados por las compañías, así como a los problemas que están presentes en cada uno de ellos. Por último se propone un marco y modelo general de evaluación del desempeño de 360-grados con múltiples criterios y múltiples agentes.

- **Capítulo 2:** *Herramientas para la toma de decisiones en la empresa.*
En este capítulo se revisan los conceptos y las herramientas necesarias para el desarrollo de esta memoria. La primera sección alberga un resumen de las diferentes metodologías originarias de la Programación Multi-criterio aplicables a los problemas de toma de decisiones. En la segunda parte del capítulo se revisan nociones relacionadas con la Teoría de Conjuntos Difusos, el enfoque lingüístico y el modelo de representación de la información lingüística mediante 2-tuplas. Por último, se realiza un análisis de algunos operadores de agregación existentes en la literatura, centrándose en el estudio de las medias ponderadas ordenadas, más conocidas como operadores OWAs.

- **Capítulo 3:** *Modelo de evaluación del desempeño basado en técnicas de Programación por Metas.* En la primera parte de este capítulo se revisan brevemente las diferentes técnicas y metodología usadas en la Programación por Metas que serán utilizadas posteriormente. A continuación, se desarrolla el modelo propuesto siguiendo el esquema presentado en el capítulo 1 de esta memoria. El proceso de agregación de la información utilizado en el mismo está basado en técnicas propias de la Programación por Metas. Finalmente el capítulo incorpora un ejemplo ilustrativo en el que se pone en práctica el modelo propuesto, así como las técnicas de agregación mostradas.

- **Capítulo 4:** *Modelo lingüístico de evaluación del desempeño de 360-grados*. En este capítulo se desarrolla el último modelo planteado en esta memoria. Previamente a la definición y desarrollo de nuestra propuesta, se realiza una revisión del enfoque propuesto por Herrera, Herrera-Viedma y Martínez en [51] para el tratamiento de la información multi-granular. A continuación se desarrolla el modelo lingüístico de evaluación del desempeño y se presenta un ejemplo ilustrativo.
- **Conclusiones y trabajos futuros.** Finalmente, se presentan las conclusiones y resultados más relevantes obtenidos, así como las futuras líneas de investigación a seguir.
- En esta memoria de investigación se incorpora una versión en inglés de la misma, titulada **Performance Appraisal: New approach by using Fuzzy Logic and Multi-criteria Decision Making**, como requerimiento para la obtención del título de Doctor con Mención Europea.
- La memoria concluye con una **recopilación bibliográfica** de las contribuciones más destacadas en la materia estudiada.

Por último, cabe destacar que parte de los resultados de la presente memoria se han basado en los siguientes trabajos:

- Rocío de Andrés, José Luis García Lapresta y Luis Martínez: “Multi-granular linguistic performance appraisal model”. *Soft Computing*, en prensa.
- Rocío de Andrés, José Luis García Lapresta y Jacinto González Pachón: “Performance appraisal based on distance functions methods”. En fase de evaluación.

Durante la realización de esta memoria de investigación, y como resultado de la misma, se ha desarrollado junto a José Luis García Lapresta y Mariano Jiménez un modelo de evaluación del desempeño en el que se introducen simultáneamente técnicas propias del enfoque lingüístico y de la Programación por Metas. Una versión preliminar de este modelo ha sido publicada en 2008 en la serie *Computational Intelligence in Decision and Control* de la editorial World Scientific con el título “A decision making procedure for designing human resources management”. Una versión ampliada de este trabajo “A personnel selection process based on linguistic assessments through Goal Programming techniques” se encuentra en estos momentos en fase de evaluación.

Además, estos resultados han sido presentados, en diversas fases de su desarrollo, en varios congresos y reuniones científicas detallados a continuación en orden cronológico (2005-2008):

■ **Internacionales**

- *Congress of International Association for Fuzzy-Set Management and Economy* (SIGEF). Bahía Blanca (Argentina), octubre de 2005, y Poiana Brasov (Rumanía), noviembre de 2007.
- *Internacional Conference on MultiObjective Programming and Goal Programming* (MPOGP). Tours (Francia), junio de 2006.
- *Conference on Applied Artificial Intelligence* (FLINS). Génova (Italia), agosto de 2006.
- *Methods, Models and Information Technologies for Decision Support Systems* (MTISD). Lecce (Italia), septiembre de 2008.
- *International Conference on Computational Intelligence in Decision and Control* (FLINS). Madrid (España), septiembre de 2008.
- *International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering* (ISKE). Xiamen (China), noviembre de 2008.

■ Nacionales

- *Congreso Anual de Economía Aplicada* (ASEPELT). Badajoz, junio de 2005.
- *Congreso Español de Informática, Simposio sobre Lógica Fuzzy y Soft Computing* (CEDI). Granada, septiembre de 2005, y Zaragoza, septiembre de 2007.
- *Jornadas de la Asociación Española de Profesores Universitarios de Matemáticas para la Economía y la Empresa* (ASEPUMA). Badajoz, septiembre de 2006.
- *Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy* (ESTYLF). Ciudad Real, septiembre de 2006.
- *Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa* (SEIO). Valladolid, septiembre de 2007.

Capítulo 1

La evaluación del desempeño

La capacidad para tomar decisiones, de discernir entre diferentes alternativas, de seleccionar una alternativa atendiendo a diferentes criterios, etc., es una de las características propias de los seres humanos y, como tal, la utilizamos diariamente en nuestra vida cotidiana¹. Tanto es así, que la toma de decisiones es habitual en escenarios tan comunes como los planteados por el sector empresarial. En concreto y atendiendo al problema que va a ser analizado a lo largo de esta memoria, desde el Departamento de Recursos Humanos de cualquier empresa se evalúa continuamente el rendimiento de los empleados con el fin de llevar a cabo políticas propias del mismo, como pueden ser los planes de mejoras salariales, planes de formación, planes promocionales, etc., estos procesos de evaluación suelen conllevar asociado un proceso de toma de decisiones por parte del equipo directivo del mismo.

¹Véanse Evangelos [37] y Fodor y Roubens [43].

Por esta razón este capítulo de la memoria revisa algunos de los conceptos básicos y características propias de los problemas abordados desde la Teoría de Decisión, así como su relación con los procesos de evaluación. Posteriormente se presenta una revisión en profundidad de uno de los procesos de evaluación más utilizados actualmente en las empresas y objeto de estudio en esta memoria: la evaluación del desempeño.

1.1. Toma de decisiones y evaluación

Una *decisión*, en un sentido amplio, consiste en elegir, de manera consciente, una o varias alternativas de un conjunto de opciones o elecciones posibles, siempre persiguiendo un objetivo concreto. Todos los problemas de toma de decisiones plantean unos elementos básicos y comunes, entre los que podemos destacar²:

- 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 evaluador o los diferentes evaluadores para cada criterio.
- Un conjunto de circunstancias o elementos que definen el entorno o contexto del problema decisional.

²Véase Chernoff [28].

La Teoría de la Decisión ha propuesto múltiples y diversos modelos para resolver problemas de toma de decisiones atendiendo a las diferentes características³ presentes en cada uno de ellos. En concreto el contexto de definición del problema influirá en el tipo de información utilizada en el proceso decisional para representar la información del mismo, por lo que el modelado de la información será un aspecto clave a la hora de estudiar y analizar los procesos de decisión.

Teniendo en cuenta las consideraciones realizadas anteriormente parece oportuno, antes de estudiar el esquema general de resolución de problemas decisionales, revisar brevemente algunas de las diferentes clasificaciones existentes sobre los problemas de toma de decisiones, así como las distintas tipologías de modelado de la información.

1.1.1. Clasificación de los problemas de toma de decisiones

A continuación mostramos una clasificación de los problemas de toma de decisiones atendiendo a los criterios más utilizados en la literatura, que son el número de expertos, el número de criterios y el contexto o ámbito decisional.

³Los problemas de decisión se pueden clasificar atendiendo a múltiples y diferentes aspectos, aunque son tres los más importantes y utilizados en la literatura: el marco o contexto en el que se plantea el problema, el número de expertos que participa en el proceso de decisión y el número de criterios a evaluar (véanse Evangelos [37], Fodor y Roubens [43], Keeney y Raiffa [64] y Zeleny [104], entre otros).

- ***Clasificación según el número de expertos***

Esta clasificación hace referencia al número de expertos o evaluadores que toman parte en el problema. Son dos las distinciones que se hacen en la literatura⁴ en cuanto a los problemas de toma de decisiones en función del número de expertos participantes:

1. *Unipersonales o individuales*. Las decisiones en este tipo de problemas son tomadas por un único agente o individuo.
2. *Multi-experto*. Las decisiones en este caso son tomadas por un grupo de agentes o individuos.

- ***Clasificación según el número de criterios***

Atendiendo al número de criterios a evaluar en un problema de toma de decisiones, podemos clasificar a éstos en dos grandes categorías⁵:

1. *Con un solo criterio o atributo*. En este caso los problemas sólo tienen en cuenta un atributo de las alternativas para la toma de decisión.
2. *Con múltiples criterios o atributos*. Los problemas multi-criterio tienen en cuenta al menos dos criterios para la evaluación de cada alternativa.

⁴Véanse Chen y Hwang [26] y Kacprzyk y Fedrizzi [63], entre otros.

⁵Véanse Fodor y Roubens [43], Jiménez, Ríos-Insua y Mateos [62], Lu, Zhang y Ruan [70] y Romero [85].

- *Clasificación según el contexto o ámbito decisional*

Los problemas de toma de decisiones pueden desarrollarse en diferentes contextos o ámbitos de aplicación. Según la literatura clásica existente⁶ los problemas decisionales pueden clasificarse atendiendo al contexto de definición en el que se formulan:

1. *Contexto o ambiente de certidumbre.* Una situación o contexto de certidumbre se produce cuando se tiene información precisa sobre todas las situaciones que pueden afectar al problema.
2. *Contexto o ambiente de riesgo.* Un ambiente de riesgo en un problema decisional se puede definir como aquél en el que alguno de los factores o elementos que intervienen en el mismo están sujetos al azar, es decir, tienen asociados una probabilidad.
3. *Contexto o ambiente de incertidumbre.* Una situación de incertidumbre en un problema decisional se plantea 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 características o propias de la vida real y del comportamiento humano, ya que la imprecisión es inherente a los individuos.

⁶Véanse Duncan y Raiffa [34] y Ríos, Bielza y Mateos [88].

La Teoría de la Decisión ha proporcionado distintos modelos decisionales determinísticos y probabilísticos. Los métodos determinísticos ignoran la incertidumbre mientras que los problemas probabilísticos consideran que la incertidumbre puede representarse mediante distribuciones de probabilidad. Sin embargo, la incertidumbre es normalmente no probabilística y aparece representada de esta forma en problemas como los estudiados en esta memoria. El uso de la lógica difusa y de información lingüística hace más flexibles y fiables los modelos decisionales con incertidumbre.

A continuación se podrá comprobar cómo el modelado de la información juega un papel clave en los modelos de decisión.

1.1.2. Modelado de las opiniones en la toma de decisiones

Una vez conocidos los distintos contextos de definición en los que podemos trabajar con procesos de decisión es evidente que las opiniones procedentes de los expertos sobre el conjunto de alternativas juegan un papel clave en éstos, y por tanto, parece necesario que estén expresados en base a su conocimiento, experiencia y creencias. Así, un correcto marco de expresión de la información permite que los expertos sean capaces de manifestar sus dictámenes de forma más correcta, lo que afectará de forma positiva al resultado del proceso decisional.

La naturaleza de las alternativas, la formación y el conocimiento de

los evaluadores sobre los diferentes criterios sobre los que evaluar cada alternativa son algunos de los factores que influyen en la forma de modelar la información en cada problema.

Haciendo una breve revisión de los diferentes conceptos tratados en la literatura⁷ sobre el modelado de la información, en esta memoria consideraremos los dos aspectos siguientes:

1. *El dominio de expresión de la información.* En el contexto en el que trabajamos se entiende por dominio de expresión al conjunto de valores utilizado por los diferentes evaluadores o expertos para emitir sus opiniones. La elección de uno u otro dominio de expresión dependerá de varias causas, entre las que podemos destacar:

- a) *La naturaleza de la información: cuantitativa o cualitativa.* En función de la naturaleza de los atributos o criterios a valorar el dominio de expresión de la información puede variar. Así, la consideración de criterios precisos y de naturaleza cuantitativa conlleva la utilización de valoraciones de tipo numérico, mientras que la consideración de criterios de naturaleza cualitativa o subjetiva conlleva la utilización de valoraciones en forma de palabras o términos lingüísticos.

⁷Véanse Bonissone [12], Bouyssou, Marchant, Pirlot, Perny y Tsoukiàs [14], Doyle [33], Fodors y Roubens [43] y Roubens y Vincke [90].

b) *La utilización de grupos heterogéneos de expertos con diferentes y múltiples grados de conocimiento.* Muchas veces los grupos de evaluadores no proceden del mismo campo de conocimiento, poseen diferente información o no tienen el mismo grado de experiencia. Más en concreto, el conocimiento de los evaluadores sobre distintas alternativas atendiendo a diversos criterios puede ser desigual, lo que podría aconsejar la emisión por parte de los expertos de valoraciones expresadas en diferentes dominios de expresión.

El modelado de la información en los problemas decisionales persigue que los expertos o evaluadores puedan emitir sus valoraciones de la manera más precisa posible, de forma que éstas se adapten a su nivel de conocimiento. Esto tiene como consecuencia un aumento de la garantía de éxito de la decisión adoptada por los mismos⁸. Los dominios de expresión más utilizados en los problemas de toma de decisiones, según la literatura existente, son el *dominio numérico*⁹, *dominio intervalar*¹⁰ y el *dominio lingüístico*¹¹.

⁸Véase Doyle [33].

⁹Véase Duncan y Raiffa [34].

¹⁰Véanse Bilgiç [11], Bustince y Burillo [18], Herrera, Martínez y Sánchez [57] y Xu [96], entre otros.

¹¹Véanse Herrera, Herrera-Viedma y Verdegay [53], Herrera y Herrera-Viedma [50] y Zadeh [102], entre otros.

2. *La estructura de representación de la información.* Una vez conocidos los dominios de expresión más comunes en los problemas de toma de decisiones, otro concepto clave en el modelado de opiniones es la estructura de representación de la información. La importancia de este concepto recae en que las opiniones de los expertos del problema se almacenarán en una estructura de representación sobre la que se operará posteriormente. A continuación se enumeran las estructuras de representación más habituales en este tipo de problemas.

- a) Representación de la información mediante *órdenes de preferencia*¹². En este caso la información se representa mediante el establecimiento de un ranking de las diferentes alternativas de solución existentes en el problema. La ordenación de las mismas se realiza teniendo en cuenta la idoneidad de cada alternativa como solución al problema.
- b) Representación de la información mediante *valoraciones*. El uso de valoraciones para representar la información ha sido muy frecuente en la literatura clásica¹³. Mediante este método de representación los expertos asocian un valor de utilidad a cada alternativa, el cual representará la evaluación del experto sobre la alternativa en un cierto dominio de expresión.

¹²Véanse Nurmi [82], Seo y Sakawa [91] y Tanino [94, 95].

¹³Véase Luce y Suppes [72].

En esta memoria los expertos (supervisores, colaboradores y clientes) utilizarán valores de utilidad para expresar su opinión sobre los trabajadores a evaluar según diversos criterios. Los valores emitidos por los expertos podrán estar definidos en diferentes dominios de expresión, en función de los criterios a evaluar y del grado de conocimiento de los evaluadores sobre los empleados.

- c) Representación de la información mediante *relaciones de preferencia*¹⁴. En los modelos clásicos de la teoría de la decisión los individuos representan sus preferencias sobre un conjunto de alternativas mediante relaciones binarias ordinarias.

1.1.3. Esquema básico de resolución en problemas decisionales

A pesar de que la teoría de toma de decisiones tiene muchos y diferentes ámbitos de aplicación y por tanto, muchos y diferentes tipos de problemas, existe un esquema básico de resolución común a todos ellos¹⁵. A continuación describiremos brevemente las fases de las que consta dicha estructura¹⁶.

Una vez definido el marco de evaluación del problema, según la naturaleza de los criterios a evaluar y del conocimiento de los expertos sobre los

¹⁴Véanse Kacprzyk y Fedrizzi [63], Orlovski [83] y Tanino [94].

¹⁵Véanse Fodor y Roubens [43], Roubens [89] y Marichal [74].

¹⁶Véase la Figura 1.1.

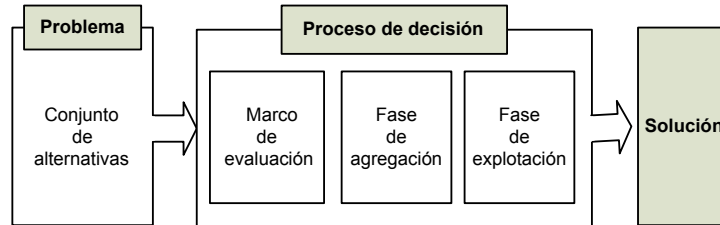


Figura 1.1: *Proceso de resolución de un problema de toma de decisiones*

mismos, se realiza una *fase de agregación* que tiene como objetivo la agregación de la información facilitada por los evaluadores con el fin de obtener una valoración global sobre las diferentes criterios que permita tomar una decisión. El proceso de agregación de la información ha sido analizado en profundidad desde diversas perspectivas, dando lugar a una gran cantidad de publicaciones al respecto¹⁷. En segundo lugar se realiza una *fase de explotación*. En esta fase las valoraciones globales obtenidas en la fase anterior deben ser ordenadas¹⁸ para obtener el conjunto solución de alternativas.

1.1.4. Análisis de decisión y evaluación

Según Keeney y Raiffa [64], la teoría de toma de decisiones intenta ayudar a los individuos a discernir entre alternativas complejas de una

¹⁷Véanse Beliakov, Pradera y Calvo [7], Calvo, Mesiar y Yager [20] y Yager [97, 98, 99], entre otros.

¹⁸Véase Orlovski [83].

forma racional, mediante un proceso de análisis objetivo y de estudio de las diferentes alternativas planteadas en el problema.

En la literatura existen referencias¹⁹ que ponen de manifiesto que no todos los agentes decisores realizan la toma de decisiones mediante un análisis racional de las alternativas posibles, sino que toman sus decisiones en función de otros tipo de factores, como pueden ser emocionales, externos, subjetivos, etc.

El esquema general del proceso de decisión mostrado en la Figura 1.1 puede ampliarse con mayor detalle²⁰ (véase la Figura 1.2). En las siete primeras fases se lleva a cabo un procedimiento de análisis de las alternativas de forma totalmente racional, denominado *análisis de decisión*, mientras que la última fase del proceso no está basada necesariamente en factores racionales. De este modo, el análisis de decisión se ajusta perfectamente a las necesidades y objetivos que persiguen los procesos de evaluación²¹, ya que realiza un estudio metódico y razonado de las distintas alternativas planteadas en el problema. En la literatura se pueden destacar, entre otros, los trabajos de Antes [2], Arfi [3] y Bouyssou [14], en los cuales el uso de modelos de decisión para llevar a cabo procesos de evaluación ha obtenido buenos resultados. Los modelos de evaluación propuestos en esta memoria

¹⁹Véanse Adolfs, Tranel, Hsu, Bahtt y Camarer [1] y Bechar, Tranel y Damasio [6].

²⁰Véase Clemen [30].

²¹Véanse Bouyssou, Marchant, Pirlot, Perny y Tsoukiàs [14], Bubnicki [16] y Clemen [30], entre otros.

están basados en dicho proceso de análisis de decisión.

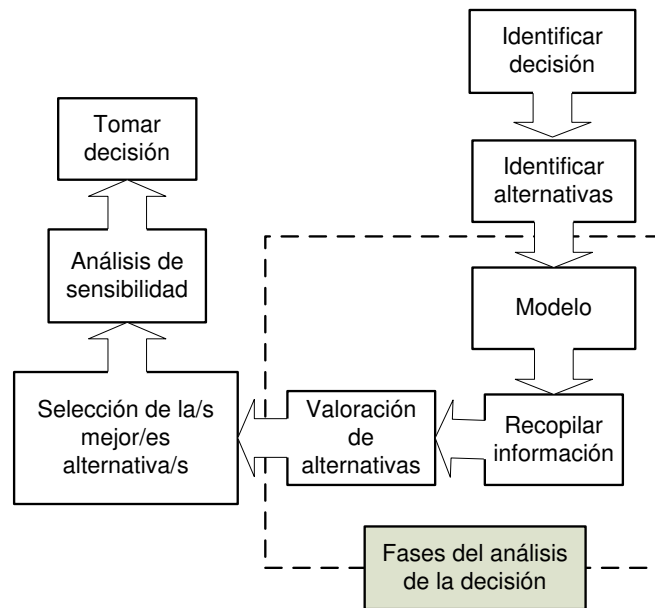


Figura 1.2: Esquema de un proceso de toma de decisión

Dado que el ámbito de estudio de esta memoria es la evaluación del desempeño, es necesario señalar que los procesos de evaluación son *procesos cognitivos complejos*²² que llevan consigo diversos mecanismos que permiten identificar los elementos que van a ser evaluados, fijar el marco o el contexto en el que se va a realizar la evaluación, recopilar la información necesaria

²²Véase Chernoff [28].

para llevar a cabo la evaluación y, finalmente, obtener una valoración de los elementos (individuos en nuestro problema) evaluados. Estos mecanismos coinciden con las fases principales de los modelos de decisión propuestos en esta memoria²³ y que serán analizados con más detalle en las siguientes secciones.

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

A lo largo de la historia, las organizaciones y empresas se han ido adaptando a las condiciones establecidas por el mercado y la sociedad con el objetivo de lograr su supervivencia y el éxito. En la actualidad la competencia global afecta a la mayoría de las empresas y organizaciones y, por tanto, mantenerse competitivas en este entorno es el objetivo principal de las mismas. Tanto es así que la mayoría de las empresas vanguardistas y líderes son conscientes de que ser competitivas en este entorno depende de un desarrollo continuo de sus Recursos Humanos.

Uno de los objetivos fundamentales del Departamento de Recursos Humanos de la 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 ésta²⁴. Según Mondy y Noe [80], es

²³Véase la Figura 1.2.

²⁴Véase Fisher [40].

1.2 El proceso de evaluación del desempeño en empresas y organizaciones 15

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 el capital humano contribuye al resultado financiero de la empresa.

En la literatura científica podemos comprobar que diversas corrientes corroboran que la medición del comportamiento humano en la empresa u organización desarrolla, sostiene y mejora determinados niveles de productividad. Entre dichas corrientes cabe destacar²⁵: la Administración Científica, iniciada por F.W. Taylor (1856-1915); la Administración Industrial y General, sostenida por H. Farol (1841-1925); la Escuela de Relaciones Humanas, que tuvo como precursor a G.E. Mayo (1880-1949); y la Administración por Objetivos, presentada por P.F. Drucker (1909).

Existen diversos antecedentes en la historia de la evaluación del rendimiento, entre los cuales se pueden citar los siguientes ejemplos:

- A principios del siglo XIX, R. Owen registraba en libros el rendimiento del trabajo de los empleados de diversas fábricas de hilados y tejidos de New Lanark, Escocia.
- A finales del siglo XIX, F.W. Taylor introdujo diferentes métodos de seguimiento estadístico de la productividad y propuso valorar el rendimiento de los empleados como método de mejora de la

²⁵Véase Mondy y Noe [80].

productividad.

- Las dos guerras mundiales fueron otro factor para el desarrollo de sistemas de evaluación del rendimiento capaces de medir e incrementar la capacidad organizativa de la actividad militar.

Las organizaciones, de forma paulatina, han ido introduciendo diferentes métodos para la evaluación del rendimiento de sus empleados, consiguiendo así una herramienta eficaz para la dirección de políticas y medidas que mejoren el rendimiento de éstos.

En la literatura existente sobre el tema podemos encontrar diversas definiciones de lo que es la evaluación del desempeño²⁶ aunque en 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. Estos aspectos quedan recogidos en Latham y Wexley [66], Bernardin y Beatty [9],

²⁶Véanse Baron y Kreps [5], Bernardin y Beatty [10], Cardy y Dobbins [22], Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40], Mondy y Noe [80] y Murphy y Cleveland [81], entre otros.

Kerr [65], Banks y Roberson [4], Miner [79], Murphy y Cleveland [81], Ferris y Judge [39], Bretz, Milkovich y Read [15], Cardy y Dobbins [22], Bernardin, Kane, Ross, Spina y Johnson [10], Gómez Mejía, Balkin y Cardy [47], Fletcher [42] y Mello [77], entre otros.

1.2.1. Funciones de la evaluación del desempeño

La evaluación del desempeño tiene muchas y diferentes funciones. Este proceso no sólo 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 siguientes²⁷:

- *Planificación de los Recursos Humanos.*
- *Selección de personal.*
- *Capacitación y desarrollo.*
- *Planificación y desarrollo de la carrera profesional.*
- *Programas de compensación.*
- *Relaciones internas con los empleados.*
- *Evaluación del potencial de los empleados.*

²⁷Véanse Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40] y Mondy y Noe [80], entre otros.

Estas funciones se pueden resumir en:

- Medición del potencial de capital humano de una empresa con el fin de lograr su pleno desarrollo y facilitar el pleno empleo.
- Establecer el capital humano como uno de los factores productivos más importantes dentro de la empresa. La mejora y desarrollo de ese capital humano permitirá el aumento de la productividad casi de forma indefinida.
- Unificar en un solo ítem los objetivos organizacionales con los objetivos individuales de los empleados, mejorando la cooperación y la participación de todos los empleados en los objetivos establecidos por la empresa.

1.2.2. Criterios del desempeño

En esta sección abordamos los criterios que pueden ser analizados por las compañías en el proceso de evaluación del desempeño²⁸. La mayoría de los criterios utilizados por las compañías para evaluar a sus empleados son de carácter subjetivo y resultan difíciles de evaluar de forma precisa mediante escalas numéricas.

Generalmente, en los procesos de evaluación del desempeño se consideran

²⁸Véanse Baron y Kreps [5], Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40] y Mondy y Noe [80].

3 grandes categorías de información evaluables por la compañía²⁹:

1. *Información basada en rasgos*

Dentro de esta categoría estaría incluida toda la información relacionada con las habilidades y las características personales de los trabajadores. En este tipo de criterios no se evalúa tanto si el trabajador obtiene o no los resultados establecidos por la empresa sino que se evalúa cómo es el trabajador. Alguno de los rasgos evaluables por las empresas son la actitud, la apariencia, la iniciativa, la capacidad para tomar decisiones, la lealtad a la empresa, las habilidades de comunicación, etc. La información evaluable basada en rasgos es muy fácil de establecer por la compañía pero presenta graves problemas en el proceso de evaluación, como son la subjetividad y la validación, debido justamente a la falta de objetividad de este tipo de criterios.

2. *Información basada en el comportamiento*

Este tipo de información es usada en el proceso de evaluación cuando el comportamiento del empleado está directamente relacionado con el desempeño de su trabajo³⁰.

a) *Los comportamientos*. Usualmente se utilizan los comportamientos deseados como criterios en el proceso de evaluación. Algunos

²⁹Véase Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40].

³⁰Véase la Figura 1.7 [p. 43].

de los comportamientos más evaluados son el estilo de liderazgo, la capacidad de trabajo en equipo, la cooperación, la atención al cliente, etc.

- b) *Las competencias.* Existe toda una nueva corriente en el ámbito de los Recursos Humanos para la gestión de las competencias. En la literatura especializada existen muchas y diferentes definiciones de lo que son las competencias dentro del mundo empresarial. Una competencia es una característica inherente a cada persona (conocimientos, cualidades profesionales, etc.), en nuestro caso al empleado, que provoca que éste realice su trabajo de forma efectiva³¹. Las competencias, en general, cumplen las siguientes características: son independientes, son propias, privativas, modificables y evolucionables.
- c) *El potencial de mejora.* La evaluación del desempeño tiene como uno de sus objetivos principales el hecho de que los trabajadores evaluados sean capaces de mejorar su desempeño. Utilizar el potencial de mejora como criterio en el proceso de evaluación es crucial para evaluar si el empleado es capaz de mejorar. Para ello es necesario que la empresa lleve a cabo políticas de

³¹Véase Fernández López [38].

formación y *coaching*³².

3. *Información basada en los resultados obtenidos*

El *logro de metas* es uno de los criterios más usados por las compañías, aunque no por ello el mejor para evaluar correctamente el desempeño de los empleados. Hay que señalar que en el caso de la medición de los logros obtenidos por los diferentes empleados es necesario clasificar los objetivos según los diferentes niveles jerárquicos establecidos en la compañía. Así, por ejemplo, en los niveles jerárquicos más bajos de la compañía las metas podrían estar fijadas en objetivos de producción, objetivos de plazos de entrega, atención al cliente, etc. Por otra parte, en los niveles jerárquicos más altos los objetivos o metas podrían estar relacionados con aspectos financieros.

Hay que tener en cuenta que, sean cuales sean los criterios establecidos por la compañía para evaluar a sus empleados, para que el proceso de evaluación tenga éxito y las valoraciones de los empleados procedentes del proceso de evaluación se ajusten lo más posible a la realidad, es necesario que la empresa establezca los criterios y objetivos a alcanzar por cada empleado, teniendo en cuenta que éstos deben ser:

³²En el contexto empresarial, se entiende por *coaching* al proceso mediante el cual un monitor o entrenador instruye a una persona o un grupo de personas para que alcancen eficazmente objetivos usando sus propios recursos y habilidades.

1. *Validos.* Para que un criterio de evaluación sea válido es necesario que éste recoja los aspectos y las características más importantes del puesto de trabajo que se va evaluar. Si se incluyeran criterios no válidos en el proceso de evaluación los resultados podrían distorsionarse.
2. *Reales.* A la hora de fijar los criterios a evaluar hay que tener en cuenta quiénes van a ser los evaluadores de esos criterios. Esta característica exige que los criterios sean reales para el colectivo de evaluadores, es decir, que los evaluadores tengan conocimiento de los criterios a evaluar y del desempeño del trabajador para esos criterios. La falta de realidad en los criterios puede llevar a la obtención de resultados erróneos en el proceso de evaluación.
3. *Libres de subjetividad.* Los criterios de evaluación deben evitar toda subjetividad relacionada con aspectos legales como son la religión, el sexo, la nacionalidad, etc., así como la subjetividad que pudiera producirse de forma intencionada o no intencionada por los evaluadores.
4. *Prácticos.* La puesta en práctica y el desarrollo de un sistema de evaluación tiene numerosos costes para la empresa. Para que el sistema de evaluación tenga más beneficios que costes es necesario que el sistema de evaluación sea práctico. Para ello hay que contar con

criterios que sólo evalúen los aspectos más importantes y relevantes.

1.2.3. Métodos de evaluación del desempeño

Los procesos de evaluación del desempeño se pueden realizar siguiendo diferentes metodologías, aunque podemos clasificarlos en dos grandes categorías en función de la información que utilicen. Así, distinguiremos entre los métodos que utilizan información objetiva en el proceso de evaluación y aquéllos que utilizan información subjetiva.

1.2.3.1. Métodos de evaluación basados en información objetiva

Este tipo de procedimientos utiliza información objetiva en el proceso de evaluación y normalmente las opiniones están expresadas mediante valoraciones numéricas. Estos métodos se basan principalmente en la medición de criterios cuantificables objetivamente. Hay que tener en cuenta que, si bien los criterios utilizados en este tipo de métodos son objetivos, hay criterios más objetivos que otros, ya que en la producción de un bien no sólo hay que tener en cuenta el trabajo del empleado sino que también hay que considerar otros condicionantes, como pueden ser los factores externos al empleado (maquinaria defectuosa, falta de suministro energético, etc.). Este tipo de procedimientos son los más usados por las compañías y son los más sencillos de gestionar y desarrollar. A continuación veremos algunos de los métodos más utilizados con este tipo de información.

- **Métodos basados en la medición de la producción**

Éste es uno de los métodos de evaluación basado en información objetiva más utilizados durante el último siglo. Como su propio nombre indica, la información utilizada en el proceso de evaluación del desempeño es la producción realizada por cada empleado (medida en unidades de bien producidas) en un periodo de tiempo determinado. Algunas versiones de este método utilizan como información el número de unidades defectuosas producidas por el empleado en un periodo de tiempo concreto. Evidentemente este tipo de metodología únicamente será válida si el proceso de producción de la compañía cumple los tres requisitos³³ siguientes:

1. La producción debe ser un procedimiento repetitivo y con una base común en todas las repeticiones.
2. Las unidades de producción deben ser cuantificables.
3. Cada unidad de producción debe ser asociable con un trabajador en un periodo determinado.

- **Métodos basados en el nivel de ventas**

El nivel de ventas es uno de los datos más utilizados en las empresas para medir el desempeño de sus trabajadores. El método consiste en

³³Véanse entre otros Chiavenato [29], Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40] y Mondy y Noe [80].

cuantificar las ventas realizadas por cada empleado durante un periodo de tiempo.

■ **Métodos basados en datos personales**

En este método de evaluación se utiliza la información personal de cada empleado relacionada con el puesto de trabajo desempeñado. Dentro de la información personal se pueden incluir datos del empleado como son el absentismo laboral, el número de veces que el empleado ha llegado tarde a su puesto de trabajo, el número de veces que ha recibido una llamada de atención por parte de los superiores, etc.

Uno de los grandes problemas que presenta este método es la alta probabilidad de que la información recogida en el proceso de evaluación presente datos no precisos. Así, por ejemplo, un trabajador podría no ir a trabajar por estar enfermo, o por sufrir un accidente de tráfico, etc., y ese hecho podría distorsionar sus resultados en el proceso de evaluación. Además, existen corrientes que afirman que la información referente a cuestiones personales son subjetivas porque realmente no valoran la capacidad productiva del empleado y por tanto no miden correctamente el desempeño del trabajador.

■ **Métodos basados en tests o pruebas de desempeño**

Este tipo de metodología es utilizada en aquellos puestos de trabajo

donde la recogida de datos objetivos es dificultosa y donde los datos no están exentos de subjetividad y contaminación.

El proceso consiste en realizar periódicamente una prueba de desempeño a los empleados. La prueba consiste en reproducir una situación habitual del puesto de trabajo que ocupa el trabajador y evaluar como el trabajador realiza su trabajo. Este tipo de procesos es muy usado en el caso de pilotos de avión y en el caso de teleoperadores. Hay que señalar que los resultados obtenidos en este tipo de evaluaciones son deficientes debido a diferentes razones, como son la falta de realidad en la simulación, el conocimiento previo de la prueba por parte de los empleados, etc.

■ Métodos de evaluación de directivos

Generalmente los métodos que utilizan información objetiva en el proceso de evaluación no son usados para evaluar empleados situados en puestos jerárquicos superiores, aunque cada vez hay más empresas que utilizan estos procedimientos para la evaluación de sus directivos. La información utilizada en este caso está basada sobre todo en los resultados financieros obtenidos por la empresa durante un periodo determinado. Las empresas que utilizan este tipo de metodología tienen que tener en cuenta que los resultados obtenidos por la empresa pueden estar influenciados por las condiciones estructurales de la economía, y

por tanto la evaluación de sus directivos puede verse influenciada por ello.

1.2.3.2. Métodos de evaluación basados en información subjetiva

La mayoría de los métodos de evaluación más usados por las compañías utilizan información subjetiva en el proceso, aún con el riesgo de que el resultado obtenido esté sesgado. La fundamentación del uso de información subjetiva 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 por esta razón deben ser incluidos en el proceso de evaluación.

Estos métodos se pueden clasificar en dos grandes categorías³⁴: los métodos comparativos (*ranking methods*) y los métodos absolutos (*rating methods*).

Los métodos comparativos emiten los resultados del proceso de evaluación mediante un ranking de los empleados, ordenándolos del mejor al peor, según los resultados obtenidos en la evaluación. Son tres los métodos comparativos más utilizados por las compañías, el método de comparación por ranking, el método de comparación por pares y el método comparativo de las distribuciones forzadas.

³⁴Véase Fisher [40].

Los métodos absolutos emiten como resultado del proceso de evaluación una valoración, total o parcial, del desempeño de cada empleado. De esta manera los empleados no son comparados entre ellos y las valoraciones obtenidas permiten al Departamento de Recursos Humanos conocer el desempeño de cada empleado y proponer medidas específicas de mejora, si fueran necesarias. Normalmente la evaluación en este tipo de metodologías es realizada para diferentes dimensiones o criterios, facilitando así la puesta en práctica de las diferentes políticas establecidas por el Departamento de Recursos Humanos. Las técnicas más usadas en este tipo de procedimientos son el método de las escalas gráficas (*graphic rating scales*), el método de elección forzada (*forced-choice system*), el método de incidentes críticos (*critical incidents technique*) y el método de las escalas de calificación basadas en el comportamiento (*behaviorally anchored rating scales*), entre otros. A continuación se presentarán estos métodos con más detalle.

Métodos comparativos

- **El método de comparación por ranking**

Es uno de los procedimientos más fáciles de utilizar, explicar y comprender. En este proceso el evaluador debe realizar un ranking de todos los empleados, desde el mejor hasta el peor. Existen variaciones del proceso en el que el evaluador ordena a los empleados comenzando

por el mejor y pasando después al peor, y así sucesivamente hasta completar el ranking.

■ **El método de comparación por pares**

En este método de evaluación los empleados son comparados dos a dos para diferentes factores o criterios. Los empleados comparados no son elegidos al azar sino que siempre se compara el empleado considerado mejor en el criterio con el resto de empleados. El proceso establece como resultado un ranking global de los empleados. Es un procedimiento muy sencillo aunque poco utilizado por las empresas debido a la escasa eficiencia de sus resultados.

■ **El método de las distribuciones forzadas**

Son muchas las compañías que utilizan este método de evaluación, como son Ford Motor, Hewlett-Packard, General Electric y Microsoft entre otras³⁵. El procedimiento consiste en clasificar a los empleados en diferentes categorías, según su nivel de desempeño³⁶. Una vez que los empleados son clasificados por el evaluador, los empleados con un nivel de desempeño deficitario son avisados por la compañía. Si su rendimiento no mejora en la siguiente evaluación, podrán ser despedidos. Este método usualmente es utilizado por las compañías

³⁵Véanse Baron y Kreps [5], Chiavenato [29] y Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40].

³⁶Véase el ejemplo proporcionado en la Figura 1.3.

Performance Level	Distribution Target
Level 1: Employee is below acceptable performance standards.	5% of unit
Level 2: Employee meets acceptable performance standard but has room for improvement.	15% of unit
Level 3: Employee shows a uniformly good level of performance.	50% of unit
Level 4: Employee shows a very high level of performance.	20% of unit
Level 5: Employee consistently shows outstanding performance.	10% of unit

Note: Each of the employees in a work unit is allocated to one of the performance levels shown in the table. Associated with each performance level is a "distribution target" that is used in allocating employees to the various levels.

Figura 1.3: *Ejemplo del método de las distribuciones forzadas*

Fuente: Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40, p. 447]

para políticas de regulación de empleo.

Métodos absolutos

▪ Método de las escalas gráficas

Este método de evaluación es uno de los más utilizados por las compañías³⁷ y consiste en evaluar al empleado atendiendo a diferentes factores fijados previamente por la empresa³⁸.

El procedimiento consiste en la elaboración de un formulario de doble entrada. En ese formulario las filas representarán los factores a evaluar y las columnas los diferentes grados de cumplimiento de los factores a evaluar, expresados mediante palabras sencillas. Para su correcta

³⁷Véanse Chiavenato [29], Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40] y Mondy y Noe [80].

³⁸Véase el ejemplo proporcionado en la Figura 1.4.

1.2 El proceso de evaluación del desempeño en empresas y organizaciones 31

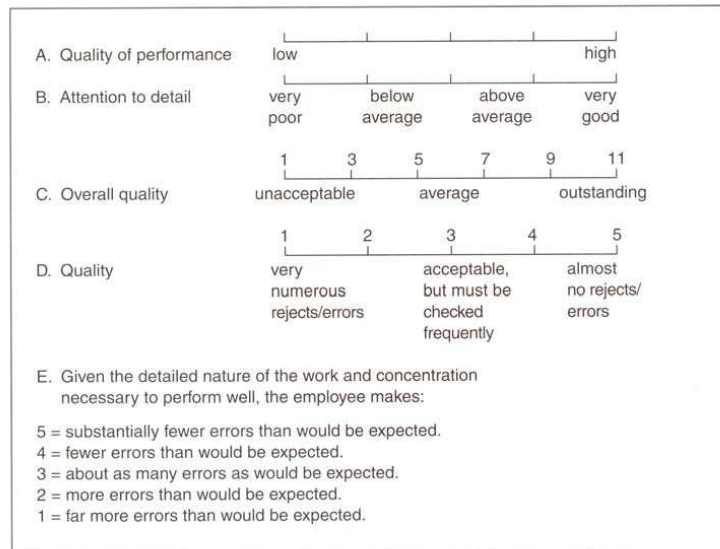


Figura 1.4: Ejemplo del método de las escalas gráficas

Fuente: Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40, p. 449]

aplicación, el establecimiento de los factores a evaluar, así como la puesta en práctica de todo el proceso de evaluación, debe realizarse con muchísimo cuidado con el fin de evitar la posible subjetividad de los diferentes evaluadores. Este método cuenta con numerosas críticas, la mayoría de las cuales hacen referencia a la transformación de los resultados obtenidos en el proceso a simples valores numéricos. En función de los niveles de graduación de los factores, las escalas se pueden clasificar en tres tipos:

1. *Escalas continuas*. En este tipo de escalas únicamente se encuentran definidas las posiciones extremas. El evaluador puede posicionar su opinión entre las dos posiciones extremas.
2. *Escalas semicontinuas*. Son similares a las continuas aunque incluyen graduaciones intermedias, definidas para facilitar la evaluación. El evaluador puede expresar su opinión, igual que en el caso anterior en posiciones no fijadas explícitamente.
3. *Escalas discontinuas*. En este caso los diferentes criterios a evaluar están perfectamente graduados y el evaluador no puede emitir su opinión fuera de la escala propuesta por la empresa. La mayoría de las empresas que utilizan este tipo de escalas asignan valores numéricos a las diferentes graduaciones.

Una de las escalas discontinuas más usadas por las empresas es la conocida *escala de Likert* (*sumated rating scale*), creada por Rensis Likert [68] en 1932. Este tipo de escala es muy utilizada en Psicología para la medición de las actitudes de los individuos, en concreto para graduar la intensidad de las actitudes que presentan los individuos. En este tipo de escalas los evaluadores muestran su grado de acuerdo o de desacuerdo con determinados ítems o frases descriptivas que representan una actividad o fenómeno.

- **Método de elección forzada**

Este método fue desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial. En sus orígenes el método fue utilizado por las fuerzas armadas estadounidenses para la selección de aquellos oficiales que debían ser ascendidos. Tras su aplicación en el ejército, este método se utilizó en diferentes empresas estadounidenses³⁹. La evaluación consiste en un cuestionario que debe ser completado por el evaluador⁴⁰. El cuestionario incluye diferentes bloques, cada uno de los cuales está compuesto por frases que tratan de describir el desempeño del empleado en diversas facetas. Este método se llama de elección forzada porque el evaluador está obligado a evaluar al empleado mediante dos de esas frases, una que defina lo mejor posible su desempeño y otra que defina lo peor posible el desempeño del empleado.

Una de las mayores críticas que se realiza a este procedimiento es que sólo clasifica a los empleados en buenos, medios y malos o insuficientes, sin dar información adicional.

- **Método de incidentes críticos**

Este método fue desarrollado por Burns y Flanagan [17] en 1995. El procedimiento consiste en evaluar el desempeño de los trabajadores

³⁹Véase Berkshire y Highland [8].

⁴⁰Véase el ejemplo proporcionado en la Figura 1.5.

Instructions:
Check those statements that represent the typical actions of the employee.

Statement	Value ^a
<input checked="" type="checkbox"/> Acts decisively when encountering problems	4.9
<input type="checkbox"/> Is fair to all subordinates in his/her promotion decisions	5.0
<input type="checkbox"/> Provides temporary solutions to problems that keep appearing	3.0
<input checked="" type="checkbox"/> Assesses the mood of subordinates before pursuing a subject that would damage relationships	3.9
<input checked="" type="checkbox"/> Evaluates performance once or twice a year	4.1
<input checked="" type="checkbox"/> Is unwilling to point out subordinates' poor work performance	2.2
<input type="checkbox"/> Conducts detailed discussions with worker to solve problems	4.6
<input type="checkbox"/> Checks subordinates' work thoroughly and is sharp at finding errors	4.2
<input checked="" type="checkbox"/> Gives merit increment to a poor performer	2.0
<input type="checkbox"/> Carries out the policies of the company without regard to individual welfare or circumstances	2.3
<input checked="" type="checkbox"/> Signs subordinates' work without carefully checking it	2.0
<input type="checkbox"/> Is unable to provide guidelines for making decisions when faced with a problem	2.3
<input checked="" type="checkbox"/> Maintains very good relations with other supervisors in the division	5.0
<input type="checkbox"/> Shows concern for employee welfare but does not act on it	2.7

Performance
Score for employee = (4.9 + 3.9 + 4.1 + 2.2 + 2.0 + 2.0 + 5.0) = 24.1

^aHigh values indicate that the statement represents good performance. These values would not be included on the actual rating form.

