



University of Granada
Software Engineering Department

PhD thesis

*Oficial Doctoral Programme in Information and Communication
Technologies*

**Development of a linguistic multi-criteria
decision-making model to measure the
ICT quality of service from the user's
viewpoint: Practical application to the
evaluation of ICT in Ecuador**

Andrés Cid López

Supervisors:

Dr. Miguel J. Hornos Barranco, University of Granada

Dr. Ramón A. Carrasco González, Complutense University of Madrid

Dr. Enrique Herrera Viedma, University of Granada

Granada, 2016

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales

Autor: [unreadable]

ISBN: 978-84-911 [unreadable]

URI: <http://hdl.handle.net/10481/11611>



Universidad de Granada

Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos

Tesis doctoral

*Programa Oficial de Doctorado en Tecnologías de la
Información y la Comunicación*

**Desarrollo de un modelo multi-criterio
lingüístico de toma de decisiones para
medir la calidad del servicio en las TIC
desde una visión del usuario: Aplicación
práctica a la evaluación de las TIC en
Ecuador**

Andrés Cid López

Directores:

Dr. Miguel J. Hornos Barranco, Universidad de Granada

Dr. Ramón A. Carrasco González, Universidad Complutense de Madrid

Dr. Enrique Herrera Viedma, Universidad de Granada

Granada, 2016

La memoria titulada **“Desarrollo de un modelo multi-criterio lingüístico de toma de decisiones para medir la calidad del servicio en las TIC desde una visión del usuario: Aplicación práctica a la evaluación de las TIC en Ecuador”**, que presenta D. Andrés Cid López para optar al grado de Doctor en Informática, ha sido realizada en el Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Granada, bajo la dirección de los doctores D. Miguel J. Hornos Barranco, D. Ramón A. Carrasco González y D. Enrique Herrera Viedma.

Hasta donde nuestro conocimiento alcanza, en la realización del trabajo, se han respetado los derechos de otros autores a ser citados, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

Granada, Julio de 2016

El Doctorando

Andrés Cid López

El Director

El Director

El Director

Dr. Miguel J. Hornos Barranco. Dr. Ramón A. Carrasco G. Dr. Enrique Herrera Viedma

*La imaginación es más importante que el conocimiento.
El conocimiento es limitado y la imaginación circunda el mundo.*
—Albert Einstein
(*The Saturday Evening Post*)

*A mi esposa e hijos,
... también para Amadeo y Soledad, allá en el cielo.*

Agradecimientos

Llegado este importante momento, es mi deber reconocer a todas aquellas personas e instituciones que han estado involucradas en este gigantesco proyecto. Por el apoyo brindado antes, durante y estoy seguro que también a futuro. Una gran aventura que ha significado un nuevo emprendimiento en esta inacabable carrera que es la investigación. Aventura que ha conllevado trasladarme junto a mi familia a estas hermosas tierras granadinas por unos fugaces cuatro años, para acometer un sueño que se comenzó a bosquejar a principios del año 2011.

En primer lugar quiero reconocer y agradecer el sacrificio que ha significado para mi querida esposa y mis dos queridos hijos, tener que trasladarse desde nuestro habitual lugar de residencia en Quito Ecuador, a esta lejanas tierras. Por su amor, apoyo, comprensión y estar siempre junto a mí.

A los reconocidos Dres. D. Miguel J. Hornos y D. Ramón A. Carrasco, por aceptarme como su alumno desde el primer momento en que se planteó el proyecto, por la motivación, orientación, enseñanzas y sobre todo por su infinita paciencia hacia un estudiante que los superaba en años. También agradezco a sus honorables familias por las que siento muy alta consideración y tengo en alta estima. Desde ya amigos y parte de nuestras vidas.

Al distinguido Dr. D. Enrique Herrera Viedma, quien de forma decidida y sin vacilación se sumo al equipo inicial y se erigió en pieza fundamental para lograr muchos de los objetivos trazados, constituyéndose en un pilar esencial y decisivo en esta tan honrosa empresa.

Al reconocido investigador y profesor de la Universidad De Montfort en la cosmopolita ciudad de Leicester, Gran Bretaña, en el reconocido Centro de Inteligencia Computacional, Dr. D. Francisco Chiclana, a quien le agradezco que aceptara mi estancia en dicha universidad en el verano del año 2015, por sus enseñanzas, consejos, ideas y colaboración.

A nuestra familia de Ecuador y de Cuba, a mi amigo el Dr. Freddy Villao, quien me despertó el interés en seguir estos importantes estudios.

A la República del Ecuador, a través de sus instituciones SENESCYT, IECE y la CNT E.P., por su programa de becas y la apertura para realizar estos estudios doctorales, sin el apoyo de los cuales hubiera sido imposible llevarlos a término.

Al gran conglomerado que conforma la prestigiosa Universidad de Granada y, en especial, a la ETSIIT, al departamento de LSI, al grupo de investigación MYDASS (TIC-230), al CITIC, a la Escuela de Postgrado, así como a sus miembros y autoridades.

A todos los compañeros de estudio en esta fantástica travesía que comenzó con nuestra llegada a Granada en agosto de 2012, por sus enseñanzas, colaboración, consejos, los momentos de reflexión (tapeo), y de compartir, por confiar en mi, por enriquecer este trabajo con sus críticas y sugerencias y por darme siempre su valioso apoyo.

Sin olvidarme de mis queridos hermanos y de Dios todo poderoso.

A todos, muchas gracias, y como dicen de donde vengo...

...Dios les pague.

Abstract

Decision-making is the process that allows you to choosing a solution from a group of alternatives in order to give a response to a given problem. This is a process that occurs permanently and arises in companies and individuals everyday life. The most common way of human communication is using the natural language, reason why people will make their decisions more easily based on linguistic labels that based on other types (such as numeric values, for exampe)

This thesis presents a decision-making model that uses several linguistic criteria in order to measure and/or evaluate the quality of the service provided in the ICT sector, from the user's perspective. In order to achieve this objective, on the one hand, we analis the most widespread quality measurement models in the literature. On the other hand, we studies the meaning of ICT and performed a segmentation of them supported by an opinion poll among individuals and companies.

Once we had the necessary basic elements, we proceeded to create a two-dimensional model (based on both the ICT segmentation and the elements of SERVQUAL quality measurement model) that was able to meet the set goal. For this purpose, we used the fuzzy logic principles and the 2-tuple linguistic representation. With the aim of giving sustainability over time to the quality measurement model proposed, we devised two mechanisms that allow, on the one hand, the use of existing data from previous surveys (historical information) and, on the other hand, the use of custom surveys specifically designed for the model. The model consists of a set of indicators that allow analyzing the segments of services, applications and technologies in which ICT are divided, each one subdivided into the five dimensions extracted from the SERVQUAL quality model. At the same time, we are integrating a mechanism that measures the degree of consensus reached in the answers given by the users for each item contained in the indicator set. Answers generated both by quality indicators and by the set that calculates the degree of consensus are expressed linguistically. The information processing was performed using the aggregation and exploitation operators described in the literature, based on the 2-tuple representation.

In line with the aim of interpreting the information provided by users in relation with the quality of the service, we set the goal of storing the opinions that the users express anonymously concerning the ICT services, using defferent media: electronic ones, physical presence, social

networks, etc., in order to be able to subsequently use that information in several decision-making processes in the sector's companies. For that reason, we have developed a model for collecting information that supports the decision-making. We call this "decision making hybrid model for the ICT sector".

Similarly, we understand that the quality of service involves a number of business activities, and this fact entail the development of specific decision-making models in these areas. In this sense, and as an example of what could be done in many other business activities, we have developed a model for the analysis of vendor offers and a model for prioritization they launching of products and services.

As long as we advanced in the development of the research, we decided that it was necessary to find a more flexible form of expression, not depending on the number of input labels used in such models. This new form of expression had to meet the following requeriments: expressing the results with a minimal information loss and having the ability to differentiate between similar results. For this purpose, we developed the *Variable Epressive Richness* (VER) module,,applicable to the output obtained by any decision-making model, which uses a smart algorithm to assign sets of labels with different granularity levels within a linguistic hierarchy according to the calculation.

Consequently, throughout the research period in which this thesis has been carried out we have developed the following five decision-making models specifically designed to be applied to the ICT sector:

1. SICTQUAL: A fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of service in the ICT sector from the user perspective.
2. A hybrid model for decision-making in the Information and Communications Technology sector.
3. Applying a linguistic multi-criteria decision-making model to the analysis of ICT suppliers' offers.
4. Prioritization in the launch of ICT products/ services by using a linguistic multi-criteria decision-making model.
5. Linguistic multi-criteria decision-making model with output variable expressive richness.

To validate each of our proposals, the various models developed have been applied to real case studies from the ICT sector in Ecuador.

Resumen

La toma de decisiones es el proceso que permite escoger una o varias soluciones de un grupo de alternativas con la finalidad de dar respuesta a un problema dado. Éste es un proceso que se produce permanentemente y que se presenta tanto en el día a día de las empresas como en el de los individuos. La manera más común que tienen las personas para comunicarse es utilizando el lenguaje natural, por ende, tomarán sus decisiones más fácilmente basándose en etiquetas lingüísticas que en otros tipos de datos (como por ej. valores numéricos).

En esta tesis se presenta un modelo de toma de decisiones que utiliza varios criterios de tipo lingüístico con la finalidad de medir o evaluar la calidad del servicio prestado en el sector de las TIC, desde una visión del usuario. Para lograr este objetivo, por una parte se analizaron los modelos de medición de la calidad más difundidos en la literatura. Por otra, se ha realizado un estudio del significado de las TIC, y una segmentación de los mismos apoyados en un estudio de opiniones de individuos y empresas.

Una vez contamos con los elementos básicos necesarios, se ha creado un modelo bidimensional, basado por una parte en la segmentación de las TIC y, por otra parte, en los elementos que conforman el modelo de medición de la calidad SERVQUAL, que sea capaz de cumplir con el objetivo trazado. Para ello, se han utilizado los principios de la lógica difusa y la representación lingüística 2-tupla. Pensando en darle sustentabilidad al modelo propuesto de medición de calidad en el tiempo, se idearon mecanismos que permiten, por una parte, utilizar la información existente de encuestas anteriores (información histórica) y, por otra, una modalidad basada en encuestas diseñadas específicamente para el modelo. El modelo está compuesto de un conjunto de indicadores que permiten analizar los segmentos de servicios, aplicaciones y tecnologías en que se dividen las TIC, cada uno de ellos subdivididos en las cinco dimensiones extraídas del modelo de calidad SERVQUAL. Paralelamente se integra un mecanismo que mide el grado de consenso alcanzado en las respuestas dadas por los usuarios para cada uno de los elementos que conforman el conjunto de indicadores. Tanto las respuestas generadas por los indicadores de calidad como por el conjunto que calcula el grado de consenso son expresados lingüísticamente. El procesamiento de la información se ha realizado utilizando operadores de agregación y explotación descritos en la literatura basados en la representación lingüística 2-tuplas.

Siguiendo en la línea de interpretar la información proporcionada por los usuarios en relación a la calidad del servicio, nos trazamos como meta poder almacenar las opiniones que, de forma anónima, expresan los usuarios respecto a los servicios TIC utilizando diferentes medios: electrónicos, en presencia física, en redes sociales, etc., para poder utilizar después esa información en diferentes procesos de toma de decisiones en empresas del sector. Es por ello que hemos desarrollado un modelo de recolección de información que apoya la toma de decisiones y que denominamos modelo híbrido de toma de decisiones en el sector de las TIC.

De igual manera, entendemos que la calidad de servicio involucra diversas actividades empresariales, lo que conlleva el desarrollo de modelos específicos para la toma de decisiones en esas áreas. En este sentido, y a modo de ejemplo de lo que supondría hacer en muchas otras actividades empresariales, se ha desarrollado un modelo de análisis de ofertas de proveedores y un modelo para priorizar el lanzamiento de productos y servicios.

Según avanzamos en la investigación consideramos necesario encontrar una forma de expresión más flexible para los resultados y que no dependiera del número de etiquetas de entrada utilizadas en los diferentes modelos. Esta nueva forma de expresión debería cumplir con los siguientes requisitos: poder expresar sus resultados con mínima pérdida de información y ser capaz de diferenciar entre resultados similares. Así, desarrollamos un modelo, aplicable a la salida de cualquier modelo de toma de decisiones, al que denominamos “riqueza expresiva variable” (VER) y que utiliza un algoritmo inteligente para asignar conjuntos de etiquetas con diferente granularidad (esto es, riqueza expresiva) de acuerdo a diferentes niveles dentro de una jerarquía lingüística.

Por tanto, a lo largo del periodo de investigación en el que se ha realizado esta tesis, se han desarrollado los siguientes cinco modelos de toma de decisiones específicamente diseñados para ser aplicados al ámbito de las TIC:

1. SICTQUAL: Un modelo multi-criterio lingüístico difuso para medir la calidad del servicio en el sector TIC desde una perspectiva del usuario.
2. Modelo híbrido de toma de decisiones en el sector de las TIC.
3. Aplicación de un modelo multi-criterio lingüístico de toma de decisiones al análisis de ofertas de proveedores en las TIC.
4. Priorización del lanzamiento de productos / servicios TIC usando un modelo multi-criterio lingüístico.
5. Modelo multi-criterio lingüístico de toma de decisiones con riqueza expresiva variables en la salida.

Para validar cada una de nuestras propuestas, los diferentes modelos desarrollados se han aplicado a casos de estudio reales procedentes del sector de las TIC en Ecuador.

Índice general

Agradecimientos	V
Abstract	VII
Resumen	IX
I PhD dissertation	1
1. Introduction / Introducción	3
1.1. Motivation / Motivación	8
1.2. Objectives / Objetivos	9
1.2.1. General objective / Objetivo general	10
1.2.2. Specific objectives / Objetivos específicos	10
1.3. Structure of this report / Estructura de la memoria	11
2. Preliminares	17
2.1. La toma de decisiones	17
2.1.1. Concepto generales de la toma de decisiones	19
2.1.2. Ambiente de decisión	22
2.1.3. Número de expertos	23
2.1.4. Formato de representación de preferencias	25
2.1.5. Consenso	27
2.1.6. Selección	32
2.2. Lógica difusa: Aplicación a la toma de decisiones	35
2.2.1. Información lingüística y modelos lingüísticos computacionales	36
2.2.2. Granularidad	37
2.2.3. Principio de extensión	38
2.2.4. Modelo computacional lingüístico 2-tuplas	39
2.2.5. Algunos operadores de agregación	42

2.2.6.	Cuantificadores lingüísticos difusos	48
2.3.	Segmentación de las TIC	51
2.3.1.	Definición de TIC	51
2.3.2.	TIC en la economía	53
2.4.	Modelos de calidad de servicio	54
2.4.1.	La calidad del servicio	54
2.4.2.	Modelo SERVQUAL	55
2.4.3.	SERVQUAL adaptada a los segmentos TIC	58
2.4.4.	Otros modelos de calidad de servicio	58
2.4.5.	Análisis de características de los modelos presentados	62
3.	Modelos de toma de decisiones multi-criterio propuestos	65
3.1.	Modelo de calidad de servicio SICTQUAL	67
3.1.1.	Segmentos que componen las TIC en el modelo SICTQUAL	67
3.1.2.	Las dos dimensiones del modelo SICTQUAL	68
3.1.3.	Aplicando el modelo SICTQUAL a encuestas existentes	68
3.1.4.	Fases del modelo	71
3.2.	Modelo híbrido de toma de decisiones	74
3.2.1.	Sistema de Información Inteligente (IIS)	74
3.2.2.	Proceso de toma de decisiones en grupo	76
3.3.	Modelo de análisis de ofertas en el sector TIC	79
3.3.1.	Modelo de toma de decisiones multi-criterio lingüístico propuesto	79
3.3.2.	Fases del modelo de análisis de ofertas	80
3.4.	Modelo de priorización del lanzamiento de productos/ servicios	84
3.4.1.	Lanzamiento de productos/servicios	84
3.4.2.	Etapas del proceso	86
3.5.	Modelo de riqueza expresiva variable (VER)	90
3.5.1.	Explicación detallada del proceso propuesto	90
3.5.2.	Análisis comparativo de resultados obtenidos en otros casos de estudio	95
4.	Conclusions and future work / Conclusiones y trabajo futuro	97
4.1.	Conclusions / Conclusiones	97
4.2.	Future work / Trabajo futuro	108
II	Published and Submitted Papers	113
1.	SICTQUAL: A fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of service in the ICT sector from the user perspective	117

2. A hybrid model for decision-making in the Information and Communications Technology sector	133
3. Applying a linguistic multi-criteria decision- making model to the analysis of ICT suppliers' offers	151
4. Prioritization in the launch of ICT products/services by using a linguistic multi-criteria decision-making model	165
5. Linguistic multi-criteria decision-making model with output variable expressive richness	179
 References	 199

Índice de figuras

1.1. Adaptation of the formal process of strategic planning / Adaptación del proceso formal de planificación estratégica	5
2.1. Clasificación de los problemas de toma de decisiones	21
2.2. Diagrama general de problemas de toma de decisiones en grupo	28
2.3. Proceso de consenso	31
2.4. Selección de mejor alternativa	33
2.5. Etiquetas triangulares para el conjunto S	38
2.6. Funcionamiento de un operador de agregación basado en el principio de extensión	39
2.7. Proceso de agregación de información lingüística multigranular	40
2.8. Ejemplos de cuantificadores crecientes	47
2.9. Segmentación básica de las TIC	52
2.10. Expectativas y percepciones	56
2.11. Modelo SERVQUAL	57
3.1. Interrelación entre los distintos modelos propuestos en la tesis	66
3.2. Captura del sitio web que contiene información de los modelos de TDMC propuestos	66
3.3. Modelo SICTQUAL para análisis de información existente (histórica)	70
3.4. Representación gráfica del modelo SICTQUAL y de los procesos LMCDM_2t que lo componen	71
3.5. Esquema operativo del modelo híbrido de TD	74
3.6. Esquema del modelo de análisis de ofertas de proveedores TIC propuesto	80
3.7. Análisis de ofertas de proveedores TIC en procesos contractuales	81
3.8. Implementación del modelo de análisis de ofertas de proveedores TIC utilizando SPSS Modeler	83
3.9. Esquema para calendarizar el lanzamiento de productos/servicios	86
3.10. Diagrama de los pasos de la propuesta LTOPSIS-2T-VER	90
3.11. Diagrama de jerarquía lingüística y sus niveles (t)	94

3.12. Etiqueta s_1^t utilizada para determinar el nivel de riqueza expresiva óptima . . .	95
4.1. Scheme that integrates the different models proposal in the thesis / Esquema que integra los diferentes modelos propuestos en esta tesis	98

Índice de tablas

2.1. Alternativas dependientes de un solo criterio	20
2.2. Alternativas dependientes de más de un criterio	22
2.3. Problema de decisión con un único experto	24
2.4. Problema de decisión con más de un experto	24
2.5. Tabla comparativa de características de modelos de calidad de servicios	63
3.1. Elementos del modelo SICTQUAL de dos dimensiones	69
3.2. Estructura de la matriz de decisión Criterios/Alternativas	91
3.3. Comparativa de características relacionadas con la expresión de resultados en diferentes modelos	96

Part I

PhD dissertation

1 Introduction / Introducción

According to [Ramonet \(2015\)](#), the Information and Communications Technology (ICT) sector arises due to three key factors:

- The political factor (a deliberate action by most of the developed countries in order to establish a new, liberalised operating framework within the Telecommunications sector);
- The technological factor (emergence of new technologies, which generated a huge amount of new services present on the telecommunication networks) and;
- The strategic or sectorial reorganization factor (which represents the convergence of different sectors that had been operating separately: information technology, telecommunications, media, leisure, etc.).

This convergence has been possible thanks to the technological change. With it, the ICT sector has become hegemonic in every country and its strategic value has become indisputable. New technologies, which have then been incorporated as systems processing strategic information for decision-making (productive, financial, political, social, defense decisions, etc.), have become the paradigm around which knowledge being socially valued as necessary for development rotates.

According to [Sánchez-Pinilla \(2003\)](#), new information and communication technologies are made up of computers, multimedia equipment, local networks, Internet, digital TV, and those might be defined in practice as systems or resources involved in the preparation, storage, spreading of information, mainly in electronic form, based on the use of information technology. These technologies are leading to profound changes and transformations of social, cultural, as well as economic nature. It is such the social impact of new technologies that we could say we are entering a new period or stage of human civilization: the so called “*information and knowledge society*”. These facts lead us to consider the need for examining how people observe these technologies and how they express their satisfaction when interacting with them.

To this end, we should refer to the meaning of the word “user”, defined by the Real Academia de la Lengua [Española \(2001\)](#): “*someone who ordinarily uses something*”. This term comes from the Latin word, *usuarius*, and refers to the person who uses some kind of object or is the recipient of a service, either public or private. This concept of “user” is essential for us, since an important part of our work is aimed at measuring how the quality of service is perceived by people using ICT.

There is another fundamental issue covered by our research that is related to answering the question “*What is ICT?*”. In this respect, there is an interesting work by [Romaní \(2009\)](#), in which the author collected a total of 86 conceptualizations of the definition for ICT in

the knowledge society. Taking into consideration that both individuals and governmental organizations, universities and other entities present in the study containing these answers are also users of ICT, the author concludes that ICT, from a general perspective, can be defined as:

“Hardware and software technological devices that allow to edit, produce, store, share and transmit data between different information systems with common protocols. These applications, which integrate computer media, telecommunications and networks, enable communication and collaboration both under an interpersonal approach (person to person) and under a multidirectional approach (one-to-many or many-to-many). These tools play a substantial role in generating, exchanging, spreading, managing and accessing knowledge”.

Based on the following definition given by the Communication from the Commission to the Council and the European Parliament related to ICT ¹, a clear segmentation (technologies, applications and services) can be set within the ICT:

Information and Communication Technology (ICT) is a term currently used to refer to a wide range of services, applications, and technologies, which use different types of equipment and software, and are often transmitted through telecommunications networks.

Once we have these definitions, it is necessary to gather further knowledge regarding other fundamental aspects:

- Defining the theoretical framework that will allow us to develop a multi-expert, multi-criteria decision-making model using linguistic labels as a mechanism of expression based on fuzzy logic, since we believe it is the best method for our approach.
- Developing the new two-dimensional model based on a methodology of proven and known quality for the service, into which it is possible to integrate the above concept of ICT.

Once we have the necessary elements, we can develop the model for measuring the quality of service from an ICT user's perspective, what we call the SICTQUAL model. This model has a dual function: on the one hand, it has the ability to use existing, heterogeneous information (historical data), and on the other hand, it can be applied to the information collected through specific surveys which are developed for this model. The model is developed using the 2-tuple linguistic representation, since this technique met our need on working with linguistic labels, avoiding any information loss. This decision enabled us to make use of several aggregation operators, which have the function of grouping varied assessments expressed by the various experts, which are used in the subsequent process (exploitation). Once the model was tested

¹http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=es&type_doc=COMfinal&an_doc=2001&nu_doc=770

and consolidated, we proceeded to perform experiments with real data, obtained from surveys performed in previous years (historical data) among users of TIC services in Ecuador.

In addition to the work plan we had set initially and as a consequence of the detection of parallel needs related to factors affecting the quality of the company services, new models were developed for supporting the decision-making, which are also linked to the fundamental objective of this work. These additional models are explained and supported in the course of this thesis.

This pool of proposed models will be used to improve the decision-making process in the ICT sector based on the formal process of strategic planning (Armstrong, 1982). As you can see in the adaptation of the process described by Armstrong (see Figure 1.1), there are several modules that will be covered in the course of our work with the models developed with that purpose. Thus, the opinion *Monitor results* module will be covered with our SICTQUAL model, while the *Decision-making* block will be covered with several developed models. Finally, we will add the variable expressive richness (VER) module at our models output, in order to help understanding the displayed results, since it provides terms being less ambiguous and clearer for the ones who have to interpret them.