Figura 1.5: *Ejemplo de elección forzada*
Fuente: Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40, p. 452]

atendiendo únicamente a los incidentes críticos de los empleados. El método no hace referencia a los comportamientos habituales del trabajador sino que presta atención a los incidentes positivos o

negativos protagonizados por el empleado. Así, los comportamientos positivos deberán ser reforzados por la empresa y los negativos deberán ser corregidos.

■ **Método de las escalas de calificación basadas en el comportamiento (BARS)**

Este método es una combinación del método de las escalas gráficas y del método de elección forzada. En concreto se trata de una escala gráfica donde las diferentes graduaciones de los factores a evaluar no están dadas por simples palabras, sino que se incluye una frase descriptiva para graduar los niveles de desempeño. Al igual que en el caso del método de elección forzada, el cuestionario está dividido en bloques y en cada uno de ellos se hace referencia al desempeño de un único factor⁴¹.

1.2.4. Problemas presentes en la evaluación del desempeño

A pesar de los múltiples y diferentes métodos de evaluación del desempeño presentados en la sección anterior, todos ellos presentan una serie de problemas comunes, que son la base de la mayoría de las críticas realizadas a los procesos de evaluación del desempeño. A continuación expondremos

⁴¹Véanse los ejemplos proporcionados en las Figuras 1.6 y 1.7

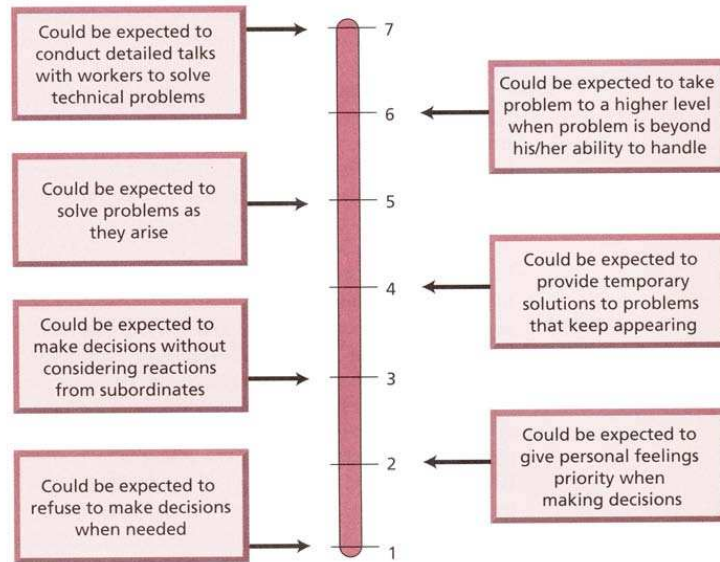


Figura 1.6: Ejemplo del método BARS

Fuente: Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40, p. 453]

algunos de los problemas típicos presentes en los procesos de evaluación⁴².

1. *Falta de objetividad.* Uno de los mayores problemas que puede presentar un proceso de evaluación del desempeño es la falta de objetividad. Evidentemente, la subjetividad aparece en los métodos de evaluación que utilizan información no objetiva en el proceso, sobre todo aquella relacionada con las características personales de los empleados.

⁴²Véanse Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40], Gómez Mejía, Balkin y Cardy [47], Banks y Roberson [4] y Mondy y Noe [80], entre otros.

1.2 El proceso de evaluación del desempeño en empresas y organizaciones 37

	Almost never				Almost always
Puts up notices on bulletin board when new policies or procedures are implemented	1	2	3	4	5
Maintains eye contact when talking to employees	1	2	3	4	5
Uses both written memos and verbal discussions when giving instructions	1	2	3	4	5
Discusses changes in policies or procedures with employees before implementing them	1	2	3	4	5
Writes memos that are clear, concise, and easy to understand	1	2	3	4	5
Total Performance Level					
<i>Below adequate</i>	5-9				
<i>Adequate</i>	10-14				
<i>Good</i>	15-19				
<i>Excellent</i>	20 +				

Figura 1.7: Ejemplo del método BARS para la evaluación de un supervisor

Fuente: Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40, p. 455]

2. *Prejuicios*. Uno de los problemas más típicos en los procesos de evaluación son los prejuicios, más conocidos como *errores halo*. El error halo⁴³ consiste en trasladar una evaluación positiva o negativa en un determinado criterio a todos los demás criterios en los que es evaluado el empleado. Los problemas aparecen cuando el efecto halo se produce de manera negativa. En este caso existe el peligro de que los

⁴³Véase el ejemplo proporcionado en la Figura 1.8.

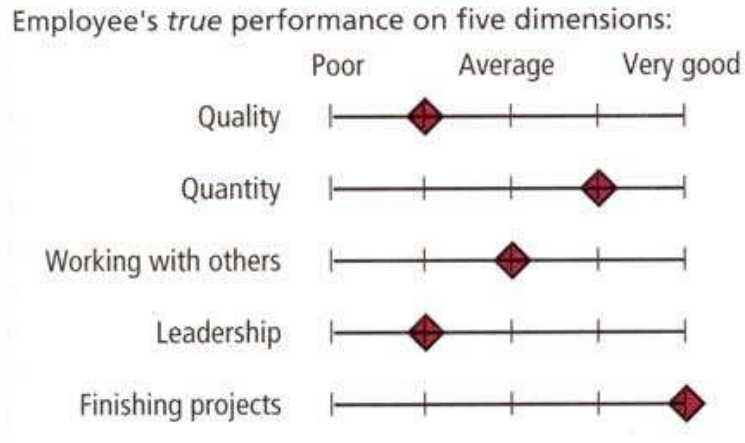


Figura 1.8: *Ejemplo del error halo*

Fuente: Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40, p. 435]

empleados pierdan la confianza en el proceso de evaluación, invalidando los resultados obtenidos en el mismo.

3. *Indulgencia y exigencia.* La indulgencia es la valoración de los empleados de manera positiva y alta, sin ser merecida por el trabajador. Los evaluadores suelen ser indulgentes con las valoraciones cuando los objetivos del proceso de evaluación están relacionados con fines administrativos (como los incrementos salariales), aunque no suelen serlo cuando los objetivos del proceso están relacionados con planes de promoción o desarrollo de carreras profesionales⁴⁴. La

⁴⁴Véase Mondy y Noe [80].

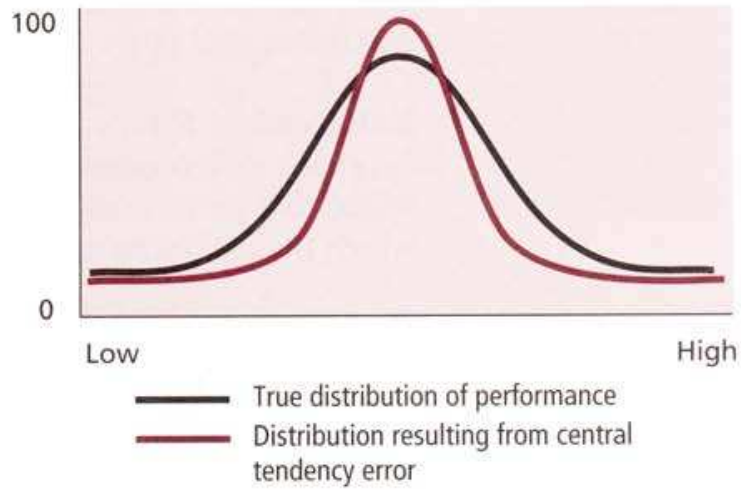
1.2 El proceso de evaluación del desempeño en empresas y organizaciones 39

exigencia, dentro de este contexto, está definida como la valoración deficitaria hacia el desempeño de los empleados. Este problema surge cuando la compañía fija a los evaluadores límites en el número de empleados clasificados como brillantes o sobresalientes.

4. *Tendencia central.* Los trabajadores en este caso son valorados siempre dentro del promedio de la escala en la que son evaluados. De esta manera, los evaluadores clasifican el desempeño de todos los trabajadores como “medio”. La justificación de este problema surge como resultado de la eliminación de la controversia generada por el proceso de evaluación⁴⁵.
5. *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.
6. *Perjuicio personal.* El perjuicio personal es en muchos casos una de las justificaciones más utilizadas en los EE UU para presentar recursos judiciales ante despidos improcedentes⁴⁶. Algunos de los perjuicios más

⁴⁵Véase el ejemplo proporcionado en la Figura 1.9.

⁴⁶Véase Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40].



Employee's *rated* performance on five dimensions:

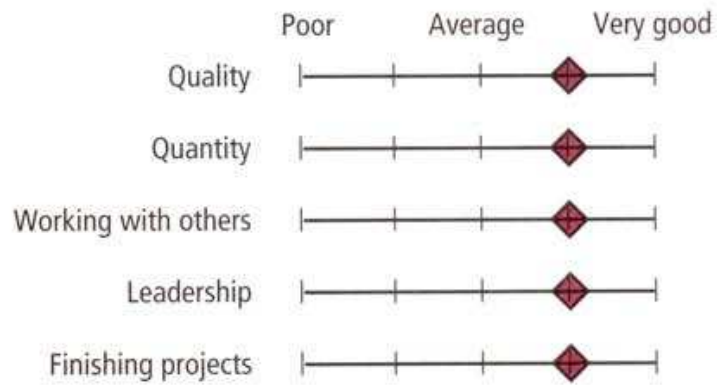


Figura 1.9: Ejemplos de tendencia central en la evaluación

Fuente: Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40, p. 435]

comunes en las empresas son el género, la raza, la religión y la edad.

7. *Manipulación de la evaluación.* En este caso, y posteriormente al proceso de evaluación, los evaluadores manipulan los resultados obtenidos en el proceso de evaluación.

1.2.5. Beneficios derivados de los procesos de evaluación del desempeño

Son muchos los beneficios derivados de los procesos de evaluación del desempeño, aunque para que éstos sean reales es necesario que el proceso de evaluación esté bien planeado y desarrollado. Algunos de los beneficios que aporta la evaluación del desempeño a la empresa o compañía son:

- Los procesos de evaluación del desempeño permiten a la empresa evaluar su capital humano y determinar la aportación que ese capital humano realiza a la compañía.
- Son muchos y muy ricos los objetivos que se pueden establecer en un proceso de evaluación del desempeño. La empresa, tras la obtención de los resultados de la evaluación, puede mejorar el rendimiento de sus empleados, conocer sus puntos débiles y presentar programas de mejora e identificar sus puntos fuertes y potenciarlos.
- Los procesos de evaluación estimulan la productividad y mejoran la eficiencia y eficacia de los trabajadores.

1.3. Evaluación de 360-grados

Las políticas de evaluación del desempeño generalmente han sido realizadas directamente por los equipos directivos, que finalmente son los que toman las decisiones sobre los empleados en las políticas de Recursos Humanos. Sin embargo, los profundos cambios en las estructuras organizativas han provocado que cada vez en más empresas y organizaciones no sólo se tengan en cuenta las opiniones de los directivos sino que se 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 mismo⁴⁷. Este proceso de evaluación del desempeño es conocido como *evaluación de 360-grados* o *evaluación integral*⁴⁸.

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 de evaluación. Encuestas recientes en EE UU demuestran que más del 90 % de las empresas que aparecen en la lista Fortune 1000 han desarrollado sistemas de evaluación integral⁴⁹.

El sistema empezó a utilizarse de forma intensiva a mediados de los años

⁴⁷Véase la Figura 1.10.

⁴⁸Véanse Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40], Gómez Mejía [47], Marshall [75], Edwards y Ewen [35] y Mondy y Noe [80].

⁴⁹Véanse Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40], Chiavenato [29] y Mondy y Noe [80], entre otros.

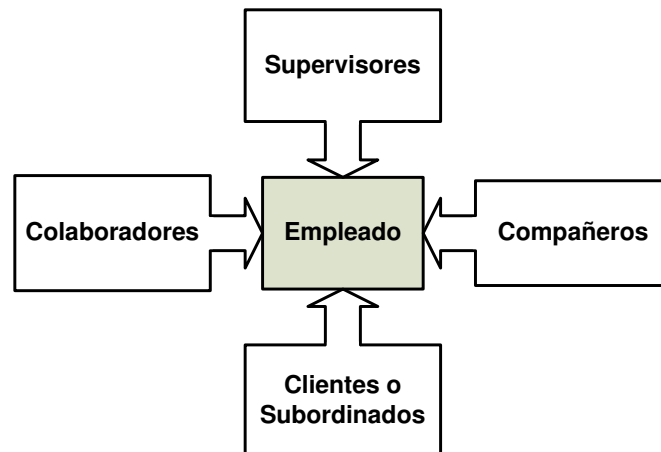


Figura 1.10: *Evaluación 360-grados o evaluación integral*

80, principalmente para la evaluación de altos directivos. Desde entonces son muchos los defensores y los detractores de los procesos de evaluación integrales. Por ello, a continuación veremos algunas de las ventajas y de los inconvenientes de la utilización de este sistema de evaluación.

De acuerdo con Fisher [40], se pueden señalar las siguientes ventajas:

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

empresa.

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

Por otra parte, según Cardy y Dobbins [22], también se pueden enumerar algunas desventajas:

- El sistema es más complejo que un sistema normal de evaluación del desempeño, debido a la cantidad y diversidad de valoraciones obtenidas.
- Requiere capacitación para que el sistema funcione con eficacia.

Para que una política de evaluación, ya sea integral o no, consiga los objetivos establecidos, será necesario que el sistema de evaluación sea válido, efectivo y aceptado tanto por los evaluadores como por los evaluados.

Se ha observado cómo la evaluación de 360-grados puede aportar mejoras frente a los clásicos y tradicionales métodos de evaluación del desempeño, por lo que en esta memoria se adoptará un método de evaluación de 360-grados como modelo de evaluación.

1.3.1. Modelo básico de evaluación del desempeño de 360-grados

En esta sección se describen la notación y las características comunes a las diferentes propuestas de modelos de evaluación del desempeño de 360-grados

que serán utilizados en esta memoria. En la sección anterior se ha señalado que los procesos de evaluación integral cuentan con la participación de múltiples grupos de expertos, lo que implica que en ocasiones puedan existir diferentes grados de conocimiento sobre el empleado a evaluar. Este hecho ha generado la necesidad de incorporar en los modelos presentados en esta memoria la posibilidad de que diferentes grupos de evaluadores emitan sus opiniones sobre los empleados mediante la utilización de diferentes escalas de valoración. Así mismo, otra de las características propias de los modelos de evaluación presentes en la memoria es el hecho de que se van a basar en el enfoque de análisis de la decisión mencionado en 1.1.3 y, por tanto, deberán seguir el esquema básico presentado en la Figura 1.1. Esta particularidad, junto con la de tener que evaluar a los empleados atendiendo a diferentes criterios y teniendo en cuenta la opinión de diversos evaluadores, convierte los modelos de evaluación del desempeño en problemas propios de la Teoría de Decisión Multi-criterio y Multi-experto.

A continuación se define el marco y el esquema de evaluación⁵⁰ que será utilizado en el proceso de evaluación del desempeño de 360-grados presentado en esta memoria, siguiendo las pautas y fases⁵¹ establecidas en 1.1.4. Así mismo se introduce la notación básica a utilizar en el resto de la memoria.

⁵⁰Véase la Figura 1.12.

⁵¹Véase la Figura 1.11.

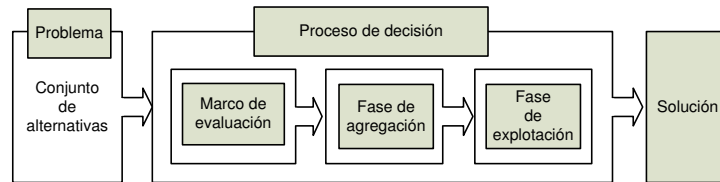


Figura 1.11: *Proceso de resolución de un problema de evaluación de desempeño*

1.3.1.1. Marco de evaluación

El proceso de evaluación del desempeño utilizado en nuestra propuesta será un método de evaluación de 360-grados⁵². Consideraremos un modelo en el que una empresa desea llevar a cabo un proceso de evaluación del desempeño 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: $C = \{c_1, \dots, c_t\}$.

Aunque en este caso se han considerado tres colectivos de evaluadores, dependiendo de cada situación concreta, podrían tenerse en cuenta una

⁵²Véase la Figura 1.10.

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, $Y = \{Y_1, \dots, Y_p\}$.

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

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

1.3.1.2. Fase de agregación

Siguiendo el esquema de resolución establecido en la Figura 1.1, a continuación se describen detalladamente las fases propias de cada uno de

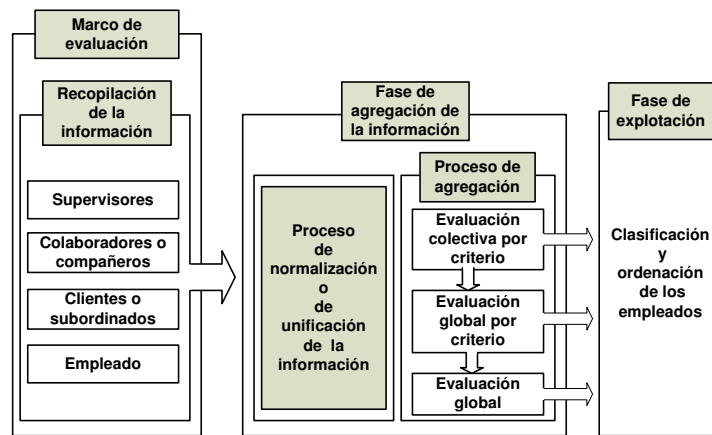


Figura 1.12: *Proceso de evaluación del desempeño de 360-grados*

los procesos llevados a cabo en la de resolución de un problema decisional⁵³.

Proceso de agregación

Las empresas necesitan modelos de evaluación del desempeño que sean capaces de ofrecer resultados entendibles e interpretables por los responsables del Departamento de Recursos Humanos⁵⁴. Debido a la importancia de esta necesidad establecida por las empresas, los modelos de evaluación integral presentados en esta memoria van a incorporar procesos de agregación multi-etapas que faciliten la interpretación de los resultados

⁵³Véase la Figura 1.12.

⁵⁴Véase Canos y Liern [21].

obtenidos en el proceso de evaluación, tanto atendiendo a los diferentes colectivos de evaluadores involucrados en el proceso, como a los criterios considerados.

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

▪ **Fase 1: *Cálculo de las evaluaciones colectivas 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, cada criterio Y_k y cada empleado evaluado x_j las siguientes valoraciones agregadas⁵⁵ (véase el Cuadro 1.1):

- Supervisores

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

- Colaboradores o compañeros

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

- Subordinados o clientes

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

⁵⁵Con Ag_- se denota 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.

Cuadro 1.1: Valoraciones colectivas para cada criterio

Evaluable	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	$c_j^{1k}, \dots, c_j^{tk}$	$v_C^k(x_j)$

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

En esta segunda fase del proceso de agregación, las valoraciones obtenidas en la fase anterior son agregadas para cada criterio. De esta manera se obtiene una valoración global para cada criterio Y_k y para cada empleado x_j (véase el Cuadro 1.2):

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

Cuadro 1.2: Valoraciones globales para cada criterio

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

Aunque, inicialmente, la opinión del empleado evaluado sobre sí mismo

se incluirá en esta etapa del proceso de agregación, ésta será tomada en cuenta de distinta manera en función del operador de agregación que se utilice en el proceso. En el caso de la utilización de operadores anónimos, la opinión del empleado sobre sí mismo no se tendrá en cuenta en el proceso de agregación, ya que la inclusión de esta opinión podría distorsionar la valoración global.

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

La evaluación 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 (véase el Cuadro 1.3).

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

Cuadro 1.3: *Valoraciones globales*

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

Hay que tener en cuenta que el operador de agregación utilizado por la empresa puede ser diferente para cada etapa, incluso para cada colectivo y criterio.

1.3.1.3. Fase de explotación

A partir de las diferentes valoraciones obtenidas para cada empleado⁵⁶, se procederá a la clasificación y ordenación de los empleados atendiendo a diferentes procedimientos y teniendo en cuenta los objetivos fijados por el Departamento de Recursos Humanos.

⁵⁶Valoraciones colectivas por criterio, $v_{-}^k(x_j)$, valoraciones globales por criterio, $v^k(x_j)$ y valoraciones globales, $v(x_j)$.

Capítulo 2

Algunas metodologías para la toma de decisiones

Existe una amplia gama de metodologías y herramientas, en la extensa literatura existente, para la resolución de problemas dentro del ámbito de la Teoría de la Toma de Decisiones.

Durante muchos años los problemas de toma de decisiones fueron analizados teniendo en cuenta un único criterio en el que se trataba de fusionar los aspectos presentes en los mismos, lo que suponía una forma de representar la realidad poco natural y muy simplista. Debido a éstas y otras muchas deficiencias, en los últimos treinta años han aparecido nuevos enfoques para la resolución de problemas decisionales, aunque fueron los pensadores Ignacio de Loyola (1491-1556) y Benjamin Franklin (1706-1790) los inspiradores¹ de lo que hoy se denomina *Análisis de Decisión Multi-*

¹Véanse Loyola [69] y MacCrimmon [73].

criterio (*Multiple Criteria Decision Analysis* (MCDA)), justificándose en la idea de que los individuos tratan los problemas de su vida cotidiana teniendo en cuenta diversos puntos de vista.

La Teoría de la Decisión Multi-criterio es uno de los enfoques más utilizados en la literatura y ha logrado grandes éxitos tanto a nivel teórico como a nivel práctico o empírico².

En este capítulo de la memoria se introducen algunos de los conceptos y herramientas que serán utilizados en el desarrollo de los capítulos posteriores. En concreto, se analizarán dos de los diversos enfoques utilizados en la literatura para el tratamiento de los problemas decisionales multi-criterio: la Programación Multi-criterio y el Enfoque Lingüístico.

2.1. Métodos de optimización para la toma de decisiones

Los modelos de optimización, también llamados modelos de *Programación Matemática*, son uno de los enfoques más usados para la resolución de problemas decisionales. Dichos modelos se centran en el análisis de problemas que buscan la minimización o maximización de una función (función objetivo) sujeta a diversas restricciones que deberán ser satisfechas por las posibles soluciones del mismo.

²Véanse, por ejemplo, Charnes, Cooper y Ferguson [25] y Charnes y Cooper [24].

Muchos de los problemas de toma de decisiones en el mundo real pueden ser modelizados y resueltos mediante métodos de Programación Matemática. En la literatura referente al tema pueden encontrarse los modelos de *Programación Lineal*, de *Programación No-Lineal*, de *Programación Multi-Criterio*, de *Programación Multi-Atributo* y de *Programación Multi-Nivel*.

A continuación se realiza una breve descripción de la Programación Multi-criterio como herramienta para la resolución de problemas de toma de decisiones con múltiples criterios.

2.1.1. La Programación Multi-criterio

Los problemas decisionales existentes en nuestra realidad se presentan de forma compleja y, en general, con más de un propósito. Las decisiones en el mundo real se toman frecuentemente teniendo en cuenta múltiples y conflictivos objetivos. Así, por ejemplo, una empresa se puede plantear como objetivos simultáneos minimizar los costes y maximizar la calidad de los productos, o maximizar el beneficio y minimizar los costes en I+D.

Los modelos de Programación Multi-criterio tienen en común diversos conceptos necesarios para el desarrollo de los mismos, entre los que cabe destacar³:

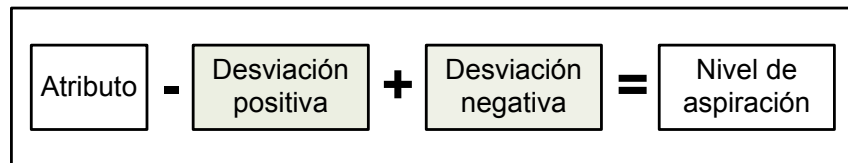
- *Atributos*. Son las características o cualidades que poseen las

³Véase Romero [84].

alternativas, que se corresponden con una realidad objetiva y pueden ser representados mediante funciones matemáticas.

- *Objetivos*. Son la materialización de los deseos de los agentes decisores e indican la dirección en la cual éstos quieren que los atributos avancen o mejoren. La mejora puede ser en forma de maximización (cuanto más del atributo mejor) o en forma de minimización (cuanto menos del atributo mejor).
- *Niveles de aspiración*. Son aquellos niveles de logro de los atributos que pueden ser considerados como aceptables para el centro decisor.
- *Meta*. Es la combinación de un nivel de aspiración y un atributo. Normalmente se unen mediante una expresión matemática en forma de ecuación o inecuación.
- *Criterio*. Es un concepto que engloba a los tres anteriores y que se considera relevante para la resolución de problemas decisionales, ya que contiene los atributos, objetivos y metas notables para dicho problema.

Otros de los conceptos importantes a tener en cuenta dentro de la Teoría de la Programación Multi-criterio son las *variables de desviación*, las cuales permiten definir el concepto de meta a través de la expresión dada en la Figura 2.1.

Figura 2.1: *Desviaciones positiva y negativa*

La diferenciación entre los conceptos anteriores permite clasificar diversas metodologías existentes dentro de la Teoría de la Programación Multi-criterio, entre las que se pueden destacar⁴:

- La *Programación Multi-objetivo*.

Esta técnica también conocida como *Optimización Vectorial* es frecuentemente utilizada cuando el problema a resolver consta de un conjunto de objetivos y una serie de restricciones. Los objetivos deben ser optimizados sujetos a las restricciones, de forma que se obtenga un conjunto de soluciones eficientes. En este sentido, hay que señalar que las soluciones eficientes pueden ser definidas en un contexto maximizador (cuanto más de los atributos mejor) o en uno minimizador (cuanto menos de los atributos mejor).

⁴Véase Lu, Zhang, Ruan y Wu [71].

- *La Programación Compromiso.*

Esta metodología se basa en la idea de punto ideal o punto de referencia del centro decisor. Este punto ideal, como su propio nombre indica, no es alcanzable por lo que las soluciones eficientes deberán estar situadas cerca de ese punto ideal. La cercanía al punto ideal se mide a través de funciones de distancia. Mediante esta metodología se consigue una mayor reducción del tamaño del conjunto eficiente, permitiendo la obtención de soluciones equilibradas entre los diferentes objetivos establecidos en el problema.

- *La Programación por Metas.*

El aumento de tamaño del número de criterios y de restricciones provoca una considerable complicación en la resolución de los mismos, lo que motiva la utilización de esta herramienta frente a otras metodologías. Así, la Programación por Metas analiza problemas decisionales complejos que presentan un número elevado de atributos y de restricciones que serían intratables computacionalmente mediante otras técnicas. Debido a las características propias que presenta esta metodología, en el capítulo 3 de esta memoria se realizará un estudio más detallado de las técnicas de la Programación por Metas que posteriormente se usarán en el proceso de agregación del modelo de evaluación de 360-grados propuesto en dicho capítulo.

2.2. La toma de decisiones en un contexto lingüístico

En la lógica tradicional, las opiniones son consideradas como sistemas bivalentes que únicamente pueden alternar entre la aceptación y el rechazo. En este contexto y dado que sólo existen estas dos posiciones, no existe ambigüedad y la pertenencia a un determinado conjunto está siempre categorizada. Así, la lógica tradicional únicamente se ocupa de los razonamientos que presentan formulaciones precisas.

La lógica difusa o borrosa (*fuzzy logic*) es una rama de la lógica que se funda en el concepto “*todo es cuestión de grado*”⁵, lo cual permite manejar información vaga o de difícil especificación. En 1965 Lofti Zadeh introdujo la lógica difusa, que combina los conceptos de la lógica tradicional y las polivalentes de Łukasiewicz mediante la definición de grados de pertenencia. El propio Zadeh señala en [101]:

La teoría de los Conjuntos Difusos es, de hecho, un paso hacia un acercamiento entre la precisión de las matemáticas clásicas y la sutil imprecisión del mundo real, un acercamiento nacido de la incesante búsqueda humana para lograr una mejor comprensión de los procesos mentales del conocimiento.

Teniendo en cuenta las palabras del propio Zadeh, en el capítulo 5 de esta

⁵Véase Zadeh [101].

memoria se incorpora un modelo para la toma de decisiones en el marco empresarial considerando que las opiniones establecidas por los diferentes evaluadores tienen un carácter gradual o difuso. El objetivo no es otro que el de lograr una mayor precisión en el estudio de los procesos de toma de decisiones en el ámbito de los Recursos Humanos.

A continuación se presentan brevemente algunos de los conceptos necesarios para el desarrollo del capítulo 5 de esta memoria.

2.2.1. Nociones básicas de la Teoría de Conjuntos Difusos

Definición 2.1 Sea A un subconjunto no vacío en el universo X . La *función característica* de A se define como la aplicación $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$ tal que

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{si } x \in A, \\ 0, & \text{si } x \notin A. \end{cases}$$

De esta manera, el subconjunto ordinario A de X queda determinado como

$$A = \{x \in X \mid \mu_A(x) = 1\}.$$

En 1965 Lofti Zadeh [101] introduce la noción de subconjunto difuso como generalización de la noción ordinaria de conjunto.

Definición 2.2 Un *subconjunto difuso* A de X se define a través de su función característica $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$, donde $\mu_A(x)$ representa el grado de

pertenencia de x a A . Así, el subconjunto difuso A de X queda determinado mediante el siguiente conjunto de pares ordenados

$$A = \{(x, \mu_A(x) \mid x \in X\}.$$

Observación 2.1 Un subconjunto ordinario es un caso particular de un subconjunto difuso, ya que la función característica de un subconjunto difuso puede tomar cualquier valor comprendido en el intervalo $[0, 1]$.

A continuación se introducen algunos de los conceptos básicos⁶ a la hora de trabajar con subconjuntos difusos.

Definición 2.3 Sean A un subconjunto difuso de X y $\alpha \in [0, 1]$. El α -corte de A es el subconjunto ordinario definido por

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\}.$$

Definición 2.4 Dado un conjunto difuso A de X , el *soporte* de A es el conjunto ordinario de X definido por

$$\text{supp } A = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\}.$$

Se puede comprobar que para cualquier $\alpha \in (0, 1]$ se verifica $A_\alpha \subseteq \text{supp } A$.

⁶Véase la Figura 2.2.

Definición 2.5 Un subconjunto difuso A de X es *convexo* si

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min\{\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)\}$$

para cualesquiera $x_1, x_2 \in X$ y $\lambda \in [0, 1]$.

Alternativamente, un subconjunto difuso A es convexo si todos los α -cortes de A son conjuntos convexos en el sentido clásico.

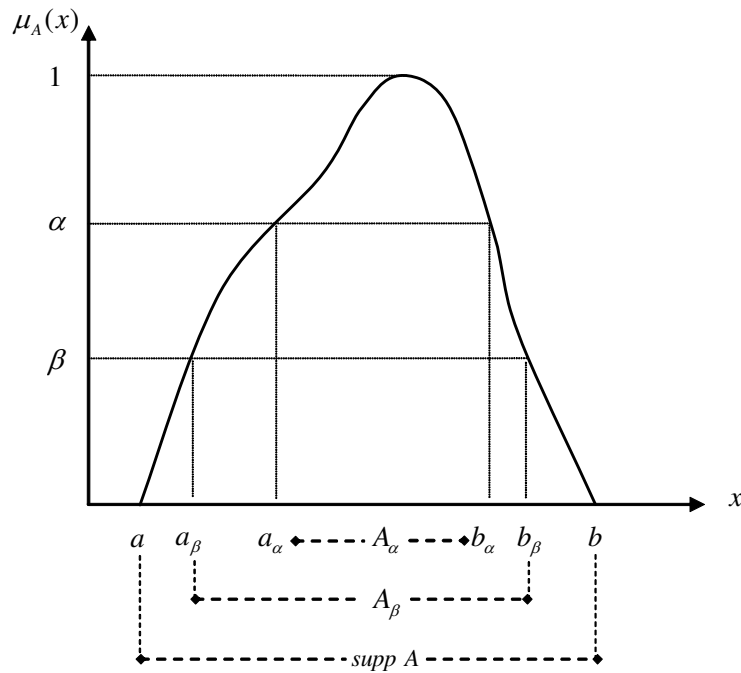


Figura 2.2: Subconjunto difuso A con $\text{supp } A = [a, b]$, $A_\alpha = [a_\alpha, b_\alpha]$ y $A_\beta = [a_\beta, b_\beta]$

En la literatura existente pueden encontrarse diferentes tipos de funciones de pertenencia. La utilización de uno u otro tipo depende no sólo de la

semántica que se pretenden capturar con el conjunto difuso sino también del contexto de aplicación de los mismos.

Las funciones de pertenencia más comunes son:

1. *Triangulares.*

Dados 3 números reales a, b, c , tales que $a \leq b \leq c$, se define el conjunto difuso triangular $A \equiv (a, b, c)$ mediante su función de pertenencia $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$, dada por⁷:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x < a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{si } a < x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{si } b < x < c, \\ 0, & \text{si } x > c, \end{cases}$$

$$\mu_A(a) = \begin{cases} 0, & \text{si } a < b, \\ 1, & \text{si } a = b, \end{cases}$$

$$\mu_A(c) = \begin{cases} 0, & \text{si } c > b, \\ 1, & \text{si } c = b. \end{cases}$$

2. *Trapeziales.*

Dados 4 números reales a, b, c, d tales que $a \leq b \leq c \leq d$, se define el conjunto difuso trapecial $A \equiv (a, b, c, d)$ mediante su función de

⁷Véase la Figura 2.3.

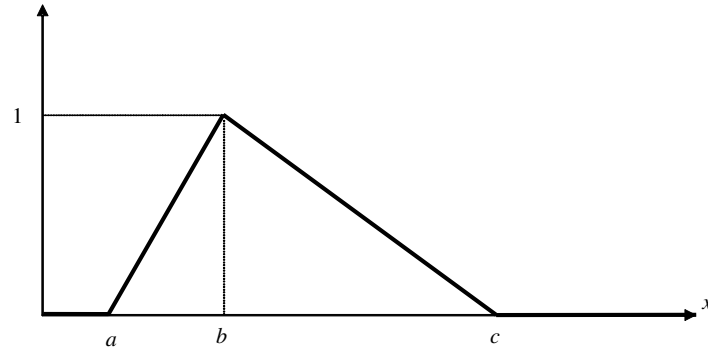


Figura 2.3: Subconjunto difuso triangular (a, b, c)

pertenencia $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$, dada por⁸:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x < a \text{ o } x > d, \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{si } a < x < b, \\ 1, & \text{si } b \leq x \leq c, \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{si } c < x < d, \end{cases}$$

$$\mu_A(a) = \begin{cases} 0, & \text{si } a < b, \\ 1, & \text{si } a = b, \end{cases}$$

$$\mu_A(d) = \begin{cases} 0, & \text{si } d > c, \\ 1, & \text{si } d = c. \end{cases}$$

⁸Véase la Figura 2.4.

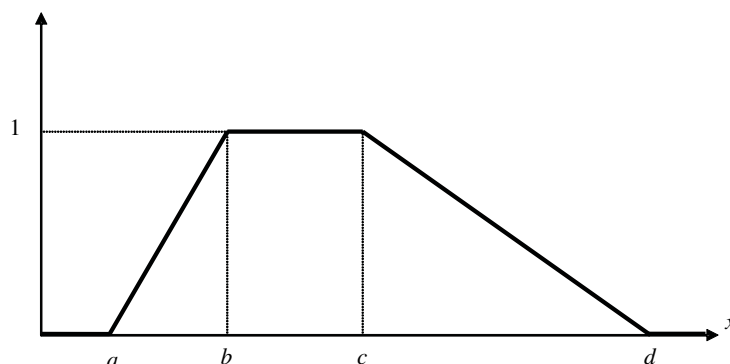


Figura 2.4: Subconjunto difuso trapecial (a, b, c, d)

Observación 2.2 Los números reales, los intervalos y los números difusos triangulares pueden ser descritos mediante números difusos trapeciales: (a, a, a, a) es el número real a ; (a, a, b, b) es el intervalo $[a, b]$; y (a, b, b, c) es el número difuso triangular (a, b, c) .

2.2.2. Conjuntos de términos lingüísticos

Para definir un conjunto de términos lingüísticos es importante establecer previamente la granularidad de la incertidumbre del conjunto de etiquetas lingüísticas con el que se va a trabajar. La *granularidad* de la incertidumbre es la representación cardinal del conjunto de etiquetas lingüísticas usadas para representar la información⁹.

Según Miller [78] y Yager [98], los seres humanos somos capaces de

⁹Véase Bonissone [13].

distinguir, recordar y utilizar correctamente alrededor de siete o nueve términos. En consecuencia, parece lógico establecer conjuntos de etiquetas lingüísticas que no sobrepasen los límites establecidos por la mente humana. Por una parte, han de permitir discriminar suficientemente y, por otra, han de ser comprensibles y diferenciables por el ser humano.

En los modelos lingüísticos se suelen usar conjuntos de etiquetas lingüísticas¹⁰ con granularidad no superior a 13, siendo muy común utilizar conjuntos de granularidad impar, donde existe una etiqueta central y el resto de las etiquetas se distribuyen simétricamente a su alrededor.

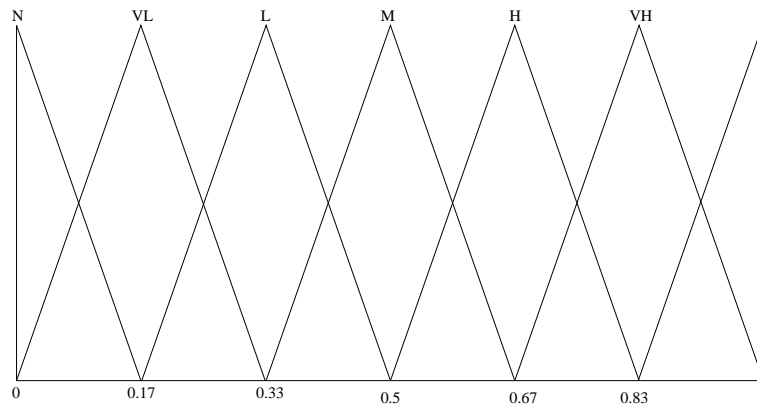


Figura 2.5: Conjunto de etiquetas lingüísticas

Una vez que la granularidad del conjunto de etiquetas lingüísticas ha sido determinada, es necesario proveer un mecanismo que permita generar

¹⁰Véase la Figura 2.5.

los términos lingüísticos del conjunto. En la literatura existente hay dos enfoques que permiten generar etiquetas dentro de un conjunto de términos lingüísticos:

1. *Enfoque basado en una gramática libre*¹¹. En este enfoque los conjuntos de etiquetas lingüísticas se generan utilizando una gramática libre de contexto. En este caso la semántica está definida mediante números difusos descritos mediante funciones de pertenencia parametrizadas.
2. *Enfoque basado en una estructura ordenada*¹². En este caso los conjuntos de etiquetas son generados usando una estructura ordenada de las mismas. La semántica se deriva de la propia estructura ordenada de las etiquetas (puede estar uniformemente distribuida o no).

En la literatura se pueden encontrar diferentes metodologías para definir la semántica de un conjunto de términos lingüísticos¹³. En esta memoria se definirá la semántica basándose en funciones de pertenencia, en concreto a través de subconjuntos difusos en el intervalo $[0, 1]$, descritos por una función de pertenencia.

¹¹Véase Zadeh [101].

¹²Véase Zadeh [102].

¹³Véase Zadeh [101].

2.2.3. Modelo de representación de la información lingüística basado en 2-tuplas

El uso de etiquetas lingüísticas en modelos de decisión supone, en la mayoría de los casos, la realización de operaciones con etiquetas lingüísticas. En la literatura aparecen diferentes modelos que permiten operar con etiquetas lingüísticas. Entre ellos pueden destacarse los modelos basados en el Principio de Extensión y los modelos simbólicos. Ambos modelos producen una pérdida de información al operar con la información lingüística y, por tanto, generan una falta de precisión en los resultados obtenidos a través de los mismos¹⁴.

El modelo de representación lingüístico basado en 2-tuplas¹⁵ está fundamentado en el concepto de traslación simbólica y permite operar con etiquetas lingüísticas sin pérdida de información. Este modelo de representación facilita las operaciones sobre 2-tuplas y tiene un modelo computacional asociado¹⁶, del cual se ha demostrado que las operaciones con etiquetas con semántica triangular y simétricas se realizan sin pérdida de información.

Este modelo representa la información lingüística mediante 2-tuplas (s_i, α_i) donde s_i representa la etiqueta lingüística y α_i es el valor numérico

¹⁴Véase Antes [2].

¹⁵Véase Herrera y Martínez [54].

¹⁶Véase Herrera y Martínez [55]

de la traslación simbólica.

A continuación se presentan las funciones que permiten transformar etiquetas lingüísticas, representadas mediante 2-tuplas, en valores numéricos y viceversa.

Definición 2.6 Sea $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos. El conjunto de 2-tuplas asociado a S está definido por $\langle S \rangle = S \times [-0,5, 0,5]$. La función $\Delta_S : [0, g] \longrightarrow \langle S \rangle$ está definida por

$$\Delta_S(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ con } \begin{cases} i = \text{round}(\beta), \\ \alpha = \beta - i, \end{cases}$$

donde *round* asigna a β el número entero $i \in \{0, 1, \dots, g\}$ más cercano a β . Así, la 2-tupla lingüística $(s_i, \alpha_i) \in \langle S \rangle$, que expresa la información equivalente a un valor numérico $\beta \in [0, g]$ en el intervalo de granularidad de S , se obtiene usando la función Δ_S .

Observación 2.3 Nótese que Δ_S es biyectiva y $\Delta_S^{-1} : \langle S \rangle \longrightarrow [0, g]$ está definida¹⁷ por $\Delta_S^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha$. Así, toda 2-tupla de $\langle S \rangle$ estará identificada con un valor numérico en el intervalo $[0, g]$.

A continuación se muestra un ejemplo para ilustrar el funcionamiento de las funciones Δ_S y Δ_S^{-1} , anteriormente definidas.

¹⁷Véanse Herrera y Martínez [54, 55].

Ejemplo 2.1 Sea $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4\}$ un conjunto de términos lingüísticos. La representación de los valores 2,3, 2,5 y 1,8 mediante 2-tuplas lingüísticas es $\Delta_S(2,3) = (s_2, 0,3)$, $\Delta_S(2,5) = (s_3, -0,5)$ y $\Delta_S(1,8) = (s_2, -0,2)$, respectivamente. Análogamente, $\Delta_S^{-1}(s_1, 0,4) = 1,4$ y $\Delta_S^{-1}(s_4, -0,1) = 3,9$.

Observación 2.4 La aplicación $S \longrightarrow \langle S \rangle$ que transforma un término lingüístico s_i en la 2-tupla $(s_i, 0)$ es inyectiva. Por otro lado, $\Delta_S(i) = (s_i, 0)$ y $\Delta_S^{-1}(s_i, 0) = i$, para cada $i \in \{0, 1, \dots, g\}$.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el modelo de representación de información lingüística basado en 2-tuplas lingüísticas tiene un modelo computacional asociado¹⁸ que permite tanto la agregación de 2-tuplas como la comparación entre pares de 2-tuplas. En primer lugar, los operadores de agregación utilizados asignarán una 2-tupla lingüística a cada conjunto de 2-tuplas lingüísticas y después los resultados podrán ser ordenados. En Herrera y Martínez [54] se recogen diferentes operadores de agregación numéricos y simbólicos, entre los que cabe destacar el operador OWA 2-tupla.

Definición 2.7 Dado un vector de pesos $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_m) \in [0, 1]^m$, tal que $\sum_{i=1}^m w_i = 1$, el *operador OWA 2-tupla asociado a \mathbf{w}* es la función de

¹⁸Véanse Herrera y Martínez [54, 55].

agregación $G^w : \langle S \rangle^m \longrightarrow \langle S \rangle$ dada por

$$G^w((s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m)) = \Delta_S \left(\sum_{i=1}^m w_i \beta_i^* \right),$$

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

En el caso de la comparación y ordenación de 2-tuplas lingüísticas, el proceso se llevará a cabo de acuerdo al siguiente orden lexicográfico.