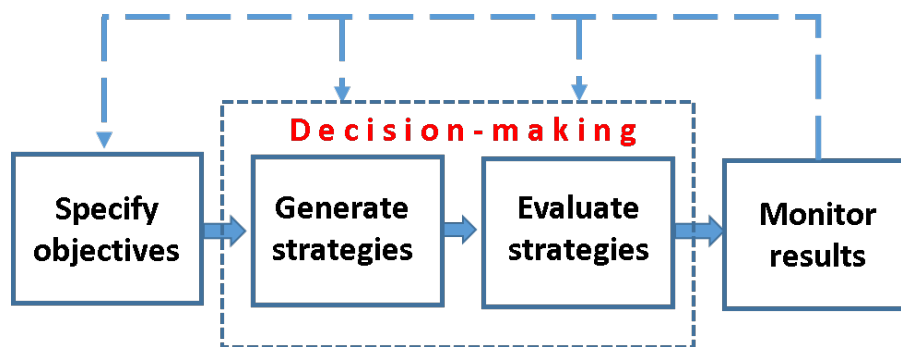


Fig. 1.1 Adaptation of the formal process of strategic planning / Adaptación del proceso formal de planificación estratégica

We found the inspiration in the process proposed by Armstrong in order to shape the global scheme of our project, which kept evolving as we moved forward to Chapter 3, until it took its final form, which is presented in the Conclusions section of this thesis.

Introducción

De acuerdo con Ramonet (2015), el sector de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) surge gracias a tres factores fundamentales:

- *Político*, debido a una acción deliberada por parte de los países más desarrollados para establecer un nuevo marco de actuación liberalizado en el sector de las telecomunicaciones.
- *Tecnológico*, relacionado al surgimiento de nuevas tecnologías, lo cual ha generado una cantidad ingente de nuevos servicios circulando por las redes de telecomunicación.
- *Estratégico* o de reorganización sectorial, que supone la convergencia de diversos sectores que venían operando separadamente: informática, telecomunicaciones, medios de comunicación, ocio, etc.

Esta convergencia ha sido posible gracias al cambio tecnológico. Con él, el sector de las TIC pasa a ser hegemónico en cualquier país y su valor estratégico se convierte en indiscutible. Las nuevas tecnologías, constituidas entonces como sistemas que procesan información estratégica para la toma de decisiones (productivas, financieras, políticas, sociales, defensivas, etc.), se convierten en el paradigma en torno al que gira el conocimiento socialmente valorado como necesario para el desarrollo.

De acuerdo con [Sánchez-Pinilla \(2003\)](#), las nuevas tecnologías de la información y la comunicación están conformadas por ordenadores, equipos multimedia, redes locales, Internet, TV digital, etc., y podrían definirse de forma práctica como los sistemas y/o recursos involucrados en la elaboración, almacenamiento, difusión de información, fundamentalmente de forma electrónica, basados en la utilización de la informática. Estas tecnologías están provocando profundos cambios y transformaciones de naturaleza social y cultural, además de económicos. Es tal el impacto social de las nuevas tecnologías que se afirma que estamos entrando en un nuevo periodo o etapa de la civilización humana: la llamada “*sociedad de la información y del conocimiento*”. Estos acontecimientos nos llevan a plantearnos el análisis de cómo las personas visualizan estas tecnologías y cómo expresan su satisfacción al interactuar con ellas.

Para ello, es necesario remitirse al significado de la palabra usuario, definido por la Real Academia de la Lengua [Española \(2001\)](#) como: “*el que usa ordinariamente algo*”. Ese término procede del latín, *usuarius*, y hace mención a la persona que utiliza algún tipo de objeto o que es destinataria de un servicio, ya sea público o privado. Este concepto de usuario es esencial para nosotros, ya que una parte importante de nuestro trabajo está orientado a medir cómo la calidad de servicio es percibida por las personas que utilizan las TIC.

Otra de las cuestiones fundamentales que abarca nuestra investigación está relacionada con dar respuesta a la pregunta “*¿Qué son las TIC?*”. En este sentido, encontramos en la literatura un interesante trabajo realizado por [Romaní \(2009\)](#), en el que el autor recoge un total de 86 conceptualizaciones de la definición de las TIC en la sociedad del conocimiento. Tomando en consideración que tanto individuos como organizaciones gubernamentales, universidades y otras entidades presentes en el estudio del que se han extraído estas respuestas también son usuarias de las TIC, el autor concluye que las TIC, desde una óptica general, pueden ser definidas como:

“Dispositivos tecnológicos (hardware y software) que permiten editar, producir, almacenar, intercambiar y transmitir datos entre diferentes sistemas de información que cuentan con

protocolos comunes. Estas aplicaciones, que integran medios de informática, telecomunicaciones y redes, posibilitan tanto la comunicación y colaboración interpersonal (persona a persona) como la multidireccional (uno a muchos o muchos a muchos). Estas herramientas desempeñan un papel sustantivo en la generación, intercambio, difusión, gestión y acceso al conocimiento”.

Por otra parte también tenemos la definición de las TIC expresada en la “Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo - Tecnologías de la información y de la comunicación en el ámbito del desarrollo - El papel de las TIC en la política comunitaria de desarrollo”¹, donde se establece una clara segmentación de las TIC en servicios, aplicaciones y tecnologías. La definición de las TIC expresado en el documento indicado es:

Las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) son un término que se utiliza actualmente para hacer referencia a una gama amplia de servicios, aplicaciones, y tecnologías, que utilizan diversos tipos de equipos y de programas informáticos, y que a menudo se transmiten a través de las redes de telecomunicaciones.

Una vez que contamos con estas definiciones, es necesario aunar conocimiento respecto a otros aspectos fundamentales:

- Definir el marco teórico que nos permita desarrollar un modelo de toma de decisiones multi-criterio multi-experto utilizando etiquetas lingüísticas como mecanismo de expresión, basado en la lógica difusa, dado que es el formalismo que creemos más adecuado para nuestro planteamiento.
- Desarrollar un esquema basado en una metodología de calidad de servicio probada y conocida a la cual sea posible integrar el concepto de TIC antes indicado.

Alcanzado este objetivo, tenemos los elementos necesarios para desarrollar el modelo bidimensional de medición de la calidad del servicio desde una visión del usuario para el sector de las TIC, al que denominamos SICTQUAL. El modelo, tiene una doble funcionalidad: Por un lado, tiene la capacidad de utilizar información heterogénea ya existente (encuesta históricas), y por otro, puede ser aplicado a información recogida en encuestas específicas desarrolladas para el modelo. El modelo está desarrollado utilizando la representación lingüística 2-tuplas, ya que esta técnica se ajustaba a nuestras necesidades de trabajar con etiquetas lingüísticas, evitando pérdida de información. Esta decisión nos permitió hacer uso de diferentes operadores de agregación de información, los cuales cumplen la función de agrupar las variadas valoraciones expresadas por los distintos expertos, y que son utilizadas en un proceso posterior de explotación. Después de contar con un modelo probado y consolidado, procedimos a su experimentación con

¹http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=es&type_doc=COMfinal&an_doc=2001&nu_doc=770

datos reales, obtenidos de encuestas realizadas en años precedentes (históricas) a usuarios de los servicios TIC en Ecuador.

Como complemento al plan de trabajo inicialmente establecido, y como consecuencia de la detección de necesidades paralelas relacionadas con factores que influyen en la calidad de los servicios en las empresas, se desarrollaron nuevos modelos de apoyo a la toma de decisiones, que están vinculados igualmente con el objetivo fundamental de este trabajo. Esos modelos adicionales son explicados y sustentados en el transcurso del desarrollo de esta tesis.

Este compendio de modelos propuestos se utilizarán para mejorar la toma de decisiones en el sector TIC fundamentados en el proceso formal de planificación estratégica, propuesto por (Armstrong, 1982). Como se puede observar en la adaptación del proceso descrito por Armstrong (véase Figura 1.1 en la página 5), existen varios bloques que serán cubiertos en el transcurso de nuestro trabajo con los modelos desarrollados para tal propósito. Así, el módulo de *Monitor results* de las opiniones será cubierto con nuestro modelo SICTQUAL, mientras que el bloque de *Decision-making* será cubierto con los diferentes modelos adicionales desarrollados. Finalmente se agregará el módulo de Riqueza Expresiva Variable (VER - Variable Expressive Richness) a la salida de los modelos propuestos, con el fin de facilitar la comprensión de los resultados mostrados, dado que proporciona términos menos ambiguos y, por ende, más claros para aquellas personas que han de interpretarlos.

El proceso propuesto por Armstrong nos ha servido de inspiración para plasmar el esquema global de nuestro proyecto, el cual va evolucionando en la medida que avanzamos al capítulo 3, hasta tomar su forma definitiva, que se presenta en las conclusiones de esta tesis.

1.1. Motivation / Motivación

In this part, it is important to start by saying that the rationale for this work is based, on the one hand, on the difficulties posed by the interpretation of the opinions of customers, which are the mainstay of any service company and, on the other hand, on my personal experience, obtained from my linking to the sector, as well as from being a user of these kinds of services. In this sense, although there are very advanced tools which are capable of performing quantitative diagnostics and interpretations, it is necessary to get to the bottom of the theoretical knowledge in order to interpret the results. In our case, we use the data in the natural language they are expressed, for a further analysis and issuing of the results in the same language, so there are no transformations that could imply any information loss. Therefore, it is about providing a set of tools for decision-making that focus on the quality of service from the user's perspective and help other internal processes that affect the quality of the service, such as the product and service launching or the analysis of vendor offers.

Taking into account that people who have to make decisions on a day to day basis do not necessarily have the information required for that purpose, we have developed decision-making models based on linguistic labels that provide a clear view of the results from the analyses carried out with such models. In other words, the aim is to provide the business decision makers in the ICT sector with a set of tools based on the use of linguistic labels to help them in their work and which rotate around the quality perceived by the users of the service.

Motivación

En esta sección es importante comenzar diciendo que la principal motivación para realizar este trabajo se fundamenta, por un lado, en las dificultades que plantea la interpretación de las opiniones de los clientes, que son el pilar fundamental de cualquier empresa de servicio, y por otro, en mi experiencia personal, dada por mi vinculación al sector, así como por ser usuario de estos servicios. En este sentido, a pesar de existir herramientas muy avanzadas capaces de realizar diagnósticos e interpretaciones de orden cuantitativo, éstas requieren de conocimientos teóricos profundos que permitan interpretar los resultados. En nuestro caso, se propone la utilización de los datos en el lenguaje natural en el que son expresados, para su posterior análisis y emisión de resultados en el mismo lenguaje, de manera que no existan transformaciones que signifiquen pérdida de información. Se trata entonces de proporcionar una serie de herramientas para la toma de decisiones que tome como punto central la calidad del servicio desde una perspectiva del usuario, pero que además facilite otros procesos internos que también inciden en la calidad del servicio, como por ejemplo el lanzamiento de productos y servicios o el análisis de ofertas de proveedores.

Teniendo en cuenta que las personas que tienen que tomar decisiones en el día a día no necesariamente cuentan con la información necesaria para ello, se han desarrollado los modelos de toma de decisiones basados en etiquetas lingüísticas que proporcionen una visión clara de los resultados de los análisis realizados con los diferentes modelos. En otras palabras, se trata de proporcionar a los tomadores de decisiones de empresas del sector de las TIC un conjunto de herramientas basadas en la utilización de etiquetas lingüísticas que facilite su trabajo y que a la vez giren alrededor de la calidad percibida por los usuarios del servicio.

1.2. Objectives / Objetivos

This section will describe both the overall objective and the specific objectives that we have set in this research. These objectives will be reviewed in the Conclusions section (Chapter 4), where their achievement status will be assessed.

1.2.1. General objective / Objetivo general

- Designing a model for multi-criteria decision-making based on linguistic terms which is able to measure/evaluate the user's satisfaction and their perception of the quality of the service provided, as well as providing a number of supplementary tools (models) to help achieving this objective.

1.2.2. Specific objectives / Objetivos específicos

1. Examining the quality assessment models from the user's perspective and selecting the most suitable one for the ICT sector.
2. Analysing and selecting the attributes and quality criteria to be included in the models to develop.
3. Identifying the available information sources that contain the attributes and quality criteria selected (surveys, procurement processes, market products, opinions, etc.).
4. Designing the appropriate theoretical two-dimensional model to measure the quality of service from a user's perspective.
5. Designing the models that support the decision-making process in areas such as strategic planning and analysis of vendor offers.
6. Designing a proposal of result expression which helps the decision-making process by non-experts.
7. Developing and implementing the proposed theoretical decision-making models in a software package that enables automating their application.
8. Applying the developed models to specific cases studies related to ICT services in Ecuador.

Objetivos

En esta sección se especificarán tanto el objetivo general como los objetivos específicos que nos hemos planteado en este trabajo de investigación. Estos objetivos se revisitarán en la sección de Conclusiones (Capítulo 4) donde se determinará el grado en que se han conseguido.

Objetivo general

- Diseñar un modelo basado en la toma de decisiones multi-criterio fundamentado en términos lingüísticos que sea capaz de medir o evaluar la satisfacción de los usuarios y su percepción de la calidad del servicio proporcionado, así como proporcionar una serie de herramientas (modelos) complementarias que contribuyan a este objetivo.

Objetivos específicos

1. Estudiar los distintos modelos de evaluación de la calidad bajo la perspectiva del usuario y elegir el más adecuado para el caso de las TIC.
 2. Analizar y seleccionar los atributos y criterios de calidad a incluir en los modelos a desarrollar.
 3. Identificar las fuentes de información disponibles que contengan los atributos y criterios a ser utilizados (encuestas de calidad de servicio, procesos de contratación, planes estratégicos, opiniones de expertos, etc.).
 4. Diseñar el modelo bidimensional teórico adecuado para medir la calidad del servicio desde una visión del usuario.
 5. Diseñar los modelos que apoyen la toma de decisiones en áreas como la planificación estratégica y el análisis de ofertas de proveedores.
 6. Diseñar una propuesta de expresión de resultados que facilite la toma de decisiones por parte de personas no expertas.
 7. Desarrollar e implementar los modelos teóricos de toma de decisiones propuestos en un paquete software que permita automatizar su aplicación.
 8. Aplicar los modelos desarrollados a casos de estudio específicos relacionado con los servicios TIC en Ecuador.
-

1.3. Structure of this report / Estructura de la memoria

This report consists of two main parts: the first part describes, with unity and coherence, the varied works carried out throughout the research period now concluding with the presentation of this doctoral dissertation, while the second part includes the papers produced during such period, which have been published and/or submitted (still under revision at the time of finalizing this

report) to prestigious international scientific journals, all of them in relevant positions within recognized quality indexes (i.e., first quartile or tertile in JCR - *Journal Citation Report*).

Part I contains four chapters, including this first one, corresponding to the *Introduction / Introducción*, indicating just below a brief summary that describes the contents of the remaining chapters within this part.

Chapter 2: Preliminaries, which is subdivided into the following sections: *Decision-making*, its meaning and main features, outline of decision-making (DM) models and fundamentals of the preference representation. *Fuzzy logic: Application to the DM*, where we examine the linguistic information and computational models, granularity, the 2-tuple representation model, aggregation operators, fuzzy linguistic quantifiers, as well as the incomplete information problems. The *ICT Segmentation*, containing an analysis of several criteria put forward in the last decade to define the concept of ICT, presented in a study of more than 86 opinions from public and private entities, and also containing a brief explanation on the importance of ICT in the economy. And finally, you will find the section *Quality of Service Models*, which briefly includes the most widespread models of this type, including: SERVQUAL, SERVPERF, PE-NQ, PCP and E-S-QUAL, ending with a comparative table of these models including our proposal (SICTQUAL). This comparison has been made taking into account the features of our interest.

Subjects covered in the sections of this chapter constitute the starting point for the development of the proposal presented in this report, which is a new model for measuring the quality of service from the ICT user's perspective, which we have called SICTQUAL, as well as other important additional models (decision-making hybrid model, vendor offer analysis model, product/service launch prioritization model, and finally the variable expressive richness module), which have been applied to different areas of a company, and more specifically, the one where this pad student provides services. All of them are closely related to our target subject and are intended to assist in the improvement of the quality of service, taking into account the user's perspective.

Chapter 3: Proposed multi-criteria decision-making models, which is subdivided into the following sections, setting out several solutions to the issues in the decision making process which affect the ICT sector companies, starting with a proper measurement of the quality of service from a user's perspective. This chapter includes:

- *SICTQUAL model for measuring the service quality*, with 16 quality indicators based on the dimensions of the SERVQUAL model and on the ICT segmentation, with an overall satisfaction index (OSI), as well as elements of consensus for each of the calculated indicators.
- *Decision-making hybrid model*, with the classification, coincidence and consensus stages, as well as a knowledge repository acting as a virtual expert (VEKR) Virtual Expert Knowledge Repository.
- *Vendor offer analysis model*, based on group decision-making elements and with particularities such is the *profile* and *reference* values to determine the best alternative.

- *Product/service launch prioritization model*, which uses the extrapolation of the resulting set of linguistic labels, as well as a timeline to determine the most ideal timing for the launch of products/services according to the company's strategic plan.
- *Variable expressive richness module*, which proposes an innovative solution for the result expression process, which is applicable to a wide variety of DM models. This last proposal is based on the use of linguistic hierarchy and measures of the distances between the resulting entity and the linguistic hierarchy.

Chapter 4: Conclusions and future work / Conclusiones y trabajo futuro, which is written in Spanish and English, due to it is a PhD thesis under the modality of International Mention. This chapter includes the main conclusions of the work carried out, as well as the most significant achievements of our research, also presenting the varied research lines to be developed in the future, as a continuation to the work carried out in this thesis.

In **Part II**, since this is a thesis under the modality of *Thesis by compendium* this report presents a pool of five chapters, each of them containing one of the five articles (3 published or 2 under review process), submitted to prestigious indexed in JCR (4 in Q1 and 1 in T1), linked to Computer Science, Artificial Intelligence and Economy, all of them directly related to the topics developed in this work for each of these 5 works, a short summary is present in *Chapter 3* of *Part I*, where the relationship between them is also explained.

The models presented in these works cover both the main and the specific objectives of this thesis. These models also include other aspects of the business process (vendor offer analysis, product/service launch, as well as user feedback management) which have a direct impact on the quality of service results perceived by the users.

Estructura de la memoria

La presente memoria está organizada en dos partes fundamentales: en la primera se presentan bajo un prisma de unidad y coherencia, los diferentes trabajos realizados a lo largo del periodo de investigación que ahora concluye con la defensa de esta tesis doctoral, mientras que en la segunda se incluyen los artículos elaborados durante dicho periodo y que han sido publicados o enviados (estando en proceso de revisión en el momento de escribir estas líneas) a prestigiosas revistas científicas internacionales, ocupando todas ellas posiciones relevantes dentro de reconocidos índices de calidad (esto es, primer cuartil o tercil en JCR - *Journal Citation Report*).

La **Parte I** contiene cuatro capítulos, incluido este primero que corresponde a la *Introduction / Introducción*, indicándose a continuación un pequeño resumen que explica el contenido de cada uno de los restantes capítulos de esta parte:

Capítulo 2: Preliminares, el cual se subdivide en las siguientes secciones: *La toma de decisiones*, su significado y principales características, esquema general de los modelos de

toma de decisiones (TD) y fundamentos de representación de preferencias. *La lógica difusa: Aplicación a la TD*, donde se estudia la información lingüística y los modelos computacionales, la granularidad, el modelo de representación 2-tuplas, los operadores de agregación, los cuantificadores lingüísticos difusos, así como los problemas de información incompleta. La *Segmentación de las TIC*, donde se realiza un análisis de los diferentes criterios esgrimidos en la última década para definir el concepto de TIC, presentado en un estudio de más de 86 opiniones de entidades públicas y privadas, también se presenta brevemente la importancia de las TIC en la economía. Y, finalmente los *Modelos de calidad de servicio*, sección en la que se recogen brevemente los modelos de este tipo más difundidos, entre los que se pueden citar: SERVQUAL, SERVPERF, PE-NQ, PCP, y E-S-QUAL, finalizando con un cuadro comparativo de estos modelos, que también incluye nuestra propuesta (SICTQUAL). Esta comparación se hace tomando en cuenta las características que son de nuestro interés.

El conjunto de temas tratados en las distintas secciones de este capítulo constituyen el punto de partida para el desarrollo de la propuesta que se plantea en esta memoria, y que consiste en un nuevo modelo de medición de la calidad del servicio desde una visión del usuario para el sector de las TIC, al cual hemos denominado SICTQUAL, así como varios modelos adicionales no menos importantes (modelo híbrido de toma de decisiones, modelo de análisis de ofertas de proveedores, modelo de priorización de lanzamiento de productos / servicios y, por último, el módulo de riqueza expresiva variable), que han sido aplicados a diferentes problemas de decisión de empresas del sector, como en la que presta sus servicios el doctorando. Todos ellos están estrechamente relacionados con nuestra temática de interés y están encaminados a ayudar en la mejora de la calidad del servicio, teniendo en cuenta la perspectiva del usuario.

Capítulo 3: Modelos de toma de decisiones multi-criterio propuestos, el cual se subdivide en las siguientes secciones, en las que se exponen diferentes soluciones a problemas de toma de decisiones que afectan a las empresas del sector de las TIC, comenzando por una adecuada medición de la calidad del servicio desde una visión del usuario. En este capítulo se presentan:

- *Modelo SICTQUAL para medir de calidad del servicio*, con sus 16 indicadores de calidad fundamentados en las dimensiones del modelo SERVQUAL y en la segmentación de las TIC, con un índice de satisfacción general (OSI), así como elementos de consenso por cada uno de los indicadores calculados.
- *Modelo híbrido de toma de decisiones*, con sus etapas de clasificación, coincidencia y consenso, así como con un repositorio de conocimiento que actúa como experto virtual denominado (VEKR, Virtual Expert Knowledge Repository).
- *Modelo de análisis de ofertas de proveedores*, basado en elementos de toma de decisiones en grupo y con particularidades como los valores de *perfil* y *referencia* para determinar la mejor alternativa.
- *Modelo de priorización de lanzamiento de productos/servicios en el sector de las TIC*, que utiliza extrapolación del conjunto de etiquetas lingüísticas resultante, así como una

línea de tiempo para determinar el momento más idóneo para el lanzamiento de los productos/servicios considerados en la planificación estratégica de la empresa.

- *Módulo de riqueza expresiva variable en la salida*, en el cual se propone una solución innovadora al proceso de expresión de resultados, aplicable a una gran variedad de modelos de TD. Esta última propuesta está basada en la utilización de una jerarquía lingüística y medidas de distancias entre los valores resultante de un proceso de TD.

Capítulo 4: Conclusions and future work / Conclusiones y trabajo futuro, que al tratarse de la memoria de una tesis bajo la modalidad de *Mención Internacional* se redacta en inglés y español. En este capítulo se presentan las principales conclusiones del trabajo realizado, así como los logros más significativos de nuestra investigación, además de presentar las diferentes líneas de investigación a ser desarrolladas en el futuro, como continuación al trabajo llevado a cabo en esta tesis doctoral.

En la **Parte II** de esta memoria, por tratarse de una memoria de tesis bajo la modalidad de *Tesis por compendio*, se presenta un total de cinco capítulos, conteniendo cada uno de ellos uno de los 5 artículos (3 publicados y 2 en proceso de revisión), sometidos a prestigiosas revistas indexadas en JCR (4 en Q1 + 1 T1), vinculadas a las Ciencias de la Computación, la Inteligencia Artificial y la Economía, todas ellas relacionadas directamente con la temática desarrollada en este trabajo. De cada uno de estos 5 trabajos se ha presentado un pequeño resumen en el *Capítulo 3* de la *Parte I*, donde también se ha explicado la interrelación existente entre ellos.

Los modelos presentados en estos trabajos abarcan tanto el objetivo principal de esta tesis como los objetivos específicos establecidos. Estos modelos también abarcan otras aristas del proceso empresarial (análisis de ofertas de proveedores, lanzamiento de productos/servicios, así como manejo de opiniones) que influyen directamente en los resultados de la calidad del servicio percibida por los usuarios.

2 Preliminares

En este capítulo se presentan algunos aspectos que están directamente relacionados con el proceso de toma de decisiones (TD) tratados en esta tesis y que son fundamentales para entender algunos aspectos de los desarrollos y propuestas que se hacen en la misma.

2.1. La toma de decisiones

Desde una visión científica, es posible decir que las decisiones multi-criterio hacen su aparición en el campo de las ciencias, de la mano de la Economía, entre finales del siglo XIX y principios del XX. En trabajos desarrollados por economistas, tales como Galton, Gauss, etc., se enuncian algunos de sus principios. El enfoque dado por estos economistas se centra en el comportamiento de los consumidores a la hora de elegir la compra de un producto.

Las formulaciones adoptadas en este periodo se basan en explicar la teoría de cómo los agentes económicos buscan maximizar las funciones de utilidad, las cuales expresan la elección del consumidor o del productor. Por otra parte, [Pareto \(1906\)](#) demuestra en sus trabajos que en situaciones en las que varios agentes económicos realizan elecciones diferentes y en conflicto, éstos no podían obtener su satisfacción máxima al mismo tiempo. La explicación a este fenómeno viene dada por la limitación de los recursos, lo que significa que lo que uno gana lo hace en detrimento de otro. Estas conclusiones se denominaron *óptimos de Pareto*. Esta problemática dio paso a la necesidad de crear técnicas con el objetivo de resolver esta situación y hallar modos de satisfacer, en la medida de lo posible, al mayor número de agentes económicos, intentando buscar un equilibrio entre los intereses contrapuestos de éstos.

Las técnicas de toma de decisiones multi-criterio (TDMC), como tal, han sido materia de investigación desde la década de los años 40 del siglo pasado, teniendo un importante desarrollo en las últimas décadas. En tiempos tan remotos como 1944, John von Neumann, uno de los físicos más importantes del pasado siglo, y uno de los grandes exponentes de la física cuántica, junto con el también científico Oscar Morgenstern, economista austriaco, publican la primera obra acerca de juegos de estrategia desde una perspectiva económica, y la más importante en lo que se refiere al comportamiento individual en ambiente de riesgo. Su título es *Theory of games and economic behaviour* ([Von Neumann and Morgenstern, 2007](#)).

En lo fundamental, lo que se plantea en esa obra, es una aproximación metodológica para resolver el problema de la decisión en régimen de conflicto, lo que les llevó a plantear la racionalidad del individuo.

Algunas interpretaciones de la axiomática de von Neumann y Morgenstern pueden ser encontradas en las obras de autores como [Luce and Suppes \(1965\)](#) y [Keeney and Raiffa \(1993\)](#), entre otros.

En los Estados Unidos, las discusiones sobre la toma de decisiones multicriterio se centraron en los años 70 sobre la posibilidad de agregar las preferencias del decisor por cada criterio en una única función *suma* de las anteriores. Esta función de utilidad global se toma como punto de partida del problema de programación matemática multiobjetivo. Este modelo tiene un fundamento teórico sólido que constituye la denominada *Teoría de la Utilidad Multiatributo* (MAUT). En esta línea destacan los trabajos de [Keeney and Raiffa \(1993\)](#), entre otros, que son autores clásicos de esta teoría.

Por otra parte, en Europa el matemático francés [Roy \(2013\)](#) planteó un nuevo enfoque a finales de la década de los 60. Este autor, inspirador de la denominada Escuela Francesa, se desmarca de la teoría de la decisión clásica y crea lo que se denomina *Ciencia de Ayuda a la Decisión Multicriterio*. Esta escuela pretendió construir una técnica para ayudar al decisor a encontrar soluciones satisfactorias. Sus métodos se basan en comparar entre sí las diferentes alternativas en base a cada criterio, y después agregar esta información considerando la fuerza de las evidencias a favor y en contra de la selección de una alternativa respecto a otra. Los métodos más conocidos en esta línea de investigación son los de la familia ELECTRE ([Figueira et al., 2005](#)) y la familia PROMETHEE ([Brans and Vincke, 1985](#)), denominados como métodos de clasificación.

Durante la década de los 90 del siglo pasado y principios de éste, los métodos de toma de decisiones multi-criterio (MCDM, del inglés *Multi-Criteria Decision-Making*) comenzaron a trascender del ámbito académico y se fueron extendiendo al ámbito público y empresarial. Hoy en día estas técnicas se emplean con múltiples y diversas finalidades como por ejemplo: selección de maquinaria o contratistas, predicciones financieras, definición de estrategias empresariales, determinación de la ubicación de empresas y negocios, etc.

Otros métodos actualmente muy difundidos y que tienen una gran cantidad de seguidores son los métodos TOPSIS ([Behzadian et al., 2012](#)), VIKOR ([Opricovic and Tzeng, 2004](#)), ANP ([Saaty, 2001](#)), y su variante más básica, conocida como AHP ([Saaty, 1980](#)), entre otros. Hasta ahora, estos métodos han sufrido la influencia de otras técnicas, con la finalidad de alcanzar soluciones a una gran variedad de problemas. Entre las técnicas que han sido aplicadas a los métodos citados se encuentran la lógica difusa y la teoría intuicionista, por citar un par de ejemplos.

Los métodos de decisión multicriterio son poderosas herramientas que ayudan a generar consenso en contextos complejos de decisión. Se pueden aplicar estas técnicas a casos en los que es necesaria la confluencia de intereses y puntos de vista de diferentes grupos o personas. Esto permite que todas las partes interesadas participen en el proceso de toma de decisiones.

En resumen, un proceso de TD consiste en seleccionar la alternativa de entre un conjunto de ellas que mejor se ajusten a nuestras necesidades en un momento dado. Esta es una tarea

muy común y cotidiana y que está presente en casi todas las actividades humanas. Por tanto, el estudio de situaciones de la TD y de los mecanismos que permiten resolver esta clase de problemas se torna muy importante.

2.1.1. Concepto generales de la toma de decisiones

Muchas de las actividades humanas requieren tomar decisiones en algún momento determinado. Así, diariamente nos enfrentamos a situaciones en las que debemos decidir qué hacer o qué alternativa elegir en función del entorno en el que nos encontramos. Por ejemplo, decidir qué servicio de telecomunicaciones contratar, que programa de televisión ver, qué dispositivo móvil comprar, qué ropa ponerse, dónde y qué lugar visitar, dónde comprar en internet, qué servicios bancarios usar, etc., son algunas de ellas. De esta forma, cada vez que se plantea la necesidad de tomar una decisión, ésta va acompañada de un conjunto de posibles alternativas que, a su vez, tienen una serie de consecuencias que pueden hacernos reflexionar sobre la idoneidad de cada una de ellas. Por tanto, en un sentido amplio, tomar una decisión consiste en elegir, de entre un conjunto de opciones, cuál de ellas se adecua mejor a nuestras necesidades en un momento dado y bajo unas circunstancias o contexto específico.

Por otra parte es habitual que ciertos problemas de toma de decisiones necesiten de un análisis de las diferentes alternativas y del problema al que nos enfrentamos. La TD, como apuntan [Keeney and Raiffa \(1993\)](#), intenta ayudar a los individuos a tomar decisiones difíciles y complejas de una forma racional. Esto requiere el desarrollo de métodos y modelos que permitan representar fielmente cada problema y analizar las distintas alternativas con criterio objetivo. Sin embargo, no todos los problemas de toma de decisiones se resuelven completamente de la manera deseada. Esto es debido a que existen factores externos y de tipo subjetivos que afectan a los procesos de decisión, provocando que la solución final pueda variar si las condiciones en las que se presenta el problema cambian (incertidumbre).

2.1.1.1. Algunos ejemplos

En este apartado se presentan algunos ejemplos cercanos a la naturaleza en que se desenvuelve esta tesis, así como a las experiencias del autor.

EJEMPLO 2.1. Supongamos un problema de decisión en el que nos planteamos cambiar de proveedor de servicio de Internet y nos ofrecen tres posibles alternativas, las cuales se basan en el mismo atributo (costo). En este caso, se trata de un problema de toma de decisión con un único criterio, y lo habitual sería inclinarse por la alternativa de coste menor. En esta situación, estamos ante un problema en el que se considera un único criterio para tomar una decisión y, por tanto, hablamos de un problema de decisión con un solo criterio, que puede ser representado como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Alternativas dependientes de un solo criterio

Alternativas	Criterios
$\{x_i\}$	c
x_1	y_1
\dots	\dots
x_n	y_n

EJEMPLO 2.2. Escoger el eslogan de una campaña publicitaria. Se trata de una consulta a un grupo de expertos en la cual éstos tienen que elegir entre diversas alternativas. En este caso, es fácil percibir que factores muy subjetivos pueden influir muy seriamente en el resultado final. Además, éste es un claro ejemplo donde es mejor utilizar valoraciones lingüísticas, tales como *bueno, regular, malo,...* en lugar de valores numéricos para valorar las alternativas .

EJEMPLO 2.3. Lograr aprobar una resolución por el Organismo de Regulación y Control de las Telecomunicaciones en la que se plasme cómo evaluar la calidad del servicio desde una visión del usuario. Éste es un ejemplo de una necesidad apremiante; sin embargo, lograr un consenso entre todos los involucrados que arroje un tipo particular de opinión, o incluso la forma en que esta resolución debe ser plasmada, no depende exclusivamente de factores racionales (por ejemplo, las necesidades del mercado, los deseos de los usuarios, etc.), sino que existen factores particulares que influirán en la decisión final. Por ejemplo, la particularidad de los sistemas de medición de cada proveedor del servicio, las implicaciones relacionadas con costos que esta resolución puede significar, temas relacionados con el equilibrio económico de cada empresa participante, nuevas obligaciones a asumir, nuevos desarrollos informáticos, etc.

EJEMPLO 2.4. Elegir qué terminal móvil (*smartphone*) adquirir. Éste es un claro ejemplo de toma de decisión un poco más complejo. Cuando queremos comprar un terminal de comunicación (terminal móvil), usualmente tenemos que elegir entre una cantidad de alternativas diferentes, pero similares en su función. Está claro que existen factores externos que nos influyen en gran medida sobre qué producto comprar. Por ejemplo, los productos que se encuentran en exposición en la tienda, los que están de moda, las promociones del momento o la ayuda (orientación) que puede ofrecer el vendedor al cliente, entre otros factores, son influencias fundamentales que determinarán qué productos se venden mejores que otros, lo que indica la importancia de los factores externos en la decisión final. Éste es un ejemplo donde nos enfrentamos al problema de falta de información, ya que no es extraño que un cliente, que tiene que escoger entre diversos productos similares, no posea información suficiente sobre las características particulares de cada uno de ellos, así como en cuales se diferencian.

En este contexto un esquema de los problemas que componen la TD se presenta en la Figura 2.1.

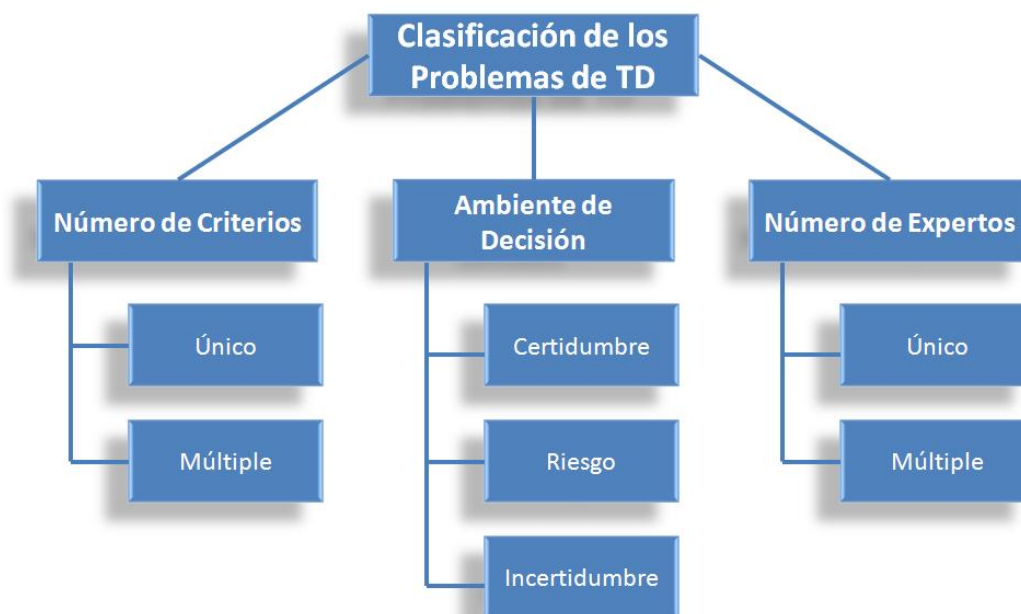


Fig. 2.1 Clasificación de los problemas de toma de decisiones

EJEMPLO 2.5. Siguiendo con el ejemplo de los servicios TIC, supongamos un problema de decisión en el que nos planteamos cambiar de proveedor de Internet y nos ofrecen tres posibles alternativas, pero, en este caso, cada una de ellas se caracteriza por tres atributos: el costo, el ancho de banda y el tipo de terminal de comunicación a utilizar. En esta situación, estamos ante un problema en el que se consideran varios criterios para tomar una decisión y, por tanto, hablamos de un problema de toma de decisiones multi-criterio (TDMC) o multi-atributo.

Los problemas de TDMC son más complejos de resolver que los problemas en los que sólo hay que tener en cuenta un criterio para obtener la solución (Martínez, 1999). Cada criterio puede establecer un orden de preferencia particular y diferente sobre el conjunto de alternativas. A partir del conjunto de órdenes de preferencia particulares, será necesario establecer algún mecanismo que permita construir un orden global de preferencia. Podemos encontrar varios ejemplos en la literatura sobre tales como los trabajos de Salminen et al. (1998); Zopounidis and Doumpos (2002) y Kiker et al. (2005), entre otros.

El número de criterios en problemas de toma de decisiones multi-criterio se asume que es finito, lo que se puede expresar formalmente como: Sean $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ y $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ el conjunto de alternativas y el conjunto de criterios que caracterizan a una situación de decisión determinada, entonces una posible representación de la información en este caso sería la mostrada en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Alternativas dependientes de más de un criterio

Alternativas	Criterios			
	c_1	c_2	\dots	c_m
$\{x_l\}$				
x_1	y_{11}	y_{12}	\dots	y_{1m}
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
x_n	y_{n1}	y_{n2}	\dots	y_{nm}

Donde cada entrada y_{ij} de la tabla anterior indica la preferencia de la alternativa x_l con respecto al criterio c_i . Cabe señalar que cada y_{ij} estará valorada de acuerdo al dominio de expresión determinado esto es, numérico, lingüístico, etc. Sin embargo, otro factor a tener en cuenta es el ambiente en el que se realizan estas decisiones.

2.1.2. Ambiente de decisión

El ambiente de decisión viene definido por las características y el contexto en el que se va a llevar a cabo la TD. La teoría clásica de la decisión distingue tres situaciones o ambientes de decisión ([Insua et al., 2002](#); [Luce, 2012](#)):

1. *Ambiente de certidumbre.* Un problema de decisión está definido en un ambiente de certidumbre cuando se conocen con exactitud todos los elementos y factores que intervienen en el problema. Esta situación permite asignar valores precisos de utilidad a cada una de las alternativas presentes en el problema.

EJEMPLO 2.6. Continuando con el ejemplo anterior, supongamos un problema de decisión en el que nos planteamos cambiar de proveedor de Internet a uno que ofrezca servicios n-Play (Internet de banda ancha, televisión digital codificada, Internet inalámbrica (WiFi), servicios *Pay per view*, etc.) y que además garantice como parte de su paquete promocional una alta tasa de disponibilidad. Asumiendo que conocemos con exactitud los costos de cada servicio/producto, los gastos de gestión y la duración del contrato, debemos decidir qué empresa contratar para maximizar la inversión realizada, además de satisfacer nuestras necesidades. En este caso, conocemos todos los factores que se han de tener en cuenta para tomar la decisión y el problema consistirá en estructurar correctamente esta información y establecer las preferencias entre las alternativas, de forma que nos permita elegir aquella que mejor se ajuste a nuestras necesidades.

2. *Ambiente de riesgo.* Se puede decir que un problema de decisión está definido en un ambiente de riesgo cuando alguno de los elementos o factores que intervienen responden a las leyes del azar. En estos casos, estos problemas se resuelven utilizando la Teoría de la Probabilidad.

EJEMPLO 2.7. Supongamos que queremos adquirir acciones de una nueva empresa de telecomunicaciones. Inmediatamente surgen dudas sobre los futuros resultados económicos de la empresa, así como las políticas, estrategias y proyectos futuros de la misma. En este caso, el enfoque del problema ha de ser diferente, y se podrá utilizar una distribución de probabilidad para reflejar por ejemplo la posible subida o bajada del valor de las acciones dependiendo de los resultados en un periodo de tiempo, y que influirá en la utilidad de cada una de las posibles alternativas en las que invertir.

3. *Ambiente de incertidumbre.* Un problema de decisión está definido en un ambiente de incertidumbre cuando la información disponible sobre las distintas alternativas puede ser incompleta, vaga o imprecisa, lo que implica que la utilidad asignada a cada alternativa tenga que ser valorada de forma aproximada. Esta incertidumbre surge a raíz del intento de modelar la imprecisión propia del comportamiento humano o la inherente a ciertos fenómenos que, por su naturaleza, son inciertos.

EJEMPLO 2.8. Supongamos que queremos contratar los servicios de un nuevo proveedor de servicios TIC que ha salido al mercado. En este caso, los expertos intentan valorar fenómenos relacionados con apreciaciones subjetivas sobre el servicio que prestará dicha entidad ya que no existe información del comportamiento de la misma al no existir antecedentes respecto a la calidad de servicio proporcionado a los clientes por esta empresa en particular.

Otros factores que es necesario tener en cuenta son los referentes a la utilización de expertos.

2.1.3. Número de expertos

Otro factor fundamental a tomar en cuenta a la hora de clasificar los problemas de TD, hace referencia al número de expertos involucrados o que toman parte en el proceso de decisión. Un proceso de TD en el que participan varios expertos es más complejo que otro en el que solo participa uno. Sin embargo, el hecho de que intervengan varios expertos con puntos de vista diferentes puede ofrecer una solución más satisfactoria al problema (Saint and Lawson, 1994; Bustince et al., 2014), al involucrar diferentes puntos de vista o criterios sobre una misma cuestión. Atendiendo al número de expertos que toman parte en el proceso de TD, los problemas de decisión se pueden clasificar fundamentalmente en dos tipos (Kacprzyk and Fedrizzi, 1990; Herrera and Herrera-Viedma, 1996; Herrera et al., 2005; Herrera-Viedma et al., 2002, 2005, 2007a,b; Bouyssou et al., 2013):

1. *Único o individuales.* Las decisiones son tomadas por un único experto. En los problemas de decisión con un único experto, cada alternativa es valorada por un único individuo. En los problemas de decisión con un solo experto (uni-experto), es a este único experto al

que le corresponde valorar cada alternativa, de tal forma que, siendo $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ el conjunto de alternativas a valorar por el experto e , entonces la información de este problema puede ser representada de acuerdo a la Tabla 2.3:

Tabla 2.3 Problema de decisión con un único experto

Alternativas	Experto
$\{x_i\}$	e
x_1	y_1
\dots	\dots
x_n	y_n

Donde cada entrada y_i de la tabla 2.3, indica la preferencia dada por el experto e respecto a la alternativa x_i . Cabe señalar que cada y_i estará representada de acuerdo al dominio de expresión utilizado, esto es, numérico, lingüístico, etc.

2. *En grupo o múltiples expertos.* Las decisiones son tomadas por un grupo de expertos que intentan alcanzar una solución en común al problema. El número de expertos en los problemas de toma de decisiones en grupo (TDG) se asume que es finito. Sean $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ y $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ el conjunto de alternativas y el conjunto de expertos que valoran cada alternativa que caracteriza una situación de decisión dada, entonces una forma de representación de la información puede ser expresada de acuerdo a la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Problema de decisión con más de un experto

Alternativas	Expertos			
	e_1	e_2	\dots	e_m
$\{x_i\}$	e_1	e_2	\dots	e_m
x_1	y_{11}	y_{12}	\dots	y_{1m}
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
x_n	y_{n1}	y_{n2}	\dots	y_{nm}

Donde cada entrada y_{ij} de la Tabla 2.4, muestra la preferencia de cada experto e_j con relación a las alternativas x_i . Cabe señalar que cada y_{ij} estará valorada de acuerdo al dominio de expresión determinado (numérico, lingüístico, etc.) empleado en cada caso.

Existe cierta similitud entre los problemas de TDG y los problemas de TDMC (Martínez, 1999). En ambos casos, existen múltiples órdenes de preferencia sobre las alternativas, siendo necesario integrarlos en un único orden global de preferencia. La diferencia consiste en que en los problemas de TDG, los órdenes de preferencia representan la importancia de

las alternativas según cada persona, mientras que en los problemas TDMC, los órdenes de preferencia representan la importancia de cada alternativa respecto a cada criterio.

Importancia de los expertos

Valorar la importancia de cada experto que participa en el proceso de decisión es otra forma de clasificar los problemas de decisión (Herrera and Herrera-Viedma, 1996; Herrera et al., 1997b,c; Ben-Arieh and Chen, 2006), los cuales podemos resumir como:

1. *Homogénea*. Todas las opiniones expresadas por los expertos de forma individual se consideran que tienen la misma importancia.
2. *Heterogénea*. Se otorga distinta importancia a las opiniones expresadas por los expertos de forma individual, dependiendo del grado de experiencia de cada uno o de cualquier otro factor.

Un modo de entender este aspecto consiste en la asignación de distintos pesos a cada experto. Los pesos son valores de tipo cualitativo o cuantitativo que pueden ser asignados, por ejemplo, por uno de los expertos que realice las funciones de *moderador*, como veremos más adelante. Estos pesos también pueden ser asignados como resultado del análisis de un grupo determinado de cualidades previamente establecidas (actividad en el mercado, experiencia contractual, estudios realizados, conocimiento de la temática a tratar, etc.). Los pesos pueden ser interpretados como el grado de importancia que tiene cada uno de los expertos dentro del grupo o cuán relevante puede ser el aporte del experto en relación al problema a tratar. En cualquier caso, es importante señalar que este denominado *peso* actúa como un límite sobre las opiniones de los expertos en el proceso de análisis. A veces este tipo de problemas puede ser algo más complicado, si se toma en cuenta que existen opciones o alternativas con distinto grado de relevancia de acuerdo al dominio de aplicación del problema.

2.1.4. Formato de representación de preferencias

Otra variable que influye en la forma de clasificar los problemas de decisión es la relacionada con el formato de representación de preferencias usado por los expertos que participan en el proceso de decisión (Chiclana et al., 1998; Herrera-Viedma et al., 2002, 2005; Herrera et al., 2005; Huang et al., 2011; Tzeng and Huang, 2011), los cuales pueden ser clasificados en:

1. *Único*. Todos los expertos expresan sus preferencias utilizando el mismo formato de representación de preferencias.
2. *Variado*. Los expertos expresan sus preferencias utilizando distintos formatos de representación de preferencias.