Definición 2.8 Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos.

La relación binaria \succ sobre $\langle S \rangle$ está definida como

$$(s_k, \alpha_k) \succ (s_l, \alpha_l) \Leftrightarrow \begin{cases} k > l \\ \text{o} \\ k = l \text{ y } \alpha_k > \alpha_l. \end{cases}$$

2.3. Agregación de la información

Habitualmente los procesos de toma de decisiones cuentan con diferentes fases¹⁹. Una de ellas es la de agregación, cuyo objetivo fundamental consiste en obtener valoraciones colectivas a partir de valoraciones individuales mediante el uso de operadores de agregación. Para obtener resultados aceptables en el proceso de agregación es necesario considerar operadores de agregación que cumplan ciertas propiedades.

En esta sección se introduce la definición de operador de agregación y las principales propiedades que puede satisfacer, así como algunos de los

¹⁹Véase la Figura 1.1.

operadores de agregación más comunes, entre los que se encuentran aquéllos que serán utilizados posteriormente en esta memoria²⁰.

A lo largo de esta sección se utilizará la siguiente notación $\mathbf{u} = (u_1, \dots, u_n)$, $\mathbf{v} = (v_1, \dots, v_n)$, $\mathbf{1} = (1, \dots, 1)$, $\mathbf{0} = (0, \dots, 0)$, $u \cdot \mathbf{1} = (u, \dots, u)$ y con $\mathbf{u} \geq \mathbf{v}$ se denotará $u_i \geq v_i$ para cualquier $i \in \{1, \dots, n\}$.

Definición 2.9 Dado $n \in \mathbb{N}$, se denomina *operador de agregación* a toda aplicación $F_n : [0, 1]^n \longrightarrow [0, 1]$.

A continuación se presentan algunas de las propiedades deseables de los operadores de agregación en los procesos de toma de decisiones multicriterio²¹.

Definición 2.10 Sea $F_n : [0, 1]^n \longrightarrow [0, 1]$ un operador de agregación.

1. F_n es *anónimo* si para toda biyección $\pi : \mathbb{N} \longrightarrow \mathbb{N}$ y todo $\mathbf{u} \in [0, 1]^n$:

$$F_n(u_{\pi(1)}, \dots, u_{\pi(n)}) = F_n(\mathbf{u}).$$

2. F_n es *monótono* si para cualesquiera $\mathbf{u}, \mathbf{v} \in [0, 1]^n$:

$$\mathbf{u} \geq \mathbf{v} \Rightarrow F_n(\mathbf{u}) \geq F_n(\mathbf{v}).$$

3. F_n es *unánime* si para todo $u \in [0, 1]$: $F_n(u \cdot \mathbf{1}) = u$.

²⁰Véase Calvo, Kolesàrova, Komorníková y Mesiar [19].

²¹Véanse, por ejemplo, Marichal [74] y García Lapresta y Marques Pereira [46].

4. F_n es *continuo* si es una función continua en el sentido habitual.
5. F_n es *compensativo* si para todo $\mathbf{u} \in [0, 1]^n$:

$$\min\{u_1, \dots, u_n\} \leq F_n(\mathbf{u}) \leq \max\{u_1, \dots, u_n\}.$$

6. F_n es *auto-dual* si para todo $\mathbf{u} \in [0, 1]^n$:

$$F_n(\mathbf{1} - \mathbf{u}) = 1 - F_n(\mathbf{u}).$$

Observación 2.5 Sea $F_n : [0, 1]^n \longrightarrow [0, 1]$ un operador de agregación.

- Si F_n es compensativo, entonces F_n es unánime.
- Si F_n es monótono, entonces F_n es unánime si y sólo si F_n es compensativo.
- Si F_n es auto-dual, entonces $F_n(\mathbf{1}) = 1$ equivale a $F_n(\mathbf{0}) = 0$.

A continuación se presentan algunos de los operadores de agregación más comunes, así como algunas de sus propiedades.

Media aritmética

Definición 2.11 La *media aritmética* es el operador de agregación $F_n : [0, 1]^n \longrightarrow [0, 1]$ definido por

$$F_n(\mathbf{u}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i$$

para todo $\mathbf{u} \in [0, 1]^n$.

Observación 2.6 Entre otras propiedades, el operador media aritmética es anónimo, monótono, unánime, continuo, compensativo²², y auto-dual.

Medias ponderadas

Las medias ponderadas son una extensión de la media aritmética.

Definición 2.12 Dado un vector de pesos $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_n) \in [0, 1]^n$ tal que $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, el operador *media ponderada asociado a \mathbf{w}* es el operador de agregación $F_n^{\mathbf{w}} : [0, 1]^n \rightarrow [0, 1]$ definido por

$$F_n^{\mathbf{w}}(\mathbf{u}) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot u_i$$

para todo $\mathbf{u} \in [0, 1]^n$.

Observación 2.7 El operador media ponderada es monótono, unánime, continuo, compensativo y auto-dual, pero no necesariamente anónimo (la única media ponderada que es anónima es la media aritmética).

²²En García Lapresta y Llamazares [44] se proporciona una caracterización axiomática de dicho operador.

Medias cuasiaritméticas

Las medias cuasiaritméticas permiten obtener como casos particulares de ellas la media aritmética, la media armónica, la media geométrica y la media potencial.

Definición 2.13 Una función $\varphi : [0, 1] \longrightarrow [0, 1]$ es un *automorfismo de orden* si es biyectiva y creciente.

Observación 2.8 Si φ es un automorfismo de orden, entonces φ es continuo, estrictamente creciente y verifica $\varphi(0) = 0$ y $\varphi(1) = 1$; además φ^{-1} es también un automorfismo de orden con las mismas propiedades²³.

Definición 2.14 Dado un automorfismo de orden $\varphi : [0, 1] \longrightarrow [0, 1]$, la *media cuasiaritmética asociada* a φ es el operador de agregación $F_n^\varphi : [0, 1]^n \longrightarrow [0, 1]$ definido por

$$F_n^\varphi(\mathbf{u}) = \varphi^{-1} \left(\frac{\varphi(u_1) + \cdots + \varphi(u_n)}{n} \right)$$

para todo $\mathbf{u} \in [0, 1]^n$.

Es fácil comprobar que F_n^φ es siempre anónimo, monótono, unánime, continuo y compensativo. En García Lapresta y Llamazares [45] se demuestra que para todo automorfismo de orden $\varphi : [0, 1] \longrightarrow [0, 1]$, F_n^φ es auto-dual si y sólo si se verifica $\varphi(1 - u) = 1 - \varphi(u)$ para todo $u \in [0, 1]$.

²³Véase García Lapresta y Llamazares [44].

Medias ponderadas ordenadas: OWAs

En 1988 Yager [97] introdujo los operadores OWA (*Order Weighted Averaging*) como un instrumento de agregación en la toma de decisiones multi-criterio. Los operadores OWA son similares a los operadores media ponderada, aunque los valores que toman las variables se ordenan previamente de forma decreciente y, contrariamente a lo que ocurre en las medias ponderadas, los pesos no están asociados a ninguna variable en concreto.

Definición 2.15 Dado un vector de pesos $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_n) \in [0, 1]^n$ tal que $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, el operador *media ponderada ordenada*²⁴ (OWA) asociado a \mathbf{w} es el operador de agregación $F_n^{\mathbf{w}} : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ definido por

$$F_n^{\mathbf{w}}(\mathbf{u}) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v_i$$

donde v_i es el i -ésimo mayor elemento de $\{u_1, \dots, u_n\}$.

Observación 2.9 Los operadores OWA satisfacen algunas propiedades interesantes como anonimato, monotonía, unanimidad, continuidad y compensatividad. Por otra parte, $F_n^{\mathbf{w}}$ es auto-dual²⁵ si y sólo si $w_{m+1-i} = w_i$ para todo $i \in \{1, \dots, \lfloor \frac{m}{2} \rfloor\}$.

²⁴Véase Yager [97].

²⁵Véase García Lapresta y Llamazares [45, Prop. 5].

Los vectores de pesos utilizados en los operadores OWA pueden ser determinados de diferentes maneras, siendo una de las más comunes la propuesta por Yager [97] mediante el uso de cuantificadores lingüísticos.

Definición 2.16 Un *cuantificador lingüístico relativo* se define como la función $Q : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ dada por

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

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

Se puede comprobar fácilmente²⁶ que $Q(0) = 0$ y $Q(1) = 1$. Además, Q es monótono: $Q(x) \geq Q(y)$ para cualesquiera $x, y \in [0, 1]$ tales que $x \geq y$.

Los pesos asociados al operador OWA F^w son determinados de la siguiente manera²⁷:

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

donde Q está definido tal y como aparece en la Definición 2.16.

²⁶Véase Zadeh [103].

²⁷Véase Yager [97].

Algunos ejemplos de cuantificadores lingüísticos no-decrecientes²⁸ son:

- “La mayoría” con $(a, b) = (0,3, 0,8)$.
- “Al menos la mitad” con $(a, b) = (0, 0,5)$.
- “Tanto como sea posible” con $(a, b) = (0,5, 1)$.

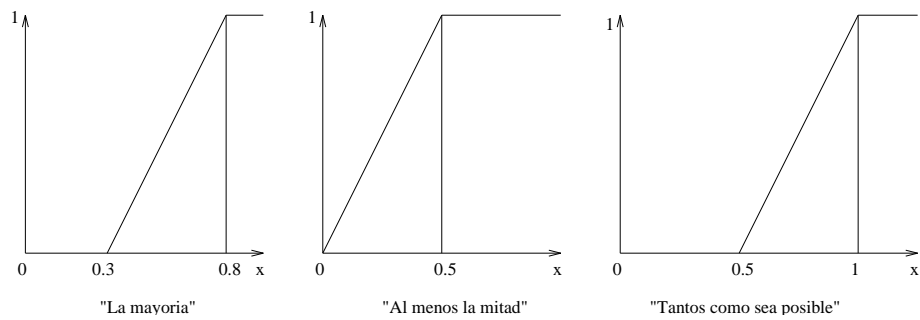


Figura 2.6: Ejemplos de cuantificadores lingüísticos no-decrecientes

²⁸Véase la Figura 2.6.

Capítulo 3

Un modelo de evaluación del desempeño basado en técnicas de Programación por Metas

Uno de los objetivos principales de esta memoria se centra en la mejora de los procesos de evaluación de 360-grados utilizados en la actualidad por las empresas. En este capítulo se desarrollará un modelo de evaluación integral donde las valoraciones emitidas por los diversos evaluadores serán numéricas, siguiendo la metodología tradicional¹, aunque introduciendo como innovación en la misma un proceso de agregación basado en técnicas propias de la Programación por Metas. El resultado obtenido proporciona a las empresas una mayor flexibilidad en la agregación de las evaluaciones, permitiéndolas clasificar y ordenar a los empleados atendiendo a criterios de

¹Véanse Chiavenato [29], Fisher, Schoenfeldt y Shaw [40] y Mondy y Noe [80].

eficiencia y equidad.

3.1. La Programación por Metas

Los problemas decisionales con múltiples atributos, variables de decisión y restricciones no son tratables computacionalmente a través de métodos de optimización multi-objetivo, por lo que deben ser abordados utilizando otro tipo de metodologías más flexibles. Dentro de esta línea metodológica puede incluirse la *Programación por Metas* (PM) o *Goal Programming*. La PM no se basa en la optimización de los objetivos sino en una *filosofía satisfaciente*². Esta corriente afirma que los problemas decisionales, presentes en las organizaciones y empresas actuales, carecen normalmente de información completa, cuentan con múltiples objetivos (que además presentan conflictividad entre ellos), recursos limitados, etc. Dados estos supuestos de partida, es muy difícil que el centro decisor sea capaz de establecer una función objetivo o, si la estableciera, que fuera capaz de optimizarla. De esta manera, el centro decisor intentará establecer soluciones eficientes que se aproximen lo más posible a los niveles de aspiración fijados de antemano.

La PM dio sus primeros pasos en 1955 de la mano de Charnes, Cooper y Ferguson [25], aunque no fue hasta 1961 cuando dos de los anteriores

²Línea de análisis propuesta por Herbert Simon [92].

autores, Charnes y Cooper, desarrollaron con profundidad el concepto de PM en su libro *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*³. Pese a los claros y potentes resultados obtenidos por Charnes y Cooper, la PM no obtuvo popularidad hasta mediados de los setenta, debido sobre todo a los trabajos de Irijí [61], Lee [67] e Ignizio [59]. Se ha de destacar que fue Ignizio [59] el primer autor en desarrollar e interpretar modelos de PM siguiendo la filosofía satisfactoria de Simon [92].

3.1.1. Estructura general de un modelo de Programación por Metas

Antes de introducir el esquema general de un modelo de PM es necesario introducir algunas definiciones para desarrollos posteriores del presente capítulo de la memoria. A continuación, se revisará la estructura y las diferentes metodologías usadas en algunos de los modelos de la PM.

Al igual que acaece en los demás métodos o enfoques de la teoría multi-criterio, se supondrá un problema general que cuenta con p objetivos, siendo $f_i(\mathbf{x})$ la expresión matemática que representa el atributo⁴ i -ésimo. La estructura algebraica genérica para el objetivo i -ésimo será⁵:

$$f_i(\mathbf{x}) + \eta_i - \rho_i = f_i^*$$

³Véase Charnes y Cooper [24].

⁴Véase 2.1.1.

⁵Véase Charnes y Cooper [24].

donde f_i^* representa el valor de aspiración para el atributo i -ésimo, η_i es la variable de desviación negativa, que representa la falta de logro del atributo i -ésimo con respecto al valor de aspiración f_i^* , y ρ_i representa la variable de desviación positiva, que cuantifica el exceso de logro del atributo i -ésimo con respecto al nivel de aspiración⁶ f_i^* .

Una vez que el centro decisor ha establecido los objetivos y ha formulado la estructura de los mismos, es necesario que establezca qué variables de desviación son no deseadas. Se considera que una variable de desviación es *no deseada* cuando el centro decisor desea la minimización de la misma. En este sentido pueden distinguirse los siguientes casos:

- Si el objetivo proviene de un atributo del estilo “más del atributo es mejor”, es decir si la meta tiene la forma $f_i(\mathbf{x}) \geq f_i^*$, el centro decisor considerará que la variable de desviación no deseada es la variable de desviación negativa y, por tanto, intentará minimizarla.
- Si el objetivo proviene de un atributo del estilo “menos del atributo es mejor” ($f_i(\mathbf{x}) \leq f_i^*$), el centro decisor considerará como variable no deseada la variable de desviación positiva e intentará minimizarla.
- Si el objetivo proviene de un atributo que implica alcanzar exactamente el nivel de aspiración ($f_i(\mathbf{x}) = f_i^*$), ambas variables de desviación son no deseadas y, por tanto, deben ser minimizadas.

⁶Véanse Ignizio [59] y Romero [84].

3.1.2. Metodologías en la Programación por Metas

Uno de los objetivos básicos de la PM es la minimización de las variables de desviación no deseadas⁷. La resolución de este tipo de problemas puede efectuarse mediante la utilización de diferentes procedimientos, todos ellos variantes de la PM: *Programación por Metas Ponderadas*, *Programación por Metas Lexicográficas* y *Programación por Metas MINIMAX*. A continuación se llevará a cabo una breve revisión de los mismos.

Programación por Metas Ponderadas

Esta técnica minimiza la suma ponderada de las variables desviación no deseadas, lo que la convierte en la manera más intuitiva de realizar la resolución del problema⁸. En este tipo de técnicas el peso asociado a cada objetivo viene dado por el centro decisor en función de la importancia que éste desee asignar a dicho objetivo en el problema. Así, la estructura de un problema de PM ponderadas será:

⁷Véase Romero [87].

⁸Véase Ignizio [59].

$$\min \sum_{i=1}^p (\alpha_i \eta_i + \beta_i \rho_i)$$

sujeto a:

$$f_1(\mathbf{x}) + \eta_1 - \rho_1 = y^1$$

.....

$$f_p(\mathbf{x}) + \eta_p - \rho_p = y^p$$

$$\mathbf{x} \in F$$

$$\eta_1 \geq 0, \dots, \eta_p \geq 0$$

$$\rho_1 \geq 0, \dots, \rho_p \geq 0$$

donde α_i y β_i representan los pesos asociados a las variables de desviación negativa y positiva para el objetivo i -ésimo, respectivamente y F el conjunto de restricciones duras del problema. Los pesos asociados a las variables de desviación negativa, α_i , tomarán el valor 0 cuando el centro decisor desee que el logro de la meta i -ésima sea mayor que el nivel de aspiración establecido para dicha meta. Los pesos asociados a las variables de desviación positiva, β_i , tomarán el valor 0 cuando el centro decisor desee que el logro de la meta i -ésima sea menor que el nivel de aspiración establecido para dicha meta.

Programación por Metas Lexicográficas

En este procedimiento las metas son ordenadas por el centro decisor para su cumplimiento en función del grado de necesidad de satisfacción de las mismas. El centro decisor establece *prioridades excluyentes*⁹ (*pre-emptive priorities*) sobre las diferentes metas o, lo que es lo mismo, el logro de metas con prioridad de cumplimiento más alta es más deseado por el centro decisor que el logro de metas con prioridad de cumplimiento más baja. Sólo cuando las metas con prioridad de cumplimiento más alta son satisfechas, las metas con prioridad menor pueden ser consideradas por el centro decisor.

Con el objetivo de definir correctamente los métodos basados en la programación por metas lexicográficas es necesario introducir un concepto importante dentro de este tipo de análisis, la *función de logro* (*achievement function*), que estará constituida por un vector ordenado¹⁰ que reemplaza la función objetivo de los modelos tradicionales. Las componentes de la función de logro representarán las variables de desviación no deseadas (o que se desean minimizar), con el objetivo de lograr la máxima consecución de las metas correspondientes a los niveles de prioridad establecidos.

⁹Véase Romero [85].

¹⁰La dimensión de este vector viene dada en función del número de niveles de prioridad establecidos por el centro decisor.

Programación por Metas MINIMAX

El último procedimiento de la PM que será revisado en esta memoria es el sugerido por Flavell [41] en 1976 como enfoque alternativo a los presentados previamente, la Programación por Metas Ponderadas y Lexicográficas. Esta técnica consiste en minimizar la máxima desviación entre las desviaciones individuales existentes para cada meta, es decir, únicamente el centro decisor tendrá en cuenta la desviación mayor para el proceso de minimización¹¹. La estructura de este modelo será:

$$\begin{aligned}
 & \min D \\
 & \text{sujeto a:} \\
 & \alpha_1 \eta_1 + \beta_1 \rho_1 \leq D \\
 & \dots\dots\dots \\
 & \alpha_p \eta_p + \beta_p \rho_p \leq D \\
 & f_1(\mathbf{x}) + \eta_1 - \rho_1 = y^1 \\
 & \dots\dots\dots \\
 & f_p(\mathbf{x}) + \eta_p - \rho_p = y^p \\
 & \mathbf{x} \in F \\
 & \eta_1 \geq 0, \dots, \eta_p \geq 0 \\
 & \rho_1 \geq 0, \dots, \rho_p \geq 0
 \end{aligned}$$

¹¹Véanse Tamiz, Jones y Romero [93] y Romero [86].

donde D representa la máxima desviación.

3.2. Un modelo de evaluación de 360-grados con múltiples escalas mediante la utilización de técnicas de Programación por Metas

En esta sección se propone un modelo de evaluación del desempeño basado en un esquema clásico¹² dentro de la teoría de la decisión¹³. En la Figura 3.1 se ilustran las fases generales de un modelo de evaluación de 360-grados con múltiples escalas numéricas, siendo las principales:

1. Definición del marco de evaluación.
2. Fase de agregación.
 - a) *Proceso de normalización de la información.* Nuestra propuesta considera que los evaluadores pueden expresar su opinión sobre los diferentes empleados mediante diferentes escalas numéricas atendiendo al conocimiento que tengan sobre el empleado a evaluar. De esta manera, y antes de llevar a cabo el proceso de agregación de la información, es necesario estandarizar o

¹²Véase la Figura 1.1.

¹³Véanse Clemen [30] y Martínez [76].

normalizar toda la información recopilada en el proceso de evaluación en el intervalo $[0, 1]$.

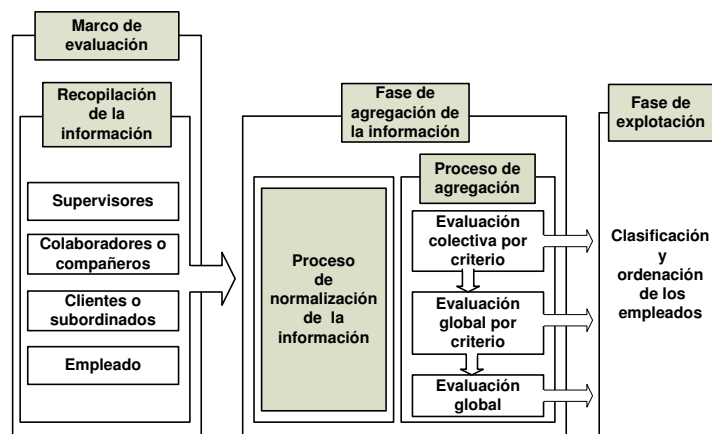


Figura 3.1: Modelo de evaluación del desempeño 360-grad con información numérica

- b) *Proceso de agregación.* Un vez que toda la información ha sido normalizada, el proceso de agregación de la información se desarrolla siguiendo la metodología propuesta en 1.3.1. En este caso el operador de agregación utilizado en dicho proceso está basado en técnicas propias de la PM y en los trabajos de González-Pachón y Romero [48] y Romero [86]. Así, para obtener una valoración global para cada empleado x_j se llevará a cabo un proceso de agregación con tres etapas diferentes:

- 1) Cálculo de las *evaluaciones colectivas para cada criterio* (véase el Cuadro 1.1).
- 2) Cálculo de las *evaluaciones globales para cada criterio* (véase el Cuadro 1.2).
- 3) Finalmente, en la tercera y última etapa del proceso de agregación se calculan las *evaluaciones globales* (véase el Cuadro 1.3).

3. *Fase de explotación.* En esta fase del proceso de evaluación la empresa llevará a cabo el proceso de clasificación y ordenación de los empleados x_1, \dots, x_n atendiendo a las diferentes evaluaciones obtenidas en las múltiples etapas del proceso de agregación en función de los objetivos fijados por el Departamento de Recursos Humanos y las necesidades establecidas por la empresa.

A continuación se introducirá en detalle la notación y fases que se utilizarán para el desarrollo del modelo, siguiendo lo propuesto en el capítulo 1 de esta memoria.

3.2.1. Marco de evaluación

En este modelo los diferentes evaluadores realizarán sus valoraciones mediante diferentes escalas numéricas de acuerdo a su grado de conocimiento

sobre el empleado a evaluar. Así, se asume que cada colectivo de evaluadores puede utilizar diferentes escalas numéricas, L_-^k , para expresar sus opiniones sobre el empleado x_j en relación al criterio Y_k :

- $a_j^{ik} \in L_A^k \subset \mathbb{R}$ para cada $i \in \{1, \dots, r\}$ y cada $j \in \{1, \dots, n\}$.
- $b_j^{ik} \in L_B^k \subset \mathbb{R}$ para cada $i \in \{1, \dots, s\}$ y cada $j \in \{1, \dots, n\}$.
- $c_j^{ik} \in L_C^k \subset \mathbb{R}$ para cada $i \in \{1, \dots, t\}$ y cada $j \in \{1, \dots, n\}$.
- $x_j^{jk} \in L_X^k \subset \mathbb{R}$ para cada $j \in \{1, \dots, n\}$.

3.2.2. Fase de agregación

En los siguientes apartados serán presentados detalladamente los dos procesos que forman parte de la fase de agregación¹⁴.

3.2.2.1. Proceso de normalización de la información

Tal y como se ha mencionado previamente, los múltiples evaluadores que toman parte en un proceso de evaluación de 360-grados tienen diferentes grados de conocimiento sobre los empleados a evaluar. Por eso, y asumiendo el hecho de que cada colectivo podrá emplear diferentes escalas numéricas en función de ese conocimiento, es necesario realizar un proceso de normalización de la información con el objetivo de agregar adecuadamente la

¹⁴Véase la Figura 3.1.

información recopilada. El proceso de normalización será realizado mediante la normalización o estandarización de toda la información en el intervalo $[0, 1]$ mediante el siguiente procedimiento:

- La escala utilizada por el colectivo de los supervisores para evaluar a los empleados para el criterio Y_k es:

$$L_A^k = \{l_1^{Ak}, \dots, l_f^{Ak}\} \subset \mathbb{R}, \quad l_1^{Ak} < \dots < l_f^{Ak},$$

siendo \bar{L}_A^k la escala previa normalizada y definida como:

$$\bar{L}_A^k = \{\bar{l}_1^{Ak}, \dots, \bar{l}_f^{Ak}\} \subset [0, 1],$$

donde

$$\bar{l}_m^{Ak} = \frac{l_m^{Ak} - l_1^{Ak}}{l_f^{Ak} - l_1^{Ak}} \in [0, 1], \quad m = 1, \dots, f.$$

- La escala usada por los colaboradores para evaluar a los empleados en el criterio Y_k es:

$$L_B^k = \{l_1^{Bk}, \dots, l_g^{Bk}\} \subset \mathbb{R}, \quad l_1^{Bk} < \dots < l_g^{Bk},$$

siendo \bar{L}_B^k la escala previa normalizada y definida como:

$$\bar{L}_B^k = \{\bar{l}_1^{Bk}, \dots, \bar{l}_g^{Bk}\} \subset [0, 1],$$

donde

$$\bar{l}_m^{Bk} = \frac{l_m^{Bk} - l_1^{Bk}}{l_g^{Bk} - l_1^{Bk}} \in [0, 1], \quad m = 1, \dots, g.$$

- La escala usada por los clientes para evaluar a los empleados en el criterio Y_k es:

$$L_C^k = \{l_1^{Ck}, \dots, l_h^{Ck}\} \subset \mathbb{R}, \quad l_1^{Ck} < \dots < l_h^{Ck}.$$

La escala previa normalizada es definida como:

$$\bar{L}_C^k = \{\bar{l}_1^{Ck}, \dots, \bar{l}_h^{Ck}\} \subset [0, 1],$$

donde

$$\bar{l}_m^{Ck} = \frac{l_m^{Ck} - l_1^{Ck}}{l_h^{Ck} - l_1^{Ck}} \in [0, 1], \quad m = 1, \dots, h.$$

Después del proceso de normalización toda la información recopilada durante la evaluación estará expresada en el intervalo $[0, 1]$ y podrá ser agregada.

3.2.2.2. Proceso de agregación de la información: agregación con técnicas de Programación por Metas

El proceso de agregación multi-etapas propuesto en 1.3.1 puede ser desarrollado siguiendo diferentes metodologías¹⁵, aunque en este capítulo se sugerirá realizarlo mediante un método de agregación basado en distancias y en el que se usarán técnicas procedentes de la PM.

¹⁵Véanse Beliakov, Pradera y Calvo [7], Calvo, Kolesàrova, Komorníková y Mesiar [19] y Fodor y Roubens [43], entre otros.

Con el objetivo de presentar el proceso de agregación previamente mencionado, a continuación se introduce la metodología utilizada para agregar la información siguiendo la notación propia de los modelos de PM¹⁶.

Sea y^* el valor objetivo a determinar para el conjunto de valoraciones individuales $\{y^1, \dots, y^m\}$. Se obtendrá y^* mediante la formulación de un método de agregación basado en distancias¹⁷, que mida la discrepancia entre los valores individuales y^1, \dots, y^m y el valor objetivo deseado y^* .

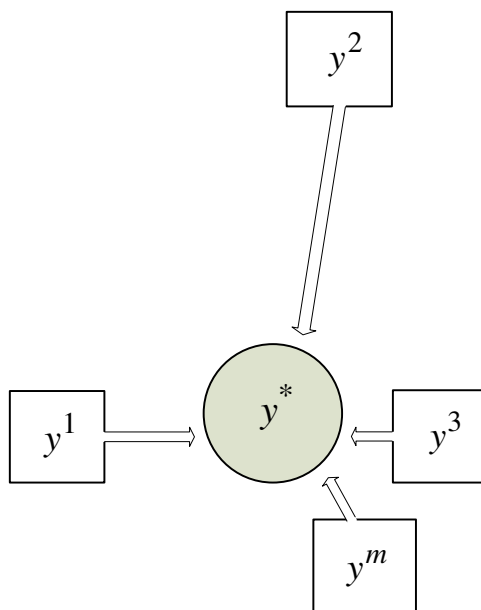


Figura 3.2: *Propuesta de agregación basada en distancias*

¹⁶Véase 3.1.

¹⁷Véase la Figura 3.2.

El problema de agregación señalado anteriormente se transforma en otro formulado para la métrica de Minkowski¹⁸ L_q :

$$\min d\left((y^1, \dots, y^m), (y^*, \dots, y^*)\right) = \min \left(\sum_{i=1}^m w_i^q |y^i - y^*|^q \right)^{1/q},$$

donde w_i es el parámetro ligado a la discrepancia entre el logro del criterio i -ésimo y el valor objetivo. La resolución de este tipo de problemas no es sencilla, ya que se trata de una función no lineal y no diferenciable.

Con objeto de evitar algunas de las desventajas que presenta la función anterior, el problema previo puede ser transformado en un problema típico de PM ponderadas¹⁹:

$$\min \sum_{i=1}^m (w_i(\eta_i + \rho_i))^q \quad (3.1)$$

sujeto a:

$$y^* + \eta_1 - \rho_1 = y^1$$

.....

$$y^* + \eta_m - \rho_m = y^m$$

$$0 \leq y^* \leq 1$$

$$\eta_1 \geq 0, \dots, \eta_m \geq 0$$

$$\rho_1 \geq 0, \dots, \rho_m \geq 0$$

¹⁸Véase Yu [100].

¹⁹Véanse Dopazo y González-Pachón [32], González-Pachón y Romero [48, 49] y Romero [84].

donde η_i y ρ_i son las correspondientes variables de desviación negativas y positivas, respectivamente, que miden la diferencia entre el valor objetivo y los valores individuales.

Resulta fácilmente comprobable el hecho de que pueden obtenerse diferentes valores objetivo y^* , según la métrica L_q utilizada:

- Si se consideran valores bajos de q , el problema pondrá más atención en los valores medios.

- Si se consideran valores altos de q , el problema prestará más atención a los valores extremos. En el caso límite de considerar $q = \infty$, el problema se transformaría en uno con formulación MINIMAX (Chebyshev), donde se minimiza el desacuerdo entre las valoraciones más opuestas²⁰:

²⁰Véanse Ignizio y Caliver [60] y Romero [86].

$$\min D \tag{3.2}$$

sujeto a:

$$w_1(\eta_1 + \rho_1) \leq D$$

.....

$$w_m(\eta_m + \rho_m) \leq D$$

$$y^* + \eta_1 - \rho_1 = y^1$$

.....

$$y^* + \eta_m - \rho_m = y^m$$

$$0 \leq y^* \leq 1$$

$$\eta_1 \geq 0, \dots, \eta_m \geq 0$$

$$\rho_1 \geq 0, \dots, \rho_m \geq 0.$$

Así, el parámetro q muestra el grado de sensibilidad sobre el desacuerdo entre el valor objetivo y las valoraciones individuales.

Uno de los asuntos clave en esta clase de problemas multi-criterio es justamente la selección del parámetro q , el cual recoge la esencia de los problemas reales. En Romero [86] se propone una estructura general de PM llamada *Extended Goal Programming*, la cual incluye los casos mostrados en

(3.1) y (3.2):

$$\min (1 - \lambda) D + \lambda \sum_{i=1}^m (w_i(\eta_i + \rho_i))^q \quad (3.3)$$

sujeito a:

$$w_1(\eta_1 + \rho_1) \leq D$$

.....

$$w_m(\eta_m + \rho_m) \leq D$$

$$y^* + \eta_1 - \rho_1 = y^1$$

.....

$$y^* + \eta_m - \rho_m = y^m$$

$$0 \leq y^* \leq 1$$

$$\eta_1 \geq 0, \dots, \eta_m \geq 0$$

$$\rho_1 \geq 0, \dots, \rho_m \geq 0,$$

donde $\lambda \in [0, 1]$ representa el balance entre la minimización de la máxima falta de acuerdo y la minimización de la suma ponderada de las variables de desviación en relación con los valores objetivo.

Evidentemente, según los valores que tome el parámetro λ , pueden obtenerse muy diversas soluciones del problema²¹.

- Para $\lambda = 0$, el problema general se transforma en la minimización de la máxima desviación entre los valores objetivos y las valoraciones

²¹Véase Romero [86].

individuales. Así el problema se convierte en una formulación MINIMAX (Chebyshev). La solución obtenida en este tipo de contextos es la más equitativa (*máxima equidad*).

- Para $\lambda = 1$, el problema presta más atención a las valoraciones individuales más cercanas a los valores objetivos y, por tanto, la solución obtenida en este tipo de problemas será la más eficiente (*máxima eficiencia*).
- Para $\lambda \in (0, 1)$, se obtienen soluciones intermedias²².

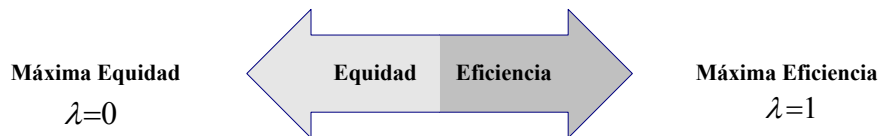


Figura 3.3: *Equidad vs Eficiencia*

Observación 3.1 Es importante señalar que el operador de agregación propuesto $\mathbf{A}^\lambda : [0, 1]^m \longrightarrow [0, 1]$, definido por $\mathbf{A}^\lambda(y^1, \dots, y^m) = y^*$, satisface algunas propiedades interesantes²³:

1. \mathbf{A}^λ es *unánime* (o *idempotente*): $\mathbf{A}^\lambda(y, \dots, y) = y$ para todo $y \in [0, 1]$.

²²Véase la Figura 3.3.

²³Véanse Beliakov, Pradera y Calvo [7] y Calvo, Kolesàrova, Komorníková y Mesiar [19].

2. \mathbf{A}^λ es *monótono*: $\mathbf{A}^\lambda(y^1, \dots, y^m) \leq \mathbf{A}^\lambda(z^1, \dots, z^m)$ para cualesquiera $(y^1, \dots, y^m), (z^1, \dots, z^m) \in [0, 1]^m$ tales que $y^i \leq z^i$ para todo $i \in \{1, \dots, m\}$.

3. \mathbf{A}^λ es *compensativo*: para todo $(y^1, \dots, y^m) \in [0, 1]^m$:

$$\min\{y^1, \dots, y^m\} \leq \mathbf{A}^\lambda(y^1, \dots, y^m) \leq \max\{y^1, \dots, y^m\}.$$

Dado que la estructura general propuesta por Romero [86] es capaz de capturar los rasgos y las características esenciales de los problemas reales, y permite al centro decisor considerar diferentes grados de eficiencia y equidad en las soluciones de sus problemas, en esta memoria, y más concretamente en la siguiente sección, será utilizada la formulación propuesta por Romero en el proceso de agregación, aunque únicamente se considerará $q = 1$ con el objetivo de evitar algunos problemas computacionales.

A continuación se mostrará cómo se desarrolla el proceso de agregación en este modelo. Para este propósito se utilizará la formulación *Extended Goal Programming* propuesta por Romero en [87].

1. *Cálculo de las valoraciones colectivas correspondientes a los diferentes conjuntos de evaluadores para cada criterio, $v_-^k(x_j)$* . Para cada empleado x_j , criterio Y_k y colectivo de evaluadores, agregamos las opiniones individuales utilizando el problema mostrado en (3.3).

- *Valoraciones de los superiores:*

$$v_A^k(x_j) = \mathbf{A}^{\lambda_A^k} (a_j^{1k}, \dots, a_j^{rk}) = a_j^{*k} \in [0, 1].$$

La obtención del valor anterior será realizada mediante la resolución del siguiente problema

$$\min (1 - \lambda_A^k) D + \lambda_A^k \sum_{i=1}^r (w_i^{Ak} (\eta_{ji} + \rho_{ji}))$$

sujeto a:

$$w_1^{Ak} (\eta_{j1} + \rho_{j1}) \leq D$$

.....

$$w_r^{Ak} (\eta_{jr} + \rho_{jr}) \leq D$$

$$a_j^{*k} + \eta_{j1} - \rho_{j1} = a_j^{1k}$$

.....

$$a_j^{*k} + \eta_{jr} - \rho_{jr} = a_j^{rk}$$

$$0 \leq a_j^{*k} \leq 1$$

$$\eta_{j1} \geq 0, \dots, \eta_{jr} \geq 0$$

$$\rho_{ji} \geq 0, \dots, \rho_{jr} \geq 0.$$

- *Valoraciones de los colaboradores o compañeros:*

$$v_B^k(x_j) = \mathbf{A}^{\lambda_B^k} (b_j^{1k}, \dots, b_j^{sk}) = b_j^{*k} \in [0, 1].$$

La obtención del valor anterior será realizada mediante la

resolución del siguiente problema

$$\min (1 - \lambda_B^k) D + \lambda_B^k \sum_{i=1}^s (w_i^{Bk} (\eta_{ji} + \rho_{ji}))$$

sujeito a:

$$w_1^{Bk} (\eta_{j1} + \rho_{j1}) \leq D$$

.....

$$w_s^{Bk} (\eta_{js} + \rho_{js}) \leq D$$

$$b_j^{*k} + \eta_{j1} - \rho_{j1} = b_j^{1k}$$

.....

$$b_j^{*k} + \eta_{js} - \rho_{js} = b_j^{sk}$$

$$0 \leq b_j^{*k} \leq 1$$

$$\eta_{j1} \geq 0, \dots, \eta_{js} \geq 0$$

$$\rho_{ji} \geq 0, \dots, \rho_{js} \geq 0.$$

- *Valoraciones de los subordinados o clientes:*

$$v_C^k(x_j) = \mathbf{A}^{\lambda_C^k} (c_j^{1k}, \dots, c_j^{tk}) = c_j^{*k} \in [0, 1].$$

La obtención del valor anterior será realizada mediante la

resolución del siguiente problema

$$\min (1 - \lambda_C^k) D + \lambda_C^k \sum_{i=1}^t (w_i^{Ck} (\eta_{ji} + \rho_{ji}))$$

sujeto a:

$$w_1^{Ck} (\eta_{j1} + \rho_{j1}) \leq D$$

.....

$$w_t^{Ck} (\eta_{jt} + \rho_{jt}) \leq D$$

$$c_j^{*k} + \eta_{j1} - \rho_{j1} = c_j^{1k}$$

.....

$$c_j^{*k} + \eta_{jt} - \rho_{jt} = c_j^{tk}$$

$$0 \leq c_j^{*k} \leq 1$$

$$\eta_{j1} \geq 0, \dots, \eta_{jt} \geq 0$$

$$\rho_{j1} \geq 0, \dots, \rho_{jt} \geq 0.$$

Observación 3.2 Aunque el proceso de agregación es similar en cada conjunto de evaluadores, es posible considerar diferentes valores de w_i^- para cada colectivo de evaluadores y cada criterio.

En el mismo sentido, pueden ser considerados diferentes valores de λ^- para cada grupo de evaluadores y cada criterio, λ_A^k , λ_B^k y λ_C^k .

La compañía podría optar por la obtención de diferentes valoraciones globales en función de los valores asignados a λ :

- Si la compañía desea obtener valoraciones equitativas de su proceso de agregación, los valores de λ^- deberían estar cerca de 0.
- Si la compañía desea obtener valoraciones eficientes de su proceso de agregación, los valores de λ^- deberían ser cercanos a 1.

Así, para diferentes valores de w_i^- y λ^- pueden obtenerse diferentes puntos de vista a la hora de obtener la valoración para cada empleado x_j .

2. *Cálculo de las valoraciones globales por criterios, $v^k(x_j)$:*

$$v^k(x_j) = \mathbf{A}^{\lambda^k} (a_j^{*k}, b_j^{*k}, c_j^{*k}) = x_j^{*k} \in [0, 1].$$

La obtención del valor anterior será realizada mediante la resolución

del siguiente problema

$$\min (1 - \lambda^k) D + \lambda^k \sum_{i=1}^3 (w_i^k (\eta_{ji} + \rho_{ji}))$$

sujeto a:

$$w_1^k (\eta_{j1} + \rho_{j1}) \leq D$$

$$w_2^k (\eta_{j2} + \rho_{j2}) \leq D$$

$$w_3^k (\eta_{j3} + \rho_{j3}) \leq D$$

$$x_j^{*k} + \eta_{j1} - \rho_{j1} = a_j^{*k}$$

$$x_j^{*k} + \eta_{j2} - \rho_{j2} = b_j^{*k}$$

$$x_j^{*k} + \eta_{j3} - \rho_{j3} = c_j^{*k}$$

$$0 \leq x_j^{*k} \leq 1$$

$$\eta_{j1} \geq 0, \eta_{j2} \geq 0, \eta_{j3} \geq 0$$

$$\rho_{j1} \geq 0, \rho_{j2} \geq 0, \rho_{j3} \geq 0.$$

Obviamente, pueden considerarse diferentes valores de w_i^k para cada criterio Y_k , y diferentes valores de λ^k .

3. *Cálculo de las valoraciones globales, $v(x_j)$:*

$$v(x_j) = \mathbf{A}^\lambda (x_j^{*1}, \dots, x_j^{*p}) = x_j^* \in [0, 1].$$

La obtención del valor anterior será realizada mediante la resolución

del siguiente problema

$$\min (1 - \lambda) D + \lambda \sum_{i=1}^p (w_i(\eta_{ji} + \rho_{ji}))$$

sujeto a:

$$w_1(\eta_{j1} + \rho_{j1}) \leq D$$

.....

$$w_p(\eta_{jp} + \rho_{jp}) \leq D$$

$$x_j^* + \eta_{j1} - \rho_{j1} = x_j^{*1}$$

.....

$$x_j^* + \eta_{jp} - \rho_{jp} = x_j^{*p}$$

$$0 \leq x_j^* \leq 1$$

$$\eta_{j1} \geq 0, \dots, \eta_{jp} \geq 0$$

$$\rho_{j1} \geq 0, \dots, \rho_{jp} \geq 0.$$

3.2.3. Fase de explotación

En la fase de ordenación y explotación de los resultados, el equipo directivo del Departamento de Recursos Humanos junto con el equipo directivo de la empresa pueden clasificar y ordenar a los empleados x_1, \dots, x_n atendiendo a diferentes valoraciones:

1. Las obtenidas para cada colectivo de evaluadores y cada criterio²⁴.

²⁴Véase el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1: Valoraciones colectivas para cada criterio

Evaluadores	Valoraciones colectivas
Supervisores	$a_1^{*k}, \dots, a_n^{*k}$
Compañeros	$b_1^{*k}, \dots, b_n^{*k}$
Subordinados	$c_1^{*k}, \dots, c_n^{*k}$

2. Las globales para cada criterio²⁵.

Cuadro 3.2: Valoraciones globales para cada criterio

Criterio	Valoraciones globales para cada criterio
Y_1	$x_1^{*1}, \dots, x_n^{*1}$
\dots	$\dots\dots\dots$
Y_p	$x_1^{*p}, \dots, x_n^{*p}$

3. Las globales, x_1^*, \dots, x_n^* .

3.3. Un ejemplo ilustrativo

En esta sección se desarrollará un ejemplo ilustrativo con el fin de mostrar cómo las compañías llevarían a cabo el proceso de evaluación siguiendo el modelo previamente propuesto. Con este fin se propondrá el siguiente marco de evaluación.

²⁵Véase el Cuadro 3.2.

3.3.1. Marco de evaluación

En este ejemplo ilustrativo se supondrá:

- Dos empleados para ser evaluados, x_1 y x_2 .
- Éstos serán evaluados atendiendo a dos criterios diferentes, Y_1 y Y_2 .
- Los colectivos de evaluadores serán:
 - Un conjunto de cuatro supervisores $A = \{a_1, \dots, a_4\}$.
 - Un conjunto de ocho colaboradores $B = \{b_1, \dots, b_8\}$.
 - Un conjunto de doce clientes $C = \{c_1, \dots, c_{12}\}$.
- Los miembros de los diferentes colectivos emitirán sus opiniones sobre los trabajadores utilizando diferentes escalas numéricas finitas, en función de su conocimiento sobre los empleados a evaluar:
 - Supervisores:
 - $L_A^1 = \{l_1^{A1}, l_2^{A1}, l_3^{A1}, l_4^{A1}, l_5^{A1}, l_6^{A1}, l_7^{A1}, l_8^{A1}, l_9^{A1}, l_{10}^{A1}, l_{11}^{A1}, l_{12}^{A1}\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\}$.
 - $L_A^2 = \{l_1^{A2}, l_2^{A2}, l_3^{A2}, l_4^{A2}, l_5^{A2}, l_6^{A2}, l_7^{A2}, l_8^{A2}, l_9^{A2}, l_{10}^{A2}\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$.