En la práctica, no siempre es deseable que todos los expertos utilicen un mismo formato (Único/Variado) de representación de preferencias, debido a que cada experto tiene sus particularidades (conocimientos, experiencias, personalidad, etc), lo cual implica que los diferentes expertos expresen sus preferencias mediante distintos formatos de representación. Esto último, podría de algún modo enriquecer el procedimiento señalado, siendo una cuestión que ha merecido la atención de bastantes investigadores del área de TDG y que ha generado como resultado la aparición de distintas aproximaciones para integrar diferentes formatos de representación de preferencias.

Es común que los problemas de TD que se presentan en el día a día de las empresas involucren múltiples criterios, así como el uso de múltiples expertos (TDMC-ME), teniendo estos expertos generalmente igual grado de importancia en relación a sus opiniones, y usando el mismo formato de representación de preferencias, generalmente cuantitativo, para expresar dichas opiniones. En los casos tratados en esta tesis y en los modelos propuestos el escenario descrito es el más habitual, la diferencia radica en que nosotros proponemos el uso de etiquetas lingüísticas para expresar las opiniones, a la vez que proponemos mecanismos para el tratamiento automatizado de la información generada por las opiniones vertidas.

Un proceso de TD en el que participen varios individuos o expertos, cada uno de ellos aportando sus propios conocimientos, experiencia y creatividad, proporcionará una decisión de mayor riqueza y calidad que una que sea tomada por un único experto (Saint and Lawson, 1994; Ríos et al., 2002). Por esta razón, el estudio de problemas de TDG y TDMC han sido ampliamente tratados en la literatura como, por ejemplo, en los trabajos de Tanino (1984); Kacprzyk and Fedrizzi (1990); Herrera and Herrera-Viedma (1996); Herrera et al. (1997b,c, 2005); Herrera-Viedma et al. (2002, 2005, 2007a); Chiclana (2000); Xu (2008) y Fan and Liu (2010), entre otros.

Un problema de TDG se establece en situaciones donde hay una cuestión común a solucionar, un conjunto de opciones o alternativas posibles a escoger, $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ ($n \geq 2$), y un conjunto de individuos (expertos, jueces, etc.), $E = \{e_i, \dots, e_m\}$ ($m \geq 2$), que expresan sus opiniones o preferencias sobre el conjunto de opciones o alternativas. El objetivo es encontrar una solución, que será una o un conjunto de alternativas, la de mayor aceptación por parte de todo el grupo de expertos. Como se ha señalado, a veces existe una persona singular, llamada moderador (Herrera and Herrera-Viedma, 1996; Saaty and Peniwati, 2013), que no participa en el proceso de discusión y que se encarga de dirigir todo el proceso de resolución del problema de TD así como de ayudar a los expertos a aproximar sus preferencias sobre las alternativas hasta que éstos logran un acuerdo sobre la solución a escoger. Uno de los principales problemas al que nos debemos enfrentar, cuando tratamos de resolver problemas de TDG, es la falta de información. Como es de entender, cada experto tiene sus propias experiencias concernientes al problema estudiado, lo cual puede implicar un grave inconveniente: que un experto no tenga todo el conocimiento necesario sobre el problema a resolver (Kim and Ahn, 1999; Kim et al., 1999; Xu, 2004b; Herrera-Viedma et al., 2007a,b; Li and Sun, 2007; Xu, 2007a,b). Existen

muchas causas posibles por las cuales un experto puede no ser capaz de expresar de manera eficiente todos los valores de preferencia que le son solicitados. Algunas de estas causas son:

- No tener suficiente conocimiento sobre las distintas alternativas. De esta forma, si existe un número alto de alternativas distintas, los expertos pueden no estar familiarizados con todas ellas. Por ejemplo, si el problema al que se enfrentan los expertos es determinar cuál de 10 empresas de desarrollo de aplicaciones distintas es mejor, un experto concreto puede no tener conocimiento sobre una empresa en particular, pero puede tener una experiencia amplia y extensa con todas las demás. En ese caso, parece obvio que ese experto no podrá expresar ningún tipo de preferencia sobre la empresa que desconoce.
- No ser capaz de discriminar el grado en el cual prefiere una alternativa sobre otra. Incluso si el experto posee un conocimiento profundo sobre las distintas alternativas, quizás no sea capaz de comparar dos de ellas o de expresar de manera precisa el grado en el cual prefiere una alternativa sobre otra.
- Presentar información consistente, esto es, que sus preferencias no impliquen contradicciones. Por lo tanto, un experto puede preferir no dar todas las preferencias por las que se le preguntan, para evitar introducir inconsistencias.

Por eso, es muy importante ofrecer a los expertos herramientas que les permitan expresar esta falta de conocimiento en sus opiniones.

En todo proceso de TDG, son dos los procesos a desarrollar antes de obtener una solución (Carlsson et al., 1992; Herrera and Herrera-Viedma, 1996; Kacprzak et al., 1997; Herrera-Viedma et al., 2002, 2007b; Fedrizzi et al., 2013): *el proceso de consenso y el proceso de selección*. Es común que estos procesos se representen conjuntamente. Un diagrama general se puede observar en la Figura 2.2. Ambos procesos han sido objeto de estudio por diversos autores en diferentes contextos de TDG (Kacprzyk and Fedrizzi, 1990; Fodor and Roubens, 1994; Pedrycz et al., 2011).

2.1.5. Consenso

Tal y como recoge Saint and Lawson (1994), puede ocurrir que en un proceso de Toma de Decisión en Grupo varios expertos consideren que sus preferencias no han sido tenidas en cuenta para obtener la solución final al problema y, por lo tanto, la rechacen o no se sientan identificados con ella. Para evitar esta situación, parece lógico llevar a cabo un proceso en el que los expertos expresen sus preferencias, las justifiquen, y, finalmente, las aproximen con el propósito de alcanzar un nivel de acuerdo aceptable entre todos ellos antes de tomar una decisión sobre el problema. Este proceso, que se denomina proceso de consenso, desarrolla la idea del consenso en el mismo sentido en que aparece recogido en el diccionario de la Real Academia Española (Española, 2001), donde se define el término consenso como: “Acuerdo producido por consentimiento entre todos los miembros de un grupo o entre varios grupos”.

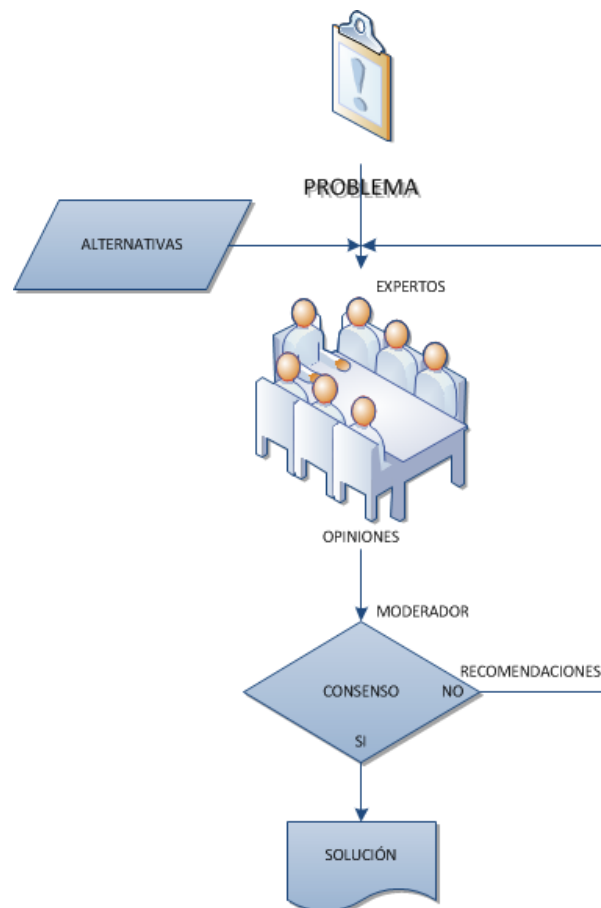


Fig. 2.2 Diagrama general de problemas de toma de decisiones en grupo

Según esta definición, un proceso de TDG en el que las decisiones se toman por consenso implica que ningún experto está en desacuerdo sobre tales decisiones, aunque esto no significa que individualmente cada experto no pueda seguir pensando que sus soluciones son mejores que las finalmente tomadas. Para que este acuerdo sea posible, es necesario que todos los expertos cambien sus opiniones o preferencias iniciales y tiendan aproximarlas hacia una preferencia colectiva que consideren satisfactoria (Mata, 2006).

El proceso de consenso tiene dos subprocesos:

- El primero, conocido también con el nombre de consenso *topológico*, hace referencia a cómo alcanzar el máximo grado de consenso o acuerdo entre los individuos o expertos sobre el conjunto de alternativas de solución.
- El segundo, conocido también con el nombre de consenso *algebraico*, hace referencia a cómo obtener el conjunto de alternativas de solución a partir de las opiniones expresadas por los individuos o expertos.

Ambos subprocesos actúan conjuntamente de forma secuencial, primero: el proceso de consenso actúa para lograr alcanzar el máximo grado de consenso posible entre las opiniones de los individuos o expertos, y seguidamente para obtener las posibles alternativas de solución.

El proceso de consenso constituye un área de investigación importante en el campo de la TDG y entre los trabajos más importantes es posible señalar los de: [Carlsson et al. \(1992\)](#); [Saint and Lawson \(1994\)](#); [Herrera and Herrera-Viedma \(1996\)](#); [Kacprzak et al. \(1997\)](#); [Bordogna et al. \(1997\)](#); [Fedrizzi et al. \(1999, 2013\)](#); [Herrera-Viedma et al. \(2002, 2005, 2007a\)](#); [Ishizaka and Labib \(2011\)](#); [Szmidski and Kacprzyk \(2003\)](#), entre algunos otros.

El proceso suele estar coordinado hasta su solución por la figura de un moderador ([Herrera and Herrera-Viedma, 1996](#); [Fedrizzi et al., 2013](#)), que se encarga de controlar el proceso de negociación y de ayudar a los expertos a aproximar sus preferencias.

En cada momento, el moderador calcula el grado de consenso existente. Si el grado es satisfactorio, entonces el proceso de selección se aplica para obtener la solución. Por el contrario, si el grado de consenso obtenido no es el satisfactorio, entonces el moderador exhorta a los individuos o expertos a modificar sus opiniones de cara a aumentar la proximidad de sus planteamientos. De este modo, un proceso de TDG se puede definir como un proceso dinámico e iterativo en el que los involucrados (expertos) van aproximando sus opiniones, hasta que sus planteamientos sobre la solución son lo suficientemente cercanos (parecidos), momento en el cual se obtiene la solución de consenso mediante la aplicación del proceso de selección.

Normalmente, al inicio de todo problema de TDG, las opiniones de los expertos suelen diferir sustancialmente. En esta situación, consideramos que es apropiado que los expertos cambien sus preferencias y tiendan a aproximar sus opiniones. De esta forma, se consigue que todos los expertos cedan en sus pretensiones iniciales en pos de la búsqueda del consenso y que ninguno de ellos rechace la solución obtenida por considerar que él sí ha cambiado sus preferencias y el resto no.

Por tanto, es importante desarrollar procesos de consensos en un intento de obtener una solución al problema sobre la que dicho conjunto de expertos muestren cierto grado de aceptación.

La visión del concepto de consenso ha evolucionado a lo largo del tiempo ([Rodríguez, 2008](#)). Tradicionalmente el consenso se ha definido como el acuerdo unánime y total entre las preferencias del grupo de expertos ([Bezdek et al., 1978](#); [Xu and Cai, 2013](#)). Sin embargo, esta definición de consenso no es conveniente para nuestro propósito, por las siguientes razones:

1. Es posible diferenciar tan sólo entre dos posibles estados, la existencia y la ausencia de consenso.
2. Las posibilidades de alcanzar el acuerdo total, en caso de ser necesario, son prácticamente nulas. Es más, un acuerdo completo y unánime no es esencialmente necesario, e incluso a veces es preferible evitarlo en la vida real.
3. Para tomar una decisión no es necesario alcanzar un acuerdo por unanimidad entre todos los expertos. En casos extremos, lograr que una mayoría de expertos alcance un acuerdo sobre cuál es el conjunto solución de alternativas para resolver el problema sería suficiente.

Todo esto ha conducido a una relajación del concepto clásico del consenso y a la tendencia hacia una interpretación menos estricta en relación con la coincidencia de preferencias por una mayoría del conjunto que conforman los expertos. Dependiendo del contexto y del problema que se esté analizando, “*la mayoría coincidente*”, puede ser definida utilizando algún tipo de parámetro de medida comparativa respecto al valor mínimo de consenso aceptado (Herrera-Viedma, 1996). Este tipo de comparativa tendrá que tener en cuenta el formato de representación de preferencias utilizado.

Pudieran existir casos donde el concepto de consenso puede ser aceptado como *la mitad más uno* de los expertos involucrados, o como *más del 70 %* de acuerdo entre los expertos, o como en nuestro caso, en el que se utilizan etiquetas lingüísticas como *mejor que Bueno*, Kacprzyk (1986, 1987) profundiza en el estudio del concepto de *mayoría* en problemas de TDG y propone suavizarlo hacia otro más flexible introduciendo el concepto de *mayoría difusa*. Esta relajación, en este caso del consenso, puede ser alcanzado mediante el uso de los denominados *cuantificadores lingüísticos difusos*. Estos cuantificadores pueden ser del tipo: *la mayor parte de* o *muchos más que la mitad*, apoyándose en el cálculo de proposiciones cuantificadas lingüísticamente, desarrolladas por Zadeh (1983) y Yager (1983). Más adelante, en la siguiente sección, se tratan con mayor detalle los cuantificadores lingüísticos difusos.

Otras ideas sobre esta forma de opinar respecto al consenso se pueden encontrar en los trabajos de Pedrycz et al. (2011) y Fedrizzi et al. (2013), donde se propone suavizar el concepto tradicional del consenso, entendido como la coincidencia unánime y completa de las opiniones de los expertos por otro más acorde con la percepción humana que se tiene sobre el mismo, surgiendo el concepto de *soft consensus*, que Kacprzyk and Fedrizzi (1988) lo definen como: “*most of the relevant individuals agree as to almost all of the important alternatives*”.

Por todo ello, el proceso de consenso consiste en una serie de etapas de discusión en la que los expertos expresan sus preferencias e intentan aproximarlas. Esta aproximación se realiza a lo largo de varias rondas de consulta o de intercambio de opiniones, donde los expertos van modificando sus preferencias iniciales. El propósito de estas modificaciones es alcanzar un nivel de acuerdo mínimo antes de iniciar el proceso de selección de las alternativas de solución al problema de TDG. Este proceso suele estar coordinado por al menos una figura humana con amplia experiencia y que, como ya se indicó, se constituye en la figura de *moderador*.

La Figura 2.3 muestra el proceso de consenso, así como lo concerniente al proceso de cálculo de la medida de consenso, su comparación con el nivel mínimo establecido y su retorno (A) nuevamente al grupo experto (en caso de no haberse alcanzado el nivel mínimo requerido) o su encaminamiento al proceso de selección y posterior solución (B).

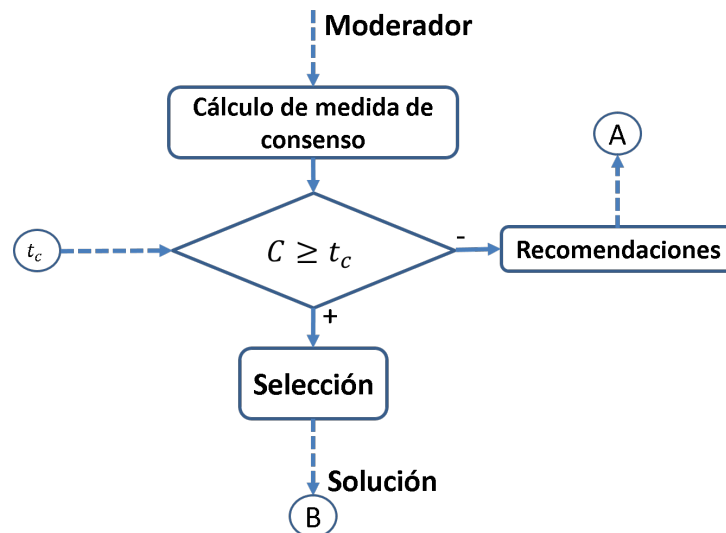


Fig. 2.3 Proceso de consenso

Para evaluar el grado de consenso, la mayoría de los autores (Carlsson et al., 1992; Zadeh, 1997; Kim and Ahn, 1999; Saaty, 2008), utilizan un valor numérico cuantificado dentro del intervalo $[0, 1]$. De esta manera, un grado de consenso próximo a 0 indica que el nivel de acuerdo es muy bajo y, por el contrario, un valor próximo a 1 significa que las preferencias de los expertos son muy similares.

Una variante al uso de valores numéricos en el intervalo $[0, 1]$ la podemos encontrar en los trabajos de Delgado et al. (1994) y de Herrera and Herrera-Viedma (1996) para resolver problemas de Toma de Decisión en Grupo definidos en contextos lingüísticos difusos. En este tipo de problemas, debido a la naturaleza cualitativa de las alternativas que se están valorando, los expertos expresan sus preferencias mediante términos lingüísticos, los cuales se utilizan también para evaluar el nivel de acuerdo.

Para calcular el grado de consenso alcanzado en cada ronda de trabajo, todos los autores coinciden en la idea de medir la similitud entre las preferencias dadas por los expertos a cada una de las alternativas presentes en el problema de decisión. Las propuestas se diferencian en la forma de calcular esta similitud, distinguiendo dos posibles vías de cálculo:

1. *Cálculo de Distancias*. La idea es muy simple y consiste en utilizar funciones que permitan medir la distancia entre las preferencias de los expertos. A partir de esos valores, es posible obtener un valor que represente el grado de consenso alcanzado entre los expertos. Como ejemplos de funciones de distancia, es posible nombrar las que comúnmente son utilizadas y que se definen como distancias clásicas. El concepto general de distancia se puede representar como:

$$D_p = \left[\sum_{j=1}^m |x_{ij} - x_{kj}|^p \right]^{1/p}$$

Teniendo en cuenta el valor que tome p , obtenemos distancias diferentes, de las cuales las más comunes son:

- Distancia Manhattan o Norma $L - 1$ (Hwang and Yoon, 2012), para $p = 1$.
- Distancia Euclídea o Norma $L - 2$ (Cook and Seiford, 1978), para $p = 2$
- Distancia Cheysev o Norma $L - \infty$ (Cook and Kress, 1985), para $p = \infty$.

Adicionalmente se pueden nombrar las distancias basadas en las funciones trigonométricas $f(x) = \text{sen}(x)$ (Basilevsky, 2013) y $f(x) = \text{cos}(x)$ (Hamers et al., 1989) para calcular la distancia basándose en el ángulo entre dos vectores.

2. *Cálculo de Coincidencias.* Consiste en medir el grado de coincidencia entre las preferencias de los expertos y, a partir de éstas, obtener el grado de consenso. Diremos que las preferencias de dos expertos coinciden si ambos asignan los mismos valores a dichas preferencias. El grado de coincidencia se puede tratar desde dos puntos de vista (Kacprzak et al., 1997):

- *Coincidencia rígida.* Se hace una interpretación estricta del concepto de coincidencia, de ahí que el resultado de la comparación entre dos preferencias sólo admite dos valores (1 y 0), ya sea para indicar preferencias iguales o inversas.
- *Coincidencia flexible.* Se hace una interpretación relajada del concepto de coincidencia en el sentido de que se tiene en cuenta la proximidad o cercanía de los valores asignados a las preferencias. El resultado de la comparación entre dos preferencias admite valores en el intervalo $[0,1]$.

2.1.6. Selección

Una vez que el proceso de consenso ha finalizado, esto es, se ha alcanzado un nivel de consenso suficiente, se aplica el proceso de selección (Delgado et al., 1992, 1998; Herrera et al., 1995; Herrera and Herrera-Viedma, 2000b; Kundu, 1997; Carlsson and Fuller, 2002; Fan et al., 2002, 2004; Zhang et al., 2004; Xu, 2006; Herrera-Viedma et al., 2007b).

Por proceso de selección se entiende el proceso mediante el cual se obtiene el conjunto de alternativas solución a partir de las preferencias individuales sobre el conjunto de alternativas de cada uno de los expertos implicados en el proceso de TDG. Para conseguir este objetivo, se ha de tener claro el criterio global o de conjunto a aplicar en la elección de las alternativas que formarán parte del conjunto solución.

Este criterio global suele reducirse a una comparación de las alternativas entre sí, para lo que normalmente se suele utilizar una función, llamada de selección, para asociar a cada alternativa un valor, llamado grado de selección, que se utilizará obviamente para producir un orden parcial de las alternativas (Orlovsky, 1978; Tanino, 1990; Fodor and Roubens, 1994; Pedrycz et al., 2011).

Un diagrama básico del proceso de selección con sus fases de *agregación* y *explotación* se muestra en la Figura 2.4.

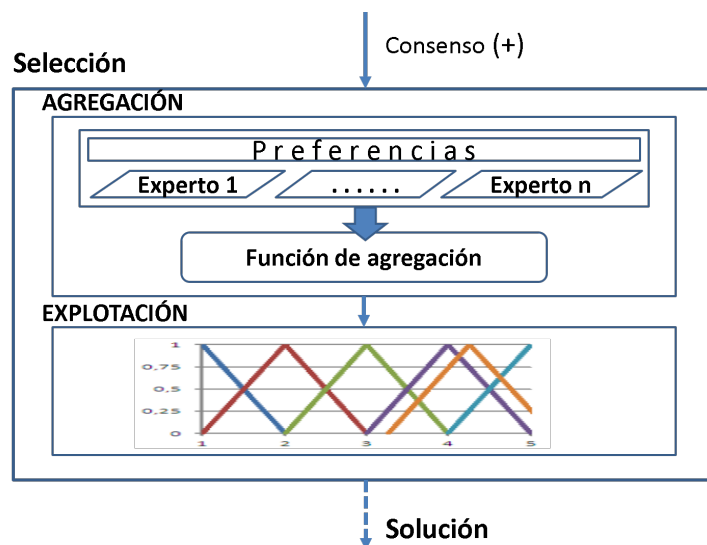


Fig. 2.4 Selección de mejor alternativa

2.1.6.1. Proceso de agregación

La agregación es la operación consistente en transformar un conjunto de elementos (conjuntos difusos, opiniones individuales sobre un conjunto de alternativas expresadas cardinalmente o lingüísticamente, etc.) en un único elemento representativo del mismo (Dubois and Prade, 1985; Yager, 1988; Dubois and Koning, 1991).

En los problemas de TDG, la fase de agregación consiste en la combinación de las unidades de información individuales en unidades de información colectivas. Esta combinación de preferencias se realiza utilizando operadores de agregación (mostrados en el apartado 2.2.5).

- En los modelos de selección directos, estas unidades de información individuales son los grados de selección de alternativas, hallados para cada preferencia individual de un experto, y las unidades colectivas son grados de selección sociales.
- En los modelos de selección indirectos, estas unidades de información individuales son cada una de las unidades elementales de preferencia de un experto, es decir, el grado de preferencia expresado por un experto para cada par de alternativas. Las unidades colectivas son cada uno de los grados de preferencia de la preferencia u opinión colectiva.

2.1.6.2. Proceso de explotación

El último paso de un proceso de TDG es la fase de explotación, la cual utiliza la información proporcionada por la fase de agregación para identificar el conjunto solución de alternativas.

Así, el proceso de explotación transforma la información global sobre las alternativas en una ordenación global de las mismas.

Para llevar a cabo esta fase, es necesario definir un criterio de selección que permita establecer un orden entre el conjunto de alternativas del problema. El procedimiento que normalmente se sigue es la utilización de una función de selección que asigna un grado de selección a cada una de las alternativas.

Este grado de selección establece un orden de preferencia entre el conjunto de alternativas. Se utilizan funciones de selección que permiten medir la intensidad del grado de selección en cada alternativa, de forma que aquellas alternativas con mayor intensidad son las que constituyen el conjunto de alternativas solución al problema de decisión. Dos funciones de selección utilizadas frecuentemente en la literatura (Orlovsky, 1978; Roubens, 1989; Herrera and Herrera-Viedma, 2000a), son las siguientes:

1. *Función de dominancia*. Indica el grado en el cual una alternativa se prefiere o domina al resto de alternativas.
2. *Función de no-dominancia*. Indica el grado en el cual una alternativa no es dominada por el resto de alternativas.

Después de este análisis, vemos que, por su naturaleza, los métodos clásicos para tratar los procesos de toma de decisiones con múltiples expertos y con múltiples criterios presentan dificultades para tratar situaciones con incertidumbre, que se deben a la aparición de información vaga e imprecisa. Esto ha generado la necesidad de recurrir a la definición de nuevos modelos basados en nuevas teorías, como por ejemplo, la de Conjuntos Difusos (Zadeh, 1965), los Conjuntos Aproximados (*Rough Sets*) (Greco et al., 2001), los Conjuntos Difusos Intuicionistas (Atanassov, 1999), etc. para modelar la incertidumbre. A continuación se presenta una sección donde se trata la teoría escogida por nosotros para tratar estos problemas de incertidumbre.

2.2. Lógica difusa: Aplicación a la toma de decisiones

En esta sección se presentan los fundamentos y las herramientas que se proponen para realizar el estudio y el desarrollo del modelo de calidad del servicio en las TIC desde la perspectiva del usuario.

La *Teoría de Conjuntos Difusos* (Zadeh, 1965) es una manera práctica y útil de tratar la incertidumbre, cuyos principios han demostrado ser útiles para tratar problemas presentes en los procesos de TD dentro del ámbito del conocimiento humano. Su objetivo principal fue modelar aquellos problemas donde los enfoques clásicos resultaban insuficientes, no funcionales o poco operativos. Dicha teoría generaliza la noción clásica de conjunto e introdujo el concepto de conjunto difuso o difusividad de la información como aquel conjunto cuya frontera no es precisa. Los conjuntos difusos surgen como una nueva forma de representar la imprecisión y la incertidumbre (Klir and Yuan, 1995; Zimmermann, 2001), diferente al tratamiento tradicional llevado a cabo por la Teoría Clásica de Conjuntos y la Teoría de las Probabilidades (Kechris, 2012; Jech, 2013; Durrett, 2010).

La aplicación de la Teoría de Conjuntos Difusos para resolver problemas de incertidumbre de información en los procesos de TD fue propuesta por Bellman and Zadeh (1970), y desde ese momento se ha utilizado extensamente, debido a su gran utilidad.

Su principal característica es presentar un entorno de trabajo mucho más flexible, donde es posible representar la imprecisión, tanto de tipo cualitativo como cuantitativo, de los juicios humanos. Nuestros trabajos tendrán como base teórica los principios desarrollados por Zadeh, como se comentará más adelante.

En los diferentes problemas que podemos encontrar en el mundo real, la información involucrada puede tener diferentes rangos de valoración y sus valores pueden tener distinta naturaleza. En ocasiones, la información que interviene en un problema puede que no sea fácil de valorar de forma precisa utilizando un valor cuantitativo (un número); sin embargo, puede ser fácilmente valorada en forma cualitativa. En este caso, suele ocurrir que el uso de un enfoque lingüístico difuso se adapte mejor que un enfoque numérico.

Para resolver los problemas de TD donde se utiliza información lingüística (TDL Toma de decisiones Lingüísticas), se requiere realizar procesos de computación con palabras (CW). La CW realiza cálculos con palabras o frases definidas en el lenguaje natural en lugar de con números. En ella se emulan los procesos cognitivos humanos para mejorar los procesos de resolución de problemas relacionados con la incertidumbre. Así, los procesos de CW se han aplicado como base de cálculo para los problemas de TDL (Herrera and Herrera-Viedma, 2000a), proporcionando unas herramientas cercanas al razonamiento de los seres humanos y, por ende, aplicable en la resolución de este tipo de problemas.

2.2.1. Información lingüística y modelos lingüísticos computacionales

Para que una fuente de información (experto, administrador, etc.) pueda expresar con facilidad su información y/o conocimiento, es necesario que disponga de un conjunto apropiado de descriptores lingüísticos. Para definir un conjunto de términos lingüísticos es importante establecer previamente la granularidad de la incertidumbre del conjunto de etiquetas lingüísticas, que es el cardinal del conjunto de etiquetas lingüísticas usadas para representar la información (Bonissone, 1980; Bonissone and Decker, 1986; Herrera and Herrera-Viedma, 2000b).

El enfoque lingüístico difuso es un enfoque aproximado, que tiene como base teórica para su desarrollo la Teoría de los Conjuntos Difusos. Este enfoque representa los aspectos cualitativos como valores lingüísticos mediante variables lingüísticas (Zadeh, 1975).

Una variable lingüística se caracteriza por un valor sintáctico o *etiqueta* y por un valor semántico o *significado*. La etiqueta es una palabra o frase perteneciente a un conjunto de términos lingüísticos y el significado de dicha etiqueta viene dado por un subconjunto difuso en un universo de discurso. Al ser las palabras menos precisas que los números, el concepto de variable lingüística parece una buena propuesta para caracterizar a aquellos fenómenos que son demasiado complejos o están mal definidos para poder ser evaluados mediante valores numéricos precisos.

Definición 1: Concepto de variable lingüística dado por Zadeh (1975)

Una variable lingüística está caracterizada por una quintupla $(H, T(H), U, G, M)$, donde:

- H es el nombre de la variable;
- $T(H)$ (o solo T) simboliza el conjunto de términos de H o etiquetas lingüísticas;
- U es el universo de discurso de la variable;
- G es una regla sintáctica (que generalmente toma forma de gramática) para generar los valores de $T(H)$;
- M es una regla semántica que asocia a cada elemento de $T(H)$ su significado.

Un ejemplo de variable lingüística puede ser *Satisfacción del usuario*, las etiquetas pueden ser *Muy Insatisfecho*, *Insatisfecho*, *Medio/Regular*, *Satisfecho*, *Muy Satisfecho*, el universo de discurso de la variable corresponde a la *Calidad del Servicio*, la regla semántica puede corresponder a números difusos de tipo triangular. En la práctica, existen dos posibilidades para elegir los descriptores lingüísticos apropiados del conjunto de términos y su semántica:

1. Definir el conjunto de términos lingüísticos mediante una gramática libre de contexto G , y su semántica M , mediante números difusos descritos por una función de pertenencia parametrizada (Bonissone, 1980; Bordogna and Pasi, 1993). Una gramática generadora, G , es una 4-tupla (V_N, V_T, I, P) , siendo V_N el conjunto de símbolos no terminales, V_T el conjunto de símbolos terminales, I el símbolo inicial y P el conjunto de reglas de producción. La elección de estos cuatro elementos determinará la cardinalidad y forma

del conjunto de términos lingüísticos. El lenguaje generado debería ser lo suficientemente grande para que pueda describir cualquier posible situación del problema. De acuerdo con las observaciones de [Miller \(1956\)](#), el lenguaje generado no tiene que ser infinito, sino lo suficientemente variado para que sea fácilmente comprensible.

Entre los símbolos terminales V_T y no terminales V_N de G podemos encontrar términos: primarios del tipo *alto*, *medio*, *bajo*, modificadores del tipo *no*, *mucho*, *muy*, *más* o *menos*), de relaciones (*mayor que*, *menor que*) y conectivos como *y*, *o*, *pero*). Generando I como cualquier término primario, el conjunto de términos lingüísticos $T(H) = \{muy\ alto, alto, medio, \dots\}$ se genera usando P .

2. Definir el conjunto de términos lingüísticos usando una estructura ordenada de etiquetas, y la semántica de los términos lingüísticos que derivan de la propia estructura ordenada, distribuida en el intervalo $[0,1]$, de acuerdo a [Herrera and Herrera-Viedma \(1996\)](#); [Bordogna et al. \(1997\)](#) y [Delgado et al. \(1998\)](#). El objetivo de establecer los descriptores lingüísticos de una variable lingüística es proporcionar a una fuente de información un número reducido de términos con los cuáles pueda expresar con facilidad su información y/o conocimiento. Para cumplir este objetivo hay que analizar un aspecto muy importante, tal y como es la granularidad de la incertidumbre ([Bonissone and Decker, 2013](#)), esto es, la cardinalidad del conjunto de términos lingüísticos usado para expresar la información.

La cardinalidad de un conjunto de términos lingüísticos debe ser lo suficientemente grande como para no imponer una restricción de precisión a la información que quiere expresar cada fuente de información, y lo suficientemente pequeño como para permitir hacer una discriminación de las valoraciones en un número limitado de grados ([Carrasco et al., 2013](#)).

Valores típicos de cardinalidad usados en modelos lingüísticos son valores impares, tales como 5, 7, 9, etc. proponiéndose un límite superior de granularidad alrededor de 13.

2.2.2. Granularidad

Se dice que un conjunto de términos lingüísticos tiene una granularidad baja o un tamaño de grano grueso cuando la cardinalidad del conjunto de etiquetas lingüísticas es pequeña. Esto significa que el dominio está poco dividido y que existen pocos niveles de distinción de la incertidumbre, produciéndose una pérdida de expresividad.

Una granularidad alta o un tamaño de grano fino se da cuando la cardinalidad del conjunto de etiquetas lingüísticas es alta. Esta situación puede provocar un aumento de la complejidad en la descripción del dominio.

De acuerdo a los estudios realizados por [Likert \(1932\)](#), y posteriormente por [Miller \(1956\)](#), los seres humanos somos capaces de 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 ([Saaty and Ozdemir, 2003](#)).

En los modelos lingüísticos se suelen usar conjuntos de etiquetas lingüísticas con granularidad no superior a 13, siendo muy común utilizar conjuntos de granularidad impar, donde el término medio representa una valoración de aproximadamente 0.5 y el resto de las etiquetas se distribuyen simétricamente a ambos lados de la etiqueta central (Bonissone and Decker, 1986).

Un ejemplo de ello pueden ser los términos: *Muy en Desacuerdo* (MD), en *Desacuerdo* (D), *Neutro* (N), de *Acuerdo* (A), y *Muy de Acuerdo* (MA), para el caso de 5 términos lingüísticos perteneciente al conjunto $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4\}$.

La representación del conjunto S mediante una función de pertenencia de tipo triangular, por ser la que mejor se ajusta a nuestras necesidades, se muestra en la Figura 2.5

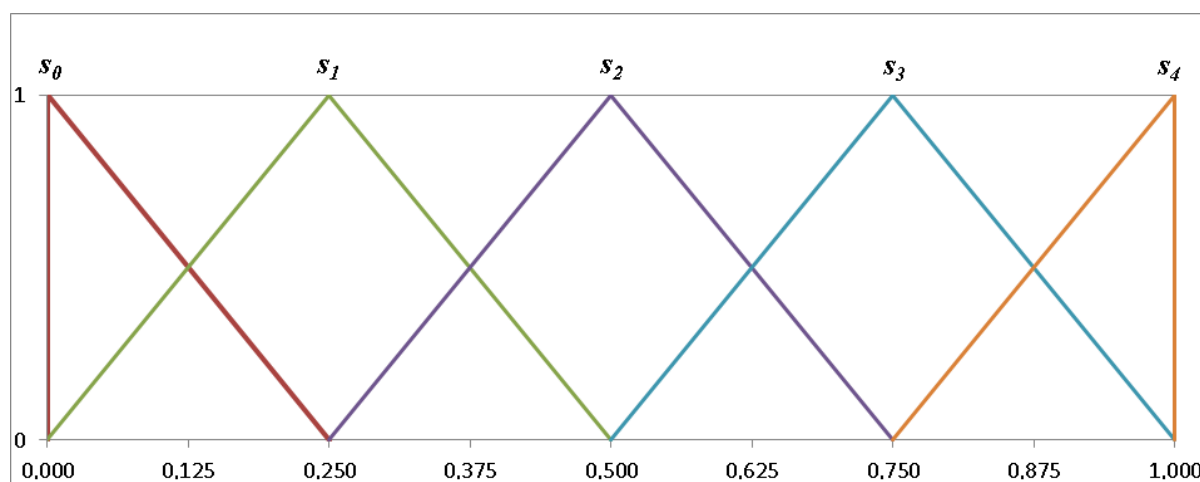


Fig. 2.5 Etiquetas triangulares para el conjunto S

2.2.3. Principio de extensión

Este principio realiza operaciones aritméticas extendidas con términos lingüísticos a través de cálculos asociados a las funciones de pertenencia de las etiquetas lingüísticas (Herrera and Herrera-Viedma, 2000b; Ross, 2009). Este principio se utiliza para generalizar las operaciones matemáticas “crisp” a operaciones con conjuntos difusos.

El uso de la aritmética difusa incrementa la imprecisión de los resultados, los cuales normalmente no coinciden con los términos del conjunto lingüístico original, por lo que es necesario aplicar un proceso de aproximación lingüística para poder expresar los resultados en el dominio original.

Este proceso de aproximación consiste en seleccionar un conjunto difuso que represente la semántica de una etiqueta lingüística en el conjunto de etiquetas original tratando de que sea lo más cercano en cuanto a significado al conjunto difuso sin etiquetar que habíamos obtenido con la aritmética difusa. En la Figura 2.6 se muestra el esquema de funcionamiento de un operador de agregación lingüístico basado en el principio de extensión, donde S es el conjunto de términos lingüísticos original, de acuerdo a Degani and Bortolan (1988); Martin and Klir (2006) y Yager (2004).

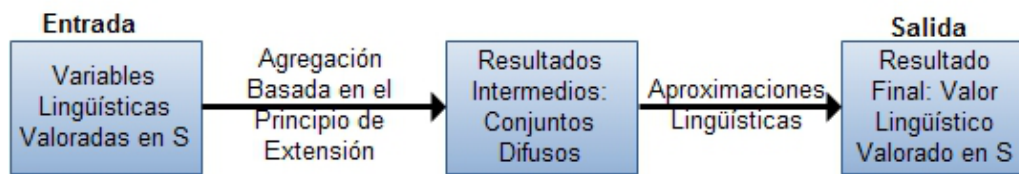


Fig. 2.6 Funcionamiento de un operador de agregación basado en el principio de extensión

Esto se puede expresar de acuerdo a la siguiente sentencia:

$$S^n \xrightarrow{\tilde{F}} F(R) \xrightarrow{app_1(\cdot)} S \quad (2.1)$$

donde S^n es el producto cartesiano de S , \tilde{F} es un operador de agregación basado en el Principio de Extensión, $F(R)$ es el conjunto de números difusos sobre el conjunto de números reales \mathbb{R} , $app_1(\cdot)$ es una función de aproximación lingüística y S es el conjunto de términos lingüísticos original.

Existen diferentes metodologías para realizar este tipo de aproximación, como se puede ver en los trabajos de [Degani and Bortolan \(1988\)](#); [Martin and Klir \(2006\)](#) y [Yager \(2004\)](#).

2.2.4. Modelo computacional lingüístico 2-tuplas

El enfoque lingüístico difuso ([Zadeh, 1975](#)) es un concepto que intenta resolver problemas de modelado de información cualitativa. Este enfoque se basa en el concepto de variables lingüísticas y ha sido utilizado de manera satisfactoria en muchos dominios ([Carrasco et al., 2011, 2012](#); [Mata et al., 2009](#); [Pérez et al., 2011](#); [Cabrerizo et al., 2010](#)) incluyendo problemas de TD, sistemas de recomendación, librerías digitales, calidad de servicio (QoS Quality of Service) y muchas otras.

El modelo lingüístico difuso 2-tuplas es un modelo simbólico que extiende el uso de índices desarrollado por [Herrera and Martínez \(2000\)](#). Este modelo utiliza una representación continua de la información, manteniendo la representación lingüística difusa (sintaxis y semántica) y permite realizar CW de forma precisa, lo que se traduce en una eliminación de la pérdida de información que se produce en los modelos existentes: clásico ([Bonissone and Decker, 2013](#)), y ordinal ([Herrera et al., 1996a](#); [Herrera-Viedma et al., 2006](#))).

Un esquema básico del funcionamiento del proceso de agregación para información lingüística multigranular, basado en la representación con 2-tuplas ([Herrera and Martínez, 2000](#)), se muestra en la Figura 2.7, basado en .

Para hacer esto, el modelo extiende la representación lingüística difusa, agregando un proceso denominado por los autores como CBLT (Conjunto Básico de Términos Lingüísticos), [Martínez](#)

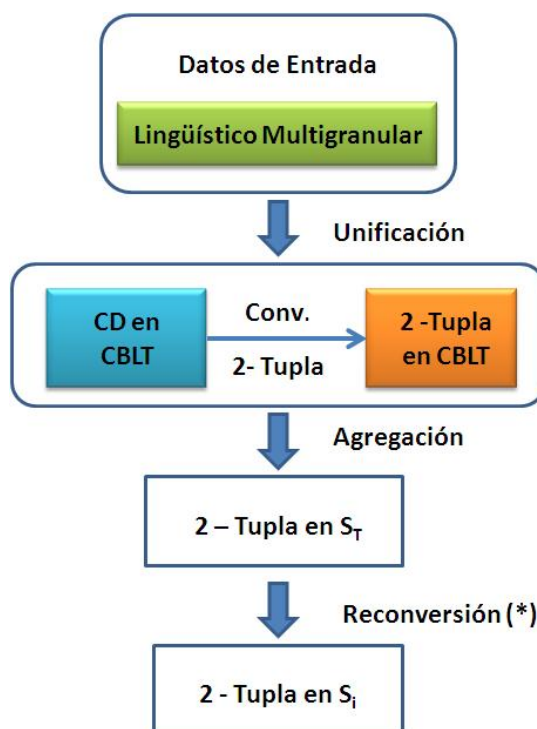


Fig. 2.7 Proceso de agregación de información lingüística multigranular

(1999), el cual es usado para unifica los diferentes conjuntos de términos difusos (CD) y lingüísticos (2-tupla) intervinientes.

Representación

Consideremos que $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ es un conjunto de términos lingüísticos con cardinalidad impar, donde el término medio representa una valoración aproximada de 0.5 y el resto de términos del conjunto se distribuyen simétricamente alrededor de este punto medio. Asumimos que la semántica asociada a cada término lingüístico viene dada por funciones de pertenencia triangulares, (a, m, b) , donde a y b representan los extremos izquierdo y derecho de la base del triángulo y m es el punto medio del mismo, considerando que todos los términos están distribuidos sobre una escala donde hay establecida una relación de orden total, es decir: $s_i \leq s_j, \longleftrightarrow i \leq j$.

En este contexto lingüístico difuso, el modelo 2-tuplas se basa en el concepto de *traslación simbólica*, donde la información lingüística es expresada por la 2-tupla (s_i, α) , donde el primer componente es el término lingüístico y el segundo componente es un valor numérico que soporta la traslación simbólica.

Este modelo define un grupo de funciones de transformación entre los valores numéricos y las 2-tuplas, que se plasman en las siguientes definiciones:

Definición 2: *Traslación simbólica en 2-tuplas.* Sea $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y $\beta \in [0, g]$ un valor en el intervalo de granularidad de S . La translación simbólica de un término lingüístico s_i es un valor en el intervalo $[-.5, .5]$ que expresa la diferencia de información entre una cantidad de información expresada por el valor $\beta \in [0, g]$ obtenido en una operación de agregación simbólica y el valor entero más próximo, $i \in \{0, \dots, g\}$, que indica el índice de la etiqueta lingüística (s_i) más cercana en S .

A partir de este concepto, el modelo de representación lingüística 2-tupla usa como base de representación un par de valores o 2-tupla, (s_i, α) , donde $s_i \in S$ y $\alpha \in [-.5, .5]$.

Este modelo define un conjunto de funciones de transformación entre valores numéricos y valores lingüísticos 2-tuplas que facilitan los procesos computacionales lingüísticos.

Definición 3: *Obtención de la información lingüística equivalente en 2-tuplas.* Sea $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y $\beta \in [0, g]$ un valor que representa el resultado de una operación de agregación simbólica, entonces la 2-tupla lingüística $(s_i, \alpha) \in \bar{S} = S \times [-.5, .5]$ que expresa la información lingüística equivalente a β se obtiene usando la siguiente función:

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

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

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

La función Δ es biyectiva de modo que existe una Δ^{-1} , que se define como $\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha = \beta$. En este sentido, una 2-tupla en \bar{S} queda identificada con un valor en el intervalo $[0, g]$.

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

$$s_i \in S \Rightarrow (s_i, 0) \in \bar{S}$$

Computación

El modelo de representación de información lingüística difusa 2-tupla tiene asociado un modelo computacional, con un grupo de operadores, (Herrera and Martínez, 2000), entre los que se pueden citar:

Comparación

La comparación de información lingüística representada mediante 2-tuplas se realiza de acuerdo a un orden lexicográfico. Consideremos dos 2-tuplas, (s_k, α_1) y (s_l, α_2) , que representan cantidades de información:

- Si $k < l$, entonces (s_k, α_1) es menor que (s_l, α_2) .
- Si $k = l$, entonces:
 1. Si $\alpha_1 = \alpha_2$, entonces (s_k, α_1) y (s_l, α_2) representan la misma información.
 2. Si $\alpha_1 < \alpha_2$, entonces (s_k, α_1) es menor que (s_l, α_2) .
 3. Si $\alpha_1 > \alpha_2$, entonces (s_k, α_1) es mayor que (s_l, α_2) .

Negación

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

Minimización

$$\min((s_k, \alpha_1), (s_l, \alpha_2)) = \begin{cases} (s_k, \alpha_1), & \text{si } (s_k, \alpha_1) \leq (s_l, \alpha_2) \\ (s_l, \alpha_2), & \text{si } (s_k, \alpha_1) > (s_l, \alpha_2) \end{cases}$$

Maximización

$$\max((s_k, \alpha_1), (s_l, \alpha_2)) = \begin{cases} (s_k, \alpha_1), & \text{si } (s_k, \alpha_1) \geq (s_l, \alpha_2) \\ (s_l, \alpha_2), & \text{si } (s_k, \alpha_1) < (s_l, \alpha_2) \end{cases}$$

2.2.5. Algunos operadores de agregación

La agregación de información consiste en obtener un valor que resuma un conjunto de valores, por lo que la agregación de varias 2-tuplas debe ser una 2-tupla. En la literatura se pueden encontrar numerosos operadores que permiten agregar información con diferentes criterios (Xu, 2006; Yager, 1993; Peláez and Doña, 2003; Wu and Mendel, 2007; Zarghami and Szidarovszky, 2009; Zhou et al., 2010).

Muchos de estos operadores pueden ser extendidos para trabajar con 2-tuplas usando las funciones Δ y Δ^{-1} , que transforman valores numéricos en 2-tuplas y viceversa, sin pérdida de información (Herrera and Martínez, 2000; Zopounidis and Doumpos, 2002; Zhang and Fan,

2006; Wang, 2008; Zhang, 2012; Xu, 2004a; Dong et al., 2010; Wei, 2010; Wei and Zhao, 2012; Yang and Chen, 2012).