- Colaboradores:
 - $L_B^1 = \{l_1^{B1}, l_2^{B1}, l_3^{B1}, l_4^{B1}, l_5^{B1}, l_6^{B1}, l_7^{B1}, l_8^{B1}, l_9^{B1}, l_{10}^{B1}\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$.
 - $L_B^2 = \{l_1^{B2}, l_2^{B2}, l_3^{B2}, l_4^{B2}, l_5^{B2}, l_6^{B2}, l_7^{B2}, l_8^{B2}\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$.
- Clientes:
 - $L_C^1 = \{l_1^{C1}, l_2^{C1}, l_3^{C1}, l_4^{C1}, l_5^{C1}, l_6^{C1}, l_7^{C1}, l_8^{C1}\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$.
 - $L_C^2 = \{l_1^{C2}, l_2^{C2}, l_3^{C2}, l_4^{C2}, l_5^{C2}, l_6^{C2}\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$.

3.3.1.1. Recopilación de la información

En los Cuadros 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 se recogen las opiniones de cada evaluador sobre los empleados x_1 y x_2 para los criterios Y_1 y Y_2 .

Cuadro 3.3: Opiniones sobre cada empleado y cada criterio

Supervisores	x_1	
	Y_1	Y_2
a_1	$a_1^{11} = l_7^{A1} = 7$	$a_1^{12} = l_6^{A2} = 6$
a_2	$a_1^{21} = l_8^{A1} = 8$	$a_1^{22} = l_7^{A2} = 7$
a_3	$a_1^{31} = l_6^{A1} = 6$	$a_1^{32} = l_5^{A2} = 5$
a_4	$a_1^{41} = l_6^{A1} = 6$	$a_1^{42} = l_7^{A2} = 7$
Colaboradores		
b_1	$b_1^{11} = l_7^{B1} = 7$	$b_1^{12} = l_4^{B2} = 4$
b_2	$b_1^{21} = l_6^{B1} = 6$	$b_1^{22} = l_5^{B2} = 5$
b_3	$b_1^{31} = l_5^{B1} = 5$	$b_1^{32} = l_6^{B2} = 6$
b_4	$b_1^{41} = l_5^{B1} = 5$	$b_1^{42} = l_7^{B2} = 7$
b_5	$b_1^{51} = l_7^{B1} = 7$	$b_1^{52} = l_8^{B2} = 8$
b_6	$b_1^{61} = l_6^{B1} = 6$	$b_1^{62} = l_8^{B2} = 8$
b_7	$b_1^{71} = l_4^{B1} = 4$	$b_1^{72} = l_7^{B2} = 7$
b_8	$b_1^{81} = l_5^{B1} = 5$	$b_1^{82} = l_6^{B2} = 6$

Una vez que todas las valoraciones han sido recopiladas, la empresa deberá seguir el esquema presentado en 3.1, con el objetivo de obtener las diferentes valoraciones sobre los empleados y poder llevar a cabo la clasificación y ordenación de los empleados en función de los objetivos fijados por el Departamento de Recursos Humanos.

Cuadro 3.4: Opiniones sobre cada empleado y cada criterio

Supervisores	x_2	
	Y_1	Y_2
a_1	$a_2^{11} = l_4^{A1} = 4$	$a_2^{12} = l_9^{A2} = 9$
a_2	$a_2^{21} = l_3^{A1} = 3$	$a_2^{22} = l_8^{A2} = 8$
a_3	$a_2^{31} = l_4^{A1} = 4$	$a_2^{32} = l_8^{A2} = 8$
a_4	$a_2^{41} = l_4^{A1} = 4$	$a_2^{42} = l_9^{A2} = 9$
Colaboradores		
b_1	$b_2^{11} = l_4^{B1} = 4$	$b_2^{12} = l_6^{B2} = 6$
b_2	$b_2^{21} = l_5^{B1} = 5$	$b_2^{22} = l_7^{B2} = 7$
b_3	$b_2^{31} = l_4^{B1} = 4$	$b_2^{32} = l_6^{B2} = 6$
b_4	$b_2^{41} = l_3^{B1} = 3$	$b_2^{42} = l_7^{B2} = 7$
b_5	$b_2^{51} = l_3^{B1} = 3$	$b_2^{52} = l_8^{B2} = 8$
b_6	$b_2^{61} = l_4^{B1} = 4$	$b_2^{62} = l_8^{B2} = 8$
b_7	$b_2^{71} = l_3^{B1} = 3$	$b_2^{72} = l_6^{B2} = 6$
b_8	$b_2^{81} = l_5^{B1} = 5$	$b_2^{82} = l_5^{B2} = 5$

3.3.2. Fase de agregación

En esta fase se busca obtener una valoración final para cada empleado atendiendo a las diferentes valoraciones emitidas por los evaluadores. Debido a que el contexto en el que se define el problema presenta múltiples escalas, esta fase se dividirá en los procesos expuestos en 1.10 y en la Figura 1.12.

Cuadro 3.5: Opiniones sobre cada empleado y cada criterio

Clientes	x_1	
	Y_1	Y_2
c_1	$c_1^{11} = l_1^{C1} = 1$	$c_1^{12} = l_5^{C2} = 5$
c_2	$c_1^{21} = l_1^{C1} = 1$	$c_1^{22} = l_5^{C2} = 5$
c_3	$c_1^{31} = l_2^{C1} = 2$	$c_1^{32} = l_4^{C2} = 4$
c_4	$c_1^{41} = l_1^{C1} = 1$	$c_1^{42} = l_4^{C2} = 4$
c_5	$c_1^{51} = l_2^{C1} = 2$	$c_1^{52} = l_4^{C2} = 4$
c_6	$c_1^{61} = l_3^{C1} = 3$	$c_1^{62} = l_5^{C2} = 5$
c_7	$c_1^{71} = l_1^{C1} = 1$	$c_1^{72} = l_4^{C2} = 4$
c_8	$c_1^{81} = l_1^{C1} = 1$	$c_1^{82} = l_5^{C2} = 5$
c_9	$c_1^{91} = l_2^{C1} = 2$	$c_1^{92} = l_3^{C2} = 3$
c_{10}	$c_1^{101} = l_2^{C1} = 2$	$c_1^{102} = l_4^{C2} = 4$
c_{11}	$c_1^{111} = l_2^{C1} = 2$	$c_1^{112} = l_5^{C2} = 5$
c_{12}	$c_1^{121} = l_2^{C1} = 2$	$c_1^{122} = l_5^{C2} = 5$

3.3.2.1. Proceso normalización de la información

La primera etapa del proceso de evaluación corresponde a la normalización, en el intervalo $[0, 1]$, de toda la información recogida por el Departamento de Recursos Humanos siguiendo la metodología mostrada en 3.2.2.1. Tras el proceso de normalización se obtienen las siguientes escalas:

Cuadro 3.6: Opiniones sobre cada empleado y cada criterio

Clientes	x_2	
	Y_1	Y_2
c_1	$c_2^{11} = l_1^{C1} = 1$	$c_2^{12} = l_4^{C2} = 4$
c_2	$c_2^{21} = l_1^{C1} = 1$	$c_2^{22} = l_5^{C2} = 5$
c_3	$c_2^{31} = l_1^{C1} = 1$	$c_2^{32} = l_5^{C2} = 5$
c_4	$c_2^{41} = l_1^{C1} = 1$	$c_2^{42} = l_5^{C2} = 5$
c_5	$c_2^{51} = l_1^{C1} = 1$	$c_2^{52} = l_4^{C2} = 4$
c_6	$c_2^{61} = l_1^{C1} = 1$	$c_2^{62} = l_4^{C2} = 4$
c_7	$c_2^{71} = l_1^{C1} = 1$	$c_2^{72} = l_3^{C2} = 3$
c_8	$c_2^{81} = l_1^{C1} = 1$	$c_2^{82} = l_5^{C2} = 5$
c_9	$c_2^{91} = l_1^{C1} = 1$	$c_2^{92} = l_4^{C2} = 4$
c_{10}	$c_2^{101} = l_1^{C1} = 1$	$c_2^{102} = l_5^{C2} = 5$
c_{11}	$c_2^{111} = l_2^{C1} = 2$	$c_2^{112} = l_5^{C2} = 5$
c_{12}	$c_2^{121} = l_1^{C1} = 1$	$c_2^{122} = l_5^{C2} = 5$

■ Para los supervisores:

- $\bar{L}_A^1 = \{\bar{l}_1^{A1}, \bar{l}_2^{A1}, \bar{l}_3^{A1}, \bar{l}_4^{A1}, \bar{l}_5^{A1}, \bar{l}_6^{A1}, \bar{l}_7^{A1}, \bar{l}_8^{A1}, \bar{l}_9^{A1}, \bar{l}_{10}^{A1}, \bar{l}_{11}^{A1}, \bar{l}_{12}^{A1}\} = \{0, \frac{1}{11}, \frac{2}{11}, \frac{3}{11}, \frac{4}{11}, \frac{5}{11}, \frac{6}{11}, \frac{7}{11}, \frac{8}{11}, \frac{9}{11}, \frac{10}{11}, 1\}$.
- $\bar{L}_A^2 = \{\bar{l}_1^{A2}, \bar{l}_2^{A2}, \bar{l}_3^{A2}, \bar{l}_4^{A2}, \bar{l}_5^{A2}, \bar{l}_6^{A2}, \bar{l}_7^{A2}, \bar{l}_8^{A2}, \bar{l}_9^{A2}, \bar{l}_{10}^{A2}\} = \{0, \frac{1}{9}, \frac{2}{9}, \frac{3}{9}, \frac{4}{9}, \frac{5}{9}, \frac{6}{9}, \frac{7}{9}, \frac{8}{9}, 1\}$.

- Para los colaboradores:

- $\bar{L}_B^1 = \{\bar{l}_1^{B1}, \bar{l}_2^{B1}, \bar{l}_3^{B1}, \bar{l}_4^{B1}, \bar{l}_5^{B1}, \bar{l}_6^{B1}, \bar{l}_7^{B1}, \bar{l}_8^{B1}, \bar{l}_9^{B1}, \bar{l}_{10}^{A2}\} = \{0, \frac{1}{9}, \frac{2}{9}, \frac{3}{9}, \frac{4}{9}, \frac{5}{9}, \frac{6}{9}, \frac{7}{9}, \frac{8}{9}, 1\}$.

- $\bar{L}_B^2 = \{\bar{l}_1^{B2}, \bar{l}_2^{B2}, \bar{l}_3^{B2}, \bar{l}_4^{B2}, \bar{l}_5^{B2}, \bar{l}_6^{B2}, \bar{l}_7^{B2}, \bar{l}_8^{B2}\} = \{0, \frac{1}{7}, \frac{2}{7}, \frac{3}{7}, \frac{4}{7}, \frac{5}{7}, \frac{6}{7}, 1\}$.

- Para los clientes:

- $\bar{L}_C^1 = \{\bar{l}_1^{C1}, \bar{l}_2^{C1}, \bar{l}_3^{C1}, \bar{l}_4^{C1}, \bar{l}_5^{C1}, \bar{l}_6^{C1}, \bar{l}_7^{C1}, \bar{l}_8^{C1}\} = \{0, \frac{1}{7}, \frac{2}{7}, \frac{3}{7}, \frac{4}{7}, \frac{5}{7}, \frac{6}{7}, 1\}$.

- $\bar{L}_C^2 = \{\bar{l}_1^{C2}, \bar{l}_2^{C2}, \bar{l}_3^{C2}, \bar{l}_4^{C2}, \bar{l}_5^{C2}, \bar{l}_6^{C2}\} = \{0, \frac{1}{5}, \frac{2}{5}, \frac{3}{5}, \frac{4}{5}, 1\}$.

Después de realizar el proceso de normalización de la información, puede desarrollarse el proceso de agregación.

3.3.2.2. Proceso de agregación

Antes de realizar el proceso de agregación es necesario que la empresa fije los pesos que va a establecer para cada colectivo. Los pesos usados en este caso para cada etapa del proceso de agregación están incluidos en los Cuadros 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10.

Cuadro 3.7: Pesos de los diferentes evaluadores para el cálculo de las evaluaciones colectivas por criterio

Supervisores	Y_1	Y_2
a_1	$w_1^{A1} = \frac{1}{4}$	$w_1^{A2} = \frac{1}{4}$
a_2	$w_2^{A1} = \frac{1}{4}$	$w_2^{A2} = \frac{1}{4}$
a_3	$w_3^{A1} = \frac{1}{4}$	$w_3^{A2} = \frac{1}{4}$
a_4	$w_4^{A1} = \frac{1}{4}$	$w_4^{A2} = \frac{1}{4}$
Colaboradores	Y_1	Y_2
b_1	$w_1^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_1^{B2} = \frac{1}{8}$
b_2	$w_2^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_2^{B2} = \frac{1}{8}$
b_3	$w_3^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_3^{B2} = \frac{1}{8}$
b_4	$w_4^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_4^{B2} = \frac{1}{8}$
b_5	$w_5^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_5^{B2} = \frac{1}{8}$
b_6	$w_6^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_6^{B2} = \frac{1}{8}$
b_7	$w_7^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_7^{B2} = \frac{1}{8}$
b_8	$w_8^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_8^{B2} = \frac{1}{8}$

Así mismo hay que tener en cuenta que para distintos valores de λ pueden obtenerse diferentes:

- Valoraciones para cada colectivo y por criterio, $v_-^k(x_j)$.
- Valoraciones globales por criterio, $v^k(x_j)$.
- Valoraciones globales, $v(x_j)$.

Cuadro 3.8: Pesos de los diferentes evaluadores para el cálculo de las evaluaciones colectivas por criterio

Clientes	Y_1	Y_2
c_1	$w_1^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_1^{C2} = \frac{1}{12}$
c_2	$w_2^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_2^{C2} = \frac{1}{12}$
c_3	$w_3^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_3^{C2} = \frac{1}{12}$
c_4	$w_4^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_4^{C2} = \frac{1}{12}$
c_5	$w_5^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_5^{C2} = \frac{1}{12}$
c_6	$w_6^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_6^{C2} = \frac{1}{12}$
c_7	$w_7^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_7^{C2} = \frac{1}{12}$
c_8	$w_8^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_8^{C2} = \frac{1}{12}$
c_9	$w_9^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_9^{C2} = \frac{1}{12}$
c_{10}	$w_{10}^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_{10}^{C2} = \frac{1}{12}$
c_{11}	$w_{11}^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_{11}^{C2} = \frac{1}{12}$
c_{12}	$w_{12}^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_{12}^{C2} = \frac{1}{12}$

Cuadro 3.9: Pesos de los diferentes colectivos para el cálculo de las evaluaciones globales por criterio

	Y_1	Y_2
Supervisores	$w_1^1 = \frac{1}{3}$	$w_1^2 = \frac{1}{3}$
Colaboradores	$w_2^1 = \frac{1}{3}$	$w_2^2 = \frac{1}{3}$
Clientes	$w_3^1 = \frac{1}{3}$	$w_3^2 = \frac{1}{3}$

Cuadro 3.10: Pesos de los criterios para el cálculo de las evaluaciones globales

$$\frac{Y_1}{w_1 = \frac{1}{2}} \quad \frac{Y_2}{w_2 = \frac{1}{2}}$$

En este ejemplo se considerará $\lambda = 0,5$ para el cálculo de todas las valoraciones anteriormente mencionadas²⁶.

Cuadro 3.11: Parámetros para el cálculo de las evaluaciones colectivas

	Y_1	Y_2
Supervisores	$\lambda_A^1 = 0,5$	$\lambda_A^2 = 0,5$
Colaboradores	$\lambda_B^1 = 0,5$	$\lambda_B^2 = 0,5$
Clientes	$\lambda_C^1 = 0,5$	$\lambda_C^2 = 0,5$

Cuadro 3.12: Parámetros para el cálculo de las evaluaciones globales

$$\frac{Y_1}{\lambda^1 = 0,5} \quad \frac{Y_2}{\lambda^2 = 0,5}$$

En los Cuadros 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16 quedan reflejadas las valoraciones obtenidas por los dos empleados en las diferentes etapas del proceso de agregación, teniendo en cuenta los diferentes pesos, los grupos de evaluadores y los criterios.

²⁶Véanse los Cuadros 3.11 y 3.12.

Cuadro 3.13: Valoraciones colectivas correspondientes a los diferentes conjuntos de evaluadores para cada criterio

	x_1	
	Y_1	Y_2
Supervisores	$v_A^1(x_1) = 0,54$	$v_A^2(x_1) = 0,55$
Colaboradores	$v_B^1(x_1) = 0,5$	$v_B^2(x_1) = 0,86$
Clientes	$v_C^1(x_1) = 0,14$	$v_C^2(x_1) = 0,6$
	x_2	
	Y_1	Y_2
Supervisores	$v_A^1(x_2) = 0,27$	$v_A^2(x_2) = 0,83$
Colaboradores	$v_B^1(x_2) = 0,33$	$v_B^2(x_2) = 0,78$
Clientes	$v_C^1(x_2) = 0$	$v_C^2(x_2) = 0,8$

Cuadro 3.14: Valoraciones globales para cada criterio

	x_1	
	Y_1	Y_2
Valoraciones globales por criterio	$v^1(x_1) = 0,34$	$v^2(x_1) = 0,60$
	x_2	
	Y_1	Y_2
Valoraciones globales por criterio	$v^1(x_2) = 0,16$	$v^2(x_2) = 0,80$

Con el objetivo de mostrar el proceso de agregación, a continuación se desarrollará la última etapa del mismo detalladamente, siendo el procedimiento el siguiente:

Cuadro 3.15: Valoraciones globales para el empleado x_1

	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 1$
V. globales	$v(x_1) = 0,47$	$v(x_1) = 0,47$	$v(x_1) = 0,34$

Cuadro 3.16: Valoraciones globales para el empleado x_2

	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 1$
V. globales	$v(x_2) = 0,48$	$v(x_2) = 0,48$	$v(x_2) = 0,16$

- Para el empleado x_1 :

$$v(x_1) = \mathbf{A}^\lambda (x_1^{*1}, x_1^{*2}) = x_1^* \in [0, 1].$$

La obtención del valor anterior será realizada mediante la resolución

del siguiente problema

$$\min (1 - \lambda) D + \lambda \sum_{i=1}^2 (w_i(\eta_{1i} + \rho_{1i}))$$

sujeito a:

$$w_1(\eta_{11} + \rho_{11}) \leq D$$

$$w_2(\eta_{12} + \rho_{12}) \leq D$$

$$x_1^* + \eta_{11} - \rho_{11} = x_1^{*1}$$

$$x_1^* + \eta_{12} - \rho_{12} = x_1^{*2}$$

$$0 \leq x_1^* \leq 1$$

$$\eta_{11} \geq 0, \eta_{12} \geq 0$$

$$\rho_{11} \geq 0, \rho_{12} \geq 0.$$

- Para el empleado x_2 :

$$v(x_2) = \mathbf{A}^\lambda(x_2^{*1}, x_2^{*2}) = x_2^* \in [0, 1].$$

La obtención del valor anterior será realizada mediante la resolución

del siguiente problema

$$\min (1 - \lambda) D + \lambda \sum_{i=1}^2 (w_i(\eta_{2i} + \rho_{2i}))$$

sujeto a:

$$w_1(\eta_{21} + \rho_{21}) \leq D$$

$$w_2(\eta_{22} + \rho_{22}) \leq D$$

$$x_2^* + \eta_{21} - \rho_{21} = x_2^{*1}$$

$$x_2^* + \eta_{22} - \rho_{22} = x_2^{*2}$$

$$0 \leq x_2^* \leq 1$$

$$\eta_{21} \geq 0, \eta_{22} \geq 0$$

$$\rho_{21} \geq 0, \rho_{22} \geq 0.$$

Con el objetivo de mostrar cómo λ puede ser usado por las compañías a la hora de decidir el grado de eficiencia o equidad que quieren obtener en los resultados del proceso de evaluación, se considerarán diferentes valores de λ para calcular las valoraciones globales para los empleados²⁷ x_1 y x_2 .

²⁷Véanse los Cuadros 3.15 y 3.16.

3.3.3. Fase de explotación

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se puede observar:

- Si las compañías quieren obtener un ranking de sus empleados de manera eficiente, deben considerar $\lambda = 0$. Así y en este caso, ambos empleados obtendrían valoraciones globales similares, $v(x_1) = 0,47 < 0,48 = v(x_2)$.
- Si las empresas quieren obtener un ranking de sus empleados de manera equitativa, deben considerar $\lambda = 1$. En este caso, $v(x_2) = 0,16 < 0,34 = v(x_1)$, y la ordenación de los empleados cambiaría con respecto al caso anterior.

Capítulo 4

Un modelo lingüístico de evaluación del desempeño de 360-grados

En el capítulo anterior se ha analizado un modelo de evaluación del desempeño de 360-grados mediante la utilización de técnicas propias de la Programación por Metas. Durante el desarrollo de dicho modelo se encontraron ciertas dificultades en el tratamiento de la subjetividad e incertidumbre presentes en dicho problema.

El capítulo 2 de esta memoria expone cómo el uso de información lingüística y de la lógica difusa en este tipo de contextos permite obtener una mayor flexibilidad y fiabilidad de los modelos que presentan incertidumbre no probabilística.

El presente capítulo se dedica al desarrollo de un nuevo modelo de

evaluación del desempeño de 360-grados donde la información subjetiva está modelada mediante un enfoque lingüístico difuso¹. El uso de este enfoque plantea una dificultad añadida: la problemática computacional que presenta el tratamiento de información lingüística valorada en múltiples escalas.

A continuación se revisa el modelo de tratamiento de información lingüística multi-granular propuesto por Herrera, Herrera-Viedma y Martínez en [51].

4.1. Información lingüística multi-granular

Los problemas de toma de decisiones con múltiples expertos, con información expresada en diferentes escalas y mediante el uso de etiquetas lingüísticas pueden estar definidos dentro de un marco de trabajo lingüístico multi-granular. Los problemas de toma de decisiones multi-experto con información lingüística multi-granular han sido tratados en la literatura desde diferentes enfoques² y utilizando diferentes metodologías de trabajo. Generalmente, este tipo de problemas incluyen, en su fase de agregación³, un proceso de unificación de la información lingüística multi-granular y un proceso computacional.

¹Véase Zadeh [102].

²Véanse Chang, Wang y Wang [23], Chen y Ben-Arieh [27], Herrera, Herrera-Viedma y Martínez [51], Herrera y Martínez [56] y Huynh y Nakamori [58], entre otros.

³Véase la Figura 4.1.

En el proceso de unificación, la información lingüística multi-granular se transforma en un único dominio de expresión. Este proceso, previo al proceso de agregación, es necesario para agregar la información recopilada en el problema. En el proceso computacional, y una vez que la información está expresada en un único dominio, se lleva a cabo el proceso de agregación de la misma.

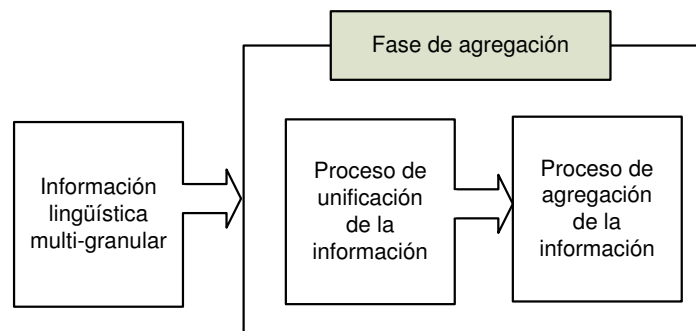


Figura 4.1: Fase de agregación

Tras esta breve introducción al problema del tratamiento de la información lingüística multi-granular de los distintos modelos existentes en la literatura, se desarrollará con más detalle el enfoque presentado por Herrera, Herrera-Viedma y Martínez [51] para el tratamiento de la misma, ya que será el utilizado en el modelo de evaluación de 360-grados propuesto en este capítulo de la memoria.

Enfoque para manejar información lingüística multi-granular.

Herrera, Herrera-Viedma y Martínez [51] introducen una metodología basada en conjuntos difusos⁴ y en el principio de extensión⁵ que permite manejar información expresada en diferentes conjuntos de términos lingüísticos, sin establecer limitaciones en la selección de los mismos. Por ello, cualquier escala lingüística puede pertenecer al marco de evaluación.

Las valoraciones lingüísticas emitidas por los diferentes expertos habitualmente están expresadas en diversos dominios de expresión lingüísticos debido a los diferentes grados de conocimiento que éstos poseen sobre las múltiples alternativas y los múltiples criterios a evaluar.

El proceso de agregación desarrollado por dichos autores sigue el esquema mostrado en la Figura 4.1, incorporando un proceso de unificación de la información consistente en un proceso de transformación que permite expresar las valoraciones lingüísticas emitidas por los diferentes evaluadores en un único dominio lingüístico denominado *Conjunto Básico de Términos Lingüísticos* (CBTL) y denotado por \bar{S} .

Antes de realizar el proceso de transformación es necesario seleccionar el conjunto de etiquetas que constituirá el CBTL. Con este objetivo Herrera, Herrera-Viedma y Martínez [51] proponen una serie de reglas para la elección del CBTL más adecuado en cada caso. Estas reglas indican que el CBTL debe

⁴Véase Zadeh [101].

⁵Véase Degani y Bortolan [31].

ser capaz de recoger los diferentes grados de incertidumbre presentes en los conjuntos de términos lingüísticos individuales utilizados por los expertos. Por tanto, el CBTL deberá tener una granularidad igual o mayor que el resto de conjuntos de términos lingüísticos presentes en el problema.

Una vez elegido el CBTL, las etiquetas lingüísticas multi-granulares son convertidas en un subconjunto difuso del CBTL, a través de la función de transformación que se presenta a continuación.

Definición 4.1 Sean $S = \{s_0, s_1, \dots, s_h\}$ y $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \bar{s}_1, \dots, \bar{s}_g\}$ dos conjuntos de etiquetas lingüísticas, donde $h \leq g$. La *función lingüística de transformación* $T_{S\bar{S}} : S \longrightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$ está definida por:

$$T_{S\bar{S}}(s_j) = \{(\bar{s}_0, \gamma_0), (\bar{s}_1, \gamma_1), \dots, (\bar{s}_g, \gamma_g)\}$$

con

$$\gamma_i = \max_y \min \{\mu_{s_j}(y), \mu_{\bar{s}_i}(y)\}, \quad i = 0, 1, \dots, g,$$

donde $\mathcal{F}(\bar{S})$ es el conjunto de subconjuntos difusos sobre \bar{S} , y μ_{s_j} y $\mu_{\bar{s}_i}$ son las funciones características de las etiquetas lingüísticas $s_j \in S$ y $\bar{s}_i \in \bar{S}$, respectivamente.

Con el objetivo de clarificar el funcionamiento del proceso anterior, veamos el siguiente ejemplo.

Ejemplo 4.1 Sean $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4\}$ y $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_3, \bar{s}_4, \bar{s}_5, \bar{s}_6\}$ dos conjuntos de términos lingüísticos con las siguientes semánticas asociadas (dadas por funciones triangulares difusas):

$$\begin{array}{ll}
 s_0 = (0, 0, 0, 25) & \bar{s}_0 = (0, 0, 0, 16) \\
 s_1 = (0, 0, 25, 0, 5) & \bar{s}_1 = (0, 0, 16, 0, 34) \\
 s_2 = (0, 25, 0, 5, 0, 75) & \bar{s}_2 = (0, 16, 0, 34, 0, 5) \\
 s_3 = (0, 5, 0, 75, 1) & \bar{s}_3 = (0, 34, 0, 5, 0, 66) \\
 s_4 = (0, 75, 1, 1) & \bar{s}_4 = (0, 5, 0, 66, 0, 84) \\
 & \bar{s}_5 = (0, 66, 0, 84, 1) \\
 & \bar{s}_6 = (0, 84, 1, 1)
 \end{array}$$

Así,

$$T_{S\bar{S}}(s_1) = \{(\bar{s}_0, 0,39), (\bar{s}_1, 0,85), (\bar{s}_2, 0,85), (\bar{s}_3, 0,39), (\bar{s}_4, 0), (\bar{s}_5, 0), (\bar{s}_6, 0)\}$$

es el subconjunto difuso sobre el CBTL obtenido para s_1 (véase la Figura 4.2), donde s_1 es \bar{s}_0 con un grado de pertenencia de 0,39, \bar{s}_1 con un grado de pertenencia de 0,85, \bar{s}_2 con un grado de pertenencia de 0,85, \bar{s}_3 con un grado de pertenencia de 0,39, y \bar{s}_4 , \bar{s}_5 y \bar{s}_6 con un grado de pertenencia de 0. El funcionamiento de esta función de transformación puede verse en la Figura 4.2.

Con el fin de facilitar la comprensión de los resultados, cada subconjunto difuso de \bar{S} es transformado en una 2-tupla lingüística. El modelo de representación de la información lingüística basado en 2-tuplas, presentado en el capítulo 3, tiene asociado un modelo computacional⁶, donde la

⁶Véase Herrera y Martínez [54].

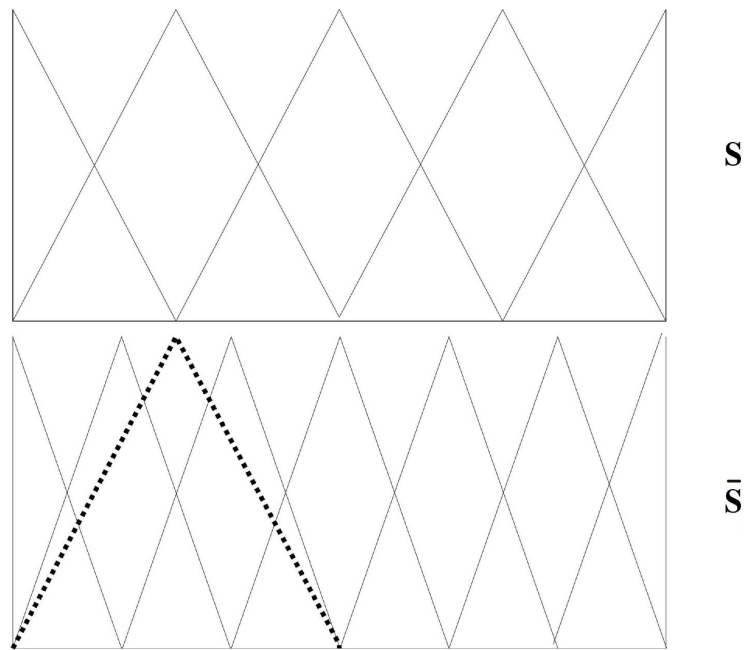


Figura 4.2: Transformación de $s_1 \in S$ en un subconjunto difuso de \bar{S}

computación con palabras (representada mediante funciones características triangulares) puede ser realizada sin pérdida de información. Teniendo en cuenta este aspecto, el siguiente objetivo en este modelo será transformar cada subconjunto difuso obtenido sobre el CBTL mediante la función lingüística de transformación en una 2-tupla, con el propósito de facilitar la comprensión de los resultados.

A continuación presentamos la función χ que nos permitirá realizar

esta transformación⁷. Este proceso será realizado para cada uno de los subconjuntos generados en la etapa de unificación de la información.

Definición 4.2 Dado un conjunto de etiquetas lingüísticas $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \bar{s}_1, \dots, \bar{s}_g\}$, la función $\chi : \mathcal{F}(\bar{S}) \rightarrow \langle \bar{S} \rangle$ está definida como:

$$\chi(\{(\bar{s}_0, \gamma_0), (\bar{s}_1, \gamma_1), \dots, (\bar{s}_g, \gamma_g)\}) = \Delta_{\bar{S}} \left(\frac{\sum_{j=0}^g j \gamma_j}{\sum_{j=0}^g \gamma_j} \right).$$

Ejemplo 4.2 Consideremos el conjunto difuso sobre $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_3, \bar{s}_4, \bar{s}_5, \bar{s}_6\}$ obtenido en el Ejemplo 4.1:

$$\{(\bar{s}_0, 0,39), (\bar{s}_1, 0,85), (\bar{s}_2, 0,85), (\bar{s}_3, 0,39), (\bar{s}_4, 0), (\bar{s}_5, 0), (\bar{s}_6, 0)\}.$$

Aplicando la función χ sobre este conjunto obtendremos,

$$\chi(\{(\bar{s}_0, 0,39), (\bar{s}_1, 0,85), (\bar{s}_2, 0,85), (\bar{s}_3, 0,39), (\bar{s}_4, 0), (\bar{s}_5, 0), (\bar{s}_6, 0)\}) = (\bar{s}_2, -0,5).$$

⁷Véase Herrera, Martínez y Sánchez [57].

4.2. Un modelo de evaluación del desempeño de 360-grados con múltiples escalas lingüísticas

A continuación se presenta el esquema a seguir para llevar a cabo el modelo de evaluación del desempeño de 360-grados con múltiples escalas lingüísticas, basado en el enfoque clásico de los procesos de análisis de decisión presentado en el Capítulo 2 de esta memoria. En la Figura 4.3 se ilustran las fases generales del modelo de evaluación integral con múltiples escalas lingüísticas, siendo las principales:

1. Definición del marco de evaluación.
2. Fase de agregación.
 - a) Proceso de unificación de la información. Toda la información procedente de los diferentes grupos de evaluadores será unificada en un único dominio de expresión.
 - b) Proceso de agregación. Una vez que el proceso de unificación ha sido llevado a cabo, el proceso de agregación de la información es realizado siguiendo la estructura propuesta en el capítulo 1 de esta memoria:
 - 1) Cálculo de las *evaluaciones colectivas para cada criterio* (véase el Cuadro 1.1).

- 2) Cálculo de las *evaluaciones globales para cada criterio* (véase el Cuadro 1.2).
 - 3) Finalmente, en la tercera y última etapa del proceso de agregación se calculan las *evaluaciones globales* (véase el Cuadro 1.3).
3. Fase de explotación. En esta fase las compañías llevarán a cabo el proceso de clasificación y ordenación de los empleados atendiendo a los objetivos establecidos por la política de Recursos Humanos de la empresa.

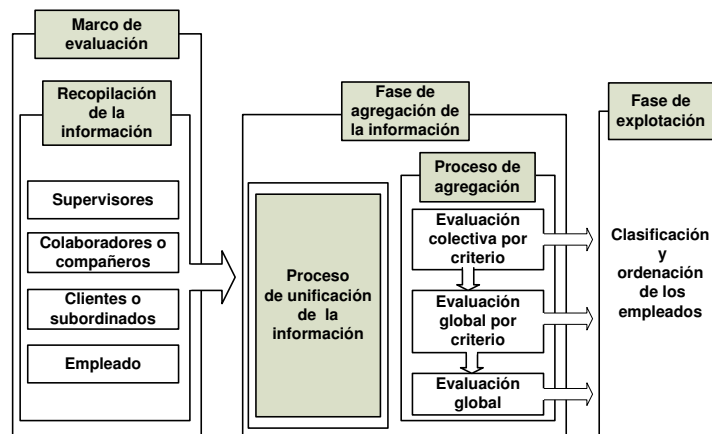


Figura 4.3: Modelo de evaluación del desempeño 360-grados lingüístico multi-granular

4.2.1. Marco de evaluación

El proceso de evaluación de desempeño de 360-grados medirá el esfuerzo y eficiencia de los trabajadores teniendo en cuenta la opinión de diferentes colectivos relacionados con los empleados a evaluar, incluyendo la opinión de cada empleado sobre sí mismo. Tal y como se ha mencionado anteriormente, los miembros de los diferentes colectivos normalmente poseen diferentes grados de conocimiento sobre los empleados a evaluar. En este sentido, consideramos imprescindible, para mejorar el proceso de evaluación, permitir a los diferentes colectivos de evaluadores utilizar diferentes dominios de expresión para realizar sus evaluaciones en función de sus conocimientos sobre los empleados a evaluar y atendiendo a los diferentes criterios a evaluar. Por tanto, se plantea un marco de evaluación para los problemas de evaluación del desempeño usando información lingüística multi-granular. De este modo, se asume que cada colectivo de evaluadores podrá utilizar diferentes conjuntos de etiquetas lingüísticas⁸, S_-^k para expresar sus opiniones sobre el empleado x_j en relación al criterio Y_k :

- $a_j^{ik} \in S_A^k$ para cada $i \in \{1, \dots, r\}$ y cada $j \in \{1, \dots, n\}$.
- $b_j^{ik} \in S_B^k$ para cada $i \in \{1, \dots, s\}$ y cada $j \in \{1, \dots, n\}$.

⁸Véanse Herrera, Herrera-Viedma y Martínez [52], Herrera y Martínez [56] y Herrera, Martínez y Sánchez [57].

- $c_j^{ik} \in S_C^k$ para cada $i \in \{1, \dots, t\}$ y cada $j \in \{1, \dots, n\}$.
- $x_j^{jk} \in S_X^k$ para cada $j \in \{1, \dots, n\}$.

Hay que tener en cuenta que cada conjunto de etiquetas lingüísticas $S_{_}^k$ está caracterizado por su cardinalidad o *granularidad*. En este sentido y considerando un modelo con p criterios y 4 colectivos diferentes, se plantea un modelo de evaluación del desempeño en el que se trabaja, como máximo, con $4p$ conjuntos diferentes de etiquetas lingüísticas.

4.2.2. Fase de agregación

En los siguientes apartados se presentan con más detalle cada uno de los procesos incorporados en la fase de agregación (véase la Figura 4.3).

4.2.2.1. Proceso de unificación de la información

El objetivo de esta fase es conducir la información lingüística multi-granular proporcionada por los diferentes evaluadores a un único dominio lingüístico, con el objetivo de facilitar el proceso de computación con palabras. Para ello unificaremos toda la información en un único dominio de expresión, el CBTL y al que denotaremos por \bar{S} , de manera que se mantenga la máxima granularidad de los diferentes conjuntos de etiquetas lingüísticas⁹.

⁹Véase Herrera, Herrera-Viedma y Martínez [52].

En el caso del proceso de evaluación del desempeño se ha de elegir en primer lugar el CBTL, que en este caso será $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \bar{s}_1, \dots, \bar{s}_g\}$, con

$$g + 1 \geq \max\{|S_A^1|, \dots, |S_A^p|, |S_B^1|, \dots, |S_B^p|, |S_C^1|, \dots, |S_C^p|, |S_X^1|, \dots, |S_X^p|\}.$$

Una vez que el CBTL ha sido elegido, la información lingüística multi-granular es unificada en subconjuntos difusos de \bar{S} usando la función $T_{S\bar{S}}$ presentada en la Definición 4.1. En el modelo propuesto el proceso de unificación será el siguiente:

- Para el colectivo de los supervisores, las funciones lingüísticas de transformación, con $k = 1, \dots, p$, vendrán dadas por

$$T_{S_A^k \bar{S}} : S_A^k \longrightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$$

$$T_{S_A^k \bar{S}}(s_j^{A^k}) = \{(\bar{s}_0, \gamma_0), (\bar{s}_1, \gamma_1), \dots, (\bar{s}_g, \gamma_g)\}$$

con

$$\gamma_i = \max_y \min \{\mu_{s_j^{A^k}}(y), \mu_{\bar{s}_i}(y)\}, \quad i = 0, 1, \dots, g.$$

- Para el colectivo de los compañeros, las funciones lingüísticas de transformación, con $k = 1, \dots, p$, vendrán dadas por

$$T_{S_B^k \bar{S}} : S_B^k \longrightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$$

$$T_{S_B^k \bar{S}}(s_j^{B^k}) = \{(\bar{s}_0, \gamma_0), (\bar{s}_1, \gamma_1), \dots, (\bar{s}_g, \gamma_g)\}$$

con

$$\gamma_i = \max_y \min \{\mu_{s_j^{Bk}}(y), \mu_{\bar{s}_i}(y)\}, \quad i = 0, 1, \dots, g.$$

- Para el colectivo de los clientes, las funciones lingüísticas de transformación, con $k = 1, \dots, p$, vendrán dadas por

$$T_{S_C^k \bar{S}} : S_C^k \longrightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$$

$$T_{S_C^k \bar{S}}(s_j^{Ck}) = \{(\bar{s}_0, \gamma_0), (\bar{s}_1, \gamma_1), \dots, (\bar{s}_g, \gamma_g)\}$$

con

$$\gamma_i = \max_y \min \{\mu_{s_j^{Ck}}(y), \mu_{\bar{s}_i}(y)\}, \quad i = 0, 1, \dots, g.$$

- Para el colectivo de los empleados, las funciones lingüísticas de transformación, con $k = 1, \dots, p$, vendrán dadas por

$$T_{S_X^k \bar{S}} : S_X^k \longrightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$$

$$T_{S_X^k \bar{S}}(s_j^{Xk}) = \{(\bar{s}_0, \gamma_0), (\bar{s}_1, \gamma_1), \dots, (\bar{s}_g, \gamma_g)\}$$

con

$$\gamma_i = \max_y \min \{\mu_{s_j^{Xk}}(y), \mu_{\bar{s}_i}(y)\}, \quad i = 0, 1, \dots, g.$$

Ahora toda la información proporcionada por los evaluadores está expresada en un único dominio de expresión, a través de subconjuntos difusos de \bar{S} .

Con el fin de facilitar la comprensión de los resultados, cada subconjunto difuso de \bar{S} es transformado en una 2-tupla lingüística. Este proceso será realizado a través de la función χ presentada en la Definición 4.2 para cada colectivo y cada $k \in \{1, \dots, p\}$.

- Supervisores: $H_A^k : S_A^k \xrightarrow{T_{S_A^k \bar{S}}} \mathcal{F}(\bar{S}) \xrightarrow{\chi} \langle \bar{S} \rangle$ siendo

$$\bar{a}_j^{ik} = H_A^k(a_j^{ik}) \in \langle \bar{S} \rangle.$$

- Colaboradores: $H_B^k : S_B^k \xrightarrow{T_{S_B^k \bar{S}}} \mathcal{F}(\bar{S}) \xrightarrow{\chi} \langle \bar{S} \rangle$ siendo

$$\bar{b}_j^{ik} = H_B^k(b_j^{ik}) \in \langle \bar{S} \rangle.$$

- Clientes: $H_C^k : S_C^k \xrightarrow{T_{S_C^k \bar{S}}} \mathcal{F}(\bar{S}) \xrightarrow{\chi} \langle \bar{S} \rangle$ siendo

$$\bar{c}_j^{ik} = H_C^k(c_j^{ik}) \in \langle \bar{S} \rangle.$$

- Empleados $H_X^k : S_X^k \xrightarrow{T_{S_X^k \bar{S}}} \mathcal{F}(\bar{S}) \xrightarrow{\chi} \langle \bar{S} \rangle$ siendo

$$\bar{x}_j^{jk} = H_X^k(x_j^{jk}) \in \langle \bar{S} \rangle.$$

De esta manera, toda la información procedente de los diferentes colectivos (supervisores, colaboradores, clientes y empleados) ha sido unificada en 2-tuplas sobre el CBTL, \bar{S} .

4.2.2.2. Proceso de agregación de la información

En algunas ocasiones, el objetivo del proceso de agregación es clasificar y ordenar a los empleados para aplicar políticas específicas del Departamento de Recursos Humanos. Por esta razón, es interesante obtener una evaluación sintética del proceso de evaluación que facilite a la compañía tener una visión global sobre el desempeño de sus empleados y le permita tomar decisiones. Así, la valoración global debe proceder de la agregación de todas la evaluaciones emitidas por los diferentes evaluadores. En este capítulo las valoraciones individuales serán agregadas mediante operadores OWA¹⁰, debido a su flexibilidad y buen comportamiento.

Dado que la información obtenida tras el proceso de unificación de la información viene dada en forma de 2-tuplas lingüísticas, se utilizará para agregar esta información operadores de agregación 2-tuplas OWA¹¹.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el proceso de agregación consta de diferentes etapas¹²:

1. *Cálculo de las valoraciones colectivas correspondientes a los diferentes conjuntos de evaluadores para cada criterio, $v_{-}^k(x_j)$* : Para cada colectivo de evaluadores y para cada criterio Y_k las evaluaciones son agregadas mediante el operador 2-tupla OWA G_{-}^w , que puede ser

¹⁰Véase Yager [97].