Es importante indicar que no existe un único criterio para seleccionar los operadores de agregación, y esto ha hecho que se propongan algunas condiciones que se deben tener en cuenta en el momento de elegirlos (Canós and Liern, 2008; Zimmermann, 1987):

1. *Fuerza axiomática.* En igualdad de condiciones, un operador es mejor cuanto menos limitado esté por los axiomas que satisface.
2. *Ajuste empírico.* Además de que los operadores satisfagan ciertos axiomas o tengan ciertas cualidades formales, deben reflejar adecuadamente la realidad, lo que normalmente sólo puede ser testado con pruebas empíricas.
3. *Adaptabilidad.* Los operadores tienen que adaptarse al contexto específico en el que se encuentran, esencialmente, mediante la parametrización. Por ejemplo, los operadores mín y máx no son nada flexibles, mientras que los operadores OWA pueden ser adaptados a ciertos contextos eligiendo parámetros adecuados.
4. *Eficiencia numérica.* El esfuerzo computacional de cálculo es especialmente importante cuando se tienen que resolver problemas grandes. De hecho, en muchas ocasiones debe recurrirse a técnicas heurísticas capaces de encontrar soluciones de calidad aunque no sean necesariamente óptimas (Herrera and Herrera-Viedma, 1996).
5. *Compensación y rango de compensación.* Cuanto mayor sea el grado en que se contrarrestan las funciones de pertenencia de los conjuntos borrosos agregados, el operador de agregación representará mejor las situaciones en las que unos atributos son compensados por otros.
6. *Comportamiento agregado.* El grado de pertenencia de un conjunto borroso en el conjunto agregado depende muy frecuentemente del número de conjuntos combinados. De este modo, cada conjunto adicional añadido normalmente disminuirá los grados agregados de pertenencia resultantes, y este hecho debe ser tenido en cuenta cuando se elige el operador.
7. *Nivel de escala requerido de las funciones de pertenencia.* Diferentes operadores pueden requerir diferentes niveles de escala (nominal, intervalo, ratio o absoluto) de información de pertenencia para ser admisibles. En igualdad de condiciones, se prefiere el operador que requiere el nivel de escala más bajo.

A continuación presentamos la definición de los tipos de operadores de agregación más útiles para el campo empresarial, así como sus principales características.

En la literatura podemos encontrar una gran variedad de operadores de agregación ellos, como son los basados en t-normas y t-conormas, los operadores de media, los de media ponderada y,

dentro de estos últimos, los de media ponderada ordenada (OWA - Ordered Weighted Average), siendo los basados en esta última cualidad los que más se acercan a nuestro objetivo de análisis.

Definición 4: *Media ponderada ordenada (OWA).* Un operador OWA de dimensión n es una aplicación $F : \mathfrak{R}^n \longrightarrow \mathfrak{R}$, que tiene un vector de ponderación asociado $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$, tal que:

$$i) w_i \in [0, 1], 1 \leq i \leq n$$

$$ii) \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

donde

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{k=1}^n w_k \cdot x_k \quad (2.2)$$

siendo x_k el k -ésimo elemento más grande de la colección x_1, x_2, \dots, x_n (Yager, 1988).

Un aspecto fundamental de los operadores OWA es el paso de la re-ordenación. Un agregado x_i no está asociado con un peso particular w_j , sino que un peso está asociado con una posición ordenada j particular de los argumentos. Esta ordenación introduce la no linealidad en el proceso de agregación (Carlsson and Fuller, 2000; Yager, 1994b).

La generalidad de esta técnica se pone de manifiesto si mostramos cómo se pueden obtener gran número de operadores según la elección de los pesos, a continuación se expresan los siguientes ejemplos:

1. Si $W^1 = [1, 0, \dots, 0]^T$, entonces $F(x_1, \dots, x_n) = \text{máx}(x_1, \dots, x_n)$

2. Si $W^2 = [0, 0, \dots, 1]^T$, entonces $F(x_1, \dots, x_n) = \text{mín}(x_1, \dots, x_n)$

3. Si $W^3 = [1/n, 1/n, \dots, 1/n]^T$, entonces $F(x_1, \dots, x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

Los operadores OWA permiten definir la *medida de optimismo* de acuerdo a lo enunciado en el trabajo de Filev and Yager (1998):

$$orness(W) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n ((n-i)w_i) \quad (2.3)$$

Esta medida, comprendida en el intervalo unidad, muestra una agregación diseñada para un valor particular del vector de ponderación, y determina el grado en que la agregación es parecida a una operación *or*(máx):

1. $orness(W = [1, 0, \dots, 0]^T) = 1$, es decir, que el operador *max* presenta el mayor grado de optimismo.
2. $orness(W = [1/n, 1/n, \dots, 1/n]^T) = 0.5$, es decir, que la media aritmética tiene un grado de optimismo neutral.
3. $orness(W = [0, 0, \dots, 1]^T) = 0$, es decir, que el operador *min* presenta el menor grado de optimismo.

De forma similar, se define una *medida de pesimismo* de un operador OWA como:

$$andness(W) = 1 - orness(W)$$

Así, los operadores con muchos pesos cerca del extremo superior del intervalo serán operadores tipo *or*, mientras que los operadores con la mayoría de pesos en la parte inferior serán del tipo *and* (Fernández and Murakami, 2003).

A partir de los trabajos iniciales de Yager, han surgido una gran variedad de operadores OWA que permiten el tratamiento de datos de muy distinta naturaleza (Merigó, 2008).

Una variante de ellos lo constituye el operador de agregación de Promedio Ponderado Lingüístico Ordenado (LOWA - Linguistic Ordered Weighted Average), (Herrera et al., 1997b), al que se le aplica a la representación 2-tupla, debido al uso del lenguaje natural (términos lingüísticos).

El operador LOWA definido en Herrera et al. (1996a) y Herrera and Verdegay (1993) es un operador de tipo simbólico, basado en una combinación convexa (Delgado et al., 1993).

Definición 5: *Operador LOWA.* Sea $A = \{a_1, \dots, a_m\}$ un conjunto de términos lingüísticos a ser agregados, el operador LOWA, ϕ , se define como:

$$\begin{aligned} \phi(a_1, \dots, a_n) &= W \cdot B^T = C^m \{w_k, b_k, k = 1, \dots, m\} = \\ &= w_1 \odot b_1 \oplus (1 - w_1) \odot C^{m-1} \{\beta_h, b_h, h = 2, \dots, m\}, \end{aligned}$$

donde $W = (w_1, \dots, w_m)$, es un vector de peso, tal que:

$$(i) w_i \in [0, 1] \text{ y}$$

$$(ii) \sum_i w_i = 1,$$

$$\beta_h = w_h / \sum_2^m w_k, h = 2, \dots, m, \text{ y}$$

$B = (b_1, \dots, b_m)$ es un vector asociado a A ,

$$B = \sigma(A) = (a_{\sigma(1)}, \dots, a_{\sigma(n)}),$$

donde $a_{\sigma(j)} \leq a_{\sigma(i)}, \forall i \leq j$, siendo σ una permutación sobre el conjunto de etiquetas A y C^m es el operador Combinación Convexa sobre m etiquetas.

En la definición del operador LOWA no se explica como obtener el vector de pesos, W lo cual es básico para poder utilizar este operador.

Una solución posible consiste en asumir que los pesos representan el concepto de *mayoría difusa*, de acuerdo a [Umano et al. \(1998\)](#) en la agregación del operador LOWA, usando “*cuantificadores lingüísticos difusos*” ([Zadeh, 1983](#)).

En este sentido, [Yager \(1988\)](#) propone una forma de calcular los pesos utilizando cuantificadores lingüísticos difusos, como se explica a continuación:

Algunos cuantificadores lingüísticos difusos:

Usando el cuantificador proporcional creciente Q , la expresión para calcular W ([Yager, 1988](#)) es:

$$w_i = Q(i/n) - Q((i-1)/n), i = 1, \dots, n,$$

siendo la función de pertenencia de Q la siguiente:

$$Q(r) = \begin{cases} 0, & \text{si } r < a \\ \frac{r-a}{b-a} & \text{si } a \leq r \leq b \\ 1, & \text{si } r > b \end{cases} \quad (2.4)$$

con $a, b, r \in [0, 1]$.

Podemos citar algunos ejemplos de cuantificadores proporcionales crecientes, tales como: “muchos”, “al menos la mitad” o “tanto como sea posible” que tienen como parámetros de definición (a, b) , $(0.3, 0.8)$, $(0, 0.5)$ y $(0.5, 1)$ respectivamente. Un ejemplo de dichos cuantificadores se puede observar en la Figura 2.8.

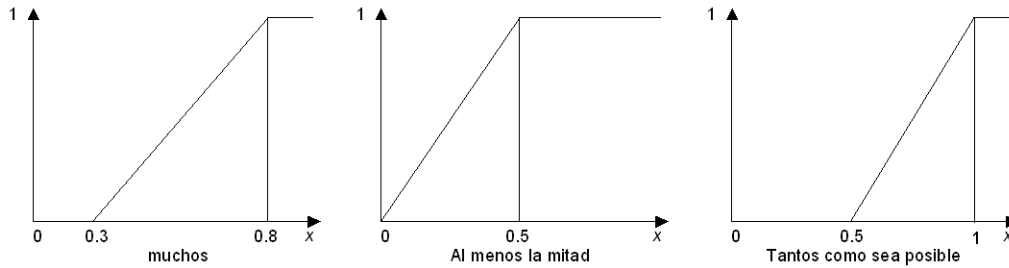


Fig. 2.8 Ejemplos de cuantificadores crecientes

Cuando se usa un cuantificador lingüístico, Q , para calcular los pesos usando el operador LOWA, ϕ , éste se denota como ϕ_Q , Herrera et al. (1997a); Herrera and Verdegay (1995); Herrera et al. (1996a,b); Wang and Chuu (2004).

Adaptación del operador LOWA a 2-tuplas lingüísticas.

Definición 6: Sea $A = \{(r_1, \alpha_1), \dots, (r_m, \alpha_m)\}$, un conjunto de 2-tuplas para ser agregadas, tal que $(r_i, \alpha_i) \in S \times [-.5, .5]$. La Combinación Convexa Extendida para combinar 2-tuplas, EC^m , se define como:

$$EC^m\{w_j, (r_{\sigma(j)}, \alpha_{\sigma(j)}), j = 1, \dots, m\} = \\ = \Delta(w_1 \cdot \Delta^{-1}(r_{\sigma(1)}, \alpha_{\sigma(1)}) + (1 - w_1) \cdot \Delta^{-1}(EC^{m-1}\{\eta_h, (r_{\sigma(h)}, \alpha_{\sigma(h)}), h = 2, \dots, m\})),$$

con $\eta_h = w_h / \sum_{k=2}^m w_k$, $h = 2, \dots, m$, siendo $W = (w_1, \dots, w_m)$ un vector de pesos asociado a A , tal que:

$$(i) \ w_i \in [0, 1],$$

y

$$(ii) \ \sum_i w_i = 1;$$

y

$$B = \{(r_{\sigma(1)}, \alpha_{\sigma(1)}), \dots, (r_{\sigma(m)}, \alpha_{\sigma(m)})\}$$

un conjunto ordenado asociado a A tal que, $(r_{\sigma(j)}, \alpha_{\sigma(j)}) \leq (r_{\sigma(i)}, \alpha_{\sigma(i)}), \forall i \leq j$.

Obteniéndose la *Combinación Convexa Extendida* como:

$$EC^m\{w_j, (r_{\sigma(j)}, \alpha_{\sigma(j)}), j = 1, \dots, m\} = (r_{\sigma(j)}, \alpha_{\sigma(j)})$$

Con esta definición se elimina la pérdida de información, ya que no existen operaciones de aproximación.

Definición 7: *Operador LOWA en 2-tuplas*

Sea $A = \{(r_1, \alpha_1), \dots, (r_m, \alpha_m)\}$ un conjunto de 2-tuplas para ser agregadas, el operador LOWA extendido, ϕ^e , se define como:

$$\phi^e((r_1, \alpha_1), \dots, (r_m, \alpha_m)) = W \cdot B^T = EC^m \{w_i, (r_{\sigma(i)}, \alpha_{\sigma(i)}), i = 1, \dots, m\}.$$

Con este operador podemos combinar información lingüística sin pérdida de información.

2.2.6. Cuantificadores lingüísticos difusos

Como se indica en los trabajos de [Martínez \(1999\)](#) y de [Herrera-Viedma \(1996\)](#), uno de los elementos intrínsecos en la TDG es el concepto de *mayoría*, dado que es de esperar que una solución ha de contener el conjunto de alternativas de mayor aceptación por parte del grupo, en el sentido de que la mayoría de sus miembros ha de aceptar tal solución, ya que en ninguna situación real, salvo en las obvias, la solución es aceptada por todos los expertos.

En este sentido, algunos de los problemas en la TDG están claramente relacionados con la concepción demasiado rígida del concepto de mayoría. Una línea de razonamiento que puede adoptarse para resolver dichos problemas es adoptar una concepción de mayoría más flexible y más cercana a la que de ella tienen las personas, la cual suele ser vaga, lo que significa que varía de acuerdo a distintas situaciones. Así, puede que en alguna situación quedemos satisfechos con que la mitad de los expertos coincidan en la solución, mientras que en otros casos puede que dicho valor sea insuficiente y necesitemos al menos el acuerdo de un 75 % o más de los expertos. Se podría decir que la posición de una mayoría menos rígida o flexible ayudaría a conseguir modelos de TDG más consistentes con la forma de actuación humana.

Es fácil ver que las manifestaciones más naturales de tal mayoría flexible son los llamados cuantificadores lingüísticos difusos, como, por ejemplo: *bastantes, casi todos, muchos más que la mitad, etc.*, los cuales no pueden manejarse por métodos formales convencionales, pues en éstos, suelen considerarse tan solo dos cuantificadores, que son *al menos uno y todos*.

Con el trascurso del tiempo, se han propuesto cálculos de proposiciones cuantificadas lingüísticamente basados en la Lógica Difusa ([Zadeh, 1983](#); [Yager, 1991, 1994a](#)). Estos cálculos han sido aplicados por [Kacprzyk and Fedrizzi \(1990\)](#); [Herrera et al. \(1995\)](#); [Herrera and Herrera-Viedma \(1996\)](#), entre otros, para introducir una mayoría difusa, representada por un cuantificador lingüístico difuso, tanto en los modelos de TDG como en la implementación de sistemas de ayuda para la obtención de consenso. Los cuantificadores pueden utilizarse para representar la cantidad de elementos que satisfacen una determinada propiedad, los cuales están relacionados con las conjunciones lógicas OR y AND respectivamente. Sin embargo, en la practica la utilización de cuantificadores es mucho más variada. Por ejemplo, *aproximadamente 5, casi todos, unos pocos, muchos, la mayor parte de, casi la mitad, al menos la mitad, etc.*

En un intento de proporcionar una representación de tales cuantificadores Zadeh (1983) introdujo el concepto de cuantificador lingüístico difuso, el cual fue definido como un conjunto difuso. Él sugirió dos tipos de cuantificadores lingüísticos, los *absolutos* y los *proporcionales o relativos*.

Los *cuantificadores absolutos* como indica su nombre, son utilizados para representar cantidades absolutas en la naturaleza, tales como *aproximadamente 5*, *más de 5* o *menos de 5*. Estos cuantificadores lingüísticos absolutos están relacionados con el concepto de números de elementos. Zadeh definió estos cuantificadores como subconjuntos difusos, Q , del conjunto de números reales no negativos, \mathbb{R}^+ , de forma que para $r \in \mathbb{R}^+$, el grado de pertenencia de r en Q , $Q(r)$, indica el grado con el que la cantidad r es compatible con el cuantificador representado por Q .

Por otra parte, los *cuantificadores relativos*, como, por ejemplo: *al menos la mitad* o *la mayor parte*, pueden representarse mediante subconjuntos difusos del intervalo $[0, 1]$. Para $r \in [0, 1]$, $Q(r)$ indica el grado con el que la proporción r es compatible con el significado del cuantificador que representa.

Cualquier cuantificador del lenguaje natural puede ser representado como un cuantificador relativo o, si es conocida la cantidad de elementos en consideración, como un cuantificador absoluto.

Un cuantificador absoluto, $Q : \mathbb{R}^+ \rightarrow [0, 1]$, verifica que:

$$Q(0) = 0 \wedge \exists k, Q(k) = 1 \quad (2.5)$$

Por otro lado, los cuantificadores relativos, $Q : [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, satisfacen la propiedad:

$$Q(0) = 0 \wedge \exists r Q(r) = 1 \quad (2.6)$$

Yager (1996) establece dos categorías de estos cuantificadores relativos:

1. *Cuantificadores monótonos crecientes regulares (RIM)*, como por ejemplo: *todos*, *la mayoría*, *muchos*, *al menos*, α .

El mismo que satisface la expresión:

$$\forall a, b \text{ si } a > b \text{ entonces } Q(a) \geq Q(b)$$

2. *Cuantificadores monótonos decrecientes regulares (RDM)*, como por ejemplo: *al menos uno*, *pocos*, *como mucho* α .

El mismo que satisface la expresión:

$$\forall a, b \text{ si } a > b \text{ entonces } Q(a) \leq Q(b)$$

Una función de pertenencia ampliamente aceptada para representar un cuantificador del tipo RIM de acuerdo con Zadeh (1983) se puede expresar como la ecuación planteada en 2.4.

Algunos operadores de agregación 2-tuplas

De acuerdo a Herrera and Herrera-Viedma (1997), a continuación se presentan los principales operadores de agregación que se han utilizado en el desarrollo de los distintos modelos propuestos en esta tesis:

Media aritmética

Sea $S = \{(s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)\}$ un conjunto expresado en 2-tuplas lingüísticas, su media aritmética se calcularía con el operador de media aritmética \bar{x} , que se define como:

$$\bar{x}((s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)) = \Delta \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i) \right) = \Delta \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i \right) \quad (2.7)$$

Media ponderada

Sea $S = \{(s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)\}$ un conjunto expresado en 2-tuplas lingüísticas y $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ los pesos asociados a cada 2-tupla, la media ponderada \bar{x}^w se define como:

$$\bar{x}^w = \Delta \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i) \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) = \Delta \left(\frac{\sum_{i=1}^n b_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) \quad (2.8)$$

Media ponderada lingüística

Sea $S = \{(s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)\}$ un conjunto expresado en 2-tuplas lingüísticas y $W = \{(w_1, \alpha_1^w), \dots, (w_n, \alpha_n^w)\}$ los pesos lingüísticos asociados expresados en 2-tupla, la media ponderada lingüística \bar{x}_l^w se define como:

$$\bar{x}_l^w = \Delta \left(\frac{\sum_{i=1}^n b_i \cdot b_{w_i}}{\sum_{i=1}^n b_{w_i}} \right) \quad (2.9)$$

donde $b_i = \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i)$ y $b_{w_i} = \Delta^{-1}(w_i, \alpha_i^w)$.

Después de ver todos estos principios teóricos, requeridos para fundamentar nuestra propuesta, es necesario plantear algunas cuestiones de índole conceptual, que nos ayuden a comprender cómo debe estructurarse el modelo SICTQUAL Cid-López et al. (2015b), que constituye la principal aportación de esta tesis.

2.3. Segmentación de las TIC

Para realizar una adecuada segmentación de las TIC, nos remitiremos a lo señalado en el capítulo de Introducción respecto a la definición de las TIC, así como a la segmentación de las mismas dada por la Comisión al Parlamento Europeo.

2.3.1. Definición de TIC

Como se ha indicado, después de un arduo análisis de tipo comparativo y conceptual, [Romaní \(2009\)](#) concluye que las TIC, desde una óptica general, pueden ser definidas como:

Dispositivos tecnológicos (hardware y software) que permiten editar, producir, almacenar, intercambiar y transmitir datos entre diferentes sistemas de información que cuentan con protocolos comunes. Estas aplicaciones, que integran medios de informática, telecomunicaciones y redes, posibilitan tanto la comunicación y colaboración interpersonal (persona a persona) como la multidireccional (uno a muchos o muchos a muchos). Estas herramientas desempeñan un papel sustantivo en la generación, intercambio, difusión, gestión y acceso al conocimiento.

En base a lo anteriormente señalado, ya podemos contar con un concepto inequívoco de la pregunta *¿Qué son las TIC?*. Al mismo tiempo es necesario tener en cuenta el criterio que sobre las TIC se mantiene en la Comunicación de Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo (COM/2001/770) ¹ en el que se señala:

*Las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) son un término que se utiliza actualmente para hacer referencia a una gama amplia de **servicios, aplicaciones, y tecnologías**, que utilizan diversos tipos de equipos y de programas informáticos, y que a menudo se transmiten a través de las redes de telecomunicaciones.*

Prestando atención a estos antecedentes, es posible establecer una segmentación básica, clara y unívoca de los segmentos en que podemos dividir a las TIC desde el enfoque del usuario, mismo que se presenta en la Figura 2.9.

¹http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=es&type_doc=COMfinal&an_doc=2001&nu_doc=770

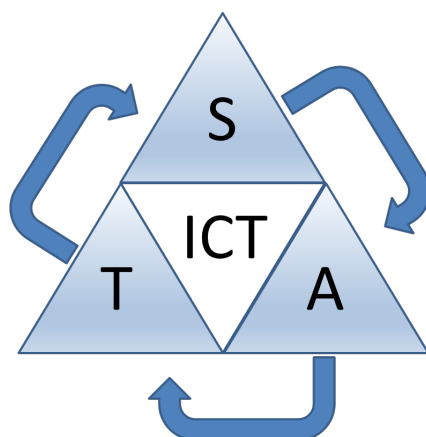


Fig. 2.9 Segmentación básica de las TIC

En la Figura 2.9 se muestran las TIC divididas en tres grandes segmentos o pilares, constituidos por los *Servicios*, las *Tecnologías* y las *Aplicaciones*, conceptos que se definen a continuación: En primer lugar (en cursiva) se presenta el significado que sobre cada uno de los términos nos indica la RAE, planteándose seguidamente una explicación del concepto desde una perspectiva más cercana a las TIC.

- **Servicios:** *Acción y efecto de servir*, que en nuestro caso concreto se traduciría o plasmaría en la provisión de valor en algún dominio, sea este productivo, financiero, ingenieril, educativo, ocio, etc. mediante el empleo de las tecnologías de la información y las comunicaciones. Se trata de ver cómo los usuarios perciben los servicios de las TIC, a la hora de interactuar con la gestión electrónica (*e-administration, e-learning, e-commerce, etc.*), p.e. declaración de impuestos, pago de aranceles, registro de datos personales, seguridad social, trámites de salud, comunicación con centros educativos, transacciones en entidades bancarias, cursos de enseñanza *on line*, compraventa *on line*, etc.
- **Aplicaciones:** *Acción y efecto de aplicar o aplicarse*. En el caso que nos atañe se refiere a las aplicaciones, paquetes o sistemas informáticos (aplicaciones de software) que utilizan los usuarios, estando asociado al uso de ordenadores, pero no limitado a ellos, y que dan capacidad de comunicación, almacenamiento, tratamiento de datos, juegos, video, etc., de como los usuarios de servicios TIC califican las aplicaciones (*apps* que se instalan en *smartphone, tablets, computadoras, TV*, software OpenSource, aplicaciones de tipo empresarial, o utilizadas por entidades gubernamentales, privadas, etc., y que han sido desarrolladas, implementadas, personalizadas o adaptadas para su uso o servicio en un determinado país (Ecuador), en los casos de estudios utilizados en esta tesis.
- **Tecnologías:** *Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico*. En nuestro análisis, se trata del desarrollo del hardware asociado a las redes de comunicación, equipos electrónicos con capacidad de manejo de datos, enlaces con otros equipos, etc. Aquí lo que nos interesa de este segmento es estudiar como el usuario califica los equipos y medios de acceso que proporciona el prestador de

servicio a sus usuarios, por ejemplo: ancho de banda, equipos de comunicación, velocidad percibida, acceso a sitios web, Internet, etc.