¹¹Véase la Definición ??.

¹²Véase 1.3.1.

diferente para cada colectivo de evaluadores y para cada criterio.

Para cada colectivo y cada criterio Y_k , $k \in \{1, \dots, p\}$, el proceso de agregación se produce de la siguiente forma.

- *Supervisores.* Teniendo en cuenta la función

$$G_{A,k}^w : \langle \bar{S} \rangle^r \longrightarrow \langle \bar{S} \rangle,$$

la cual asigna una 2-tupla sobre el CBTL para cada vector de evaluaciones individuales, cada empleado tiene asociado una 2-tupla sobre el CBTL, con respecto a los supervisores y al criterio Y_k , $k = 1, \dots, p$:

$$v_A^k(x_j) = G_{A,k}^w(\bar{a}_j^{1k}, \dots, \bar{a}_j^{rk}) \in \langle \bar{S} \rangle.$$

- *Colaboradores.* Teniendo en cuenta la función

$$G_{B,k}^w : \langle \bar{S} \rangle^s \longrightarrow \langle \bar{S} \rangle,$$

la cual asigna una 2-tupla sobre el CBTL para cada vector de evaluaciones individuales, cada empleado tiene asociado una 2-tupla sobre el CBTL, con respecto a los colaboradores y al criterio Y_k , $k = 1, \dots, p$:

$$v_B^k(x_j) = G_{B,k}^w(\bar{b}_j^{1k}, \dots, \bar{b}_j^{sk}) \in \langle \bar{S} \rangle.$$

- *Clientes.* Teniendo en cuenta la función

$$G_{C,k}^w : \langle \bar{S} \rangle^t \longrightarrow \langle \bar{S} \rangle,$$

la cual asigna una 2-tupla sobre el CBTL para cada vector de evaluaciones individuales, cada empleado tiene asociado una 2-tupla sobre el CBTL, con respecto a los clientes y al criterio Y_k , $k = 1, \dots, p$:

$$v_C^k(x_j) = G_{C,k}^w(\bar{c}_j^{1k}, \dots, \bar{c}_j^{tk}) \in \langle \bar{S} \rangle.$$

- *Empleados.* Cada empleado tiene asociado una 2-tupla en el CBTL, con respecto al criterio Y_k , $k = 1, \dots, p$ (véase 4.2.2.1):

$$v_X^k(x_j) = \bar{x}_j^{jk} \in \langle \bar{S} \rangle.$$

Aunque la opinión que cada empleado x_j tiene sobre sí mismo, x_j^{jk} (y la 2-tupla asociada $v_X^k(x_j)$), puede ser usada por la compañía para otros procesos, aquí no se tendrá en cuenta esta información a la hora de llevar a cabo el proceso de agregación. La razón estriba en que los operadores OWA no distinguen el origen de las opiniones, ya que son anónimos. Por tanto, incluir la auto-evaluación en el proceso de agregación podría distorsionar el resultado del proceso de agregación, ya que éste quedaría sesgado por la opinión que cada empleado proporciona sobre sí mismo, no necesariamente objetiva.

2. *Cálculo de las valoraciones globales por criterios, $v^k(x_j)$* : Los valores colectivos obtenidos en la etapa anterior $v_A^k(x_j)$, $v_B^k(x_j)$ y $v_C^k(x_j)$ son agregados mediante un operador 2-tupla OWA

$$G_k^w : \langle \bar{S} \rangle^3 \longrightarrow \langle \bar{S} \rangle$$

obteniéndose una 2-tupla sobre el CBTL para cada criterio Y_k , $k = 1, \dots, p$:

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

3. *Cálculo de las valoraciones globales, $v(x_j)$* : Los valores finales para cada empleado son obtenidos mediante la agregación de los valores globales por criterio para cada empleado x_j , con la ayuda de un operador 2-tupla OWA

$$G^w : \langle \bar{S} \rangle^p \longrightarrow \langle \bar{S} \rangle$$

obteniéndose una 2-tupla sobre el CBTL:

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

Los valores obtenidos en cada etapa del proceso de agregación, $v_A^k(x_j)$, $v_B^k(x_j)$, $v_C^k(x_j)$ y $v^k(x_j)$, para $k = 1, \dots, p$, y $v(x_j)$, podrán ser usados por la compañía para clasificar y ordenar a sus empleados, en función de los

objetivos fijados en las políticas de recursos humanos de la compañía en la fase de explotación.

Observación 4.1 Los vectores de pesos utilizados en cada etapa del proceso de agregación pueden ser determinados de diferentes formas, siendo la más usual el uso de cuantificadores lingüísticos (véase la Definición 2.16), pudiendo ser distintos en función de los objetivos establecidos por la empresa.

4.2.3. Fase de explotación

En cuanto a la ordenación y clasificación de los empleados, se utilizará el orden lexicográfico propuesto en la Definición 2.8 (dentro de las muchas opciones que podemos encontrar en la literatura existente).

Teniendo en cuenta este orden lexicográfico, la empresa podría clasificar y ordenar a sus empleados en función de los resultados obtenidos por los mismos en las diferentes fases del proceso de agregación. Así, los empleados podrían ser clasificados y ordenados atendiendo a:

1. *Las valoraciones colectivas para cada criterio* correspondientes a los diferentes conjuntos de evaluadores:

- *Superiores.*

$$v_A^1(x_1), \dots, v_A^1(x_n)$$

.....

$$v_A^p(x_1), \dots, v_A^p(x_n)$$

- *Colaboradores.*

$$v_B^1(x_1), \dots, v_B^1(x_n)$$

.....

$$v_B^p(x_1), \dots, v_B^p(x_n)$$

- *Clientes.*

$$v_C^1(x_1), \dots, v_C^1(x_n)$$

.....

$$v_C^p(x_1), \dots, v_C^p(x_n)$$

2. *Las valoraciones colectivas globales por criterios:*

$$v^1(x_1), \dots, v^1(x_n)$$

.....

$$v^p(x_1), \dots, v^p(x_n)$$

3. *Las valoraciones colectivas globales:*

$$v(x_1), \dots, v(x_n)$$

Como ya se ha mencionado anteriormente¹³, la opinión de cada empleado sobre sí mismo no se ha tenido en cuenta en el proceso de agregación. No obstante, esta información podría ser utilizada por la empresa, comparando las valoraciones colectivas y globales con las auto-evaluaciones para los diferentes criterios.

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

4.3. Ejemplo ilustrativo

Con el fin de mostrar cómo una compañía u organización podría realizar el proceso de evaluación integral utilizando el modelo lingüístico propuesto en este capítulo, en esta sección se propone un ejemplo ilustrativo.

Para ello se supone una compañía que opera en el sector financiero, la cual desea realizar un proceso de evaluación de 360-grados sobre sus empleados, incluyendo en el mismo la opinión de los superiores, colaboradores, subordinados y la opinión de los empleados sobre sí mismos.

¹³Véase 4.2.2.2.

4.3.1. Marco de evaluación

Se considera que son dos los empleados a evaluar, x_1, x_2 , y que la compañía desea saber cuál de los candidatos es el mejor para promocionar al puesto de director del Departamento de Contabilidad. Ambos empleados serán evaluados atendiendo a dos criterios:

- Y_1 : capacidad de trabajo en equipo y cooperación. Disposición para participar como miembro totalmente integrado de un equipo, mostrando conocimiento de los otros.
- Y_2 : aptitud de dirección y liderazgo. Capacidad de influencia sobre los empleados, de tomar la iniciativa, de gestionar a un grupo de personas, de incentivar y construir una unidad de trabajo con un objetivo común.

El proceso de evaluación comienza con la selección de los colectivos de evaluadores por el equipo directivo del Departamento de Recursos Humanos, los cuales deberían tener una interacción diaria con los empleados a evaluar. En nuestro ejemplo, se considera los siguientes grupos de evaluadores:

- Un colectivo de cuatro superiores: $A = \{a_1, \dots, a_4\}$.
- Un colectivo de ocho colaboradores $B = \{b_1, \dots, b_8\}$.
- Un colectivo de doce subordinados $C = \{c_1, \dots, c_{12}\}$.

Cada uno de estos colectivos podrá utilizar un conjunto diferente de etiquetas lingüísticas S^k para evaluar a los empleados en función del conocimiento que posean sobre el criterio a evaluar:

Superiores	S_A^1	S_A^2
Colaboradores	S_B^1	S_B^2
Subordinados	S_C^1	S_C^2
Empleados	S_X^1	S_X^2

donde S_A^1 y S_B^2 tienen 9 términos lingüísticos, S_A^2 tiene 11 términos lingüísticos, S_B^1 y S_C^2 tienen 7 términos lingüísticos, y S_C^1 , S_X^1 y S_X^2 tienen 5 términos lingüísticos. Las semánticas asociadas a cada conjunto de términos aparecen recogidas en los Cuadros 4.1-4.8.

Cuadro 4.1: *Conjunto de etiquetas para el colectivo de superiores y el criterio Y_2*

Conjunto de etiquetas S_A^2		
Criterio Y_2		
s_0^{A2}	Nula	(0, 0, 0, 1)
s_1^{A2}	Muy baja	(0, 0, 1, 0, 2)
s_2^{A2}	Bastante baja	(0, 1, 0, 2, 0, 3)
s_3^{A2}	Baja	(0, 2, 0, 3, 0, 4)
s_4^{A2}	Poco baja	(0, 3, 0, 4, 0, 5)
s_5^{A2}	Media	(0, 4, 0, 5, 0, 6)
s_6^{A2}	Poco alta	(0, 5, 0, 6, 0, 7)
s_7^{A2}	Alta	(0, 6, 0, 7, 0, 8)
s_8^{A2}	Bastante alta	(0, 7, 0, 8, 0, 9)
s_9^{A2}	Muy alta	(0, 8, 0, 9, 1)
s_{10}^{A2}	Perfecta	(0, 9, 1, 1)

4.3.1.1. Recopilación de la información

Primeramente, y una vez fijados los colectivos de evaluadores, se obtienen las valoraciones de los mismos sobre los empleados x_1 y x_2 . En los Cuadros 4.9 y 4.10 se recogen las opiniones emitidas por los diferentes evaluadores para cada criterio¹⁴.

¹⁴Véase la Figura 4.3.

Cuadro 4.2: Conjunto de etiquetas para el colectivo de colaboradores y el criterio Y_2

Conjunto de etiquetas S_B^2		
Criterio Y_2		
s_0^{B2}	Nula	(0, 0, 0,125)
s_1^{B2}	Muy baja	(0, 0,125, 0,25)
s_2^{B2}	Bastante baja	(0,125, 0,25, 0,375)
s_3^{B2}	Baja	(0,25, 0,375, 0,5)
s_4^{B2}	Media	(0,375, 0,5, 0,625)
s_5^{B2}	Alta	(0,5, 0,625, 0,75)
s_6^{B2}	Bastante alta	(0,625, 0,75, 0,875)
s_7^{B2}	Muy alta	(0,75, 0,875, 1)
s_8^{B2}	Perfecta	(0,875, 1, 1)

Cuadro 4.3: Conjunto de etiquetas para el colectivo de clientes y el criterio Y_2

Conjunto de etiquetas S_C^2		
Criterio Y_2		
s_0^{C2}	Nula	(0, 0, 0,16)
s_1^{C2}	Muy baja	(0, 0,16, 0,34)
s_2^{C2}	Baja	(0,16, 0,34, 0,5)
s_3^{C2}	Media	(0,34, 0,5, 0,66)
s_4^{C2}	Alta	(0,5, 0,66, 0,84)
s_5^{C2}	Muy alta	(0,66, 0,84, 1)
s_6^{C2}	Perfecta	(0,84, 1, 1)

Cuadro 4.4: *Conjunto de etiquetas para el colectivo de empleados y el criterio Y_2*

Conjunto de etiquetas S_X^2		
Criterio Y_2		
s_0^{X2}	Nula	(0, 0, 0,25)
s_1^{X2}	Baja	(0, 0,25, 0,5)
s_2^{X2}	Media	(0,25, 0,5, 0,75)
s_3^{X2}	Alta	(0,5, 0,75, 1)
s_4^{X2}	Perfecta	(0,75, 1, 1)

Cuadro 4.5: *Conjunto de etiquetas para el colectivo de superiores y el criterio Y_1*

Conjunto de etiquetas S_A^1		
Criterio Y_1		
s_0^{A1}	Nunca	(0, 0, 0,125)
s_1^{A1}	Casi nunca	(0, 0,125, 0,25)
s_2^{A1}	Muy raramente	(0,125, 0,25, 0,375)
s_3^{A1}	Raramente	(0,25, 0,375, 0,5)
s_4^{A1}	Algunas veces	(0,375, 0,5, 0,625)
s_5^{A1}	Frecuentemente	(0,5, 0,625, 0,75)
s_6^{A1}	Muy frecuentemente	(0,625, 0,75, 0,875)
s_7^{A1}	Casi siempre	(0,75, 0,875, 1)
s_8^{A1}	Siempre	(0,875, 1, 1)

4.3.2. Fase de agregación

Esta fase busca obtener una valoración final para cada empleado que toma parte en el proceso de evaluación atendiendo a las diferentes

Cuadro 4.6: Conjunto de etiquetas para el colectivo de colaboradores y el criterio Y_1

Conjunto de etiquetas S_B^1		
Criterio Y_1		
s_0^{B1}	Nunca	(0, 0, 0,16)
s_1^{B1}	Muy raramente	(0, 0,16, 0,34)
s_2^{B1}	Raramente	(0,16, 0,34, 0,5)
s_3^{B1}	Algunas veces	(0,34, 0,5, 0,66)
s_4^{B1}	Frecuentemente	(0,5, 0,66, 0,84)
s_5^{B1}	Muy frecuentemente	(0,66, 0,84, 1)
s_6^{B1}	Siempre	(0,84, 1, 1)

Cuadro 4.7: Conjunto de etiquetas para el colectivo de clientes y el criterio Y_1

Conjunto de etiquetas S_C^1		
Criterio Y_1		
s_0^{C1}	Nunca	(0, 0, 0,25)
s_1^{C1}	Raramente	(0, 0,25, 0,5)
s_2^{C1}	Algunas veces	(0,25, 0,5, 0,75)
s_3^{C1}	Frecuentemente	(0,5, 0,75, 1)
s_4^{C1}	Siempre	(0,75, 1, 1)

valoraciones emitidas por los evaluadores. Debido a que el contexto en el que se define el problema es multi-granular, esta fase se dividirá en los procesos expuestos en 4.2.2.2 y en la Figura 4.1.

Cuadro 4.8: *Conjunto de etiquetas para el colectivo de empleados y el criterio Y_1*

Conjunto de etiquetas S_X^1		
Criterio Y_1		
s_0^{X1}	Nunca	(0, 0, 0,25)
s_1^{X1}	Raramente	(0, 0,25, 0,5)
s_2^{X1}	Alguna veces	(0,25, 0,5, 0,75)
s_3^{X1}	Frecuentemente	(0,5, 0,75, 1)
s_4^{X1}	Siempre	(0,75, 1, 1)

4.3.2.1. Proceso de unificación de la información

De acuerdo con el modelo propuesto en este capítulo, una vez recopilada toda la información, el proceso de evaluación comienza con la unificación de toda la información en un único conjunto de términos lingüísticos, CBTL. En este caso se considera que el CBTL es $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \dots, \bar{s}_{10}\}$.

Para transformar la información en $\mathcal{F}(\bar{S})$, se aplica la función de transformación propuesta en la Definición 4.1. Una vez que toda la información está definida mediante subconjuntos difusos del CBTL, serán transformados éstos en 2- tuplas lingüísticas. Los resultados de estas transformaciones se muestran en los Cuadros 4.11 y 4.12.

4.3.2.2. Proceso de agregación

En este modelo, el proceso de agregación es realizado mediante operadores 2-tupla OWA¹⁵. Los vectores de pesos usados en cada etapa del proceso son determinados mediante cuantificadores lingüísticos¹⁶. En particular, en este ejemplo se utiliza el cuantificador “la mayoría”, cuyos parámetros son $(0,3,0,8)$, en todas la etapas del proceso de agregación.

Mediante el proceso de agregación se calcularán las diferentes valoraciones para cada empleado:

- *Cálculo de las valoraciones colectivas para cada criterio* correspondientes a los diferentes conjuntos de evaluadores. Para cada colectivo y cada criterio se agregan las opiniones individuales. Los vectores de pesos para cada colectivo están recogidos en el Cuadro 4.13 y los valores colectivos para cada criterio en el Cuadro 4.14.
- *Cálculo de las valoraciones globales por criterios*. Para cada criterio y cada empleado, se agregan las valoraciones obtenidas en la fase anterior. Los vectores de pesos para cada colectivo aparecen recogidos en el Cuadro 4.15, y las valoraciones para cada criterio en el Cuadro 4.16.

¹⁵Véase la Definición 2.7.

¹⁶Véase la Definición 2.16.

- *Cálculo de las valoraciones globales.* Finalmente se agregan las valoraciones globales para cada criterio obtenidas en la etapa anterior, generándose una valoración global para cada empleado, las cuales vienen recogidas en el Cuadro 4.18. El vector de pesos usado en esta etapa aparece en el Cuadro 4.17.

Las valoraciones obtenidas en las diferentes etapas del proceso de agregación podrán ser usadas por la compañía en función de los objetivos establecidos por el Departamento de Recursos Humanos. En este sentido, la compañía no sólo puede clasificar y ordenar sus empleados, sino que puede también obtener información adicional sobre sus habilidades y cualidades.

4.3.3. Fase de explotación

En nuestro ejemplo la empresa puede ordenar a sus empleados atendiendo a:

1. *Las valoraciones colectivas correspondientes a los diferentes conjuntos de evaluadores para cada criterio:*
 - *Superiores:* $v_A^1(x_1) \succ v_A^1(x_2)$ y $v_A^2(x_2) \succ v_A^2(x_1)$.
 - *Colaboradores:* $v_B^1(x_1) \succ v_B^1(x_2)$ y $v_B^2(x_2) \succ v_B^2(x_1)$.
 - *Subordinados:* $v_C^1(x_1) \succ v_C^1(x_2)$ y $v_C^2(x_1) \succ v_C^2(x_2)$.

2. *Las valoraciones globales por criterios:*

$$v^1(x_1) \succ v^1(x_2) \text{ y } v^2(x_1) \succ v^2(x_2).$$

3. *Las valoraciones globales:* $v(x_1) \succ v(x_2)$.

En este caso, teniendo en cuenta únicamente la ordenación final de los empleados, x_1 es el mejor candidato para obtener el puesto de director del departamento de contabilidad.

La empresa puede usar los resultados obtenidos para realizar un examen exhaustivo sobre las cualidades de sus empleados. Por ejemplo:

- Los empleados x_1 y x_2 han obtenido similares resultados en el criterio Y_2 (trabajo en equipo y cooperación):

$$v^2(x_1) = (\bar{s}_6, -0,47) \text{ y } v^2(x_2) = (\bar{s}_5, 0,16),$$

aunque los resultados obtenidos por ambos empleados no son satisfactorios en este criterio. En el mismo sentido, la compañía puede observar que ambos empleados pueden trabajar bien en equipo, según sus superiores y subordinados:

$$v_A^2(x_1) = (\bar{s}_6, 0,3) \text{ y } v_A^2(x_2) = (\bar{s}_8, 0,4),$$

$$v_C^2(x_1) = (\bar{s}_7, 0,4) \text{ y } v_C^2(x_2) = (\bar{s}_6, -0,21),$$

pero no según sus colaboradores:

$$v_B^2(x_1) = (\bar{s}_3, -0,48) \text{ y } v_B^2(x_2) = (\bar{s}_3, 0,48).$$

A partir de los datos analizados, la compañía probablemente debería motivar y entrenar a sus empleados con el objetivo de mejorar sus cualidades de trabajo en equipo, sobre todo con sus colaboradores.

- Ambos empleados han obtenido malos resultados como líderes (criterio Y_1):

$$v^1(x_1) = (\bar{s}_4, -0,32) \text{ y } v^1(x_2) = (\bar{s}_3, -0,44),$$

aunque sus superiores no comparten la misma opinión que sus colaboradores y subordinados:

$$v_A^1(x_1) = (\bar{s}_8, -0,1) \text{ y } v_A^1(x_2) = (\bar{s}_5, -0,15),$$

$$v_B^1(x_1) = (\bar{s}_4, -0,24) \text{ y } v_B^1(x_2) = (\bar{s}_3, -0,26),$$

$$v_C^1(x_1) = (\bar{s}_4, -0,5) \text{ y } v_C^1(x_2) = (\bar{s}_1, 0,4).$$

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y analizados, el empleado x_1 es el mejor candidato para obtener el puesto de director.

Cuadro 4.9: Opiniones sobre cada empleado y cada criterio

Superiores	x_1		x_2	
	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
a_1	$a_1^{11} = s_7^{A1}$	$a_1^{12} = s_6^{A2}$	$a_2^{11} = s_4^{A1}$	$a_2^{12} = s_9^{A2}$
a_2	$a_1^{21} = s_8^{A1}$	$a_1^{22} = s_7^{A2}$	$a_2^{21} = s_3^{A1}$	$a_2^{22} = s_8^{A2}$
a_3	$a_1^{31} = s_6^{A1}$	$a_1^{32} = s_5^{A2}$	$a_2^{31} = s_4^{A1}$	$a_2^{32} = s_8^{A2}$
a_4	$a_1^{41} = s_6^{A1}$	$a_1^{42} = s_7^{A2}$	$a_2^{41} = s_4^{A1}$	$a_2^{42} = s_9^{A2}$
Colaboradores				
b_1	$b_1^{11} = s_6^{B1}$	$b_1^{12} = s_4^{B2}$	$b_2^{11} = s_4^{B1}$	$b_2^{12} = s_6^{B2}$
b_2	$b_1^{21} = s_6^{B1}$	$b_1^{22} = s_5^{B2}$	$b_2^{21} = s_5^{B1}$	$b_2^{22} = s_7^{B2}$
b_3	$b_1^{31} = s_5^{B1}$	$b_1^{32} = s_6^{B2}$	$b_2^{31} = s_4^{B1}$	$b_2^{32} = s_6^{B2}$
b_4	$b_1^{41} = s_5^{B1}$	$b_1^{42} = s_7^{B2}$	$b_2^{41} = s_3^{B1}$	$b_2^{42} = s_7^{B2}$
b_5	$b_1^{51} = s_6^{B1}$	$b_1^{52} = s_8^{B2}$	$b_2^{51} = s_3^{B1}$	$b_2^{52} = s_8^{B2}$
b_6	$b_1^{61} = s_6^{B1}$	$b_1^{62} = s_8^{B2}$	$b_2^{61} = s_4^{B1}$	$b_2^{62} = s_8^{B2}$
b_7	$b_1^{71} = s_4^{B1}$	$b_1^{72} = s_7^{B2}$	$b_2^{71} = s_3^{B1}$	$b_2^{72} = s_6^{B2}$
b_8	$b_1^{81} = s_5^{B1}$	$b_1^{82} = s_6^{B2}$	$b_2^{81} = s_5^{B1}$	$b_2^{82} = s_5^{B2}$
Subordinados				
c_1	$c_1^{11} = s_1^{C1}$	$c_1^{12} = s_5^{C2}$	$c_2^{11} = s_1^{C1}$	$c_2^{12} = s_4^{C2}$
c_2	$c_1^{21} = s_1^{C1}$	$c_1^{22} = s_5^{C2}$	$c_2^{21} = s_1^{C1}$	$c_2^{22} = s_5^{C2}$
c_3	$c_1^{31} = s_2^{C1}$	$c_1^{32} = s_4^{C2}$	$c_2^{31} = s_0^{C1}$	$c_2^{32} = s_5^{C2}$
c_4	$c_1^{41} = s_1^{C1}$	$c_1^{42} = s_4^{C2}$	$c_2^{41} = s_0^{C1}$	$c_2^{42} = s_5^{C2}$
c_5	$c_1^{51} = s_2^{C1}$	$c_1^{52} = s_4^{C2}$	$c_2^{51} = s_1^{C1}$	$c_2^{52} = s_4^{C2}$
c_6	$c_1^{61} = s_3^{C1}$	$c_1^{62} = s_5^{C2}$	$c_2^{61} = s_1^{C1}$	$c_2^{62} = s_4^{C2}$
c_7	$c_1^{71} = s_1^{C1}$	$c_1^{72} = s_4^{C2}$	$c_2^{71} = s_0^{C1}$	$c_2^{72} = s_3^{C2}$
c_8	$c_1^{81} = s_1^{C1}$	$c_1^{82} = s_5^{C2}$	$c_2^{81} = s_1^{C1}$	$c_2^{82} = s_5^{C2}$
c_9	$c_1^{91} = s_2^{C1}$	$c_1^{92} = s_3^{C2}$	$c_2^{91} = s_1^{C1}$	$c_2^{92} = s_4^{C2}$
c_{10}	$c_1^{101} = s_2^{C1}$	$c_1^{102} = s_4^{C2}$	$c_2^{101} = s_0^{C1}$	$c_2^{102} = s_5^{C2}$
c_{11}	$c_1^{111} = s_2^{C1}$	$c_1^{112} = s_5^{C2}$	$c_2^{111} = s_2^{C1}$	$c_2^{112} = s_5^{C2}$
c_{12}	$c_1^{121} = s_2^{C1}$	$c_1^{122} = s_5^{C2}$	$c_2^{121} = s_1^{C1}$	$c_2^{122} = s_5^{C2}$

Cuadro 4.10: Auto-evaluación de cada empleado

Empleado	x_1		x_2	
	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
x_1	$x_1^{11} = s_2^{X1}$	$x_1^{12} = s_2^{X2}$	-	-
x_2	-	-	$x_2^{11} = s_2^{X1}$	$x_2^{12} = s_2^{X2}$

Cuadro 4.11: Opiniones transformadas para cada empleado y cada criterio

Superiores	x_1		x_2	
	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
a_1	$(\bar{s}_9, 0,3)$	$(\bar{s}_6, 0)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_9, 0)$
a_2	$(\bar{s}_{10}, -0,47)$	$(\bar{s}_7, 0)$	$(\bar{s}_4, -0,3)$	$(\bar{s}_8, 0)$
a_3	$(\bar{s}_7, -0,5)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_8, 0)$
a_4	$(\bar{s}_7, -0,5)$	$(\bar{s}_7, 0)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_9, 0)$
Colaboradores				
b_1	$(\bar{s}_9, 0,41)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_7, -0,29)$	$(\bar{s}_7, -0,5)$
b_2	$(\bar{s}_9, 0,41)$	$(\bar{s}_6, 0,3)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$	$(\bar{s}_9, 0,3)$
b_3	$(\bar{s}_8, 0,28)$	$(\bar{s}_7, -0,5)$	$(\bar{s}_7, -0,29)$	$(\bar{s}_7, -0,5)$
b_4	$(\bar{s}_8, 0,28)$	$(\bar{s}_9, 0,3)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_9, 0,3)$
b_5	$(\bar{s}_9, 0,41)$	$(\bar{s}_{10}, -0,47)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_{10}, -0,47)$
b_6	$(\bar{s}_9, 0,41)$	$(\bar{s}_{10}, -0,47)$	$(\bar{s}_7, -0,29)$	$(\bar{s}_{10}, -0,47)$
b_7	$(\bar{s}_7, -0,29)$	$(\bar{s}_9, 0,3)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_7, -0,5)$
b_8	$(\bar{s}_8, 0,28)$	$(\bar{s}_7, -0,5)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$	$(\bar{s}_6, 0,3)$
Subordinados				
c_1	$(\bar{s}_2, -0,5)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$	$(\bar{s}_2, -0,5)$	$(\bar{s}_7, -0,29)$
c_2	$(\bar{s}_2, -0,5)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$	$(\bar{s}_2, -0,5)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$
c_3	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_7, -0,29)$	$(\bar{s}_1, 0,125)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$
c_4	$(\bar{s}_2, -0,5)$	$(\bar{s}_7, -0,29)$	$(\bar{s}_1, 0,125)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$
c_5	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_7, -0,29)$	$(\bar{s}_2, -0,5)$	$(\bar{s}_7, -0,29)$
c_6	$(\bar{s}_8, -0,5)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$	$(\bar{s}_2, -0,5)$	$(\bar{s}_7, -0,29)$
c_7	$(\bar{s}_2, -0,5)$	$(\bar{s}_7, -0,29)$	$(\bar{s}_1, 0,125)$	$(\bar{s}_5, 0)$
c_8	$(\bar{s}_2, -0,5)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$	$(\bar{s}_2, -0,5)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$
c_9	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_2, -0,5)$	$(\bar{s}_7, -0,29)$
c_{10}	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_7, -0,29)$	$(\bar{s}_1, 0,125)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$
c_{11}	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$
c_{12}	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$	$(\bar{s}_2, -0,5)$	$(\bar{s}_8, 0,28)$

Cuadro 4.12: Auto-opiniones transformadas de cada empleado

Empleado	x_1		x_2	
	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
x_1	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_5, 0)$	-	-
x_2	-	-	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_5, 0)$

Cuadro 4.13: Vectores de pesos para cada colectivo y cada criterio

	“La mayoría”
Superiores	$(0, 0, 4, 0, 5, 0, 1)$
Colaboradores	$(0, 0, 0, 15, 0, 25, 0, 25, 0, 25, 0, 1, 0)$
Subordinados	$(0, 0, 0, 0, 067, 0, 167, 0, 167, 0, 167, 0, 167, 0, 1, 0, 0)$

Cuadro 4.14: Valoraciones colectivas correspondientes a los diferentes conjuntos de evaluadores para cada criterio $v_-^k(x_j)$

	x_1	
	Y_1	Y_2
Superiores	$v_A^1(x_1) = (\bar{s}_8, -0,1)$	$v_A^2(x_1) = (\bar{s}_6, 0,3)$
Colaboradores	$v_B^1(x_1) = (\bar{s}_4, -0,24)$	$v_B^2(x_1) = (\bar{s}_3, -0,48)$
Subordinados	$v_C^1(x_1) = (\bar{s}_4, -0,5)$	$v_C^2(x_1) = (\bar{s}_7, 0,4)$
Empleado	$v_X^1(x_1) = (\bar{s}_2, -0,5)$	$v_X^2(x_1) = (\bar{s}_2, -0,5)$
	x_2	
	Y_1	Y_2
Superiores	$v_A^1(x_2) = (\bar{s}_5, -0,15)$	$v_A^2(x_2) = (\bar{s}_8, 0,4)$
Colaboradores	$v_B^1(x_2) = (\bar{s}_3, -0,26)$	$v_B^2(x_2) = (\bar{s}_3, 0,48)$
Subordinados	$v_C^1(x_2) = (\bar{s}_1, 0,4)$	$v_C^2(x_2) = (\bar{s}_6, -0,21)$
Empleado	$v_X^1(x_2) = (\bar{s}_2, -0,5)$	$v_X^2(x_2) = (\bar{s}_2, -0,5)$

Cuadro 4.15: Vectores de pesos para cada criterio

Valoraciones globales por criterio	“La mayoría”
$v^k(x_j)$	$(0, 0,73, 0,27)$

Cuadro 4.16: Valoraciones globales para cada criterio $v^k(x_j)$

	x_1	
	Y_1	Y_2
V. globales por criterio	$v^1(x_1) = (\bar{s}_4, -0,32)$	$v^2(x_1) = (\bar{s}_6, -0,47)$
	x_2	
	Y_1	Y_2
V. globales por criterio	$v^1(x_2) = (\bar{s}_3, -0,44)$	$v^2(x_2) = (\bar{s}_5, 0,16)$

Cuadro 4.17: Vector de pesos para las valoraciones globales

Valoraciones globales	“La mayoría”
$v^k(x_j)$	$(0,4, 0,6)$

Cuadro 4.18: Valoraciones globales para cada empleado

	x_1	x_2
V. globales	$v(x_1) = (\bar{s}_4, 0,42)$	$v(x_2) = (\bar{s}_4, -0,4)$

Conclusiones y trabajos futuros

A continuación se revisan las principales propuestas y resultados obtenidos en esta memoria de investigación. Finalmente, se exponen las líneas de investigación y trabajos futuros a desarrollar a partir de los resultados obtenidos hasta ahora.

Conclusiones y resultados obtenidos

Algunas grandes empresas suelen evaluar el desempeño y el rendimiento individual de sus empleados con objeto de ofrecerles remuneraciones variables o promocionarlos a puestos de mayor categoría y responsabilidad, en función de sus políticas de Recursos Humanos. Aunque dichas valoraciones, basadas tanto en indicadores objetivos como subjetivos, acostumbran a realizarlas directamente los equipos directivos, quienes finalmente toman la decisión, cada vez se tienen más en cuenta las opiniones de compañeros de la persona evaluada, así como la de subordinados, colaboradores, clientes, incluso la que el propio individuo tiene sobre

sí mismo (evaluación de 360-grados).

Uno de los resultados obtenidos en esta memoria es el desarrollo de un modelo general de evaluación del desempeño de 360-grados capaz de adaptarse a las diferentes circunstancias existentes en cada empresa y organización. En este nuevo modelo general, fundamentado en la Teoría de la Toma de Decisiones, se ha fijado un marco de evaluación capaz de manejar múltiples escalas de valoración adaptadas al grado de conocimiento que poseen los distintos colectivos de evaluadores y según los diferentes criterios establecidos por la empresa, permitiendo además que las escalas sobre las que verterán sus juicios los evaluadores puedan ser de naturaleza cuantitativa o cualitativa.

Como resultados principales en esta memoria se han presentado dos modelos diferentes de evaluación del desempeño de 360-grados, a través de los que se ha logrado:

- El diseño de un modelo de evaluación del desempeño de 360-grados en el que se permite la utilización de diversas escalas numéricas para la evaluación de los empleados atendiendo a los diferentes criterios y colectivos de evaluadores. En este modelo también se propone un proceso de agregación de la información basado en técnicas de Programación por Metas que suministra a la empresa la oportunidad de evaluar a sus empleados atendiendo no sólo a los diferentes criterios

establecidos por el Departamento de Recursos Humanos, sino también atendiendo a principios de eficacia y equidad.

- El diseño de un modelo de evaluación del desempeño de 360-grados en el que las opiniones de los evaluadores son expresadas mediante diversas escalas cualitativas definidas a través de términos lingüísticos, logrando un tratamiento correcto de la incertidumbre inherente a este tipo de problemas. La utilización de escalas cualitativas ha requerido el uso del modelo de representación de la información lingüística basado en 2-tuplas¹⁷, lo que ha provocado la obtención de resultados fácilmente entendibles por el equipo directivo del Departamento de Recursos Humanos y una estructura de orden que permite la ordenación de los resultados obtenidos.

Finalmente, en esta memoria se han utilizado operadores de agregación numéricos y lingüísticos para la valoración colectiva del desempeño de los empleados, prestando una especial atención a las propiedades de los procedimientos de agregación y decisión diseñados desde el punto de vista de la Teoría de la Elección Social.

¹⁷Véase Herrera y Martínez [54].

Trabajos futuros

Los procesos de evaluación del desempeño han ido adquiriendo un elevado grado de importancia en las empresas y organizaciones actuales. Debido a este hecho, los trabajos que serán desarrollados a partir de los resultados obtenidos en esta memoria se orientarán en las siguientes líneas de investigación:

- Validación de los modelos de evaluación del desempeño de 360-grados desarrollados en esta memoria en colaboración con diversas empresas.
- Construcción de un sistema de recomendaciones para la evaluación del desempeño, según las características de cada problema.
- Elaboración de programas informáticos para la puesta en práctica de los procedimientos diseñados.
- Mejora del modelo lingüístico planteado en esta memoria mediante la utilización de *Jerarquías Lingüísticas Ampliadas*¹⁸.

¹⁸Véase Espinilla, Liu y Martínez [36].

This memory part includes an English version of the Ph.D. thesis entitled *Performance Appraisal: New approaches by using Fuzzy Logic and Multi-criteria Decision Making*, in order to fulfil the requirement to obtain the Ph.D. European Award.

Index

Introduction	XIX
1. Performance appraisal	1
1.1. Decision making and evaluation	2
1.1.1. Classification of decision making problems	3
1.1.2. Modeling assessments in decision making	6
1.1.3. Basic structure of decision making problems	10
1.1.4. Decision making and evaluation	11
1.2. Companies performance appraisal process	14
1.2.1. Performance appraisal tasks	17
1.2.2. Performance criteria	18
1.2.3. Performance appraisal process	23
1.2.4. Performance appraisal drawbacks	35
1.2.5. Performance appraisal advantages	41
1.3. 360-degree performance appraisal	42

1.3.1.	Basic model of 360-degree performance appraisal . . .	44
2.	Some decision making methodologies	53
2.1.	Decision making optimization methods	54
2.1.1.	Multi-criteria Programming	55
2.2.	Linguistic decision making processes	59
2.2.1.	Fuzzy set notions	60
2.2.2.	Linguistic term sets	65
2.2.3.	The 2-tuple linguistic representation model	68
2.3.	Information aggregation	71
3.	A performance appraisal model based on Goal Programming techniques	79
3.1.	Goal Programming	80
3.1.1.	Basic structure of a Goal Programming model	81
3.1.2.	Some Goal Programming methodologies	83
3.2.	A performance appraisal model based on Goal Programming techniques	87
3.2.1.	Evaluation framework	89
3.2.2.	Aggregation phase	90
3.2.3.	Exploitation phase	105
3.3.	An illustrative example	106

3.3.1. Evaluation framework	107
3.3.2. Aggregation phase	110
3.3.3. Exploitation phase	121
4. A linguistic 360-degree performance appraisal model	123
4.1. Multi-granular linguistic information	124
4.2. A multi-granular linguistic 360-degree performance appraisal model	131
4.2.1. Evaluation framework	133
4.2.2. Aggregation phase	134
4.2.3. Exploitation phase	142
4.3. An illustrative example	144
4.3.1. Evaluation framework	145
4.3.2. Aggregation phase	149
4.3.3. Exploitation phase	153
Conclusion and future works	163
 Performance Appraisal: New approach by using Fuzzy Logic and Multi-criteria Decision Making	1
A. Introduction	7

B. Performance appraisal based on distance functions methods	17
C. A multi-granular linguistic model for management decision-making in performance appraisal	51
D. Conclusions and future works	67
References	71

Apéndice A

Introduction

The performance appraisal process is a usual company activity. Its main target is the study and the analysis of employees capacity in performing their work.

In the traditional performance appraisal methods used by companies some drawbacks have been detected, which will be described below.

1. Generally, performance evaluation processes have been made directly by management teams, who were finally in charge of making decisions on employees. However, the deep changes in companies structures due to the globalization of the markets have caused that companies and organizations consider new performance appraisal processes based on judgments from everyone whom the worker comes in contact: supervisors, collaborators, customers and colleagues, oneself included.

2. The fact of using performance appraisal methods incorporating assessments from different groups of reviewers could cause the need to use manifold scales or expression domains, taking into account the reviewers knowledge degree on the employee to evaluate and according to different criteria or attributes. In traditional methods, opinions are expressed in the same scale of expression without considering the different knowledge levels of the reviewers on employees. Therefore, the incorporation of different scales or expression domains in the evaluation process could improve the precision in reviewers assessments.
3. Nowadays, many companies and organizations use informal methods to carry out performance appraisal processes and consequently this fact implies lack of precision and objectivity in the results. In the same way, in the traditional performance systems, reviewers are forced to express their opinions on qualitative attributes in a numerical way, although these attributes are hardly quantifiable because of their qualitative nature. This generates the use of non-appropriate means for the uncertainty treatment in the evaluation process.
4. Besides, in the traditional performance appraisal models, where the evaluations on employees are expressed in a numerical way, there is a little variety of aggregation methods. This fact limits the analysis of the results obtained in the evaluation process.

Due to many observable deficiencies in performance appraisal procedures used by companies and organizations, one of the main goals of this memory is the definition of some formal 360-degree performance appraisal methods, as well as a right treatment of the uncertainty appearing in this problem.

In order to achieve these purposes, the following goals have been established:

- To develop a flexible 360-degree performance appraisal method which can be adapted to different companies conditions in order to facilitate Human Resources decision making processes.
- To define a general 360-degree performance appraisal model based on Decision Making Theory.
- To fix an evaluation framework with different assessment scales according to appraisers knowledge about evaluated employees and to the different companies criteria.
- To make more flexible the evaluation framework for appraisers to express their opinions about employees attending to different criteria. Depending on the kind of criterion and the appraisers collective, appraisers will be able to express their assessments in a quantitative or qualitative way.
- To bear in mind that opinions about employees attending to a

qualitative criterion or attribute can be considered from other perspective than classic logic in the development of the different performance appraisal methods shown in this memory.

- To design a 360-degree performance appraisal model which improves data processing through the use of diverse numerical scales for employees evaluation, taking into account different criteria and groups of appraisers. Furthermore, an aggregation process based on techniques of Goal Programming is set out in this model.
- To propose a 360-degree evaluation model where appraisers opinions are expressed by means of diverse qualitative scales. These assessments can be defined through linguistic terms in order to manage the uncertainty and subjectivity of such opinions. However, the use of qualitative scales will need a computacional model and an order structure, so that the results obtained can be ordered.

To achieve these objectives our Spanish memory presents our research in four chapters (although this English summary just includes the main research findings related to them) as it is indicated below.

- **Chapter 1:** *Evaluation and decision making: Performance appraisal.*

This chapter starts with a detailed review of the structure and characteristics included in decision making problems, as well as the connection between evaluation processes and decision making problems. Next, an analysis of the different performance appraisal methods are made paying attention to different procedures used by the companies and the problems presented in each one of them. Lastly, a framework and a general model of 360-degree performance appraisal are proposed with multiple criteria and a manifold of agents.

- **Chapter 2:** *Decision making tools in the company.*

In this chapter the concepts and the necessary tools are reviewed for the development of this memory. The first section includes a summary of the different original methodologies from Multi-criteria Programming put into practice in decision making problems. In the second section of the chapter, some concepts about Fuzzy Set Theory, linguistic approach and 2-tuple linguistic representation model are reviewed. Finally, a survey of some aggregation operators is made, paying special attention to order weighted averaging (OWA) operators.

- **Chapter 3:** *A Performance appraisal model based on Goal Programming techniques.*

In the first section of this chapter, different Goal Programming techniques and methodologies that will be used later are briefly reviewed. Next, our proposed model is developed following the scheme presented in the Chapter 1 of this memory. The aggregation process used in the model presented in the same one is based on Goal Programming techniques. Finally, the chapter includes an illustrative example.

- **Chapter 4:** *A 360-degree performance appraisal linguistic model.*

In this chapter the last model carried out in this memory is developed. Previously to the definition and development of our proposal, a revision of the approach proposed is made for the multi-granular data processing by Herrera, Herrera-Viedma and Martinez in [51]. Next, a linguistic model of performance appraisal is developed and finally, an illustrative example is presented.

- Eventually, some **conclusions** and the outstanding results of this research memory are pointed out and **future works** according to the findings obtained along this memory are set out.

This memory concludes with a **bibliographical compilation** of the main contributions in the reviewed matter.

To conclude, it is remarkable that the contributions of this memory have been based on the following works:

- Rocío de Andrés, José Luis García Lapresta and Luis Martínez: “Multi-granular linguistic performance appraisal model”. *Soft Computing*, in press.
- Rocío de Andrés, José Luis García Lapresta and Jacinto González Pachón: “Performance appraisal based on distance functions methods”. Submitted.

During the accomplishment of this research memory and as result of the same one, it has been developed, with Jose Luis García Lapresta and Mariano Jiménez, a performance appraisal model, where Linguistic Approach and Goal Programming techniques are introduced simultaneously. A preliminary version of this model has been published in 2008 in *Computational Intelligence in Decision and Control*, World Scientific Publishing House, with the title “ A decision making procedure for designing human resources management”. At this moment, the paper extended entitled “A personnel selection process based on linguistic assessments through Goal Programming techniques” is submitted.

In addition, these results have been presented in different phases of their development, in several congresses and scientific meetings which they are detailed in chronological order (2005-2008) below:

▪ **International**

- *Congress of International Association for Fuzzy-Set Management and Economy (SIGEF)*. Bahía Blanca (Argentina), October 2005, and Poiana Brasov (Romania), November 2007.
- *Internacional Conference on MultiObjective Programming and Goal Programming (MPOGP)*. Tours (France), June 2006.
- *Conference on Applied Artificial Intelligence (FLINS)*. Genoa (Italy), August 2006.
- *Methods, Models and Information Technologies for Decision Support Systems (MTISD)*. Lecce (Italy), September 2008.
- *International Conference on Computational Intelligence in Decision and Control (FLINS)*. Madrid (Spain), September 2008.
- *International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering (ISKE)*. Xiamen (China), November 2008.

▪ **National**

- *Congreso Anual de Economía Aplicada (ASEPELT)*. Badajoz, June 2005.

- *Congreso Español de Informática, Simposio sobre Lógica Fuzzy y Soft Computing* (CEDI). Granada, September 2005, and Zaragoza, September 2007.
- *Jornadas de la Asociación Española de Profesores Universitarios de Matemáticas para la Economía y la Empresa* (ASEPUMA). Badajoz, September 2006.
- *Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy* (ESTYLF). Ciudad Real, September 2006.
- *Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa* (SEIO). Valladolid, September 2007.

Apéndice B

Performance appraisal based on distance functions methods

This appendix includes the paper *Performance appraisal based on distance functions methods*, submitted to an international journal. This paper presents a 360-degree performance evaluation model with multiple expression scale, where the aggregation process is developed through the achievement function presented in the *Extended Goal Programming* model.

It includes the main results obtained in Chapter 3 of this memory.

Performance appraisal based on distance functions methods

Rocío de Andrés

*PRESAD Research Group, Dep. de Fundamentos del Análisis Económico e H.I.E.,
Universidad de Valladolid, 47011 Valladolid, Spain*

José Luis García-Lapresta*

*PRESAD Research Group, Dep. de Economía Aplicada, Universidad de
Valladolid, 47011 Valladolid, Spain*

Jacinto González-Pachón

*Dep. de Inteligencia Artificial, Universidad Politécnica de Madrid, 28660 Boadilla
del Monte (Madrid), Spain*

Abstract

Performance appraisal is a process used by some firms in order to evaluate their employees' efficiency and productivity in order to plan their promotion policy, salary policy, layoffs policy, etc. Initially this process was just carried out by the executive staff, but recently it has evolved into an evaluation process based on the opinion of different reviewers, supervisors, collaborators, customers and the employees themselves (360-degree method). In such an evaluation process the reviewers evaluate some indicators related to employees performance appraisal. In this paper we pro-

pose an evaluation framework where there are different sets of reviewers taking part in the evaluation process. Since reviewers have a different knowledge about the evaluated employee, it seems suitable to offer a flexible framework in which different reviewers can express their assessments in different finite scales according to their knowledge. The final aim is to compute a global evaluation for each employee, that can be used by the management team to make their decisions regarding their human resources policy. In this way, to obtain a global evaluation for each employee, we propose an Extended Goal Programming approach to aggregate all gathered information.

Key words: Performance appraisal, multi-criteria decision making, finite scales, Extended Goal Programming approach

1 Introduction

Throughout history, organizations and companies have been adapting themselves to established conditions to get their survival and success. Nowadays, global competition has an effect on most companies and organizations. The principal organizations' aim is to remain competitive in this context. To adapt to changes, companies develop strategies that allow them to be more efficient in each new context. In this way, those strategies must be able to mould each one of companies' components to adapt correctly to changes. Presently, human resources are a fundamental company's component. In this way, all strategic efforts of companies have to be headed for the development of new methodologies by adapting human resources to the new requirements of companies. Little by little organizations and companies have been introducing different methods of performance appraisal to reach such survival and success (see [4], [8] and [18] among others). One of the objectives of Human Resources De-

partment consists in obtaining effective performance appraisal systems. Thus, companies do performance appraisal taking into account the principal elements that affect workers in a direct or an indirect way. Through an effective performance appraisal, companies can realize the following functions (see [13]):

- Developmental uses: measurable performance goals, determine transfer and job assignments for developmental purposes, etc.
- Administrative uses: salary, promotion, retention or termination, layoffs, discipline, etc.
- Organizational maintenance: human resource planning, to determine organization training needs, to evaluate organizational goal achievement, to evaluate human resource systems, etc.
- Documentation: document human resource decisions and help meet legal requirements.

Many companies tend to use informal methods, where only supervisors evaluate employees. However, there is another kind of method which uses information from many people who can truly respond to how an employee performs on the job. *360-degrees appraisal* or *integral evaluation* is a mechanism for evaluating worker's performance based on judgment from everyone with whom the individual comes in contact: supervisors, collaborators, colleagues, customers and oneself included (see [12]). It is a method of collecting inputs from many sources in an employee's environment.

In this paper we suppose that each set of reviewers (see Figure 1)) states their assessments on individuals they have to evaluate attending to different criteria and attributes. The scales which express the reviewer's judgments, come from quantitative (see [5]) or qualitative nature (see [1]). In the case

that the reviewers express their opinions in a numerical way, these can be normalized through degrees of qualification between 0 and 1.

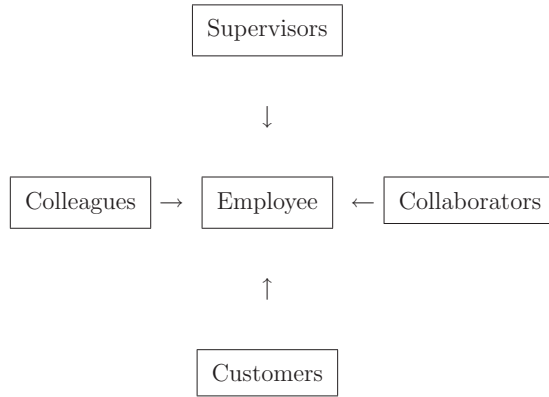


Fig. 1. 360-degrees appraisal

From the obtained assessments we aggregate them in order to generate reviewers' collective values, global criteria values and a global value for each employee. These collective assessments will allow the management team to make the final decision. Thus, the problem falls, in a natural way, into the collective decision making context.

Our proposal is to analyze the aggregation problem by minimizing the differences among reviewer's judgments and to determine target values established by companies. Moreover, we propose an Extended Goal Programming structure (see [21]) as a flexible tool for searching equitable and efficient solutions. The aggregation method has different stages. The process is initiated by obtaining a collective value for each employee taking into account the assessments of each set of reviewers for each criterion. In the second stage, we will get collective values for each employee and each criterion. Finally, we will achieve a global value for each employee. These final outcomes can be used by the

management team to make their decisions regarding companies' goals.

The paper is organized as follows. Section 2 is devoted to introduce the notation and the structure of the arisen problem. In Section 3, we include the methodology used to obtain different values for each stage. Next, in Section 4 we propose an illustrative example. Finally, some concluding remarks are included in Section 5.

2 Notation

In this section a scheme is introduced for a 360-degrees performance appraisal problem and afterwards a classical evaluation method is showed. The aims of this problem is to evaluate employees taking into account the opinions of different collectives related to them. Now we present the main features and terminology we consider for the arisen problem.

- A set of employees $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ to be evaluated by the following collectives:
 - A set of supervisors or the management team: $A = \{a_1, \dots, a_r\}$.
 - A set of colleagues, partners or co-workers: $B = \{b_1, \dots, b_s\}$.
 - A set of customers and/or subordinates: $C = \{c_1, \dots, c_t\}$.

Some models of performance appraisal include the opinion of each employee about herself. Although the opinion each employee has on herself, can be useful for the organization, we do not take into account this information in the aggregation process. The reason is because including the employees' self-evaluation could disturb the aggregation phase, that means the corresponding outcomes could be biased by self-evaluations.

- We consider several criteria Y_1, \dots, Y_q for evaluating each employee.
- Reviewers can express their evaluations about workers in different finite scales of real numbers according to their degree of knowledge about evaluated employees (each term of a scale can be described by a linguistic label):
 - $a_j^{ik} \in S_A^k$ is the assessment of supervisor $a_i \in A$ on the employee x_j according to the criterion Y_k .
 - $b_j^{ik} \in S_B^k$ is the assessment of collaborator $b_i \in B$ on the employee x_j according to the criterion Y_k .
 - $c_j^{ik} \in S_C^k$ is the assessment of customer $c_i \in C$ on the employee x_j according to the criterion Y_k .

Consequently, we have $(r + s + t)q$ individual assessments for each employee. All these assessments need to be aggregated in order that the management team could put company human resources policy in practice.

2.1 The scheme

Performance appraisal can be carried out by using different models and approaches. In the literature [2,3,7,19] the use of the decision analysis to accomplish evaluation processes has got good results. Therefore, in this paper we shall propose a performance appraisal process based on an classical decision analysis approach [10,19] with three phases (see Figure 2):

- (1) *Normalization information phase*: Our proposal considers that reviewers can express their opinions about employees in different scales of real numbers according to their knowledge. Therefore and before carrying out the aggregation process, it is necessary to standardize or normalize all

gathered information into a unique domain, the interval $[0, 1]$.

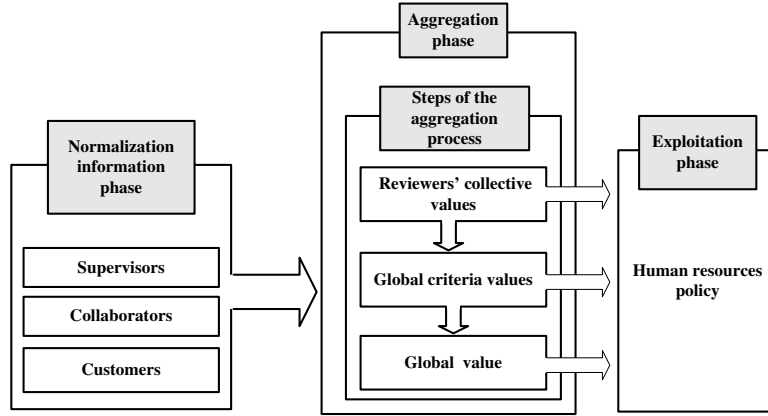


Fig. 2. Performance appraisal process scheme

(2) *Aggregation phase*: Once the normalization phase has been achieved, the aggregation process can start. Our aggregation process is based on the distance aggregation method proposed by González-Pachón and Romero [15] and Romero [21]. In this way and to obtain a global value for each employee x_j is carried out an aggregation procedure with three different steps (in this moment we do not pay attention to the way we aggregate the information; it is included in Section 3). These steps consist of:

- (a) *Computing reviewers' collective values*. The aggregation process is initiated by obtaining a collective value for each employee x_j taking into account the assessments of every collective for each criterion Y_k (see Table 1).
- (b) *Computing global criteria values*. In the second stage we aggregate the previous reviewers' collective values providing a global value for each criterion to every employee (see Table 2).
- (c) *Computing global value*. Finally, it is obtained a global assessment

for each employee aggregating the previous global criteria values (see Table 3).

All outcomes can be used for sorting and ranking employees in order to establish the human resources policy.

- (3) *Exploitation phase.* In the exploitation phase, companies are going to classify and order employees x_1, \dots, x_n to attend the human resources policy.

Table 1

Reviewers' collective values

Reviewers	Individual assessments	Reviewers' collective values
Supervisors	$a_j^{1k}, \dots, a_j^{rk}$	$v_A^k(x_j) \in [0, 1]$
Colleagues	$b_j^{1k}, \dots, b_j^{sk}$	$v_B^k(x_j) \in [0, 1]$
Customers	$c_j^{1k}, \dots, c_j^{tk}$	$v_C^k(x_j) \in [0, 1]$

Table 2

Global criteria values

Reviewers' collective values	Global criteria values
$v_A^k(x_j), v_B^k(x_j), v_C^k(x_j)$	$v^k(x_j) \in [0, 1]$

Table 3

Global values

Global criteria values	Global value
$v^1(x_j), \dots, v^q(x_j)$	$v(x_j) \in [0, 1]$

3 A distance-based method for performance appraisal

3.1 The normalization phase

As we have previously mentioned, the members of the different collectives usually have a different degree of knowledge about evaluated employees. So, we assume that each collective can use different finite scale of real numbers to express their assessments about the employee, x_k . In the normalization phase all information is standardized in the interval $[0, 1]$:

- Supervisors: The scale used by supervisors to evaluate employees for the criterion Y_k is:

$$S_A^k = \{s_1^{Ak}, \dots, s_f^{Ak}\} \subset \mathbb{R}, \quad s_1^{Ak} < \dots < s_f^{Ak}.$$

The normalized previous scale is defined as:

$$\bar{S}_A^k = \{\bar{s}_1^{Ak}, \dots, \bar{s}_f^{Ak}\} \subset [0, 1],$$

where

$$\bar{s}_m^{Ak} = \frac{s_m^{Ak} - s_1^{Ak}}{s_f^{Ak} - s_1^{Ak}} \in [0, 1], \quad m = 1, \dots, f.$$

- Collaborators: The scale used by collaborators to evaluate employees for the criterion Y_k is:

$$S_B^k = \{s_1^{Bk}, \dots, s_g^{Bk}\} \subset \mathbb{R}, \quad s_1^{Bk} < \dots < s_g^{Bk}.$$

The normalized previous scale is defined as:

$$\bar{S}_B^k = \{\bar{s}_1^{Bk}, \dots, \bar{s}_g^{Bk}\} \subset [0, 1],$$

where

$$\bar{s}_m^{Bk} = \frac{s_m^{Bk} - s_1^{Bk}}{s_g^{Bk} - s_1^{Bk}} \in [0, 1], \quad m = 1, \dots, g.$$

- Customers: The scale used by customers to evaluate employees for the criterion Y_k is:

$$S_C^k = \{s_1^{Ck}, \dots, s_h^{Ck}\} \subset \mathbb{R}, \quad s_1^{Ck} < \dots < s_h^{Ck}.$$

The normalized previous scale is defined as:

$$\bar{S}_C^k = \{\bar{s}_1^{Ck}, \dots, \bar{s}_h^{Ck}\} \subset [0, 1],$$

where

$$\bar{s}_m^{Ck} = \frac{s_m^{Ck} - s_1^{Ck}}{s_h^{Ck} - s_1^{Ck}} \in [0, 1], \quad m = 1, \dots, h.$$

All information is now expressed in the interval $[0, 1]$ and it can properly be aggregated.

3.2 The aggregation phase

One of the aims of the aggregation phase is to obtain a value that assesses the performance of the evaluated worker according to the different collectives that have evaluated her. To do that, the assessments provided by the members of different collectives will be aggregated. We will use a Extended Goal programming approach to accomplish the aggregation process.

3.2.1 The aggregation procedure

The aggregation procedure mentioned in Section 2 can be developed through several methodologies. Some studies on aggregation operators can be found

in [6], [9] and [14], among others. In this paper we propose an operational method to aggregate information in a distance-based framework by using Goal Programming techniques. In order to present the aggregation procedure, we consider y^* is the target value from the individual assessments y^1, \dots, y^m ,

$$\text{Agg}(y^1, \dots, y^m) = y^*.$$

The problem is how to determine y^* . This target value represents the unknown value of our aggregation problem. It can be obtained by formulating a distance function model as a measure of disagreement between the individual assessments y^1, \dots, y^m and the desired target value y^* . Then, we deal with the following problem formulated for the Minkowski metric L_p (see [22]):

$$\min d((y^1, \dots, y^m), (y^*, \dots, y^*)) = \min \left(\sum_{i=1}^m w_i^p |y^i - y^*|^p \right)^{1/p},$$

where w_i is the parameter attached to the discrepancy between the achievement of the i th criterion and its target value.

The resolution of this problem is not easy because of the non-linear and non-differentiable character of the function. In order to avoid some above disadvantages in the preceding function, the previous problem can be transformed into the following Goal Programming problem (see [11], [15], [16] and [20]):

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i=1}^m (w_i(\eta_i + \rho_i))^p & (1) \\ & \text{s. t.:} \\ & y^* + \eta_1 - \rho_1 = y^1 \\ & \dots\dots\dots \\ & y^* + \eta_m - \rho_m = y^m \\ & 0 \leq y^* \leq 1 \\ & \eta_1 \geq 0, \dots, \eta_m \geq 0 \\ & \rho_1 \geq 0, \dots, \rho_m \geq 0 \end{aligned}$$

where η_i and ρ_i are the negative and positive deviation variables respectively that measure the difference among the target value and the individual assessments.

Notice that different target values y^* are obtained for different metrics L_p . We also note that:

- If we consider low values of p , then the problem pays more attention to medium values.
- If we consider high values of p , then the problem pays more attention to the extreme values. If we consider the limit case $p = \infty$, this converts the Goal Programming problem into a MINIMAX (Chebyshev) formulation, where the disagreement of the most displaced assessments is minimized (see for instance [17] and [21]):

$$\begin{aligned}
 & \min D && (2) \\
 & \text{s. t.:} \\
 & w_1(\eta_1 + \rho_1) \leq D \\
 & \dots\dots\dots \\
 & w_m(\eta_m + \rho_m) \leq D \\
 & y^* + \eta_1 - \rho_1 = y^1 \\
 & \dots\dots\dots \\
 & y^* + \eta_m - \rho_m = y^m \\
 & 0 \leq y^* \leq 1 \\
 & \eta_1 \geq 0, \dots, \eta_m \geq 0 \\
 & \rho_1 \geq 0, \dots, \rho_m \geq 0.
 \end{aligned}$$

So, p parameter shows the sensitivity degree on the disagreement among target values and individual assessments.

One of the main problems in this kind of multi-criteria problems is to select the right p which captures the essential characteristics of real problems. Romero

[21] proposes a general Goal Programming structure called *Extended Goal Programming* which includes cases (1) and (2):

$$\begin{aligned} & \min (1 - \lambda) D + \lambda \sum_{i=1}^m (w_i(\eta_i + \rho_i))^p & (3) \\ \text{s. t.:} & \\ & w_1(\eta_1 + \rho_1) \leq D \\ & \dots\dots\dots \\ & w_m(\eta_m + \rho_m) \leq D \\ & y^* + \eta_1 - \rho_1 = y^1 \\ & \dots\dots\dots \\ & y^* + \eta_m - \rho_m = y^m \\ & 0 \leq y^* \leq 1 \\ & \eta_1 \geq 0, \dots, \eta_m \geq 0 \\ & \rho_1 \geq 0, \dots, \rho_m \geq 0, \end{aligned}$$

where $\lambda \in [0, 1]$ represents the balance between the minimization of the maximum lack of success and the minimization of the weighted sum of the deviation variables in relation to the target values.

Different solutions can be obtained from this problem (see [21]). For $\lambda = 0$, the general problem turns into minimizing the maximum deviation among the targets values and the individual assessments. This converts the problem into a MINIMAX (Chebyshev) formulation and the solution obtained is the most balanced and equitable (*maximum equity*). For $\lambda = 1$, then the problem pays more attention to the individual assessments closest to the target values and the solution obtained is the most efficient (*maximum efficiency*). If $\lambda \in (0, 1)$, intermediate solutions are obtained (see Figure 3).

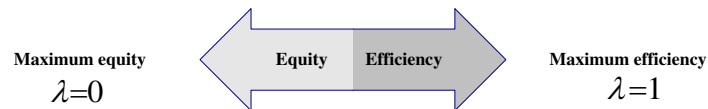


Fig. 3. Equity versus Efficiency

Provided that the general structure formulated by Romero [21] is able to capture the essential features of real problems, and allows to decide about the degree of equity or efficiency in the solution, we shall consider a general Goal Programming structure to aggregate all information from performance appraisal process. In order to save some computational aspects we consider $p = 1$ in our analysis.

It is important to note that the aggregation operator $\mathbf{A}^\lambda : [0, 1]^m \rightarrow [0, 1]$ defined by $\mathbf{A}^\lambda(y^1, \dots, y^m) = y^*$ in (3), satisfies some interesting properties:

- (1) \mathbf{A}^λ is *unanimous* (or *idempotent*): $\mathbf{A}^\lambda(y, \dots, y) = y$ for every $y \in [0, 1]$.
- (2) \mathbf{A}^λ is *monotonic*: $\mathbf{A}^\lambda(y^1, \dots, y^m) \leq \mathbf{A}^\lambda(z^1, \dots, z^m)$ for all $(y^1, \dots, y^m), (z^1, \dots, z^m) \in [0, 1]^m$ such that $y^i \leq z^i$ for every $i \in \{1, \dots, m\}$.
- (3) \mathbf{A}^λ is *compensative*: for every $(y^1, \dots, y^m) \in [0, 1]^m$, it holds

$$\min\{y^1, \dots, y^m\} \leq \mathbf{A}^\lambda(y^1, \dots, y^m) \leq \max\{y^1, \dots, y^m\}.$$

For properties of aggregation operators, see [6] and [9].

3.2.2 The aggregation steps

We now show how to aggregate the information provided by reviewers following the steps presented in Section 2. For this purpose, we consider the Extended Goal Programming formulation appeared in 3.2.1.

- (1) *Reviewers' collective values.* For each employee x_j , criterion Y_k and set of reviewers, we aggregate the individual assessments.
 - (a) *Supervisors' values:*

$$v_A^k(x_j) = \mathbf{A}^{\lambda_A^k}(a_j^{1k}, \dots, a_j^{rk}) = a_j^{*k} \in [0, 1],$$

by solving the following problem

$$\begin{aligned} & \min (1 - \lambda_A^k) D + \lambda_A^k \sum_{i=1}^r (w_i^{Ak} (\eta_{ji} + \rho_{ji})) \\ \text{s. t.:} \\ & w_1^{Ak} (\eta_{j1} + \rho_{j1}) \leq D \\ & \dots\dots\dots \\ & w_r^{Ak} (\eta_{jr} + \rho_{jr}) \leq D \\ & a_j^{*k} + \eta_{j1} - \rho_{j1} = a_j^{1k} \\ & \dots\dots\dots \\ & a_j^{*k} + \eta_{jr} - \rho_{jr} = a_j^{rk} \\ & 0 \leq a_j^{*k} \leq 1 \\ & \eta_{j1} \geq 0, \dots, \eta_{jr} \geq 0 \\ & \rho_{ji} \geq 0, \dots, \rho_{jr} \geq 0. \end{aligned}$$

(b) *Collaborators' values:*

$$v_B^k(x_j) = \mathbf{A}^{\lambda_B^k} (b_j^{1k}, \dots, b_j^{sk}) = b_j^{*k} \in [0, 1],$$

by solving the following problem

$$\begin{aligned} & \min (1 - \lambda_B^k) D + \lambda_B^k \sum_{i=1}^s (w_i^{Bk} (\eta_{ji} + \rho_{ji})) \\ \text{s. t.:} \\ & w_1^{Bk} (\eta_{j1} + \rho_{j1}) \leq D \\ & \dots\dots\dots \\ & w_s^{Bk} (\eta_{js} + \rho_{js}) \leq D \\ & b_j^{*k} + \eta_{j1} - \rho_{j1} = b_j^{1k} \\ & \dots\dots\dots \\ & b_j^{*k} + \eta_{js} - \rho_{js} = b_j^{sk} \\ & 0 \leq b_j^{*k} \leq 1 \\ & \eta_{j1} \geq 0, \dots, \eta_{js} \geq 0 \\ & \rho_{ji} \geq 0, \dots, \rho_{js} \geq 0. \end{aligned}$$

(c) *Customers' values:*

$$v_C^k(x_j) = \mathbf{A}^{\lambda_C^k} (c_j^{1k}, \dots, c_j^{tk}) = c_j^{*k} \in [0, 1],$$

by solving the following problem

$$\begin{aligned}
& \min (1 - \lambda_C^k) D + \lambda_C^k \sum_{i=1}^t (w_i^{C^k} (\eta_{ji} + \rho_{ji})) \\
& \text{s. t.:} \\
& w_1^{C^k} (\eta_{j1} + \rho_{j1}) \leq D \\
& \dots\dots\dots \\
& w_t^{C^k} (\eta_{jt} + \rho_{jt}) \leq D \\
& c_j^{*k} + \eta_{j1} - \rho_{j1} = c_j^{1k} \\
& \dots\dots\dots \\
& c_j^{*k} + \eta_{jt} - \rho_{jt} = c_j^{tk} \\
& 0 \leq c_j^{*k} \leq 1 \\
& \eta_{j1} \geq 0, \dots, \eta_{jt} \geq 0 \\
& \rho_{j1} \geq 0, \dots, \rho_{jt} \geq 0.
\end{aligned}$$

Although the aggregation process is similar in every set of reviewers, it is possible to consider different values of w_i^- for each reviewers' collective and for each criterion. In the same way, different values of λ_- for each group of reviewers and each criterion, λ_A^k , λ_B^k and λ_C^k , can be considered. If companies want to obtain an equitable aggregation process, the values of λ_- should be near 0, but if they want to obtain an efficient aggregation process, the values of λ_- should be near 1. Thus, for several values of w_i^- and λ_- we will obtain different points of view to get the evaluation for each employee x_j .

(2) *Global criteria values.*

$$v^k(x_j) = \mathbf{A}^{\lambda^k} (a_j^{*k}, b_j^{*k}, c_j^{*k}) = x_j^{*k} \in [0, 1],$$

by solving the following problem

$$\begin{aligned} & \min (1 - \lambda^k) D + \lambda^k \sum_{i=1}^3 (w_i^k (\eta_{ji} + \rho_{ji})) \\ \text{s. t.:} \\ & w_1^k (\eta_{j1} + \rho_{j1}) \leq D \\ & w_2^k (\eta_{j2} + \rho_{j2}) \leq D \\ & w_3^k (\eta_{j3} + \rho_{j3}) \leq D \\ & x_j^{*k} + \eta_{j1} - \rho_{j1} = a_j^{*k} \\ & x_j^{*k} + \eta_{j2} - \rho_{j2} = b_j^{*k} \\ & x_j^{*k} + \eta_{j3} - \rho_{j3} = c_j^{*k} \\ & 0 \leq x_j^{*k} \leq 1 \\ & \eta_{j1} \geq 0, \eta_{j2} \geq 0, \eta_{j3} \geq 0 \\ & \rho_{j1} \geq 0, \rho_{j2} \geq 0, \rho_{j3} \geq 0. \end{aligned}$$

Obviously, we can consider different values of w_i^k for each criterion Y_k , and different values of $\lambda^1, \lambda^2, \lambda^3$.

(3) *Global value.*

$$v(x_j) = \mathbf{A}^\lambda (x_j^{*1}, \dots, x_j^{*q}) = x_j^* \in [0, 1],$$

by solving the following problem

$$\begin{aligned} & \min (1 - \lambda) D + \lambda \sum_{i=1}^q (w_i (\eta_{ji} + \rho_{ji})) \\ \text{s. t.:} \\ & w_1 (\eta_{j1} + \rho_{j1}) \leq D \\ & \dots \dots \dots \\ & w_q (\eta_{jq} + \rho_{jq}) \leq D \\ & x_j^* + \eta_{j1} - \rho_{j1} = x_j^{*1} \\ & \dots \dots \dots \\ & x_j^* + \eta_{jq} - \rho_{jq} = x_j^{*q} \\ & 0 \leq x_j^* \leq 1 \\ & \eta_{j1} \geq 0, \dots, \eta_{jq} \geq 0 \\ & \rho_{j1} \geq 0, \dots, \rho_{jq} \geq 0. \end{aligned}$$

3.3 Exploitation phase

In the exploitation phase, the management team shall classify and order employees x_1, \dots, x_n according to:

- (1) The reviewers' collective values for each criterion (see Table 4).
- (2) The global criteria values (see Table 5).
- (3) The global values, x_1^*, \dots, x_n^* .

Table 4

Reviewers' collective values for Y_k

Reviewers	Reviewers' collective values
Supervisors	$a_1^{*k}, \dots, a_n^{*k}$
Colleagues	$b_1^{*k}, \dots, b_n^{*k}$
Customers	$c_1^{*k}, \dots, c_n^{*k}$

Table 5

Global criteria values

Criterion	Global criteria values
Y_1	$x_1^{*1}, \dots, x_n^{*1}$
...
Y_q	$x_1^{*q}, \dots, x_n^{*q}$

4 An illustrative example

In this section we show a simple example in order to show how companies could carry out their performance process with the previously proposed model. We suppose the following scheme:

- There are two employees to be evaluated, x_1 and x_2 .
- The employees are evaluated attending to two criteria, Y_1 and Y_2 .
- The reviewers' collectives are:
 - A set of four supervisors $A = \{a_1, \dots, a_4\}$.
 - A set of eight collaborators $B = \{b_1, \dots, b_8\}$.
 - A set of twelve customers $C = \{c_1, \dots, c_{12}\}$.
- Members of each group of reviewers express their evaluations about workers through the following finite scales of real numbers, according to their knowledge about evaluated employees:

- Supervisors:

$$S_A^1 = \{s_1^{A1}, s_2^{A1}, s_3^{A1}, s_4^{A1}, s_5^{A1}, s_6^{A1}, s_7^{A1}, s_8^{A1}, s_9^{A1}, s_{10}^{A1}, s_{11}^{A1}, s_{12}^{A1}\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\}.$$

$$S_A^2 = \{s_1^{A2}, s_2^{A2}, s_3^{A2}, s_4^{A2}, s_5^{A2}, s_6^{A2}, s_7^{A2}, s_8^{A2}, s_9^{A2}, s_{10}^{A2}\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}.$$

- Collaborators:

$$S_B^1 = \{s_1^{B1}, s_2^{B1}, s_3^{B1}, s_4^{B1}, s_5^{B1}, s_6^{B1}, s_7^{B1}, s_8^{B1}, s_9^{B1}, s_{10}^{B1}\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}.$$

$$S_B^2 = \{s_1^{B2}, s_2^{B2}, s_3^{B2}, s_4^{B2}, s_5^{B2}, s_6^{B2}, s_7^{B2}, s_8^{B2}\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}.$$

- Customers:

$$S_C^1 = \{s_1^{C1}, s_2^{C1}, s_3^{C1}, s_4^{C1}, s_5^{C1}, s_6^{C1}, s_7^{C1}, s_8^{C1}\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}.$$

$$S_C^2 = \{s_1^{C2}, s_2^{C2}, s_3^{C2}, s_4^{C2}, s_5^{C2}, s_6^{C2}\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}.$$

In Tables 6 and 7 the assessments provided the reviewers about employees x_1 and x_2 for the criteria Y_1 and Y_2 are indicated.

Insert Tables 6 and 7

Once all information has been gathered, we follow the scheme presented in 2.1 to obtain the different values which allow companies to rank employees according to their human resources policy.

First, we carry out the normalization phase. All information is standardized in the interval $[0, 1]$ following the method showed in 3.1. The following normalized scales are obtained:

- For supervisors:

$$\begin{aligned} \cdot \bar{S}_A^1 &= \{\bar{s}_1^{A1}, \bar{s}_2^{A1}, \bar{s}_3^{A1}, \bar{s}_4^{A1}, \bar{s}_5^{A1}, \bar{s}_6^{A1}, \bar{s}_7^{A1}, \bar{s}_8^{A1}, \bar{s}_9^{A1}, \bar{s}_{10}^{A1}, \bar{s}_{11}^{A1}, \bar{s}_{12}^{A1}\} = \\ &\{0, \frac{1}{11}, \frac{2}{11}, \frac{3}{11}, \frac{4}{11}, \frac{5}{11}, \frac{6}{11}, \frac{7}{11}, \frac{8}{11}, \frac{9}{11}, \frac{10}{11}, 1\}. \\ \cdot \bar{S}_A^2 &= \{\bar{s}_1^{A2}, \bar{s}_2^{A2}, \bar{s}_3^{A2}, \bar{s}_4^{A2}, \bar{s}_5^{A2}, \bar{s}_6^{A2}, \bar{s}_7^{A2}, \bar{s}_8^{A2}, \bar{s}_9^{A2}, \bar{s}_{10}^{A2}\} = \\ &\{0, \frac{1}{9}, \frac{2}{9}, \frac{3}{9}, \frac{4}{9}, \frac{5}{9}, \frac{6}{9}, \frac{7}{9}, \frac{8}{9}, 1\}. \end{aligned}$$

- For collaborators:

$$\begin{aligned} \cdot \bar{S}_B^1 &= \{\bar{s}_1^{B1}, \bar{s}_2^{B1}, \bar{s}_3^{B1}, \bar{s}_4^{B1}, \bar{s}_5^{B1}, \bar{s}_6^{B1}, \bar{s}_7^{B1}, \bar{s}_8^{B1}, \bar{s}_9^{B1}, \bar{s}_{10}^{A2}\} = \\ &\{0, \frac{1}{9}, \frac{2}{9}, \frac{3}{9}, \frac{4}{9}, \frac{5}{9}, \frac{6}{9}, \frac{7}{9}, \frac{8}{9}, 1\}. \\ \cdot \bar{S}_B^2 &= \{\bar{s}_1^{B2}, \bar{s}_2^{B2}, \bar{s}_3^{B2}, \bar{s}_4^{B2}, \bar{s}_5^{B2}, \bar{s}_6^{B2}, \bar{s}_7^{B2}, \bar{s}_8^{B2}\} = \{0, \frac{1}{7}, \frac{2}{7}, \frac{3}{7}, \frac{4}{7}, \frac{5}{7}, \frac{6}{7}, 1\}. \end{aligned}$$

- For customers:

$$\begin{aligned} \cdot \bar{S}_C^1 &= \{\bar{s}_1^{C1}, \bar{s}_2^{C1}, \bar{s}_3^{C1}, \bar{s}_4^{C1}, \bar{s}_5^{C1}, \bar{s}_6^{C1}, \bar{s}_7^{C1}, \bar{s}_8^{C1}\} = \{0, \frac{1}{7}, \frac{2}{7}, \frac{3}{7}, \frac{4}{7}, \frac{5}{7}, \frac{6}{7}, 1\}. \\ \cdot \bar{S}_C^2 &= \{\bar{s}_1^{C2}, \bar{s}_2^{C2}, \bar{s}_3^{C2}, \bar{s}_4^{C2}, \bar{s}_5^{C2}, \bar{s}_6^{C2}\} = \{0, \frac{1}{5}, \frac{2}{5}, \frac{3}{5}, \frac{4}{5}, 1\}. \end{aligned}$$

After the normalization phase, the aggregation process can start. The weights used in each stage are included in Tables 8, 9, 10 and 11.

Insert Tables 8, 9, 10 and 11

We note that different reviewers' collective values, different global criteria values and different global values can be obtained for different values of λ . Here we only consider $\lambda = 0.5$ to calculate reviewers' collective values and global criteria values (see Tables 12 and 13).

Insert Tables 12 and 13

In Tables 14, 15, 16 and 17 we show assessments obtained for each employee after aggregation process, taking into account different weights, groups of reviewers and criteria. In this way, we obtain a collective criteria value for each employee and each criterion, and a global criteria value for each employee and each criterion.

Insert Tables 14, 15, 16 and 17

In the last stage of the aggregation phase, the procedures are the following:

- For employee x_1 :

$$v(x_1) = \mathbf{A}^\lambda(x_1^{*1}, x_1^{*2}) = x_1^* \in [0, 1],$$

by solving the following problem

$$\min (1 - \lambda) D + \lambda \sum_{i=1}^2 (w_i(\eta_{1i} + \rho_{1i}))$$

s. t.:

$$w_1(\eta_{11} + \rho_{11}) \leq D$$

$$w_2(\eta_{12} + \rho_{12}) \leq D$$

$$x_1^* + \eta_{11} - \rho_{11} = x_1^{*1}$$

$$x_1^* + \eta_{12} - \rho_{12} = x_1^{*2}$$

$$0 \leq x_1^* \leq 1$$

$$\eta_{11} \geq 0, \eta_{12} \geq 0$$

$$\rho_{11} \geq 0, \rho_{12} \geq 0.$$

- For employee x_2 :

$$v(x_2) = \mathbf{A}^\lambda(x_2^{*1}, x_2^{*2}) = x_2^* \in [0, 1],$$

by solving the following problem

$$\min (1 - \lambda) D + \lambda \sum_{i=1}^2 (w_i(\eta_{2i} + \rho_{2i}))$$

s. t.:

$$w_1(\eta_{21} + \rho_{21}) \leq D$$

$$w_2(\eta_{22} + \rho_{22}) \leq D$$

$$x_2^* + \eta_{21} - \rho_{21} = x_2^{*1}$$

$$x_2^* + \eta_{22} - \rho_{22} = x_2^{*2}$$

$$0 \leq x_2^* \leq 1$$

$$\eta_{21} \geq 0, \eta_{22} \geq 0$$

$$\rho_{21} \geq 0, \rho_{22} \geq 0.$$

In order to show how λ can be used by companies to decide about the degree of efficiency and equitation in performance appraisal decision, we are considering different values of λ to calculate the global values for employees x_1 and x_2 (see Tables 16 and 17).

Insert Tables 16 and 17

We can note that:

- If companies would want to obtain an efficiency ranking procedure, they will consider $\lambda = 0$. In this case both employees have similar global values, $v(x_1) = 0.47 < 0.48 = v(x_2)$.
- If companies would want to obtain an equitable ranking procedure, they will consider $\lambda = 1$. In this case, $v(x_2) = 0.16 < 0.34 = v(x_1)$, and the order of the ranking changes.

5 Conclusions

Since 360-degrees appraisal takes into account the opinions of different reviewers, we have proposed an Extended Goal Programming approach based on metrics L_p to obtain different aggregation values for each employee. Different values of w and λ can be used for reaching aggregation values by means of different points of view and sensitiveness towards assessments' dispersion. We have obtained not only a global assessment for each employee, but intermediate values according to the opinions of each set of reviewers and criteria, and a global assessment for each criterion. It is worth emphasizing that the proposed model is quite flexible in allowing the management team how to aggregate the individual opinions.

Acknowledgements

This work is partially supported by the Spanish Ministry of Education and Science grants MTM2005-08982-C04-02 and SEJ2005-04392/ECON), and ERDF.

References

- [1] R. de Andrés, J. L. García-Lapresta and L. Martínez, A multi-granular linguistic model for management decision-making in performance appraisal. Submitted.
- [2] J. Antes, L. Campen, U. Derigs, C. Titze and G. D. Wolle, A model-based decision support system for the evaluation of flight schedules for cargo airlines. *Decision Support Systems* **22** (4), (1998) pp. 307–323.
- [3] B. Arfi, Fuzzy decision making in politics. A linguistic fuzzy-set approach (LFSA). *Political Analysis* **13**, (2005) pp. 23–56.
- [4] C. G. Banks and L. Roberson, Performance appraisers as test developers. *Academy of Management Review* **10**, (1985) pp. 128–142.
- [5] J. N. Baron and D. M. Kreps, *Strategic Human Resources. Frameworks for General Managers*. Wiley & Sons, New York, (1999).
- [6] G. Beliakov, A. Pradera and T. Calvo, *Aggregation Functions: A Guide for Practitioners*. Springer, Berlin (2007).
- [7] D. Bouyssou, T. Marchant, M. Pirlot, P. Perny and A. Tsoukiàs, *Evaluation and Decision Models: A Critical Perspective*. Kluwer Academic Publishers, (2000).
- [8] 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**, (1992) pp. 321–352.

- [9] T. Calvo, A. Kolesárová, M. Komorníková and R. Mesiar, Aggregation operators: Properties, classes and construction methods. In: Calvo T, Mayor G, Mesiar R (eds) *Aggregation Operators: New Trend and Applications. Studies in Fuzziness and Soft Computing* **97**, pp. 3–106. Physica Verlag, Heidelberg (2002).
- [10] R. T. Clemen, *Making Hard Decisions. An Introduction to Decision Analysis*. Duxbury Press, (1995).
- [11] E. Dopazo and J. González-Pachón, Computational distance-based approximation to a pairwise comparison matrix. *Kybernetika* **39**, (2003) pp. 561–568.
- [12] M. Edwards and E. Ewen, Automating 360 degree feedback. *HR Focus* **70**, (1996) p. 3.
- [13] C. D. Fisher, L. F. Schoenfeldt and J. B. Shaw, *Human Resource Management*. Houghton Mifflin Company, Boston, (2006).
- [14] J. Fodor and M. Roubens, *Fuzzy Preference Modelling and Multicriteria Decision Support*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, (1994).
- [15] J. González-Pachón and C. Romero, Distance-based consensus methods: A goal programming approach. *OMEGA International Journal of Management Science* **27**, (1999) pp. 341–347.
- [16] J. González-Pachón and C. Romero, An analytical framework for aggregating multiattribute utility functions. *Journal of Operational Research Society* **57**, (2006) pp. 1241–1247.
- [17] J. P. Ignizio and T. M. Caliver, *Linear Programming*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, (1994).
- [18] J. B. Miner, Development and application of the rated ranking technique in

performance appraisal. *Journal of Occupational Psychology* **6**, (1998) pp. 291–305.

- [19] L. Martínez, Sensory evaluation based on linguistic decision analysis. *International Journal of Approximated Reasoning* **44** (2), (2007) pp. 148–164.
- [20] C. Romero, *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*. Pergamon Press, Oxford, (1991).
- [21] C. Romero, Extended lexicographic goal programming a unifying approach. *OMEGA. The International Journal of Management Science* **29**, (2001) pp. 63–71.
- [22] P. L. Yu, A class of solutions for group decision problems. *Management Science* **19**, (1973) pp. 936-946.