2.3.2. TIC en la economía

De acuerdo con [Cohen et al. \(2000\)](#), las TIC, junto a las innovaciones empresariales derivadas de las mismas, han generado en los últimos años una nueva economía, llamada economía digital. Esta economía digital, de acuerdo a informes publicados por la Consultora Internacional [McKinsey-Global-Institute \(2011\)](#), puede llegar a tener en algunas ocasiones más peso en el Producto Interno Bruto (PIB) de algunos países que sectores como la agricultura, la pesca o la minería, entre otros.

Por otro lado, el sector de los servicios juegan actualmente un importante papel dentro de la economía de la mayoría de los países, llegando en algunos casos, de acuerdo a los informes publicados por la [National-Science-Foundation \(2010\)](#), a constituir un valor cercano al 70 % del PIB anual en algunos países.

En la economía digital, según [Christopher et al. \(1994\)](#), lo más importante no es la tecnología que se utiliza o el mecanismo mediante el cual ésta llega al usuario, sino la capacidad de ofrecer servicios más amplios a los clientes/usuarios. Este concepto se pone de manifiesto en la capacidad de una empresa, por ejemplo, para desarrollar productos personalizados a través de la web, lograr retroalimentación (*feedback*) inmediata de los temas que le interesan a los clientes, lo que las convierte en prestadoras de servicios innovadores, reflejándose en un aumento de su capacidad competitiva.

De acuerdo a lo que plantean [Johannessen and Olsen \(2010\)](#), es fundamental que los servicios sean capaces de retener al cliente (generar fidelidad), lo cual se puede lograr en cierta medida apoyados en el potencial que tiene Internet para crear valor para los clientes y lograr que el usuario proporcione información sobre la percepción del servicio recibido, así como sobre sus expectativas de nuevos servicios.

En la nueva economía digital, también denominada *economía del conocimiento*, soportada por las TIC, las reglas clásicas están más vigentes que nunca, o dicho en otras palabras: *viejas reglas en un nuevo contexto*, lo que refuerza el papel fundamental que juega el usuario dentro del proceso económico. En este contexto, con el apoyo de la propuesta planteada en esta tesis de medición de los servicios TIC percibidos por los usuarios, es posible realizar el seguimiento de los elementos que son de relevancia para los usuarios, así como realizar sugerencias de mejoras inmediatas en los procesos de toma de decisiones que se presentan en las empresas del sector de las TIC.

2.4. Modelos de calidad de servicio

Los mercados competitivos cada día son más exigentes en cuanto a la calidad de los productos o servicios, el precio, la distribución, la promoción, etc. Estas exigencias vienen dadas por la obligación de satisfacer los requisitos de usuarios que tienen cada vez mayores conocimientos y están mejor informados. Por tanto, se hace necesario realizar estudios de mercado que permitan caracterizar, conocer, segmentar a los cliente así como a los competidores, con el fin de fortalecer o crear nuevas oportunidades de mercado para las organizaciones, además de lograr un mejor posicionamiento respecto a sus competidores.

Entre estos estudios necesarios figura el que compete al presente trabajo, que está relacionado con el estudio de la calidad, enfocado básicamente a través de la medición de ciertos atributos que permite realizar una evaluación de la satisfacción que los usuarios encuentran en los servicios, aplicación o tecnologías que reciben o han recibido en algún momento.

El análisis de la calidad de servicio se inicia formalmente después de la conocida publicación de [Parasuraman et al. \(1985\)](#), titulada *A conceptual Model of Service Quality and its implications for future research*, donde se propone un modelo de medición de la calidad de servicio, conocido con el acrónimo de SERVQUAL. Posteriormente han surgido una variedad de modelos encaminados a perfeccionar el modelo original (SERVQUAL modificado, SERVQUAL revisado), así como diferentes propuestas de nuevos modelos entre los que se pueden nombrar los correspondientes a SERVPERF, Desempeño Evaluado (PE- Performance Evaluation), Calidad Normalizada (NQ- Normalized Quality), así como con la revolución de las TIC a SITEQUAL, WebQUAL, ES-QUAL, entre otros.

2.4.1. La calidad del servicio

Cuando se aborda el tema de la calidad ([Oliver, 2014](#)), no solo nos referimos a un producto, sino también a un servicio, solo que la calidad en este último caso tiene aspectos intangibles. Así esta última consiste en la acumulación de una serie de experiencias personales que los clientes tienen desde el momento en que se ponen en contacto con el empleado que representa a la empresa, o respecto al servicio que reciben.

De la interacción entre prestador y usuario nace el interés por cumplir las cada vez más exigentes expectativas de los usuarios y de sus necesidades en cuanto al servicio que se les proporciona, siendo imprescindible definir el término calidad en el servicio ([Lloréns and Fuentes, 2000](#)).

De acuerdo con [Berry et al. \(1989\)](#), *calidad de servicio* no es solamente ajustarse a las especificaciones establecidas en el servicio propiamente dicho, entendiendo especificaciones como las características con que ha sido diseñado, sino más bien ajustarse a las expectativas del cliente. Hay una gran diferencia entre la primera y segunda perspectiva. Ciertas organizaciones de servicio se equivocan en la prestación de los servicios a los clientes, centrándose solamente

en las especificaciones técnicas, sin tomar en cuenta lo que espera el cliente, independientemente de su reacción o rectificación posterior. Se pueden considerar, que en principio, las organizaciones o empresas no están prestando un servicio de calidad.

Como indica [Cantú \(2001\)](#), un servicio es una actividad o un conjunto de actividades, de naturaleza casi siempre intangible, que se realiza mediante la interacción entre el cliente y una contra parte del prestador del servicio, ya sea dentro o fuera de las instalaciones físicas del proveedor, con el objeto de satisfacer una expectativa o necesidad. Dada la naturaleza de los servicios, el cliente los juzga a través de lo que percibe y cómo lo percibe.

Tanto [Müller \(2003\)](#), como [Payne \(1993\)](#) y [Evans and Lindsay \(2008\)](#) definen el servicio como un acto social que ocurre del contacto directo entre el cliente y los representantes de la empresa de servicio. En este sentido, y dada la necesidad de establecer una metodología que permitiera evaluar/medir la satisfacción de los clientes respecto a un servicio recibido, y habiendo llegado el sistema social de mercado a su punto de madurez, surgen en la década de los 80 del siglo XX una serie de metodologías con esta finalidad, siendo una de las más difundidas hasta el momento la denominada como SERVQUAL ([Bigne et al., 1997](#)).

2.4.2. Modelo SERVQUAL

El modelo SERVQUAL ([Parasuraman et al., 1985](#)), así como sus posteriores revisiones y modificaciones ([Parasuraman et al., 1988, 1994b,a](#)), se basan en el llamado paradigma de la *desconfirmación* (explicado como la diferencia que existe entre la calidad esperada y la experimentada) para medir la calidad percibida del servicio suministrado. Este proceso de medición es utilizado principalmente para explicar el proceso que conduce a los juicios de satisfacción. Autores como [LaTour and Peat \(1979\)](#) sitúan el origen de la satisfacción en el fenómeno de adaptación descrito por [Helson \(1964\)](#) durante el periodo que va de 1959 a 1964, así como en la teoría de comparación de [Thibaut and Kelley \(1959\)](#), explicado en los trabajos de [Martínez-Tur and Santamatilde \(1995\)](#) y [Ruíz and Palacío \(2011\)](#), respectivamente.

En varios trabajos, en los que se ha investigado la diferencia entre el funcionamiento del producto y diversas variables ([Velázquez et al., 2001](#)), se concluye que son las expectativas del individuo el elemento más utilizado como estándar de comparación.

De acuerdo con lo anteriormente planteado, se puede resumir la metodología más aceptada para medir la calidad percibida del servicio proporcionado como:

$$Q_S = \sum_{j=1}^k (P_{ij} - E_{ij}) \tag{2.10}$$

donde:

Q_S - es el valor de la valoración de la calidad del servicio S de acuerdo con los atributos que han intervenido en el análisis.

P_{ij} - es la percepción del usuario i en relación con el atributo j .

E_{ij} - representa la expectativa del usuario i en relación con el atributo j .

Esta expresión puede ser representada de acuerdo a la Figura 2.10.

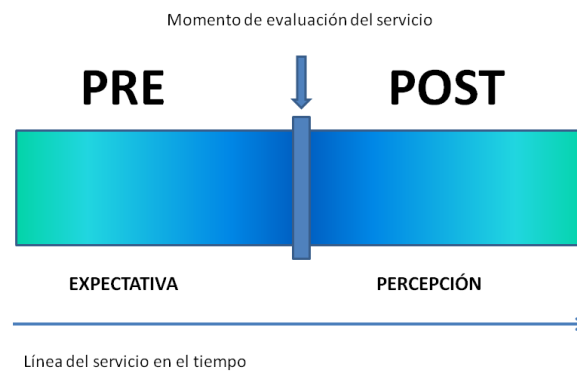


Fig. 2.10 Expectativas y percepciones

Según este proceso, el consumidor establece después de la compra una comparación entre la *percepción* sobre los resultados obtenidos y las *expectativas* creadas previamente, y es en esta diferencia o discrepancia, llamada *desconfirmación de expectativas*, lo que conduce a los juicios de satisfacción (Oliva, 2005).

SERVQUAL es el modelo de calidad del servicio percibida más utilizado por los académicos, de acuerdo a lo que nos indican Camisón et al. (2007) y Colmenares and Saavedra (2007). El modelo SERVQUAL hace referencia a una serie de vacíos (brechas) que afectan a la posibilidad de ofrecer un servicio y que éste sea percibido como de alta calidad por los clientes, como se observa en la Figura 2.11, que representa el modelo SERVQUAL, propuesto por Parasuraman et al. (1985). A pesar de que en su artículo original de 1985, Parasuraman, Zeithaml y Berry plantean inicialmente 10 dimensiones para medir la calidad del servicio, no es hasta 1994, cuando, mediante el uso de estadísticas complementarias, estudian la correlación entre las diferentes dimensiones (Parasuraman et al., 1994b), llegando a una propuesta de un modelo más simplificado, compuesto por solo 5 dimensiones.

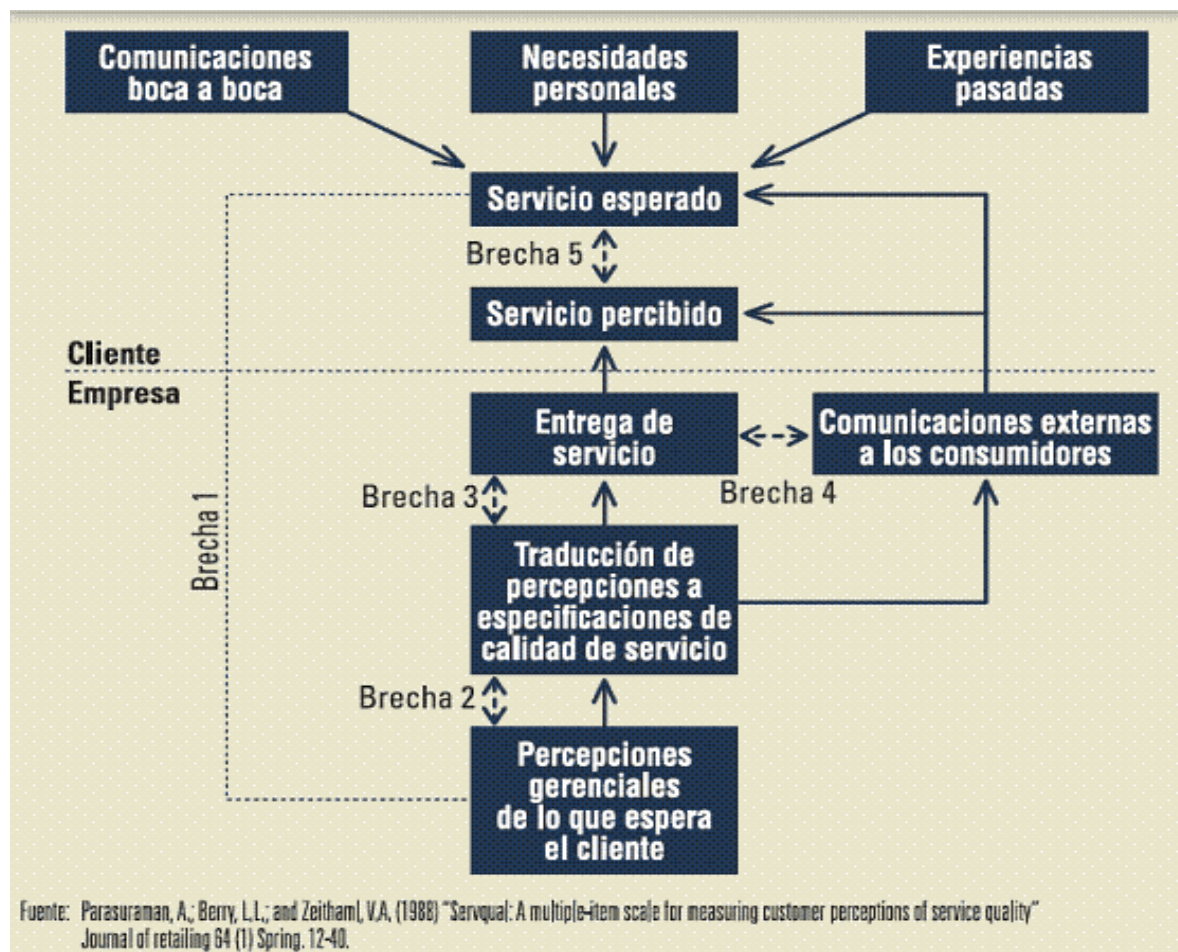


Fig. 2.11 Modelo SERVQUAL

En el caso de nuestra propuesta, y de acuerdo a lo expuesto en la Conferencia de la SIGUCCS (El-Bayoumi, 2012), se utilizarán las 5 dimensiones propuestas en el modelo SERVQUAL para evaluar la calidad de servicio en las TIC dentro del modelo que hemos desarrollado, al que hemos denominado SICTQUAL, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones conceptuales respecto al significado de cada una de las dimensiones SERVQUAL que son utilizadas en el modelo propuesto:

- *Elementos tangibles*: Se refiere a la apariencia física de las instalaciones, equipos, personal, etc.; sin embargo, si tenemos en cuenta que muchos de los servicios relacionados con las TIC se contratan por vía electrónica (web, vía telefónica, etc.), entonces este elemento se puede interpretar como lo que percibe el usuario en su interacción con el prestador de servicio a través de medios electrónicos en servicios tales como los de *e-administration*, *e-Learning*, *e-commerce*, etc.
- *Fiabilidad o confiabilidad*: Habilidad para ejecutar el servicio prometido de manera confiable y cuidadosa desde la primera vez. Ésta es una dimensión de suma importancia, porque puede influir en la permanencia del cliente con el prestador del servicio. En el caso

de las TIC se refiere a la fiabilidad de: las aplicaciones instaladas, la operatividad del sitio web del proveedor, los equipos de comunicación, etc.

- *Capacidad de respuesta*: Disposición de ayudar y servir rápidamente a los clientes. Tiene una relación directa en cómo la empresa prestadora es percibida por los clientes, evaluándose cuán eficiente es la empresa para atender los requerimientos del usuario, los tiempos de reacción, y el apoyo recibido en caso de requerimientos dentro de los segmentos Servicios, Aplicaciones y Tecnologías.
- *Seguridad*: Habilidades y conocimientos de los empleados para inspirar credibilidad y confianza. En esta dimensión están involucrados varios temas, sobre todo, la capacidad para solucionar problemas, como los relativos a la de configuración de equipos y aplicaciones de forma remota.
- *Empatía*: Atención individualizada que ofrecen las empresas a sus clientes. En este sentido, tratar al cliente como alguien cercano e importante para la organización contribuye a crear una buena imagen de la organización/empresa prestadora. Con esta dimensión se trata de ver como los usuarios perciben la atención personalizada recibida, ya sea a través del Call Center, chat en línea, e-mail, etc.

2.4.3. SERVQUAL adaptada a los segmentos TIC

Estas 5 dimensiones (Tangibilidad, Fiabilidad, Capacidad de respuesta, Seguridad y Empatía) se han aplicado al conjunto de segmentos en que se han dividido las TIC (Servicios, Aplicaciones y Tecnologías). En nuestra propuesta se propone un elemento o dimensión adicional, también conocido como indicador de control, denominado *Overall Satisfaction Index* (OSI), que indica el nivel de satisfacción global de los usuarios respecto al servicio, plasmado en la pregunta: *¿En general, cuál es su grado de satisfacción con el servicio recibido?*

2.4.4. Otros modelos de calidad de servicio

Dentro de los modelos de calidad de servicio que han tenido mayor representatividad en el ámbito académico, aparte de SERVQUAL, se pueden citar: SERVPERF (Cronin Jr and Taylor, 1994), Modelo de Desempeño Evaluado y Calidad Normalizada Teas (1993), PCP Philip and Hazlett (1997), E-S-QUAL Parasuraman et al. (2005), entre otros. A continuación se realiza una breve reseña de ellos.

2.4.4.1. Modelo SERVPERF

El concepto de calidad de servicio no es universalmente comprendido y a menudo se utiliza como un término general para cubrir una amplia gama de impresiones recogidas por los clientes

al tratar con los proveedores. Estas impresiones, sin embargo, son importantes factores que influyen en el comportamiento de compra. Las empresas son conscientes de la necesidad de mejorar este aspecto en sus operaciones, ya sea por la formación del personal o la inversión directa en instalaciones. Cronin Jr and Taylor (1992) proponen un modelo alternativo al cual denomina SERVPERF, basado en el desempeño, midiendo solamente las percepciones que tienen los consumidores acerca del rendimiento del servicio.

La escala SERVPERF produce como resultado una puntuación o calificación acumulada de la calidad general de un servicio, lo cual puede representarse mediante una gráfica relativa al tiempo y a subgrupos específicos de consumidores (segmentos demográficos). El modelo no utiliza las veintidós (22) preguntas identificadas por el método SERVQUAL para medir las percepciones y las expectativas, sino, que desecha lo concerniente a las expectativas, simplificando el método de medición de la calidad del servicio. De esta manera, el modelo SERVPERF se enfoca más las implicaciones teóricas sobre las actitudes y satisfacción. Diversos investigadores han usado la escala SERVPERF, realizando preguntas en la que se tiene únicamente en cuenta las percepciones. También existen estudios en donde se trabaja con las dos escalas (SERVQUAL y SERVPERF), en sus versiones originales y ponderadas, intentando buscar la escala que ofrezca mayor validez.

Esta búsqueda intenta superar las limitaciones de utilizar las expectativas en la medición de la calidad percibida, sin definir concretamente el tipo y el nivel de expectativas a utilizar (expectativas de desempeño, relacionadas con la experiencia, de tipo predictivas, ligadas a las normativas, etc.).

2.4.4.2. Modelo de desempeño evaluado (PE) y calidad normalizada (NQ)

El modelo de desempeño evaluado (PE) fue presentado por Teas (1993). En él se desarrollan y contrastan de manera empírica las escalas para evaluar el desempeño (*Performance Evaluation - PE*), así como el concepto de calidad normalizada (*Normalized Quality - NQ*). Estos constituyen mecanismos (elementos) alternativos para medir la calidad de servicio percibida. El desempeño evaluado es la conceptualización de las expectativas como puntos ideales en los modelos actitudinales. Por otro lado la calidad normalizada integra el concepto de punto ideal clásico, con el de expectativa objetiva. El modelo PE sugiere puntuaciones ponderadas de la calidad de servicio. La ponderación de los atributos a ser examinados se aplica en función de las expectativas y percepciones. Esta propuesta no plantea dimensiones, sino que establece elementos para que su modelo base (SERVQUAL) puntualice sus características de análisis.

Teas (1993) explica la conceptualización de las expectativas como puntos ideales en los modelos actitudinales y bajo este planteamiento sugiere el modelo de desempeño evaluado PE,

el mismo que puede ser resumido utilizando la siguiente ecuación.

$$Q_i = -1 \left[\sum_{j=1}^k |A_{ij} - I_j| * w_j \right] \quad (2.11)$$

donde:

- Q_i es la calidad individual percibida respecto al objeto i , multiplicado por (-1) .
- m representa el número de atributos.
- A_{ij} cantidad percibida del atributo j respecto al objeto i .
- I_j es la cantidad ideal del atributo j como punto ideal actitudinal clásico.
- w_j representa la importancia del atributo j como un determinante de la calidad percibida.

Los resultados son interpretados de mayor a menor. El autor mantuvo una discusión académica con los autores del modelo SERVQUAL, centrada en tres puntos:

- Interpretación del concepto “expectativas”;
- Operativización del concepto “expectativas”; y,
- Valoración de modelos alternativos al SERVQUAL para la evaluación de la calidad del servicio percibida

Teas, paralelamente a su propuesta de modelo PE, propone un índice de calidad normalizado, al que denominó NQ (Normalized Quality) . Este índice compara la calidad del objeto que se evalúa (Q_i), respecto a otro objeto con características excelentes (ideales), al que denomina Q_e , y que toma la función de la expectativa de calidad. Este índice puede ser expresado como sigue:

$$NQ_i = [Q_i - Q_e]$$

donde:

- Q_i se definió en la ecuación (2.11).
- NQ_i es el índice de calidad normada para el objeto i .
- Q_e es la percepción individual de calidad respecto a un objeto de calidad excelente (ideal).

El autor plantea que el incremento de la diferencia entre las percepciones y las expectativas puede no reflejar necesariamente un incremento continuo en los niveles de calidad percibida, como implica SERVQUAL. Por tanto, Teas concluye que la especificación utilizada puede ser problemática o no, en función de que los atributos empleados en la medición de la calidad de servicio sean atributos vectoriales (atributos con puntos ideales infinitos) o atributos con puntos ideales finitos.

Como conclusión, el autor apunta que el examen de la validez del modelo de vacíos de SERVQUAL presenta problemas respecto a la definición tanto conceptual como operativa de

las expectativas, lo cual crea ambigüedad en la interpretación y en su justificación teórica. De acuerdo con su análisis, afirma que SERVQUAL carece de validez discriminante.

2.4.4.3. Modelo P-C-P

A finales de la década de los 90, [Philip and Hazlett \(1997\)](#) formulan el modelo teórico P-C-P (*Pivote-Central-Periférico*), estructurado en tres niveles jerárquicos, con el que se pretende proporcionar un marco de trabajo más general que el ofrecido por SERVQUAL, en el que tenga cabida todo tipo de actividades de servicios.

El modelo propuesto se enfoca en una de las escalas de medición de calidad de servicio más utilizado (SERVQUAL), y en algunas áreas de interés que recientemente han planteado la viabilidad de una herramienta integral de medición para la industria de servicios en su conjunto. Si bien se reconoce la importante contribución que ha hecho el modelo SERVQUAL, se cuestiona su aplicabilidad. Se plantea que las dimensiones de SERVQUAL no abordan adecuadamente algunos de los problemas más críticos relacionados con la evaluación de los servicios individuales. Se plantea que, aunque hay una gran cantidad de trabajos publicados en la comercialización y el comercio minorista sobre su aplicabilidad, relativamente pocos estudios empíricos se han llevado a cabo en otros sectores de servicios. En lugar de la escala SERVQUAL se propone, un modelo que toma la forma de una estructura jerárquica basado en tres niveles principales de atributos: *pivote, central y periférico* (P-C-P). De acuerdo a los autores, el modelo tiene la capacidad de abarcar cualquier sector de servicios. El modelo propone un marco esquelético en el que considerar los servicios respectivos.