Table 6

Assessments for each employee and each criterion

Supervisors	x_1		x_2	
	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
a_1	$a_1^{11} = s_7^{A1} = 7$	$a_1^{12} = s_6^{A2} = 6$	$a_2^{11} = s_4^{A1} = 4$	$a_2^{12} = s_9^{A2} = 9$
a_2	$a_1^{21} = s_8^{A1} = 8$	$a_1^{22} = s_7^{A2} = 7$	$a_2^{21} = s_3^{A1} = 3$	$a_2^{22} = s_8^{A2} = 8$
a_3	$a_1^{31} = s_6^{A1} = 6$	$a_1^{32} = s_5^{A2} = 5$	$a_2^{31} = s_4^{A1} = 4$	$a_2^{32} = s_8^{A2} = 8$
a_4	$a_1^{41} = s_6^{A1} = 6$	$a_1^{42} = s_7^{A2} = 7$	$a_2^{41} = s_4^{A1} = 4$	$a_2^{42} = s_9^{A2} = 9$
Collaborators				
b_1	$b_1^{11} = s_7^{B1} = 7$	$b_1^{12} = s_4^{B2} = 4$	$b_2^{11} = s_4^{B1} = 4$	$b_2^{12} = s_6^{B2} = 6$
b_2	$b_1^{21} = s_6^{B1} = 6$	$b_1^{22} = s_5^{B2} = 5$	$b_2^{21} = s_5^{B1} = 5$	$b_2^{22} = s_7^{B2} = 7$
b_3	$b_1^{31} = s_5^{B1} = 5$	$b_1^{32} = s_6^{B2} = 6$	$b_2^{31} = s_4^{B1} = 4$	$b_2^{32} = s_6^{B2} = 6$
b_4	$b_1^{41} = s_5^{B1} = 5$	$b_1^{42} = s_7^{B2} = 7$	$b_2^{41} = s_3^{B1} = 3$	$b_2^{42} = s_7^{B2} = 7$
b_5	$b_1^{51} = s_7^{B1} = 7$	$b_1^{52} = s_8^{B2} = 8$	$b_2^{51} = s_3^{B1} = 3$	$b_2^{52} = s_8^{B2} = 8$
b_6	$b_1^{61} = s_6^{B1} = 6$	$b_1^{62} = s_8^{B2} = 8$	$b_2^{61} = s_4^{B1} = 4$	$b_2^{62} = s_8^{B2} = 8$
b_7	$b_1^{71} = s_4^{B1} = 4$	$b_1^{72} = s_7^{B2} = 7$	$b_2^{71} = s_3^{B1} = 3$	$b_2^{72} = s_6^{B2} = 6$
b_8	$b_1^{81} = s_5^{B1} = 5$	$b_1^{82} = s_6^{B2} = 6$	$b_2^{81} = s_5^{B1} = 5$	$b_2^{82} = s_5^{B2} = 5$

Table 7
Assessments for each employee and each criterion

Customers	x_1		x_2	
	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
c_1	$c_1^{11} = s_1^{C1} = 1$	$c_1^{12} = s_5^{C2} = 5$	$c_2^{11} = s_1^{C1} = 1$	$c_2^{12} = s_4^{C2} = 4$
c_2	$c_1^{21} = s_1^{C1} = 1$	$c_1^{22} = s_5^{C2} = 5$	$c_2^{21} = s_1^{C1} = 1$	$c_2^{22} = s_5^{C2} = 5$
c_3	$c_1^{31} = s_2^{C1} = 2$	$c_1^{32} = s_4^{C2} = 4$	$c_2^{31} = s_1^{C1} = 1$	$c_2^{32} = s_5^{C2} = 5$
c_4	$c_1^{41} = s_1^{C1} = 1$	$c_1^{42} = s_4^{C2} = 4$	$c_2^{41} = s_1^{C1} = 1$	$c_2^{42} = s_5^{C2} = 5$
c_5	$c_1^{51} = s_2^{C1} = 2$	$c_1^{52} = s_4^{C2} = 4$	$c_2^{51} = s_1^{C1} = 1$	$c_2^{52} = s_4^{C2} = 4$
c_6	$c_1^{61} = s_3^{C1} = 3$	$c_1^{62} = s_5^{C2} = 5$	$c_2^{61} = s_1^{C1} = 1$	$c_2^{62} = s_4^{C2} = 4$
c_7	$c_1^{71} = s_1^{C1} = 1$	$c_1^{72} = s_4^{C2} = 4$	$c_2^{71} = s_1^{C1} = 1$	$c_2^{72} = s_3^{C2} = 3$
c_8	$c_1^{81} = s_1^{C1} = 1$	$c_1^{82} = s_5^{C2} = 5$	$c_2^{81} = s_1^{C1} = 1$	$c_2^{82} = s_5^{C2} = 5$
c_9	$c_1^{91} = s_2^{C1} = 2$	$c_1^{92} = s_3^{C2} = 3$	$c_2^{91} = s_1^{C1} = 1$	$c_2^{92} = s_4^{C2} = 4$
c_{10}	$c_1^{101} = s_2^{C1} = 2$	$c_1^{102} = s_4^{C2} = 4$	$c_2^{101} = s_1^{C1} = 1$	$c_2^{102} = s_5^{C2} = 5$
c_{11}	$c_1^{111} = s_2^{C1} = 2$	$c_1^{112} = s_5^{C2} = 5$	$c_2^{111} = s_2^{C1} = 2$	$c_2^{112} = s_5^{C2} = 5$
c_{12}	$c_1^{121} = s_2^{C1} = 2$	$c_1^{122} = s_5^{C2} = 5$	$c_2^{121} = s_1^{C1} = 1$	$c_2^{122} = s_5^{C2} = 5$

Table 8

Weights of reviewers for computing collective criteria values

Supervisors	Y_1	Y_2
a_1	$w_1^{A1} = \frac{1}{4}$	$w_1^{A2} = \frac{1}{4}$
a_2	$w_2^{A1} = \frac{1}{4}$	$w_2^{A2} = \frac{1}{4}$
a_3	$w_3^{A1} = \frac{1}{4}$	$w_3^{A2} = \frac{1}{4}$
a_4	$w_4^{A1} = \frac{1}{4}$	$w_4^{A2} = \frac{1}{4}$
Collaborators	Y_1	Y_2
b_1	$w_1^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_1^{B2} = \frac{1}{8}$
b_2	$w_2^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_2^{B2} = \frac{1}{8}$
b_3	$w_3^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_3^{B2} = \frac{1}{8}$
b_4	$w_4^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_4^{B2} = \frac{1}{8}$
b_5	$w_5^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_5^{B2} = \frac{1}{8}$
b_6	$w_6^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_6^{B2} = \frac{1}{8}$
b_7	$w_7^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_7^{B2} = \frac{1}{8}$
b_8	$w_8^{B1} = \frac{1}{8}$	$w_8^{B2} = \frac{1}{8}$

Table 9
Weights of reviewers for computing collective criteria values

Customers	Y_1	Y_2
c_1	$w_1^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_1^{C2} = \frac{1}{12}$
c_2	$w_2^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_2^{C2} = \frac{1}{12}$
c_3	$w_3^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_3^{C2} = \frac{1}{12}$
c_4	$w_4^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_4^{C2} = \frac{1}{12}$
c_5	$w_5^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_5^{C2} = \frac{1}{12}$
c_6	$w_6^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_6^{C2} = \frac{1}{12}$
c_7	$w_7^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_7^{C2} = \frac{1}{12}$
c_8	$w_8^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_8^{C2} = \frac{1}{12}$
c_9	$w_9^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_9^{C2} = \frac{1}{12}$
c_{10}	$w_{10}^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_{10}^{C2} = \frac{1}{12}$
c_{11}	$w_{11}^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_{11}^{C2} = \frac{1}{12}$
c_{12}	$w_{12}^{C1} = \frac{1}{12}$	$w_{12}^{C2} = \frac{1}{12}$

Table 10

Weights of collectives for computing global criteria values

	Y_1	Y_2
Supervisors	$w_1^1 = \frac{1}{3}$	$w_1^2 = \frac{1}{3}$
Collaborators	$w_2^1 = \frac{1}{3}$	$w_2^2 = \frac{1}{3}$
Customers	$w_3^1 = \frac{1}{3}$	$w_3^2 = \frac{1}{3}$

Table 11

Weights of criteria for computing global value

Y_1	Y_2
$w_1 = \frac{1}{2}$	$w_2 = \frac{1}{2}$

Table 12

Parameters for computing reviewers' collective criteria values

	Y_1	Y_2
Supervisors	$\lambda_A^1 = 0.5$	$\lambda_A^2 = 0.5$
Collaborators	$\lambda_B^1 = 0.5$	$\lambda_B^2 = 0.5$
Customers	$\lambda_C^1 = 0.5$	$\lambda_C^2 = 0.5$

Table 13

Parameters for computing global criteria values

Y_1	Y_2
$\lambda^1 = 0.5$	$\lambda^2 = 0.5$

Table 14

Reviewers' collective criteria values for each employee

	x_1	
	Y_1	Y_2
Supervisors	$v_A^1(x_1) = 0.54$	$v_A^2(x_1) = 0.55$
Collaborators	$v_B^1(x_1) = 0.50$	$v_B^2(x_1) = 0.86$
Customers	$v_C^1(x_1) = 0.14$	$v_C^2(x_1) = 0.6$
	x_2	
	Y_1	Y_2
Supervisors	$v_A^1(x_2) = 0.27$	$v_A^2(x_2) = 0.83$
Collaborators	$v_B^1(x_2) = 0.33$	$v_B^2(x_2) = 0.78$
Customers	$v_C^1(x_2) = 0$	$v_C^2(x_2) = 0.8$

Table 15

Global criteria values for each employee

	x_1	
	Y_1	Y_2
Global criteria values	$v^1(x_1) = 0.34$	$v^2(x_1) = 0.6$
	x_2	
	Y_1	Y_2
Global criteria values	$v^1(x_2) = 0.16$	$v^2(x_2) = 0.8$

Table 16

Global values for employee x_1

	$\lambda = 0$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 1$
Global values	$v(x_1) = 0.47$	$v(x_1) = 0.47$	$v(x_1) = 0.34$

Table 17

Global values for employee x_2

	$\lambda = 0$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 1$
Global values	$v(x_2) = 0.48$	$v(x_2) = 0.48$	$v(x_2) = 0.16$

Apéndice C

A multi-granular linguistic model for management decision-making in performance appraisal

This Appendix includes the paper *A multi-granular linguistic model for management decision-making in performance appraisal*, accepted for publication in *Soft Computing*. It presents a 360-degree performance evaluation model with multiple linguistic scale by using *2-tuple linguistic representation model*.

This document includes the main results obtained in Chapter 4 of this memory.

A multi-granular linguistic model for management decision-making in performance appraisal

Rocío de Andrés · José Luis García-Lapresta · Luis Martínez

© Springer-Verlag 2008

Abstract The performance appraisal is a relevant process to keep and improve the competitiveness of companies in nowadays. In spite of this relevance, the current performance appraisal models are not sufficiently well-defined either designed for the evaluation framework in which they are defined. This paper proposes a performance appraisal model where the assessments are modelled by means of linguistic information provided by different sets of reviewers in order to manage the uncertainty and subjectivity of such assessments. Therefore, the reviewers could express their assessments in different linguistic scales according to their knowledge about the evaluated employees, defining a multi-granular linguistic evaluation framework. Additionally, the proposed model will manage the multi-granular linguistic labels provided by appraisers in order to compute collective assessments about the employees that will be used by the management team to make the final decision about them.

Keywords Performance appraisal · Multi-criteria decision-making · Linguistic information · Linguistic 2-tuple · Aggregation operators

R. de Andrés
PRESAD Research Group, Departamento de Fundamentos del Análisis Económico e Historia e Instituciones Económicas, University of Valladolid, 47011 Valladolid, Spain

J. L. García-Lapresta (✉)
PRESAD Research Group, Departamento de Economía Aplicada, University of Valladolid, 47011 Valladolid, Spain
e-mail: lapresta@eco.uva.es

L. Martínez
Department of Computer Science, University of Jaén, 23071 Jaén, Spain

1 Introduction

Along history, organizations and companies have been adapted to conditions established by market and society to survive and be successful. Nowadays, the main purpose of companies is to be competitive. Such a way, most pioneer companies know that competitiveness depends on a continuous development of the human resources. To achieve a right management and administration of human resources, it is necessary to quantify and qualify employee's goals. In order to achieve this aim, companies have introduced different methods to evaluate relationships between their established objectives and human resources. One of the procedures quite often used by companies to evaluate their employees is *performance appraisal* (Banks and Roberson 1985; Baron and Kreps 1999; Bernardin et al. 1995; Bretz et al. 1992; Fletcher 2001; Miner 1988; Murphy and Cleveland 1991).

Notwithstanding performance appraisal plays a key role in the competitiveness of the companies, many of them either carry out informal ones or do not use it yet. Other companies, keen on this evaluation, use formal methods but based just on the opinion of one or various supervisors. Regarding the latter companies developing formal but just supervisors' performance appraisal processes, their management teams usually point out several drawbacks or weak points in such processes:

- The results are often biased or very much subjective because the evaluation relies on one supervisor that is not the only one relevant person to evaluate employee's performance.
- The difficulty to interpret correctly the final and intermediate results, because despite most of evaluated indicators and their analysis are qualitative, the current

methods provide only a quantitative precise modelling for their assessments.

In order to overcome these drawbacks, we propose in this paper a new performance appraisal method based on a more recent view about evaluation, so-called *360° assessment* or *integral evaluation* (see Cardy and Dobbins 1994; Edwards and Ewen 1996; Marshall 1999; Pfau and Kay 2002), that takes into account different groups of appraisers during the evaluation. Since the use of the decision analysis scheme (Clemen 1995) to accomplish evaluation processes has got promising results (Antes et al. 1998; Arfi 2005; Bouyssou et al. 2000; Jiménez et al. 2003; Martínez 2007), we propose a model based on this scheme (see Fig. 1).

Regarding the second drawback and due to the fact that the evaluated indicators are usually qualitative and subjective, we propose the use of the Fuzzy Linguistic Approach (Zadeh 1975) to model and assess such indicators, because it provides a direct way to model qualitative information by means of linguistic variables. This approach has been successfully used for this purpose in other evaluation fields (Martínez 2007; Martínez et al. 2006; and other topics, Arfi 2005; Bonissone and Decker 1986; Chen 2001; Cheng and Lin 2002; Yager 1995).

Therefore, our proposal will deal with a linguistic framework in which different groups of appraisers provide their opinions. It seems plausible that different appraisers and even more different groups of appraisers may have different expertise and/or degree of knowledge about the evaluated employee. Hence, we consider that the evaluation framework should be flexible in the sense of offering them the possibility of expressing their assessments in different linguistic scales according to their knowledge and expertise. The evaluation framework for our proposal will be a multi-granular linguistic framework (Herrera et al. 2000; Herrera and Martínez 2001). We shall apply this model to a performance appraisal problem.

The paper is organized as follows. Section 2 is devoted to introduce the problem of Performance Appraisal and 360° assessment or integral evaluation. In Sect. 3 we review in short the necessary linguistic concepts and methods for our proposal. In Sect. 4 we introduce a multi-granular linguistic 360° performance appraisal model. In Sect. 5 we propose an illustrative example. And the paper is concluded in Sect. 6.

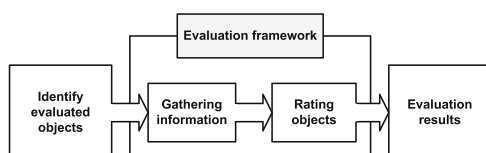


Fig. 1 Decision analysis scheme for evaluation based on Martínez (2007)

2 Performance appraisal and 360° assessment

The main goal of this paper is to propose a new methodology to carry out performance appraisal, but first of all we review shortly the concept and the aims of this process. In the same way, we introduce the basic scheme and notation of the model we shall propose later.

2.1 Performance appraisal

An important factor related to continuous companies' success is their capacity to measure how well their employees carry out their jobs and the use of such an information to improve over time. There are many companies and organizations which have demonstrated that a correct human resources management ensures a financial success. There are many researches which confirm that companies which carried out performance appraisal process increases their productivity around 43% (see Zemke 2003). In the international context we can note: Sears, GTE, Southwest Airlines, North Mortgage, Glaxo Welcome, Hewlett Packard, Motorola, among others (see Schoenfeldt et al. 2006).

In order to achieve this measurement, organizations and companies, step by step, have introduced different methods that allow to evaluate relationships between established objectives by companies and human resources.

Performance appraisal is one of the procedures most used by companies and organizations to evaluate their employees (Banks and Roberson 1985; Baron and Kreps 1999; Bernardin et al. 1995; Bretz et al. 1992; Fletcher 2001; Miner 1988; Murphy and Cleveland 1991). Performance appraisal is a formal system of assessment which is used by companies for estimating employees' contributions to organization's goals, behavior and results during a period of time. Performance appraisal process has multiple purposes but these can be divided in four large groups (Baron and Kreps 1999; Schoenfeldt et al. 2006):

- *Developmental uses*: measurable performance goals, to determine transfer and job assignments for developmental purposes, etc.
- *Administrative uses*: salary, promotion, retention or termination, layoffs, discipline, etc.
- *Organizational maintenance*: human resources planning, to determine organization training needs, to evaluate organizational goal achievement, to evaluate human resources systems, etc.
- *Documentation*: document human resources decisions and help meet legal requirements.

Companies and organizations can obtain information to make decisions in the above-mentioned elements by using performance appraisal.

Little by little, organizations and companies have been introducing different methods of performance appraisal to reach such survival and success (see Banks and Roberson 1985; Bretz et al. 1992; Miner 1988, among others).

2.2 360° Appraisal or integral evaluation

Initially, many companies used informal methods to carry out performance appraisal process, where only supervisors evaluate employees, that implies several drawbacks pointed out in Sect. 1. In order to overcome these drawbacks corporations are adopting new methods that use information from different people (appraisers) connected with each evaluated worker. One of the new methods is 360° appraisal, which gathers information from different people who can truly respond to how an employee performs on the job. 360° assessment or integral evaluation (Edwards and Ewen 1996) is a mechanism for evaluating worker's performance based on judgment from everyone with whom the worker comes in contact: supervisors, collaborators, colleagues, customers and oneself included (see Fig. 2).

The use of this kind of methodology allows companies to obtain information about employees' performance from different points of view, which improves the process results.

Recent polls in USA estimate that 90% of Fortune 1,000 firms use 360° assessment or integral evaluation to evaluate their employees as McDonnell–Douglas, AT&T, Allied Signal, Dupont, Honeywell, Boeing and Intel, among others (see Schoenfeldt et al. 2006). This methodology has been extensively used since the 80's, for evaluating supervisors and managers.

Some 360° assessment advantages over the classical system with just supervisors as appraisers are (see Banks and Roberson 1985; Edwards and Ewen 1996; Schoenfeldt et al. 2006):

- Collect simultaneously information from different points of view about employees' performances. Supervisors, collaborators, customers and employees themselves take part in the evaluation process.

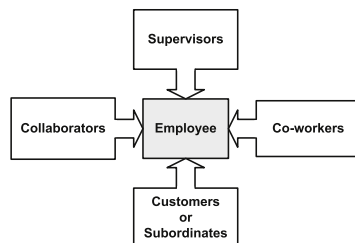


Fig. 2 Points of view in 360° performance appraisal

- Companies have information from different reviewers and can appraise various dimensions of employees' performance.
- The use of different sources leaves out biased.

Due to the fact that we shall propose a model based on the 360° assessment methodology and in order to clarify its working, we show a general scheme for performance appraisal. Let us suppose a set of n employees, $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ to be evaluated, according to a 360° methodology, by a collective of r supervisors, a collective of s collaborators or co-workers and a collective of t customers or subordinates. The assessments of employees about themselves are taking into account in the evaluation process. In this way, employees are going to be evaluated by the mentioned collectives according to different criteria established by the company in order to achieve its goals. These criteria are usually qualitative in nature or based on perceptions.

3 Linguistic background

Usually, performance appraisal deals with subjective and qualitative information. We then propose its management by modelling it with linguistic information. Additionally, we shall define a multi-granular linguistic framework to model a 360° evaluation problem in our proposal. In this section we review in short the fuzzy linguistic approach and how to manage multi-granular linguistic information.

3.1 Fuzzy linguistic approach

Information in a quantitative setting is usually expressed by means of numerical values. However, there are situations dealing with uncertainty or vague information in which a better approach to qualify aspects of many activities may be the use of linguistic assessments instead of numerical values. The fuzzy linguistic approach represents qualitative aspects as linguistic values by means of linguistic variables (Zadeh 1975, 1996). This approach is adequate when attempting to qualify phenomena related to human perceptions as in the problem we focus on. The use of the fuzzy linguistic approach implies to choose the appropriate linguistic descriptors for the term set and their semantics. An important parameter to be determined is the *granularity of uncertainty*, i.e., the cardinality of the linguistic term set used for showing the information that indicates the capacity of distinction that can be expressed; the more knowledge the more granularity (see Bonissone and Decker 1986).

One possibility of generating a linguistic term set, $S = \{s_0, \dots, s_g\}$, consists in directly supplying the term set by considering all the terms distributed on a finite scale

where a total order is defined (Yager 1995). For example, a set of seven terms S could be:

$$S = \{s_0 : \text{N (None)}, s_1 : \text{VL (Very Low)}, s_2 : \text{L (Low)}, \\ s_3 : \text{M (Medium)}, s_4 : \text{H (High)}, \\ s_5 : \text{VH (Very High)}, s_6 : \text{P (Perfect)}\}.$$

The semantics of the terms is given by fuzzy numbers defined in the $[0, 1]$ interval, which are usually described by membership functions. For example, we may assign the semantics of Fig. 3 to the previous term set of seven terms.

The use of linguistic variables implies processes of *computing with words* (CW) (Kacprzyk and Zadrozny 2001; Lawry 2001; Wang 2001; Zadeh 1996) such as their fusion, aggregation, comparison, etc. To perform these computations there exist different models: (1) the semantic model (Degani and Bortolan 1988), (2) the symbolic one (Delgado et al. 1993), and (3) the fuzzy 2-tuple computational model (Herrera and Martínez 2000).

Due to the fact that management teams need that the final and intermediate results would be easy to understand and interpret, we shall use a symbolic approach based on the fuzzy linguistic 2-tuple (Herrera and Martínez 2000). Because it is accurate in its computations as the semantic model (Herrera and Martínez 2001), but it is much easier to interpret by management teams, because they are not usually experts in fuzzy logic.

3.2 Managing multi-granular linguistic information

Since our proposal considers the use of multi-granular linguistic frameworks for the performance appraisal process, we need to accomplish processes of CW with this type of information. Due to the fact that we shall use a symbolic approach in order to facilitate the understanding of the results, we cannot operate directly in a symbolic way over the multi-granular linguistic information. Therefore, we review the method introduced in Herrera et al. (2005) for managing this information in processes of CW that

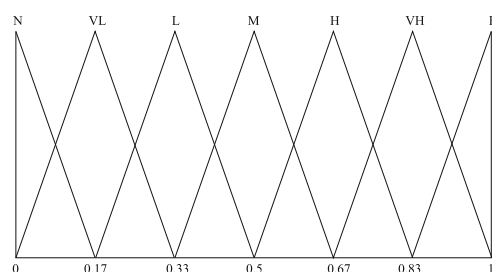


Fig. 3 A set of seven terms with its semantics

conducts the initial information expressed in different linguistic scales into a unique expression domain as follows:

1. To choose an expression domain to unify the information, so-called Basic Linguistic Term Set (BLTS).
2. To unify the multi-granular linguistic information into fuzzy sets in the BLTS.
3. To transform the fuzzy sets into linguistic 2-tuples in the BLTS.

We now will show in further detail the *unification process* of multi-granular linguistic information in order to accomplish CW process in a symbolic way.

3.2.1 Choosing the basic linguistic term set

Similarly to the quantitative domain when it deals with different scales, in the qualitative one, we shall choose the BLTS, noted as \bar{S} . In Herrera et al. (2000) were presented the rules to choose it in a systematic way, but basically consists of keep the maximum granularity of all the linguistic term sets involved.

Therefore, when the evaluation framework is defined by the human resources department, they would take into account this selection process, by providing term sets with maximum granularity to the supervisors collective. This is due to the fact that they usually have a greater degree of expertise and knowledge about the appraisal, and similar to the human resources and management teams that will analyze and interpret the results by using the same linguistic term set.

3.2.2 Transforming multi-granular linguistic information into fuzzy sets in the BLTS

Once the BLTS has been chosen, the multi-granular labels are unified by means of fuzzy sets in it according to the following transformation function.

Definition 1 (Herrera et al. 2000) Let $S = \{s_0, s_1, \dots, s_h\}$ and $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \bar{s}_1, \dots, \bar{s}_g\}$ be two linguistic term sets, with $h \leq g$.

The *linguistic transformation function* $T_{\bar{S}S} : S \rightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$ is defined by:

$$T_{\bar{S}S}(s_j) = \{(\bar{s}_0, \gamma_0), (\bar{s}_1, \gamma_1), \dots, (\bar{s}_g, \gamma_g)\}$$

being

$$\gamma_i = \max_y \min\{\mu_{s_j}(y), \mu_{\bar{s}_i}(y)\}, \quad i = 0, 1, \dots, g,$$

where $\mathcal{F}(\bar{S})$ is the set of fuzzy sets on \bar{S} , and μ_{s_j} and $\mu_{\bar{s}_i}$ are the membership functions of the linguistic labels $s_j \in S$ and $\bar{s}_i \in \bar{S}$, respectively.

In order to clarify the previous process, we provide the following example.

A multi-granular linguistic model for management decision-making in performance appraisal

Example 1 Let $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4\}$ and $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_3, \bar{s}_4, \bar{s}_5, \bar{s}_6\}$ be two linguistic term sets with the following associated semantics (given by triangular fuzzy numbers):

$s_0 = (0, 0, 0.25)$	$\bar{s}_0 = (0, 0, 0.16)$
$s_1 = (0, 0.25, 0.5)$	$\bar{s}_1 = (0, 0.16, 0.34)$
$s_2 = (0.25, 0.5, 0.75)$	$\bar{s}_2 = (0.16, 0.34, 0.5)$
$s_3 = (0.5, 0.75, 1)$	$\bar{s}_3 = (0.34, 0.5, 0.66)$
$s_4 = (0.75, 1, 1)$	$\bar{s}_4 = (0.5, 0.66, 0.84)$
	$\bar{s}_5 = (0.66, 0.84, 1)$
	$\bar{s}_6 = (0.84, 1, 1)$

Then,

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

is the fuzzy set in the BLTS obtained for s_1 (see Fig. 4), i.e., s_1 is \bar{s}_0 with a degree of 0.39, \bar{s}_1 with a degree of 0.85, \bar{s}_2 with a degree of 0.85, \bar{s}_3 with a degree of 0.39, and \bar{s}_4, \bar{s}_5 and \bar{s}_6 with a degree of 0.

3.2.3 Transformation into linguistic 2-tuples

So far, we have conducted the multi-granular linguistic information in a unique linguistic domain \bar{S} , by means of fuzzy sets. But this type of information is far from the initial one, it is difficult to understand by the management team, the appraisers and introduces complexity in the computations. We consider the transformation of this type of information into linguistic 2-tuples in the BLTS. The 2-tuple fuzzy linguistic representation model (Herrera and Martínez 2000) is based on the concept of *symbolic translation*. This model represents the linguistic information through a 2-tuple (s, α) , where s is a linguistic term and α is a numerical value which represents the symbolic translation. So, being $\beta \in [0, g]$ the value generated by a symbolic aggregation operation, we can assign a 2-tuple (s, α) that expresses the equivalent information of that given by β .

Definition 2 (Herrera and Martínez 2000) Let $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ be a set of linguistic terms. The 2-tuple set associated with S is defined as $\langle S \rangle = S \times [-0.5, 0.5]$. We define the function $\Delta_S : [0, g] \rightarrow \langle S \rangle$ given by

$$\Delta_S(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ with } \begin{cases} i = \text{round}(\beta), \\ \alpha = \beta - i, \end{cases}$$

where *round* assigns to β the integer number $i \in \{0, 1, \dots, g\}$ closest to β .

We note that Δ_S is bijective (Herrera and Martínez 2001a, b) and $\Delta_S^{-1} : \langle S \rangle \rightarrow [0, g]$ is defined by $\Delta_S^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha$. In this way, the 2-tuples of $\langle S \rangle$ will be identified with the numerical values in the interval $[0, g]$.

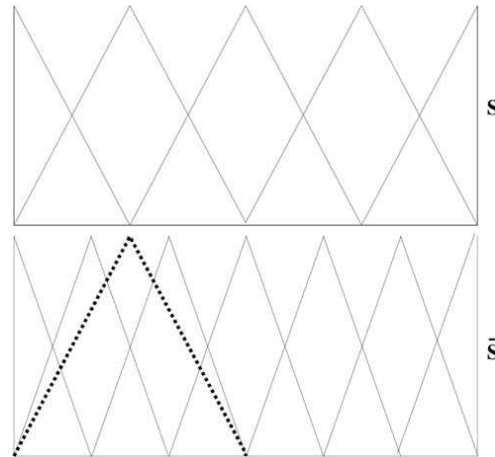


Fig. 4 Transforming $s_1 \in S$ into a fuzzy set in \bar{S}

Example 2 Let $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4\}$ be a linguistic term set. Then, $\Delta_S(2.3) = (s_2, 0.3)$, $\Delta_S(2.5) = (s_3, -0.5)$ and $\Delta_S(1.8) = (s_2, -0.2)$. Analogously, $\Delta_S^{-1}(s_1, 0.4) = 1.4$ and $\Delta_S^{-1}(s_4, -0.1) = 3.9$.

Remark 1 We consider the injective mapping $S \rightarrow \langle S \rangle$ that transforms a linguistic term s_i into the 2-tuple $(s_i, 0)$. On the other hand, $\Delta_S(i) = (s_i, 0)$ and $\Delta_S^{-1}(s_i, 0) = i$, for every $i \in \{0, 1, \dots, g\}$.

The 2-tuple fuzzy linguistic representation model has associated a linguistic computational model (Herrera and Martínez 2000), that accomplishes processes of CW with symmetrical and triangular-shaped labels in a precise way (Herrera and Martínez 2000, 2001). Keeping in mind that our objective here is to transform fuzzy sets in the BLTS into linguistic 2-tuples, we present the function χ that carries out this transformation.

Definition 3 (Herrera et al. 2005) Given the linguistic term set $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \bar{s}_1, \dots, \bar{s}_g\}$, the function $\chi : \mathcal{F}(\bar{S}) \rightarrow \langle \bar{S} \rangle$ is defined as:

$$\chi(\{(\bar{s}_0, \gamma_0), (\bar{s}_1, \gamma_1), \dots, (\bar{s}_g, \gamma_g)\}) = \Delta_{\bar{S}}\left(\frac{\sum_{j=0}^g j\gamma_j}{\sum_{j=0}^g \gamma_j}\right).$$

Example 3 Consider the fuzzy set over $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_3, \bar{s}_4, \bar{s}_5, \bar{s}_6\}$ obtained in Example 1:

$$\{(\bar{s}_0, 0.39), (\bar{s}_1, 0.85), (\bar{s}_2, 0.85), (\bar{s}_3, 0.39), (\bar{s}_4, 0), (\bar{s}_5, 0), (\bar{s}_6, 0)\}.$$

Then,

$$\chi(\{(\bar{s}_0, 0.39), (\bar{s}_1, 0.85), (\bar{s}_2, 0.85), (\bar{s}_3, 0.39), (\bar{s}_4, 0), (\bar{s}_5, 0), (\bar{s}_6, 0)\}) = (\bar{s}_2, -0.5).$$

Now the multi-granular linguistic information is expressed in the BLTS by means of linguistic 2-tuples. Therefore, we can carry out processes of CW easily with the computational model presented in Herrera and Martínez (2000) and the results will be easy to understand and interpret (Herrera and Martínez 2001).

4 A multi-granular linguistic 360° performance appraisal model

In this section, we present our proposal for a 360° performance appraisal model based on a decision analysis scheme (see Fig. 1) whose accommodation to our problem is showed in Fig. 5.

In the coming subsections we shall present in detail each phase of the proposed multi-granular 360° performance appraisal model.

4.1 Evaluation framework: multi-granular linguistic information

In this phase is fixed the context in which is defined the performance appraisal problem, following the 360° appraisal scheme presented in Sect. 2. In this way, a collective of n employees $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ are going to be evaluated by the next collectives:

- $A = \{a_1, \dots, a_r\}$: A set of supervisors (executive staff).
- $B = \{b_1, \dots, b_s\}$: A set of collaborators (fellows).

- $C = \{c_1, \dots, c_t\}$: A set of customers.
- $X = \{x_1, \dots, x_n\}$: A set of employees to be evaluated,

where each employee is evaluated by the previous collectives attending to different criteria $Y = \{Y_1, \dots, Y_p\}$. Therefore, there are $(r + s + t + 1)p$ assessments for each employee provided by the different collectives.

The assessments provided by the members of the collectives $a_i \in A, b_i \in B$ and $c_i \in C$ on the employee x_j according to the criterion Y_k are denoted by a_j^{ik}, b_j^{ik} and c_j^{ik} , respectively. Moreover, x_j^{jk} is the assessment of x_j on herself with regards to Y_k .

Due to the fact that we propose the use of a multi-granular linguistic framework to adapt the evaluation scales to the appraisers' knowledge, we consider that each collective might use different linguistic term sets, S_{-}^k , (Herrera et al. 2000; Herrera and Martínez 2001; Martínez et al. 2005) to express their assessments about the employee x_k :

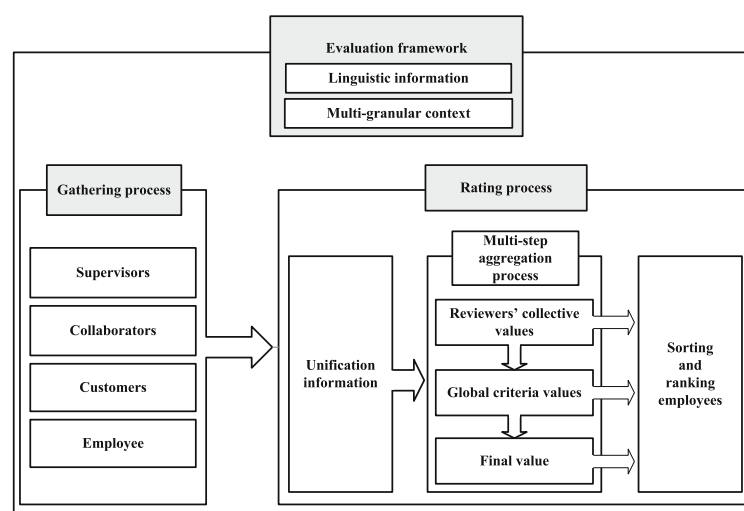
- $a_j^{ik} \in S_A^k$ for each $i \in \{1, \dots, r\}$ and each $j \in \{1, \dots, n\}$.
- $b_j^{ik} \in S_B^k$ for each $i \in \{1, \dots, s\}$ and each $j \in \{1, \dots, n\}$.
- $c_j^{ik} \in S_C^k$ for each $i \in \{1, \dots, t\}$ and each $j \in \{1, \dots, n\}$.
- $x_j^{jk} \in S_X^k$ for each $j \in \{1, \dots, n\}$.

We notice that any linguistic term set S_{-}^k is characterized by its cardinality or *granularity*, $|S_{-}^k|$.

4.2 Gathering information

Once the evaluation framework has been fixed, the appraisers of the different collectives will provide their

Fig. 5 A multi-granular linguistic 360° performance appraisal model



A multi-granular linguistic model for management decision-making in performance appraisal

knowledge by means of linguistic labels in which they express their linguistic assessments about the evaluated employees, $x_j, j \in \{1, \dots, n\}$:

$$\begin{aligned} &\{a_j^1, \dots, a_j^r\}, & i \in \{1, \dots, r\} \\ &\{b_j^1, \dots, b_j^s\}, & i \in \{1, \dots, s\} \\ &\{c_j^1, \dots, c_j^t\}, & i \in \{1, \dots, t\} \\ &\{x_j^1, \dots, x_j^p\} \end{aligned}$$

4.3 Rating process

The aim of this process is to rate the different employees computing a *global assessment* from the information gathered about each one that will indicate their performance. Such values will be utilized to apply the companies human resources policies.

We propose the computing of a global value for an employee by means of a multi-step aggregation process (Calvo and Pradera 2004). First, we should unify the multi-granular linguistic information in order to operate with it in a symbolic way. To do so, we propose the use of the method presented in Sect. 3.2. Once the information has been conducted in the BLTS by means of 2-tuples the global assessment will be computed in a multi-step aggregation process.

4.3.1 Managing multi-granular linguistic information

According to the method presented in 3.2 we must unify the multi-granular linguistic information in order to carry out process of CW in a symbolic way. To do so, in our framework we accomplish the following steps:

1. Choosing the Basic Linguistic Term Set.
First must be chosen the BLTS, $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \bar{s}_1, \dots, \bar{s}_g\}$, according to Herrera et al. (2000):
$$g \geq \max\{|S_A^1|, \dots, |S_A^r|, |S_B^1|, \dots, |S_B^s|, |S_C^1|, \dots, |S_C^t|, |S_X^1|, \dots, |S_X^p|\}.$$
2. Unifying multi-granular linguistic information into fuzzy sets in the BLTS.
Once the BLTS has been chosen, the multi-granular linguistic information is initially unified by means of fuzzy sets in \bar{S} by using the function $T_{\bar{S}}$ presented in Definition 1. Hence, in our framework the unification process will be addressed by means of the following functions:
 - Supervisors: $T_{S_A^k \bar{S}} : S_A^k \rightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$.
 - Collaborators: $T_{S_B^k \bar{S}} : S_B^k \rightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$.
 - Customers: $T_{S_C^k \bar{S}} : S_C^k \rightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$.
 - Employee: $T_{S_X^k \bar{S}} : S_X^k \rightarrow \mathcal{F}(\bar{S})$.

3. Transformation into linguistic 2-tuples
In order to facilitate the processes of CW and the understanding of the results, every fuzzy set in \bar{S} is transformed into a linguistic 2-tuple. This process is achieved using the function χ presented in Definition 3. Therefore, the unification process into 2-tuples is carried out as:

- Supervisors: $H_A^k : S_A^k \xrightarrow{T_{S_A^k \bar{S}}} \mathcal{F}(\bar{S}) \xrightarrow{\chi} \langle \bar{S} \rangle$, where $\bar{a}_j^{ik} = H_A^k(a_j^{ik}) \in \langle \bar{S} \rangle$.
- Collaborators: $H_B^k : S_B^k \xrightarrow{T_{S_B^k \bar{S}}} \mathcal{F}(\bar{S}) \xrightarrow{\chi} \langle \bar{S} \rangle$, where $\bar{b}_j^{ik} = H_B^k(b_j^{ik}) \in \langle \bar{S} \rangle$.
- Customers: $H_C^k : S_C^k \xrightarrow{T_{S_C^k \bar{S}}} \mathcal{F}(\bar{S}) \xrightarrow{\chi} \langle \bar{S} \rangle$, where $\bar{c}_j^{ik} = H_C^k(c_j^{ik}) \in \langle \bar{S} \rangle$.
- Employee: $H_X^k : S_X^k \xrightarrow{T_{S_X^k \bar{S}}} \mathcal{F}(\bar{S}) \xrightarrow{\chi} \langle \bar{S} \rangle$, where $\bar{x}_j^{ik} = H_X^k(x_j^{ik}) \in \langle \bar{S} \rangle$.

Now all the information provided by the different collectives (supervisors, collaborators, customers and employee) has been conducted into 2-tuples in the BLTS, \bar{S} . Therefore, we can operate in a symbolic way to obtain the appraisal results.

4.3.2 Multi-step aggregation process

The aim of the performance appraisal process is usually to sort and rank the employees for applying some specific policy. For this purpose, it is interesting to obtain a global assessment for each evaluated employee that summarizes her skills, such that the management team can make a decision related to the employee. Therefore, that global assessment must summarize all the assessments provided by the members of the different collectives. To do so, individual assessments will be aggregated by using aggregation operators that allow to operate in a symbolic way and have good properties. So, the use of OWA operators seems suitable.

Definition 4 (Yager 1988) Let $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_m) \in [0, 1]^m$ be a weighting vector such that $\sum_{i=1}^m w_i = 1$. The *ordered weighted averaging* (OWA) operator associated with \mathbf{w} is the function $F^{\mathbf{w}} : \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}$ defined by

$$F^{\mathbf{w}}(a_1, \dots, a_m) = \sum_{i=1}^m w_i b_i,$$

where b_i is the i th largest element in the collection $\{a_1, \dots, a_m\}$.

Remark 2 OWA operators satisfy some interesting properties as compensativeness, idempotency, symmetry

and monotonicity. Moreover, F^w is self-dual if and only if $w_{m+1-i} = w_i$ for every $i \in \{1, \dots, \lfloor \frac{m}{2} \rfloor\}$ (see García-Laprasta and Lamazara 2001, Prop. 5).

There are different methods to compute the weighting vectors. Yager suggested an interesting way to compute the weighting vector for OWA operators using non-decreasing linguistic quantifiers (see Yager 1988), that we shall use in our model.

Definition 5 A relative linguistic quantifier on a numeric scale is a function $Q : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ defined by

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

where $a, b \in [0, 1]$ and $a < b$.

We note that $Q(0) = 0$, $Q(1) = 1$ and Q is monotonic: $Q(x) \geq Q(y)$ whenever $x \geq y$ (see Zadeh 1983).

The weights associated with the OWA operator F^w are determined in the following way (see Yager 1988):

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

where Q is defined as in Definition 5. Some examples of non-decreasing relative linguistic quantifiers are:

- “Most” with $(a, b) = (0.3, 0.8)$.
- “At least half” with $(a, b) = (0, 0.5)$.
- “As many as possible” with $(a, b) = (0.5, 1)$.

We have to keep in mind that the information is expressed by means of linguistic 2-tuples. Therefore, to aggregate them we use the 2-tuple OWA operators.

Definition 6 (Herrera and Martínez 2000) Let $w = (w_1, \dots, w_m) \in [0, 1]^m$ be a weighting vector such that $\sum_{i=1}^m w_i = 1$. The 2-tuple OWA operator associated with w is the function $G^w : \langle \bar{S} \rangle^m \rightarrow \langle \bar{S} \rangle$ defined by

$$G^w((l_1, \alpha_1), \dots, (l_m, \alpha_m)) = A_{\bar{S}}\left(\sum_{i=1}^m w_i \beta_i^*\right),$$

where β_i^* is the i -th largest element of $\{A_{\bar{S}}^{-1}(l_1, \alpha_1), \dots, A_{\bar{S}}^{-1}(l_m, \alpha_m)\}$.

The aggregation process to obtain a global assessment for the evaluated employee consists of several steps: (1) It is computed a collective value for each criterion from each group of appraisers. (2) A collective value for each criterion according to all the collectives is obtained. And (3) finally, the global assessment is computed. Following, we present in further detail each stage in the aggregation process.

1. *Computing reviewers' collective criteria values, $v_{-}^k(x_j)$* : For each reviewers' collective, their assessments about a given criterion Y_k are aggregated by means of a 2-tuple OWA operator, G_{-}^w , that might be different for each reviewers' collective. For each collective and for every criterion $Y_k, k \in \{1, \dots, p\}$, the process is conducted in the following manner.

- *Supervisors*. A 2-tuple collective value, $v_A^k(x_j)$, for each criterion Y_k , is computed aggregating the opinions of all supervisors:

$$G_{A,k}^w : \langle \bar{S} \rangle^r \rightarrow \langle \bar{S} \rangle$$

where

$$v_A^k(x_j) = G_{A,k}^w(\bar{a}_j^{1k}, \dots, \bar{a}_j^{rk}) \in \langle \bar{S} \rangle.$$

- *Collaborators*. Analogously to the supervisors, it is computed a 2-tuple collective value, $v_B^k(x_j)$, for each criterion Y_k , by aggregating the opinions of all collaborators:

$$G_{B,k}^w : \langle \bar{S} \rangle^s \rightarrow \langle \bar{S} \rangle$$

where

$$v_B^k(x_j) = G_{B,k}^w(\bar{b}_j^{1k}, \dots, \bar{b}_j^{sk}) \in \langle \bar{S} \rangle.$$

- *Customers*. Similarly to the previous collectives:

$$G_{C,k}^w : \langle \bar{S} \rangle^t \rightarrow \langle \bar{S} \rangle$$

where

$$v_C^k(x_j) = G_{C,k}^w(\bar{c}_j^{1k}, \dots, \bar{c}_j^{tk}) \in \langle \bar{S} \rangle.$$

- *Employee*. Each employee has associated a 2-tuple in the BLTS, with regards to the criterion $Y_k, k = 1, \dots, p$ (see 3.2):

$$v_X^k(x_j) = \bar{x}_j^{jk} \in \langle \bar{S} \rangle.$$

Even though, the opinion of each employee, x_j , about herself, x_j^k , can be useful for the organization, we do not take into account this information in the aggregation process. The reason is because OWA operators do not distinguish the origin of the assessments (they are anonymous). Consequently, to include the self-evaluation of employees could bias the aggregation phase.

2. *Computing global criteria values, $v^k(x_j)$* : The previous collective assessments $v_A^k(x_j)$, $v_B^k(x_j)$ and $v_C^k(x_j)$ are aggregated by means of a 2-tuple OWA operator

$$G_k^w : \langle \bar{S} \rangle^3 \rightarrow \langle \bar{S} \rangle,$$

A multi-granular linguistic model for management decision-making in performance appraisal

obtaining a 2-tuple in the BLTS for each criterion $Y_k, k = 1, \dots, p$:

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

3. *Computing a global value, $v(x_j)$* : It is obtained by aggregating the global criteria values related to the employee x_j , by means of a 2-tuple OWA operator

$$G^w : \langle \bar{S} \rangle^p \longrightarrow \langle \bar{S} \rangle,$$

obtaining a 2-tuple in the BLTS:

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

The global outcomes obtained in each step of the aggregation process, $v_A^k(x_j), v_B^k(x_j), v_C^k(x_j), v^k(x_j)$, for $k = 1, \dots, p$, and $v(x_j)$, are used either for sorting and ranking the employees or to establish the companies' policy in the exploitation phase.

Remark 3 It is important to note that each aggregation procedure can use a different linguistic quantifier.

For sorting employees within the set of linguistic categories of the BLTS, we only need to take into account the first component of the 2-tuples obtained by employees in each stage of the aggregation phase. However, for ranking employees it should be necessary to take into account the two components of the corresponding 2-tuples. The process of pairwise comparison among these values expressed by linguistic 2-tuples is carried out according to the following ordinary lexicographic order presented in Herrera and Martínez (2000).

Definition 7 Let $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ be a set of linguistic terms. The binary relation \succ on $\langle S \rangle$ is defined by

$$(s_k, \alpha_k) \succ (s_l, \alpha_l) \Leftrightarrow \begin{cases} k > l, \\ \text{or} \\ k = l \text{ and } \alpha_k > \alpha_l. \end{cases}$$

Notice that \succ ranks order the linguistic 2-tuples of $\langle S \rangle$. According to this lexicographic order, in each stage we can initially sort employees by the linguistic term of the corresponding 2-tuples in the BLTS: $\bar{s}_0, \bar{s}_1, \dots, \bar{s}_g$. Secondly, we can rank employees sorted in the same linguistic category by considering the corresponding values α_i of the symbolic translations.

Here, we can observe that the management team might want to analyze the global or intermediate results, for instance by comparing the collective opinions and the self-evaluation for each employee in each criterion (much more comparisons are possible). Our model provides linguistic results at all the stages that are easy to understand and interpret by the management team. The importance of this fact, it consists in that from the analysis of all the results obtained in the aggregation

process, the organization can decide about different aspects of its human resources' policies.

5 An example of 360° assessment: a financial company

In order to show how a company or organization could carry out performance appraisal process with the proposed model, we provide an example. Let us suppose a company which works in the financial sector. The company is carrying out a 360° assessment over their employees which involves evaluations from supervisors, collaborators, subordinates and employees themselves. Without loss of generality, we consider two employees to be evaluated: x_1, x_2 . The company wants to know who of them is the best candidate to promote to a manager position in the account department. The employees are going to be evaluated according to two criteria:

- Y_1 : manager and leadership skill.
- Y_2 : teamwork and cooperation skill.

The 360° appraisal begins with the selection of the reviewers by the human resources manager. These reviewers should be people who interact daily with the evaluated employees. In our example, the manager selects the following groups of reviewers:

- Four supervisors, $A = \{a_1, \dots, a_4\}$.
- Eight collaborators, $B = \{b_1, \dots, b_8\}$.
- Twelve subordinates, $C = \{c_1, \dots, c_{12}\}$.

Each group of reviewers will use their own linguistic term sets S_-^k , to provide their knowledge about the criteria (each group does not need to know the linguistic scales used by the others):

Supervisors	S_A^1	S_A^2
Collaborators	S_B^1	S_B^2
Subordinates	S_C^1	S_C^2
Employees	S_X^1	S_X^2

where S_A^1 and S_B^2 have 9 linguistic terms, S_A^2 has 11 linguistic terms, S_B^1 and S_C^2 have seven linguistic terms, and S_C^1, S_X^1 and S_X^2 have 5 linguistic terms. The associated semantics is included in Tables 1 and 2.

We shall use the evaluation process presented in 3.2 in order to rate the employees by carrying out the gathering and rating process.

5.1 Gathering information

First of all, and once the evaluation framework has been fixed, the reviewers express their opinions about evaluated employees. In Tables 3 and 4 are indicated the linguistic assessments provided by the appraisers about employees x_1 and x_2 , for each criterion.

Table 1 Label sets for each collective and the criterion Y_2

Criteria Y_2 : teamwork and cooperation					
Label set S_A^2			Label set S_B^2		
s_0^{A2}	Never	(0, 0, 0.1)	s_0^{B2}	Never	(0, 0, 0.125)
s_1^{A2}	Almost never	(0, 0.1, 0.2)	s_1^{B2}	Almost never	(0, 0.125, 0.25)
s_2^{A2}	Very rarely	(0.1, 0.2, 0.3)	s_2^{B2}	Very rarely	(0.125, 0.25, 0.375)
s_3^{A2}	Rarely	(0.2, 0.3, 0.4)	s_3^{B2}	Rarely	(0.25, 0.375, 0.5)
s_4^{A2}	Few times	(0.3, 0.4, 0.5)	s_4^{B2}	Sometimes	(0.375, 0.5, 0.625)
s_5^{A2}	Sometimes	(0.4, 0.5, 0.6)	s_5^{B2}	Frequently	(0.5, 0.625, 0.75)
s_6^{A2}	Many times	(0.5, 0.6, 0.7)	s_6^{B2}	Very frequently	(0.625, 0.75, 0.875)
s_7^{A2}	Frequently	(0.6, 0.7, 0.8)	s_7^{B2}	Almost always	(0.75, 0.875, 1)
s_8^{A2}	Very frequently	(0.7, 0.8, 0.9)	s_8^{B2}	Always	(0.875, 1, 1)
s_9^{A2}	Almost always	(0.8, 0.9, 1)			
s_{10}^{A2}	Always	(0.9, 1, 1)			
Label set S_C^2			Label set S_X^2		
s_0^{C2}	Never	(0, 0, 0.16)	s_0^{X2}	Never	(0, 0, 0.25)
s_1^{C2}	Very rarely	(0, 0.16, 0.34)	s_1^{X2}	Rarely	(0, 0.25, 0.5)
s_2^{C2}	Rarely	(0.16, 0.34, 0.5)	s_2^{X2}	Sometimes	(0.25, 0.5, 0.75)
s_3^{C2}	Sometimes	(0.34, 0.5, 0.66)	s_3^{X2}	Frequently	(0.5, 0.75, 1)
s_4^{C2}	Frequently	(0.5, 0.66, 0.84)	s_4^{X2}	Always	(0.75, 1, 1)
s_5^{C2}	Very frequently	(0.66, 0.84, 1)			
s_6^{C2}	Always	(0.84, 1, 1)			

Table 2 Label sets for each collective and the criterion Y_1

Criteria Y_1 : management and leadership					
Label set S_A^1			Label set S_B^1		
s_1^{A1}	Almost none	(0, 0.125, 0.25)	s_1^{B1}	Very low	(0, 0.16, 0.34)
s_2^{A1}	Very low	(0.125, 0.25, 0.375)	s_2^{B1}	Low	(0.16, 0.34, 0.5)
s_3^{A1}	Low	(0.25, 0.375, 0.5)	s_3^{B1}	Medium	(0.34, 0.5, 0.66)
s_4^{A1}	Medium	(0.375, 0.5, 0.625)	s_4^{B1}	High	(0.5, 0.66, 0.84)
s_5^{A1}	High	(0.5, 0.625, 0.75)	s_5^{B1}	Very high	(0.66, 0.84, 1)
s_6^{A1}	Slightly high	(0.625, 0.75, 0.875)	s_6^{B1}	Perfect	(0.84, 1, 1)
s_7^{A1}	Very high	(0.75, 0.875, 1)			
s_8^{A1}	Perfect	(0.875, 1, 1)			
Label sets S_C^1			Label set S_X^1		
s_0^{C1}	None	(0, 0, 0.25)	s_0^{X1}	None	(0, 0, 0.25)
s_1^{C1}	Low	(0, 0.25, 0.5)	s_1^{X1}	Low	(0, 0.25, 0.5)
s_2^{C1}	Medium	(0.25, 0.5, 0.75)	s_2^{X1}	Medium	(0.25, 0.5, 0.75)
s_3^{C1}	High	(0.5, 0.75, 1)	s_3^{X1}	High	(0.5, 0.75, 1)
s_4^{C1}	Perfect	(0.75, 1, 1)	s_4^{X1}	Perfect	(0.75, 1, 1)

5.2 Rating process

5.2.1 Managing multi-granular linguistic information

According to the model proposed in Sect. 3, first the information will be conducted into a unique linguistic term

set, BLTS. In this case we will consider that the BLTS is $\bar{S} = \{\bar{s}_0, \dots, \bar{s}_{10}\}$.

To transform the input information into $\mathcal{F}(\bar{S})$, we apply the transformation function from Definition 1. When all information is expressed by means of fuzzy sets defined in the BLTS, we transform every fuzzy set in \bar{S} into a

A multi-granular linguistic model for management decision-making in performance appraisal

Table 3 Assessments for each employee and each criterion

	x_1		x_2	
	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
Supervisors				
a_1	$a_1^{11} = s_4^A$	$a_1^{12} = s_6^A$	$a_1^{21} = s_4^A$	$a_1^{22} = s_9^A$
a_2	$a_2^{11} = s_8^A$	$a_2^{12} = s_7^A$	$a_2^{21} = s_3^A$	$a_2^{22} = s_8^A$
a_3	$a_3^{11} = s_6^A$	$a_3^{12} = s_5^A$	$a_3^{21} = s_4^A$	$a_3^{22} = s_8^A$
a_4	$a_4^{11} = s_6^A$	$a_4^{12} = s_7^A$	$a_4^{21} = s_4^A$	$a_4^{22} = s_9^A$
Collaborators				
b_1	$b_1^{11} = s_6^B$	$b_1^{12} = s_4^B$	$b_1^{21} = s_4^B$	$b_1^{22} = s_6^B$
b_2	$b_2^{11} = s_6^B$	$b_2^{12} = s_5^B$	$b_2^{21} = s_8^B$	$b_2^{22} = s_7^B$
b_3	$b_3^{11} = s_5^B$	$b_3^{12} = s_6^B$	$b_3^{21} = s_4^B$	$b_3^{22} = s_6^B$
b_4	$b_4^{11} = s_5^B$	$b_4^{12} = s_7^B$	$b_4^{21} = s_3^B$	$b_4^{22} = s_7^B$
b_5	$b_5^{11} = s_6^B$	$b_5^{12} = s_8^B$	$b_5^{21} = s_3^B$	$b_5^{22} = s_8^B$
b_6	$b_6^{11} = s_6^B$	$b_6^{12} = s_8^B$	$b_6^{21} = s_4^B$	$b_6^{22} = s_8^B$
b_7	$b_7^{11} = s_4^B$	$b_7^{12} = s_7^B$	$b_7^{21} = s_3^B$	$b_7^{22} = s_6^B$
b_8	$b_8^{11} = s_5^B$	$b_8^{12} = s_6^B$	$b_8^{21} = s_5^B$	$b_8^{22} = s_5^B$
Subordinates				
c_1	$c_1^{11} = s_4^C$	$c_1^{12} = s_5^C$	$c_1^{21} = s_4^C$	$c_1^{22} = s_4^C$
c_2	$c_2^{11} = s_4^C$	$c_2^{12} = s_5^C$	$c_2^{21} = s_4^C$	$c_2^{22} = s_5^C$
c_3	$c_3^{11} = s_5^C$	$c_3^{12} = s_4^C$	$c_3^{21} = s_0^C$	$c_3^{22} = s_5^C$
c_4	$c_4^{11} = s_4^C$	$c_4^{12} = s_4^C$	$c_4^{21} = s_0^C$	$c_4^{22} = s_5^C$
c_5	$c_5^{11} = s_2^C$	$c_5^{12} = s_4^C$	$c_5^{21} = s_1^C$	$c_5^{22} = s_4^C$
c_6	$c_6^{11} = s_4^C$	$c_6^{12} = s_5^C$	$c_6^{21} = s_1^C$	$c_6^{22} = s_4^C$
c_7	$c_7^{11} = s_4^C$	$c_7^{12} = s_4^C$	$c_7^{21} = s_0^C$	$c_7^{22} = s_5^C$
c_8	$c_8^{11} = s_4^C$	$c_8^{12} = s_5^C$	$c_8^{21} = s_1^C$	$c_8^{22} = s_5^C$
c_9	$c_9^{11} = s_2^C$	$c_9^{12} = s_5^C$	$c_9^{21} = s_1^C$	$c_9^{22} = s_4^C$
c_{10}	$c_{10}^{11} = s_2^C$	$c_{10}^{12} = s_4^C$	$c_{10}^{21} = s_0^C$	$c_{10}^{22} = s_5^C$
c_{11}	$c_{11}^{11} = s_2^C$	$c_{11}^{12} = s_5^C$	$c_{11}^{21} = s_2^C$	$c_{11}^{22} = s_5^C$
c_{12}	$c_{12}^{11} = s_2^C$	$c_{12}^{12} = s_5^C$	$c_{12}^{21} = s_1^C$	$c_{12}^{22} = s_5^C$

Table 4 Assessments provided by employees about themselves

Employees	x_1		x_2	
	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
x_1	$x_1^{11} = s_2^{X1}$	$x_1^{12} = s_2^{X2}$	-	-
x_2	-	-	$x_2^{11} = s_2^{X1}$	$x_2^{12} = s_2^{X2}$

linguistic 2-tuple. The results of these transformations are showing in Tables 5 and 6.

Once the information has been unified, the assessments provided by the different collectives are aggregated.

5.3 Multi-step aggregation process

In our model, the aggregation process is carried out by using the 2-tuple OWA operator. The weighting vectors used in each stage of the aggregation procedure are determined by a fuzzy linguistic quantifier. Particularly, in

Table 5 Transformed-assessments for each employee and each criterion

	x_1		x_2	
	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
Supervisors				
a_1	$(\bar{s}_9, 0.3)$	$(\bar{s}_6, 0)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_9, 0)$
a_2	$(\bar{s}_{10}, -0.47)$	$(\bar{s}_7, 0)$	$(\bar{s}_4, -0.3)$	$(\bar{s}_8, 0)$
a_3	$(\bar{s}_7, -0.5)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_8, 0)$
a_4	$(\bar{s}_7, -0.5)$	$(\bar{s}_7, 0)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_9, 0)$
Collaborators				
b_1	$(\bar{s}_9, 0.41)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_7, -0.29)$	$(\bar{s}_7, -0.5)$
b_2	$(\bar{s}_9, 0.41)$	$(\bar{s}_6, 0.3)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$	$(\bar{s}_9, 0.3)$
b_3	$(\bar{s}_8, 0.28)$	$(\bar{s}_7, -0.5)$	$(\bar{s}_7, -0.29)$	$(\bar{s}_7, -0.5)$
b_4	$(\bar{s}_8, 0.28)$	$(\bar{s}_9, 0.3)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_9, 0.3)$
b_5	$(\bar{s}_9, 0.41)$	$(\bar{s}_{10}, -0.47)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_{10}, -0.47)$
b_6	$(\bar{s}_9, 0.41)$	$(\bar{s}_{10}, -0.47)$	$(\bar{s}_7, -0.29)$	$(\bar{s}_{10}, -0.47)$
b_7	$(\bar{s}_7, -0.29)$	$(\bar{s}_9, 0.3)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_7, -0.5)$
b_8	$(\bar{s}_8, 0.28)$	$(\bar{s}_7, -0.5)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$	$(\bar{s}_6, 0.3)$
Subordinates				
c_1	$(\bar{s}_2, -0.5)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$	$(\bar{s}_2, -0.5)$	$(\bar{s}_7, -0.29)$
c_2	$(\bar{s}_2, -0.5)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$	$(\bar{s}_2, -0.5)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$
c_3	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_7, -0.29)$	$(\bar{s}_1, 0.125)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$
c_4	$(\bar{s}_2, -0.5)$	$(\bar{s}_7, -0.29)$	$(\bar{s}_1, 0.125)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$
c_5	$(\bar{s}_3, 0)$	$(\bar{s}_7, -0.29)$	$(\bar{s}_2, -0.5)$	$(\bar{s}_7, -0.29)$
c_6	$(\bar{s}_8, -0.5)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$	$(\bar{s}_2, -0.5)$	$(\bar{s}_7, -0.29)$
c_7	$(\bar{s}_2, -0.5)$	$(\bar{s}_7, -0.29)$	$(\bar{s}_1, 0.125)$	$(\bar{s}_5, 0)$
c_8	$(\bar{s}_2, -0.5)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$	$(\bar{s}_2, -0.5)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$
c_9	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_2, -0.5)$	$(\bar{s}_7, -0.29)$
c_{10}	$(\bar{s}_3, 0)$	$(\bar{s}_7, -0.29)$	$(\bar{s}_1, 0.125)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$
c_{11}	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$
c_{12}	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$	$(\bar{s}_2, -0.5)$	$(\bar{s}_8, 0.28)$

Table 6 Transformed-assessments from each employee about themselves

Employees	x_1		x_2	
	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
x_1	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_5, 0)$	-	-
x_2	-	-	$(\bar{s}_5, 0)$	$(\bar{s}_5, 0)$

this example we use the quantifier “most”, whose parameters are (0.3,0.8), to aggregate information in all stages of the aggregation procedure.

The aggregation process computes different values to obtain the global assessment for each employee:

- *Computing reviewers’ collective criteria values:* For each collective and each criterion the assessments are aggregated. The weighting vectors for each collective

Table 7 Weighting vectors for reviewers' collective criteria values

	"Most"
Supervisors	(0, 0.4, 0.5, 0.1)
Collaborators	(0, 0, 0.15, 0.25, 0.25, 0.1, 0)
Subordinates	(0, 0, 0, 0.067, 0.167, 0.167, 0.167, 0.167, 0.1, 0, 0)

Table 8 Reviewers' collective criteria values for each employee $v^k(x_j)$

	Y_1	Y_2
x_1		
Supervisors	$v_A^1(x_1) = (\bar{s}_8, -0.1)$	$v_A^2(x_1) = (\bar{s}_6, 0.3)$
Collaborators	$v_B^1(x_1) = (\bar{s}_4, -0.24)$	$v_B^2(x_1) = (\bar{s}_3, -0.48)$
Subordinates	$v_C^1(x_1) = (\bar{s}_4, -0.50)$	$v_C^2(x_1) = (\bar{s}_7, 0.40)$
Employees	$v_X^1(x_1) = (\bar{s}_2, -0.5)$	$v_X^2(x_1) = (\bar{s}_2, -0.5)$
x_2		
Supervisors	$v_A^1(x_2) = (\bar{s}_5, -0.15)$	$v_A^2(x_2) = (\bar{s}_8, 0.4)$
Collaborators	$v_B^1(x_2) = (\bar{s}_3, -0.26)$	$v_B^2(x_2) = (\bar{s}_3, 0.48)$
Subordinates	$v_C^1(x_2) = (\bar{s}_1, 0.40)$	$v_C^2(x_2) = (\bar{s}_6, -0.21)$
Employees	$v_X^1(x_2) = (\bar{s}_2, -0.5)$	$v_X^2(x_2) = (\bar{s}_2, -0.5)$

Table 9 Weighting vectors for global criteria values

Global values	"most"
$v^k(x_j)$	(0, 0.73, 0.27)

Table 10 Global criteria values for each employee $v^k(x_j)$

	Y_1	Y_2
x_1		
Global criteria values	$v^1(x_1) = (\bar{s}_4, -0.32)$	$v^2(x_1) = (\bar{s}_6, -0.47)$
x_2		
Global criteria values	$v^1(x_2) = (\bar{s}_3, -0.44)$	$v^2(x_2) = (\bar{s}_5, 0.16)$

Table 11 Global value for each employee

	x_1	x_2
Global values	$v(x_1) = (\bar{s}_4, 0.42)$	$v(x_2) = (\bar{s}_4, -0.4)$

are showed in Table 7, and the collective criteria values obtained for each employee in Table 8.

- **Computing global criteria values:** For each criterion and each employee the previous collective assessments are aggregated. The weighting vectors for each collective are showed in Table 9, and the collective criteria values for each employee in Table 10.

Table 12 Weighting vectors for global value

Global criteria values	"Most"
$v^k(x_j)$	(0.4, 0.6)

- **Computing a global value:** Finally, the global criteria values are aggregated for each employee, obtaining a global evaluation for each one (see Table 11). The weighting vectors used are showed in Table 12.

The outputs obtained in the different stages of the aggregation process are used to make decisions about human resources' strategy by the company. In this way, through performance appraisal results companies can not only rank and sort their employees, but they can obtain information about their employees skills. Accordingly, companies carry out different policies (promotion, identification of poor performance, to identify individual training needs, to identify individual strengths and developmental needs, etc.)

In our example the company can rank their employees attending to:

1. Reviewers' collective criteria values, for collectives:
 - Supervisors: $v_A^1(x_1) \succ v_A^1(x_2)$ and $v_A^2(x_2) \succ v_A^2(x_1)$.
 - Collaborators: $v_B^1(x_1) \succ v_B^1(x_2)$ and $v_B^2(x_2) \succ v_B^2(x_1)$.
 - Subordinates: $v_C^1(x_1) \succ v_C^1(x_2)$ and $v_C^2(x_1) \succ v_C^2(x_2)$.
2. Global criteria values: $v^1(x_1) \succ v^1(x_2)$ and $v^2(x_1) \succ v^2(x_2)$.
3. Global value: $v(x_1) \succ v(x_2)$.

In this case and taking into only the employees ranking, the employee x_1 is the best candidate to obtain the position of account department manager, although the employee x_2 has good attributes as team-worker, and this information might be considered to other positions or company's policies.

But the company can use the results obtained to carry out an exhaustive analysis about their employees skills. For example:

- The employees x_1 and x_2 have obtained similar results for the criterion Y_2 (teamwork and cooperation):

$$v^2(x_1) = (\bar{s}_6, -0.47) \quad \text{and} \quad v^2(x_2) = (\bar{s}_5, 0.16),$$

but the results are not good in this criterion. In the same way, the company can note both employees can work in team with their supervisors and their subordinates:

$$v_A^2(x_1) = (\bar{s}_6, 0.3) \quad \text{and} \quad v_A^2(x_2) = (\bar{s}_8, 0.4),$$

$$v_C^2(x_1) = (\bar{s}_7, 0.4) \quad \text{and} \quad v_C^2(x_2) = (\bar{s}_6, -0.21),$$

A multi-granular linguistic model for management decision-making in performance appraisal

but not with their collaborators:

$$v_B^2(x_1) = (\bar{s}_3, -0.48) \quad \text{and} \quad v_B^2(x_2) = (\bar{s}_3, 0.48).$$

Probably, the company should motivate and train their employees to improve their teamwork aptitudes, especially with their collaborators.

- Both employees have obtained bad results as leaders (criterion Y_1):

$$v^1(x_1) = (\bar{s}_4, -0.32) \quad \text{and} \quad v^1(x_2) = (\bar{s}_3, -0.44),$$

although their supervisors do not think just as much as their collaborators and subordinates:

$$v_A^1(x_1) = (\bar{s}_8, -0.1) \quad \text{and} \quad v_A^1(x_2) = (\bar{s}_5, -0.15),$$

$$v_B^1(x_1) = (\bar{s}_4, -0.24) \quad \text{and} \quad v_B^1(x_2) = (\bar{s}_3, -0.26),$$

$$v_C^1(x_1) = (\bar{s}_4, -0.5) \quad \text{and} \quad v_C^1(x_2) = (\bar{s}_1, 0.40).$$

Even though, the employee x_1 is the best candidate to obtain the position of account department manager according to the rankings obtained, likely the company will hire an account department manager outside company.

6 Concluding remarks

Performance appraisal is a process that allows companies and organizations to determine efficiency and effectiveness of their employees. In this contribution we have presented a linguistic 360° performance appraisal model, taking into account that appraisers are expressing subjective perceptions and might present different degrees of knowledge about evaluated employees. Thus, in our proposal appraisers could express their assessments in different linguistic scales according to their knowledge, defining a multi-granular linguistic evaluation framework. The presented model not only obtain a global assessment for each employee, but also it obtains intermediate collective criteria values according to the opinions of each set of reviewers and criterion, and a global criteria assessment for each criterion. All these results are expressed in a linguistic way in order to improve the understanding of such results to all the people involved in the evaluation process. It is worth emphasizing that the proposed model is quite flexible and it allows to the management team customizes how to aggregate the individual opinions and how to classify employees. Consequently, this model offers an increment of flexibility and an improvement in the treatment of information with uncertainty and vagueness in performance appraisal model.

Acknowledgments This paper has been partially supported by the research projects: TIN2006-02121, Spanish Ministerio de Educación

y Ciencia (Project SEJ2006-04267), Junta de Castilla y León (Project VA092A08), and ERDF.

References

- Antes J, Campen L, Derigs U, Titze C, Wolle GD (1998) A model-based decision support system for the evaluation of flight schedules for cargo airlines. *Decis Support Syst* 22:307–323
- Arfi B (2005) Fuzzy decision making in politics. A linguistic fuzzy-set approach (LFSA). *Polit Anal* 13:23–56
- Banks CG, Roberson L (1985) Performance appraisers as test developers. *Acad Manage Rev* 10:128–142
- Baron JN, Kreps DM (1999) *Strategic Human Resources. Frameworks for general managers*. Wiley, New York
- Bernardin HJ, Kane JS, Ross S, Spina JD, Johnson DL (1995) Performance appraisal design, development, and implementation. In: Ferris GR, Rosen SD, Barnum DT (eds) *Handbook of human resources management*. Blackwell, Cambridge, pp 462–493
- Bonissone PP, Decker KS (1986) Selecting uncertainty calculi and granularity: an experiment in trading-off precision and complexity. In: Kanal LH, Lemmer JF (eds) *Uncertainty in artificial intelligence*. North-Holland, Amsterdam, pp 217–247
- Bouyssou D, Marchant T, Pirlot M, Perny P, Tsoukia's A (2000) *Evaluation and decision models: a critical perspective*. Kluwer, Dordrecht
- Bretz RD, Milkovich GT, Read W (1992) The current state of performance appraisal research and practice: Concerns, directions and implications. *J Manage* 18:321–352
- Calvo T, Pradera A (2004) Double aggregation operators. *Fuzzy Sets Syst* 142:15–33
- Cardy RL, Dobbins GH (1994) *Performance appraisal: alternative perspectives*. South-Western, Cincinnati
- Chen CT (2001) Applying linguistic decision-making method to deal with service quality evaluation problems. *Int J Uncertain Fuzziness Knowl Based Syst* 9:103–114
- Cheng CH, Lin Y (2002) Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation. *Eur J Oper Res* 142:174–186
- Clemen RT (1995) *Making hard decisions. An introduction to decision analysis*. Duxbury Press, North Scituate
- Degani R, Bortolan G (1988) The problem of linguistic approximation in clinical decision making. *Int J Approx Reason* 2:143–162
- Delgado M, Verdegay JL, Vila MA (1993) On aggregation operations of linguistic labels. *Int J Intell Syst* 8:351–370
- Edwards M, Ewen E (1996) Automating 360 degree feedback. *HR Focus* 70:3
- Fletcher C (2001) Performance appraisal and management: the developing research agenda. *J Occup Organ Psychol* 74:473–487
- García-Lapresta JL, Lamazares B (2001) Majority decisions based on difference of votes. *J Math Econ* 35:463–481
- Herrera F, Herrera-Viedma E, Martínez L (2000) A fusion approach for managing multi-granularity linguistic terms sets in decision making. *Fuzzy Sets Syst* 114:43–58
- Herrera F, Martínez L (2000) A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Trans Fuzzy Syst* 8:746–752
- Herrera F, Martínez L (2001) A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranularity hierarchical linguistic contexts in multiexpert decision-making. *IEEE Trans Syst Man Cybern B Cybern* 31:227–234
- Herrera F, Martínez L (2001) The 2-tuple linguistic computational model. Advantages of its linguistic description, accuracy and

- consistency. *Int J Uncertain Fuzziness Knowl Based Syst* 9:33–48
- Herrera F, Martínez L, Sánchez PJ (2005) Managing non-homogeneous information in group decision making. *Eur J Oper Res* 166:15–132
- Jiménez A, Ríos-Insua S, Mateos A (2003) A decision support system for multiattribute utility evaluation based on imprecise assignments. *Decis Support Syst* 36:65–79
- Kacprzyk J, Zadrozny S (2001) Computing with words in decision making: through individual and collective linguistic choice rules. *Int J Uncertain Fuzziness Knowl Based Syst* 9(Suppl):89–102
- Lawry J (2001) A methodology for computing with words. *Int J Approx Reason* 28:51–89
- Marshall S (1999) Complete turnaround 360-degree evaluations gaining favour with workers management. Arizona Republic, D1
- Martínez L (2007) Sensory evaluation based on linguistic decision analysis. *Int J Approx Reason* 44:148–164
- Martínez L, Liu J, Yang JB (2006) A fuzzy model for design evaluation based on multiple-criteria analysis in engineering systems. *Int J Uncertain Fuzziness Knowl Based Syst* 14:317–336
- Martínez L, Liu J, Yang JB, Herrera F (2005) A multi-granular hierarchical linguistic model for design evaluation based on safety and cost analysis. *Int J Intell Syst* 20:1161–1194
- Miner JB (1988) Development and application of the rated ranking technique in performance appraisal. *J Occup Psychol* 6:291–305
- Murphy KR, Cleveland JN (1991) Performance appraisal: an organizational perspective. Allyn & Bacon, Boston
- Pfau B, Kay I (2002) Does 360-degree feedback negatively affect company performance? *HRMagazine* 47:56–60
- Schoenfeldt LF, Shaw JB, Fisher C (2006) Human resources management. Houghton Mifflin Company, Boston
- Wang PP (ed) (2001) Computing with words. Wiley Series on Intelligent Systems. Wiley, New York
- Yager RR (1988) On ordered weighted averaging operators in multicriteria decision making. *IEEE Trans Syst Man Cybern* 18:183–190
- Yager RR (1995) An approach to ordinal decision making. *Int J Approx Reason* 12:237–261
- Zadeh LA (1975) The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. *Inf Sci Part I, II, III*, 8, pp 199–249; 8, pp 301–357; 9, pp 43–80
- Zadeh LA (1983) A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. *Comput Math Appl* 9:149–184
- Zadeh LA (1996) Fuzzy logic = computing with words. *IEEE Trans Fuzzy Syst* 4:103–111
- Zemke R (2003) The service edge. *Incentive* 177:59–60

Apéndice D

Conclusions and future works

We review our main proposals and the results obtained in our research memory. Eventually, we present some future works according to our findings.

Conclusions

Some important companies usually evaluate their employees performance based on their policies of Human Resources Department. These evaluations usually depend on objective and subjective criteria and they are directly made from the management team, that finally makes the decision.

Every time more, the opinions of subordinates, collaborators, customers, even the opinion that employees have on themselves are taken into account in performance appraisal processes (360-degree performance appraisal method).

One of the results obtained in this memory is the development of a

general 360-degree performance appraisal model which is able to adapt to the different companies circumstances. In this new general model, based on Decision Making Theory, a framework capable of working with different scales of evaluation is defined. These different evaluation scales are adjusted to the knowledge degree that different appraisers groups have about evaluated employees and according to the different criteria established by the company.

The development of two different models of 360-degree performance appraisal have been the main memory goals. The results obtained though them are:

- The design of a 360-degree performance appraisal model which allows the use of diverse evaluation scales for evaluating employees taking into account different criteria and appraisers groups. In this model also an aggregation process based on Goal Programming techniques is proposed. By means of this aggregation process, companies can evaluate their employees bearing in mind not only the different criteria established from the Human Resources Department, but also effectiveness and fairness principles.
- The design of a 360-degree performance appraisal model where the appraisers assessments are expressed by means of diverse qualitative scales defined though linguistic terms, obtaining an appropriate

treatment of uncertainty appearing in this kind of problems. The use of qualitative scales has required the handling of the 2-tuple representation model¹, causing easily understandable results by the management team of the Human Resources Department.

Finally, in this memory numerical and linguistic aggregation operators have been used to evaluate employees performance, paying special attention to the aggregation procedures properties from the Social Choice Theory point of view.

Future works

Performance appraisal processes have obtained a great degree of importance in companies and organizations along time. Due to this fact, future works are going to be developed from the following research line:

- Validation of 360-degree performance appraisal models developed in this memory in collaboration with diverse companies.
- Construction of a recommendation system to evaluate employees performance according to the problem characteristics.
- Development of software to put in practice the designed methods.

¹See Herrera and Martinez [54].

- Improvement of the linguistic model presented in this memory by means of *Extended Linguistic Hierarchies*².

²See Espinilla, Liu and Martínez [36].

Bibliografía

- [1] R. Adolfs, D. Tranel, M. Hsu, M. Bahttt, y C. F. Camarer. Neural systems responding to degrees of uncertainty in human decision-making. *Science*, páginas 1680–1683, 2005.
- [2] J. Antes, L. Campen, U. Derige, C. Titza, y G. D. Wolle. A model-based decision support system for the evaluation of flight schedules for cargo airlines. *Decision Support Systems*, 22(4):307–323, 1998.
- [3] B. Arfi. Fuzzy decision making in politics: A linguistic fuzzy-set approach. *Political Analysis*, 13:23–56, 2005.
- [4] C. G. Banks y L. Roberson. Performance appraisers as test developers. *Academy of Management Review*, 10:128–142, 1985.
- [5] J. N. Baron y D. M. Kreps. *Strategic Human Resources, Frameworks for General Managers*. Wiley & Sons, Nueva York, 1999.

-
- [6] A. Bechara, D. Tranel, y H. Damasio. Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain*, 123:2189–2202, 2005.
- [7] G. Beliakov, A. Pradera, y T. Calvo. *Aggregation Functions: A Guide for Practitioners*. Springer, Berlin, 2007.
- [8] J. R. Berkshire y R. W. Highland. Forced-choice performance rating: a methodological study. *Personnel Psychology*, 6:355–378, 1953.
- [9] H. J. Bernardin y R. W. Beatty. *Performance Appraisal: Assessing Human Behavior at Work*. Kent, Boston, 1984.
- [10] H. J. Bernardin, J. S. Kane, S. Ross, J. D. Spina, y D. L. Johnson. *Handbook of Human Resources Management*. Blackwell, Cambridge, 1995.
- [11] T. Bilgiç. Interval-valued preference structures. *European Journal of Operational Research*, 1:162–183, 1998.
- [12] P. P. Bonissone. *A fuzzy sets based linguistic approach: Theory and applications*, páginas 329–339. North-Holland, 1982.
- [13] P. P. Bonissone y K. S. Decker. *Uncertainty in Artificial Intelligence*. North-Holland, 1986.

-
- [14] D. Bouyssou, T. Marchant, M. Pirlot, P. Perny, y A. Tsoukiàs. *Evaluation and Decision Models: A Critical Perspective*. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [15] R. D. Bretz, G. T. Milkovich, y W. Read. The current state of performance appraisal research and practice: Concerns, directions and implications. *Journal of Management*, 18:321–352, 1992.
- [16] Z. Bubnicki. *Analysis and Decision Making in Uncertain Systems*. Springer-Verlag, Berlín/Londres/Nueva York, 2004.
- [17] R. K. Burns y J. C. Flanagan. The employee performance record: a new appraisal and development tool. *Harvard Business Review*, 5:95–102, 1955.
- [18] H. Bustince y P. Burillo. Mathematical analysis of interval-valued fuzzy realtions: Aplication to approximate reasoning. *Fuzzy Sets and Systems*, 113:205–219, 200.
- [19] T. Calvo, A. Kolesàrova, M. Komorníková, y R. Mesiar. *Aggregation Operators: New Trend and Applications*, capítulo Aggregation operators: Properties, classes and construction methods, páginas 3–106. Physica-Velarg, Springer, Heidelberg, 2002.

-
- [20] T. Calvo, R. Mesiar, y R. R. Yager. Quantative weight and aggregation. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 12:62–69, 2004.
- [21] L. Canós y V. Liern. Soft computing-based aggregation methods for human resource management. *European Journal of Operational Research*, 189:669–681, 2008.
- [22] R. L. Cardy y G. H. Dobbins. *Performance Appraisal: Alternative Perspectives*. South-Western, Cincinnati, 1994.
- [23] S. L. Chang, R. C. Wang, y S. Y. Wang. Applying a direc multi-granularity linguistic and strategy-oriented aggregation approach on the assessment of supply performance. *European Journal of Operational Research*, 117:1013–1025, 2007.
- [24] A. Charnes y W. W. Cooper. *Management models and industrial applications of linear programming*. John Wiley and Sons, Nueva York, 1961.
- [25] A. Charnes, W. W. Cooper, y R. Ferguson. Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Management Science*, 1:138–151, 1955.
- [26] S. J. Chen y C. L. Hwang. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. springer-Verlag, Berlín/Nueva York, 1992.

-
- [27] Z. Chen y D. Ben-Arieh. On the fusion of multi-granularity linguistic label sets in group decision making. *Computers and Industrial Engineering*, 51:526–541, 2006.
- [28] H. Chernoff. *Elementary Decision Theory*. Dover Publications, Nueva York, 1987.
- [29] I. Chiavenato. *Administración de Recursos Humanos*. Mc Graw Hill, 2000.
- [30] R. T. Clemen. *Making Hard Decisions. An Introduction to Decision Analysis*. Duxbury Press, 1995.
- [31] R. Degani y G. Bortolan. The problem of linguistic approximation in clinical decision making. *European Journal of Operational Research*, 2:143–162, 1988.
- [32] E. Dopazo y J. González-Pachón. Computational distance-based approximation to a pairwise comparison matrix. *Kybernetika*, 39:561–568, 2003.
- [33] J. Doyle. Prospects for preferences. *Computational Intelligence*, 20:111–136, 2004.
- [34] R. Duncan y H. Raiffa. *Games and Decision. Introduction and Critical Survey*. Dover Publications, Nueva York, 1985.

-
- [35] M. Edwards y E. Ewen. Automating 360 degree feedback. *HR focus*, 70:3, 1996.
- [36] M. Espinilla, J. Liu, y L. Martínez. An extended hierarchical linguistic model of sensory evaluation. *Computational Intelligence: An International Journal*, página Submitted.
- [37] T. Evangelos. *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2000.
- [38] J. Fernández López. *Gestión por Competencias*. Prentice Hall, España, 2005.
- [39] G. R. Ferris y T. A. Judge. Personnel/human resources management: A political influence perspective. *Journal of Management*, 17:1–42, 1991.
- [40] C. Fisher, L. F. Schoenfeldt, y J. B. Shaw. *Human Resources Management*. Houghton Mifflin Company, Boston, 2006.
- [41] R. B.. Flavell. A new goal programming formulation. *Omega*, 4:731–732, 1976.
- [42] C. Fletcher. Performance appraisal and management: The developing research agenda. *Journal of Occupational and Organization Psychology*, 74:473–487, 2001.

-
- [43] J. Fodor y M. Roubens. *Fuzzy Preference Modeling and Multicriteria Decision Support*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 1994.
- [44] J. L. García Lapresta y B. Llamazares. Aggregation of fuzzy preferences: Some rules of the mean. *Social Choice and Welfare*, 17:673–690, 2000.
- [45] J. L. García Lapresta y B. Llamazares. Majority decisions based on difference of votes. *Journal of Mathematical Economics*, 35:463–481, 2001.
- [46] J. L. García Lapresta y R. A. Marques Pereira. The self-dual core and the anti-self-dual remainder of an aggregation operator. *Fuzzy Sets and Systems*, 159:47–62, 2008.
- [47] L. R. Gómez Mejía, D. B. Balkin, y R. L. Cardy. *Dirección y Gestión de Recursos Humanos*. Prentice-Hall, Madrid, 2001.
- [48] J. González-Pachón y C. Romero. Distance-based consensus methods: A goal programming approach. *OMEGA International Journal of Management Science*, 27:341–347, 1999.
- [49] J. González-Pachón y C. Romero. An analytical framework for aggregating multiattribute utility functions. *Journal of Operational Research Society*, 57:1241–1247, 2006.

-
- [50] F. Herrera y E. Herrera-Viedma. Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problems under linguistic information. *Fuzzy Sets and Systems*, 115:67–82, 2000.
- [51] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, y L. Martínez. A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 114:43–58, 2000.
- [52] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, y L. Martínez. A fusion approach for managing multi-granularity linguistic terms sets in decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 114:43–58, 2000.
- [53] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, y J. L. Verdegay. A sequential selection process in group decision making with a linguistic assessment approach. *Information Sciences*, 85:223–239, 1995.
- [54] F. Herrera y L. Martínez. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8:746–752, 2000.
- [55] F. Herrera y L. Martínez. An approach for combining linguistic and numerical information based on 2-tuple fuzzy representation mode in decision making. *International Journal of Uncertainty, Fuzzyness and Knowledge-Based Systems*, 8:539–562, 2000.

-
- [56] F. Herrera y L. Martínez. A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranularity hierarchical linguistic context in multiexpert decision-making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Man and Cybernetics*, 31:227–234, 2001.
- [57] F. Herrera, L. Martínez, y P. J. Sánchez. Managing non-homogeneous information in group decision making. *European Journal of Operational Research*, 166:115–132, 2005.
- [58] V. N. Huynh y Y. Nakamori. A satisfactory-oriented approach to multiexpert decision-making with linguistic assessments. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Man and Cybernetics: Part B*, 35:184–196, 2005.
- [59] J. P. Ignizio. *Goal programming and extensions*. Lexington Books, Massachusetts, 1976.
- [60] J. P. Ignizio y T. M. Caliver. *Linear Programming*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994.
- [61] Y. Ijiri. *Management goals and accounting for control*. North-Holland, Amsterdam, 1965.

-
- [62] A. Jiménez, S. Ríos-Insua, y A. Mateos. A decision support system for multiattribute utility evaluation based on imprecise assignments. *Decision Support Systems*, 36:65–79, 2003.
- [63] J. Kacprzyk y M. Fedrizzi. *Multiperson Decision Making Models using Fuzzy Sets and Possibility Theory*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1990.
- [64] R. L. Keeney y H. Raiffa. *Decision with Multiple Objectives*. Wiley, Nueva York, 1976.
- [65] J. L. Kerr. Diversification strategies and managerial rewards: An empirical study. *Academy of Management Journal*, 28:155–179, 1985.
- [66] G. P. Latham y K. N. Wexley. *Increasing Productivity through Performance Appraisal*. Adisson-Wesley, 1981.
- [67] S. M. Lee. *Goal programming for decision analysis*. Auerbach Publishers, Philadelphia, 1972.
- [68] R. Likert. A technique for the measumerement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140:1–55, 1932.
- [69] I. Loyola. *Spititual Exercises*. 178-183. 1548.

- [70] J. Lu, G. Zhang, y D. Ruan. Intelligent multi-criteria fuzzy group decision making for situation assessments. *Soft Computing*, 12:289–299, 2008.
- [71] J. Lu, G. Zhang, D. Ruan, y F. Wu. *Multi-Objective Group Decision Making*. Imperial Colleague Press, Londres, 2007.
- [72] R. D. Luce y P. Suppes. *Handbook of Mathematical Psychology*, tomo 3, capítulo Preferences, utility and subject probability. Wiley, Nueva York, 1965.
- [73] K. R. MacCrimmon. *Multiple Criteria Decision Making*, capítulo An overview of multiple objective decision making, páginas 18–43. University of South Carolina Press, 1973.
- [74] J. L. Marichal. *Aggregation Operators for Multicriteria Decision AID*. Tesis Doctoral, Universite de Liège, Liège, Belgium, 1999.
- [75] S. Marshall. *Complete turnaround 360-degree evaluations gaining favour with workers management*. Arizona Republic, D1, 1999.
- [76] L. Martínez. Sensory evaluation based on linguistic decision analysis. *International Journal of Aproximated Reasoning*, 44, 2:148–164, 2007.
- [77] J. A. Mello. *Strategic Human Resource Management*. Thomson Learning, Nueva York, 2002.

- [78] G. A. Miller. The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity of processing information. *Psychological Review*, 63:81–97, 1956.
- [79] J. B. Miner. Development and application of the rated ranking technique in performance appraisal. *Journal of Occupational Psychology*, 6:291–305, 1998.
- [80] R. W. Mondy y R. M. Noe. *Administración de Recursos Humanos*. Pearson, Prentice Hall, México, 2005.
- [81] K. R. Murphy y J. N. Cleveland. *Performance Appraisal: An Organizational Perspective*. Allyn & Bacon, Boston, 1991.
- [82] H. Nurmi. *Assumptions of individual preferences in theory of voting procedures*, capítulo Non-conventional preference relations in decision making, páginas 142–155. Springer-Verlag, Berlin, 1988.
- [83] S. A. Orlovski. Decision-making with fuzzy preference relations. *Fuzzy Sets and Systems*, 1:155–167, 1978.
- [84] C. Romero. *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*. Pergamon Press, Oxford, 1991.
- [85] C. Romero. *Teoría de la Decisión Multi-criterio: Conceptos, Técnicas y Aplicaciones*. Alianza Universidad, Madrid, 1993.

- [86] C. Romero. Extended lexicographic goal programming: a unifying approach. *OMEGA, The International Journal of Management Science*, 29:63–71, 2001.
- [87] C. Romero. A general structure of achievement function for a goal programming model. *European Journal of Operation Research*, 153:675–686, 2004.
- [88] S. Ríos, C. Bielza, y A. Mateos. *Fundamentos de los Sistemas de Ayuda a la Decisión*. Ra-Ma, Madrid, 2002.
- [89] M. Roubens. Fuzzy sets and decision analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 90:199–206, 1997.
- [90] M. Roubens y Ph. Vincke. *Preference Modelling*. Springer-Verlag, Berlín/Heidelberg, 1985.
- [91] S. Seo y M. Sakawa. Fuzzy multiattribute utility analysis for collective choice. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 15:45–53, 1985.
- [92] H. A. Simon. *Models of man*. John Wiley and Sons, Nueva York, 1957.
- [93] M. Tamiz, D. F. Jones, y C. Romero. Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art. *European Journal of Operational Research*, 111:569–581, 1998.

-
- [94] T. Tanino. Fuzzy preference orderings in a group decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 12:117–131, 1984.
- [95] T. Tanino. *Multiperson Decision Making Using Fuzzy Sets and Possibility Theory*, capítulo On group decision making under fuzzy preferences, páginas 172–185. Kluwer Academic Publishers, 1984.
- [96] Z. S. Xu. On compatibility of interval fuzzy preference relations. *Fuzzy Optimizations and Decision Making*, 3:217–225, 2004.
- [97] R. R. Yager. On ordered weighted averaging operators in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 18:183–190, 1988.
- [98] R. R. Yager. Families of OWA operators. *Fuzzy Sets and Systems*, 59:125–148, 1993.
- [99] R. R. Yager. Aggregation of ordinal information. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 6:199–219, 2007.
- [100] P. L. Yu. A class of solutions for group decision problems. *Management Science*, 19:936–946, 1973.
- [101] L. Zadeh. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8:338–375, 1965.

-
- [102] L. Zadeh. The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. *Information Sciences*, Part I y Part II (8), Part III (9):199–249,301–357,43–80, 1975.
- [103] L. Zadeh. A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. *Computers and Mathematics with Applications*, 9:149–184, 1983.
- [104] M. Zeleny. *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw Hill, Nueva York, 1982.