2.4.4.4. Modelo E-S-QUAL

Fue presentado en el año 2005 por el mismo equipo que desarrolló SERVQUAL ([Parasuraman et al., 2005](#)) y persigue el objetivo de valorar la Calidad de los Servicios Electrónicos (E-S-QUAL). Utilizando el marco de los medios y afines como fundamento teórico, este artículo conceptualiza, construye, refina y pone a prueba una escala (E-S) para medir la calidad del servicio prestado por los sitios web en los que los clientes compran en línea. La recolección de datos empíricos en dos etapas reveló que dos escalas diferentes eran necesarias para la captura de la calidad del servicio electrónico.

La escala básica E-S-QUAL es una escala de 22 ítems repartidos en cuatro dimensiones, que son: la eficiencia, el cumplimiento, la disponibilidad del sistema y la privacidad. Una segunda escala E-S-QUAL es relevante sólo para los clientes que realizaron procesos de compras rutinarios con los sitios y contiene 11 elementos distribuidos en tres dimensiones adicionales, que son: la capacidad de respuesta, compensación y contacto.

Ambas escalas demuestran buenas propiedades psicométricas en base a los resultados de una serie de pruebas de fiabilidad y validez, y se basan en la investigación que ya se llevó a cabo

sobre el tema. En la presentación del modelo, los autores también discuten las implicaciones de gestión derivadas de los hallazgos empíricos sobre E-S-QUAL.

2.4.5. Análisis de características de los modelos presentados

Como se ha indicado, existe una amplia variedad de modelos encaminados a determinar la calidad del servicio. En este apartado queremos reseñar algunas características que consideramos interesantes entre los métodos señalados, y que se muestran en la Tabla 2.5.

Sin embargo, como la metodología de análisis utilizada en estos trabajos está circunscrita al campo de los estudios cuantitativos, utilizando estadística descriptiva, pensamos que no es la metodología más apropiada a ser utilizada para evaluar nuestra propuesta, ya que nosotros utilizamos una metodología basada en el análisis cualitativo, y que hasta ahora no cuenta con una gran variedad de estudios comparativos realizados.

Entre las características que encontramos en SICTQUAL y que constituyen diferencias importantes con respecto a los modelos antes mencionados en esta sección, podemos señalar entre otras:

- Está constituido por 16 indicadores específicos para medir la calidad de los servicios TIC.
- Cada indicador de calidad está acompañado por un elemento de consenso.
- Los resultados del modelo son expresados con etiquetas lingüísticas.
- No existe pérdida de información durante el proceso de tratamiento de los datos.
- Se incluye un elemento de control (OSI).

A continuación se presenta la Tabla 2.5 en la que se comparan los diferentes modelos de medición de la calidad de servicio con respecto a diversas características.

Otros trabajos encaminados a comparar las virtudes de diferentes métodos de medición de la calidad de servicio son los realizados por: [Caruana \(2002\)](#), [Olsen \(2002\)](#) y [Mestanza and Muñoz \(2008\)](#), entre otros.

Tabla 2.5 Tabla comparativa de características de modelos de calidad de servicios

	SERVQUAL	SERVPERF	PE - NQ	P-C-P	E-S-QUAL	SICTQUAL
Año	1989-1994	1994	1993	1997	2005	2015
Ámbito de aplicación	Sector Servicios	Sector Servicios	Sector Servicio	Sector Servicios	e-Services	Sector de las TIC
Tipo de análisis	Cuantitativo	Cuantitativo	Cuantitativo	Cuantitativo	Cuantitativo	Cualitativo
Principio	Diferencia entre Percepciones y Expectativas	Diferencia entre Percepciones y Expectativas	Diferencia entre Percepciones y Expectativas con índice de calidad ideal	Valoración única de percepciones y expectativas	Diferencia entre Percepciones y Expectativas	Medición de Percepciones utilizando elementos valorados por expertos
Dimensiones	Unidimensional	Unidimensional	Unidimensional	3 niveles	Unidimensional	Bidimensional
Elementos que dimensiona	5	5	-	1 + 4 + 2	4	5 x 3 + 1
Número de preguntas	22 x 2	22	Dependiendo de elementos	Conjunto de preguntas	22	16
Elementos intervinientes	- Tangibilidad - Fiabilidad - Capacidad de respuesta - Seguridad - Empatía	- Tangibilidad - Fiabilidad - Capacidad de respuesta - Seguridad - Empatía	-	- Información adquirida - Fiabilidad - Capacidad de respuesta - Seguridad - Empatía - Acceso - Tangibilidad	- Eficiencia - Cumplimiento - Disponibilidad del sistema - Privacidad	5 dimensiones 3 segmentos 1 elemento de control 16 índices valorados 16 elementos de consenso
Importancia de elementos	Establecida por autores	Establecida por autores	Índice de Calidad normalizada	Determinada por pesos	Establecida por autores	Determinada por expertos
Información adicional	-	-	-	-	-	Grado de consenso por cada elemento que dimensiona (5 x 3 + 1)
Preguntas de control	-	-	-	-	-	Sí
Referencia	(Parasuraman et al., 1985), (Parasuraman et al., 1988), (Parasuraman et al., 1994b)	(Cronin and Taylor, 1994)	(Teas, 1993)	(Philip and Hazlett, 1997)	(Parasuraman et al., 2005)	(Cid-López et al., 2015b)

3 Modelos de toma de decisiones multi-criterio propuestos

En las distintas secciones de este capítulo se presenta un resumen de cada uno de los modelos que han sido desarrollados en el transcurso de esta tesis doctoral. Todos ellos comparten el hecho de ser modelos multi-criterio de apoyo a la toma de decisiones y de estar especialmente diseñados para ser aplicados en el sector de las TIC, además de tener entre sus objetivos el tomar en consideración la percepción del usuario sobre la calidad del servicio recibido precisamente como fuente de información para que las empresas del sector TIC intenten mejorar la calidad del servicio que proporcionan.

A pesar de que cada modelo propuesto se enfoca a un problema específico de toma de decisiones, la Figura 3.1 muestra la interrelación existente entre los mismos, de modo que se puede observar que:

- La información obtenida del análisis y monitoreo de la calidad de servicio efectuados son procesados utilizando el modelo SICTQUAL. La información de salida que proporciona este modelo, puede alimentar a otros modelos de toma de decisiones (como los aquí propuestos) que contribuyan a objetivos específicos dentro de la organización.
- La información de salida proporcionada por cualquier de los modelos propuestos puede ser ingresada al módulo de riqueza expresiva variable (VER), lo que permite ajustar automática la riqueza lingüística de los resultados, de modo que éstos se diferencien claramente y sean más comprensibles para los decisores.

Como se puede apreciar en la Figura 3.1, la principal aportación de la tesis, el modelo SICTQUAL, puede jugar un doble papel: por un lado, puede usarse para analizar la situación de partida en cuanto a calidad de servicio percibida por parte de los usuarios (teniendo en cuenta datos previamente recogidos, mediante encuestas, por ejemplo), así como para monitorear periódicamente cómo se va percibiendo dicha calidad de servicio por parte de los usuarios, y si determinadas acciones desarrolladas por la empresa influyen o no en la percepción que tienen los usuarios sobre la calidad del servicio prestado.

La Figura 3.1 representa un paso intermedio en la adaptación del proceso de planificación estratégica de [Armstrong \(1982\)](#), presentado al inicio en el capítulo de *Introduction/Introducción* (véase Figura 1.1 en la página 5), al trabajo desarrollado en los diferentes modelos propuestos en esta tesis. En la sección 4.1 *Conclusions/Conclusiones* que inicia en la página 97 se presentará el esquema final de este proceso de adaptación, mostrado en la Figura 4.1 (véase página 98), explicándose además con más detalle la interrelación existente entre los modelos propuestos.

Los datos utilizados para el desarrollo de los casos de estudio presentados en cada uno de los casos de toma de decisiones multi-criterio (TDMC) desarrollados en esta tesis, así como

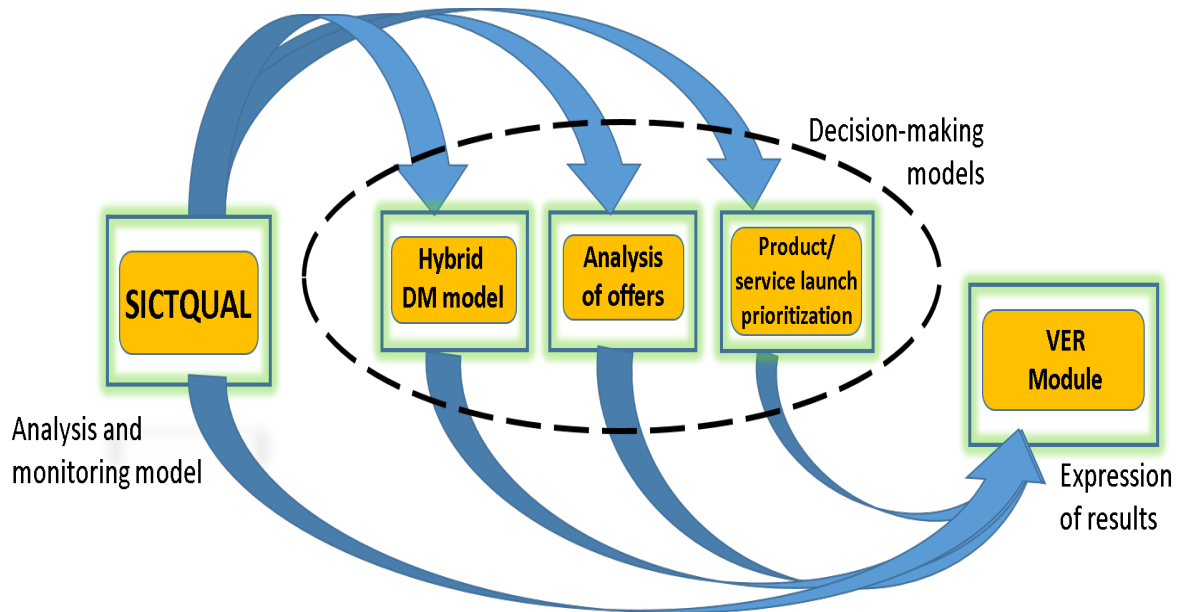


Fig. 3.1 Interrelación entre los distintos modelos propuestos en la tesis

los desarrollos realizados (modelos) y sus respectivas implementaciones (streams) utilizando el software SPSS Modeler ², pueden ser consultadas en el enlace que se indica a continuación, que conduce al sitio web cuya captura se muestra en la Figura 3.2:

<https://sites.google.com/site/acidhomepagesourcedata/home>



Fig. 3.2 Captura del sitio web que contiene información de los modelos de TDMC propuestos

²<http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/products/modeler/>

3.1. Modelo de calidad de servicio SICTQUAL

Para desarrollar el modelo propuesto, después de analizar los modelos existentes, consideramos que las bases del modelo SERVQUAL evolucionado desarrollado por [Parasuraman et al. \(1994b\)](#), proporcionaba los elementos iniciales adecuados y útiles para crear un modelo que permite medir la calidad del servicio en el sector de las TIC. Sin embargo, el concepto de las TIC es demasiado genérico y amplio, así que la semántica de cada indicador SERVQUAL dependerá del sector de las TIC específico al que se aplicará. Por lo tanto, se propone una segmentación ampliamente aceptada de las TIC, que ya se ha presentado en la sección de preliminares en la pagina 51. A continuación, se presenta el significado detallado de cada uno de los segmentos que componen las TIC en el nuevo modelo SICTQUAL para medir la calidad del servicio desde la perspectiva del usuario.

3.1.1. Segmentos que componen las TIC en el modelo SICTQUAL

Las siguientes definiciones de Servicios, Aplicaciones y Tecnologías se refieren a los que han sido principalmente proporcionados, desarrollados, implementados y adecuados para ser usados por los consumidores en un entorno específico (por ejemplo: en un determinado país o región):

- *Servicios*: Es la actividad empresarial llevada a cabo bajo un cierto control y regulación de la administración gubernamental u organización especializada, destinada a satisfacer necesidades de la colectividad. En nuestro caso en particular se refiere a los servicios TIC accedidos por los usuarios de forma remota / electrónica (administración electrónica, e-learning, e-commerce, etc.), con el fin de comunicarse con sus proveedores de servicios para realizar: declaración de impuestos, pago de derechos, registro de información personal, social, procedimientos de seguridad, procedimientos relacionados con la salud, comunicación con centros de educación, transacciones financieras, formación en línea, actividad bursátil, compra y venta en línea, contratación, etc.
- *Aplicaciones*: Es el software instalado en los diferentes tipos de dispositivos (terminales), tales como: smartphones, tabletas, cámaras, computadoras, smartTV, etc., que ofrece algunas facilidades adicionales al usuario del dispositivo. En el caso de las TIC, es el software de análisis utilizado en empresas, gobiernos o aplicaciones personales, desarrolladas, implementadas a medida o adaptadas para ser utilizadas en un país específico, por la gente de ese país. En otras palabras, es el software creado para ser utilizado especialmente por los habitantes de un país específico y desarrollado por gente de ese país para ese mercado.
- *Tecnologías*: Se refiere al hardware (equipos y medios) de acceso a la información proporcionado por el proveedor del servicio a los consumidores, incluyendo elementos tales como: equipos de comunicación, medios para la entrega y/o recepción de señales electromagnéticas (alámbrica /inalámbrica), relacionadas con las conexiones a los

diferentes servicios, la velocidad percibida, la calidad de la conexión a Internet, nivel de cobertura de la red de telecomunicaciones, calidad de la recepción de los contenidos, etc.

3.1.2. Las dos dimensiones del modelo SICTQUAL

Para representar el modelo SICTQUAL se utilizará una matriz de dos dimensiones (ver Tabla 3.1) la cual incluye:

- La escala básica SERVQUAL correspondiente a las dimensiones: $S_1 = \text{Tangibilidad}$, $S_2 = \text{Confiabilidad}$, $S_3 = \text{Capacidad de respuesta}$, $S_4 = \text{Seguridad}$ y $S_5 = \text{Empatía}$, distribuida en las columnas de la matriz.
- La segmentación de las TIC ampliamente aceptada, que incluye los segmentos: $c_1 = \text{Servicios}$, $c_2 = \text{Aplicaciones}$ y $c_3 = \text{Tecnologías}$, distribuidas en las filas de la matriz.

Adicionalmente, el modelo tendrá un indicador de calidad global aplicable a todos los segmentos de las TIC, denominado **Índice de Satisfacción General** (OSI del inglés *Overall Satisfaction Index*):

Cabe mencionar que, según lo definido por otros autores, este indicador (OSI) es genérico y global, razón por la cual consideramos que no es apropiado para definir cada segmento de las TIC, sino para todo el conjunto en general. Más formalmente, el modelo se define mediante el conjunto $SICTQUAL_items$ compuesto por 16 elementos: $SICTQUAL_items = \{SICTQUAL_k\}, \forall k \in 1, \dots, 16$, donde el significado de cada elemento se presenta en la Tabla 3.1. A fin de concretar más y de mejorar la comprensión de la composición de este conjunto, también se puede expresar como la unión de los conjuntos especificados (dimensiones SERVQUAL, segmentos TIC y el elemento OSI, común a todos los segmentos TIC), es decir, $SICTQUAL_items = \{C_i S_j\} \cup \{OSI\}, \forall i \in \{1, \dots, 3\}, \forall j \in \{1, \dots, 5\}$.

La Tabla 3.1 contiene una explicación de cada uno de los 16 elementos constitutivos del modelo SICTQUAL.

3.1.3. Aplicando el modelo SICTQUAL a encuestas existentes

Ahora que el modelo SICTQUAL nos permite valorar cada segmento TIC según los indicadores básicos de medición de la calidad de servicio (extraído de SERVQUAL) y el OSI (aplicable a todos los segmentos de las TIC) es posible introducir un modelo que nos permita convertir a SICTQUAL otros estudios similares de satisfacción, basados en encuestas es posible aunque tengan un formato diferente. Esto nos permite comparar e integrar estos estudios, a pesar de que ellos tengan como base encuestas heterogéneas.

La Figura 3.3 muestra un resumen general de este modelo, donde la entrada de información (Input) representa las respuestas proporcionadas por los usuarios en los cuestionarios (encuestas). Para su tratamiento, un grupo de expertos analiza previamente la correspondencia entre

Tabla 3.1 Elementos del modelo SICTQUAL de dos dimensiones

Elementos SERVQUAL/ Segmentos TIC	S ₁ Tangibilidad	S ₂ Fiabilidad	S ₃ Capacidad de respuesta	S ₄ Seguridad	S ₅ Empatía	OSI Índice de Satisfacción General
C ₁ Servicios	SICTQUAL ₁ Aspecto del sitio web del proveedor de servicios de TIC; percepción del servicio a través de gestión electrónica (e-service).	SICTQUAL ₂ Disponibilidad del servicio (sitios web), acceder en línea y sin problemas durante navegación del sitio web.	SICTQUAL ₃ Respuesta a requerimientos y solicitudes, sin necesidad de la presencia física del usuario.	SICTQUAL ₄ Veracidad de la información proporcionada en línea y a través de operadores.	SICTQUAL ₅ Amabilidad y proximidad a los usuarios a través de interacción remota (call center, foros, correo electrónico, redes sociales, etc.).	SICTQUAL ₁₆ Nivel de satisfacción del cliente en general con las TIC, teniendo en cuenta todos los aspectos mencionados en su conjunto.
C ₂ Aplicaciones	SICTQUAL ₆ Apariencia de la interfaz de las aplicaciones (software que se utiliza en los equipos y dispositivos), facilidad de uso e interacción con los usuarios.	SICTQUAL ₇ Correcto funcionamiento de las aplicaciones proporcionadas por los proveedores de servicios (Internet velocímetro, acceso a bancos, aplicación de salud pública, sitio web, centros educativos, etc.).	SICTQUAL ₈ Tiempo de respuesta necesarios para resolver una solicitud de atención a problema inesperado, relacionado con el funcionamiento de las aplicaciones (software).	SICTQUAL ₉ Confianza en el proveedor de aplicaciones en términos de información y gestión de seguridad (copia de transmisión, seguridad de privacidad de la información personal, etc.).	SICTQUAL ₁₀ Atención a los intereses del usuario en términos de resolución de problemas inherentes a las aplicaciones existentes, y capacidad de detectar nuevas necesidades.	
C ₃ Tecnologías	SICTQUAL ₁₁ Elementos hardware capaces de ser percibidos de una manera objetiva y que representan la base para la prestación de servicios y ejecución de aplicaciones: conexión, equipos, terminales, sistemas periféricos, etc.	SICTQUAL ₁₂ Calidad de la instalación física y de la integración de equipos al sistema de comunicación. Cumplimiento de especificaciones técnicas y de los términos del servicio proporcionado.	SICTQUAL ₁₃ Preparación del personal para resolver problemas, tiempo de respuesta en caso de interrupciones de servicio o mal funcionamiento, la duración de los procesos de instalación, atención a las quejas o modificaciones.	SICTQUAL ₁₄ Infraestructura de seguridad para la cobertura de los servicios prestados y las aplicaciones instaladas.	SICTQUAL ₁₅ Comprensión y atención personalizada de necesidades específicas relacionadas con los equipos: configuración, interrupciones del servicio, deterioro, etc.	

cada pregunta del cuestionario y el conjunto de elementos que integra la matriz SICTQUAL (segmentos TIC / Indicadores SERVQUAL). Este trabajo se realiza mediante la asignación de etiquetas lingüísticas. Estas evaluaciones realizadas por expertos, junto con el conjunto de respuestas proporcionadas por los usuarios están sujetos a tres procesos de toma de decisiones multicriterio lingüístico 2-tuplas (LMCDM_2t). Finalmente se obtienen los puntos de vista de

los usuarios en relación con los 16 indicadores de calidad del modelo. Adicionalmente se obtiene el grado de consenso alcanzado entre todos los usuarios para cada uno de los 16 indicadores.

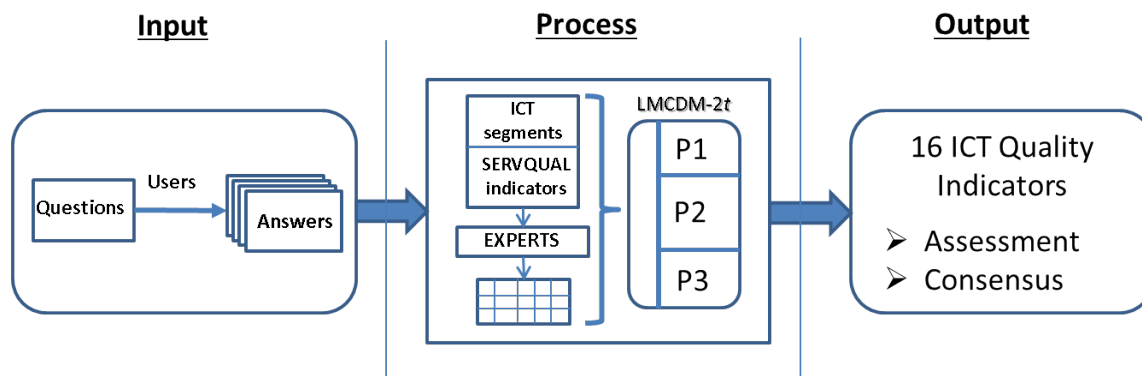


Fig. 3.3 Modelo SICTQUAL para análisis de información existente (histórica)

Este modelo toma el cuestionario original como entrada, el cual está integrado por una serie de preguntas en lenguaje natural. La encuesta puede ser definida por el conjunto $questions = \{question_1, \dots, question_p\}$. El conjunto de usuarios está conformado por $users = \{user_1, \dots, user_m\}$, que representa a los usuarios que han respondido la encuesta realizada. Las respuestas han sido agrupadas en el conjunto $answers = \{answer_{11}, \dots, answer_{mp}\}$. Estas respuestas están expresadas en una escala Likert con un nivel adecuado, incluido en el conjunto S^k , es decir, $answer_{jk} \in S^k, \forall j \in \{1, \dots, m\}, \forall k \in \{1, \dots, p\}$. Como hemos mencionado antes, cada una de estas preguntas se modeló con sus correspondientes variables lingüísticas, considerando como $H = question_k$ y $T(H) = S^k, \forall k \in \{1, \dots, p\}$ (ver 2.2.1 en pagina 36).

El objetivo del modelo propuesto es obtener:

1. La percepción de cada usuario $user_j$ respecto a las TIC, expresada en los elementos del modelo SICTQUAL, tal que:

$$sictqual_answer = \{sictqual_answer_{1j}, \dots, sictqual_answer_{16j}\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$$

2. La percepción general de las TIC, tomando en cuenta la opinión de todas las respuestas del cuestionario original, expresada en el modelo SICTQUAL como:

$$sictqual_overall = \{sictqual_overall_1, \dots, sictqual_overall_{16}\}.$$

Los elementos de estos dos sistemas se basan en una escala de Likert con un número igual de elementos, modelado mediante las correspondientes variables lingüísticas. Por tanto la valoración $H = assessment$ de la calidad del servicio $sictqual_l, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$ para los elementos, donde la etiquetas que forman el conjunto $T(H)$ podrían ser, por ejemplo: $s_0 = \text{Very Low (VL)}$, $s_1 = \text{Low (L)}$, $s_2 = \text{Regular (R)}$, $s_3 = \text{High (H)}$, $s_4 = \text{Very High (VH)}$.

Para mayor precisión, el procesamiento de la información es realizado utilizando el modelo de representación 2-tupla. Para lograr los resultados, se propone un sistema conformado de tres fases (ver Fig. 3.4), siendo las fases interdependientes, donde la salida de cada uno de ellas se convierte en la entrada de la siguiente.

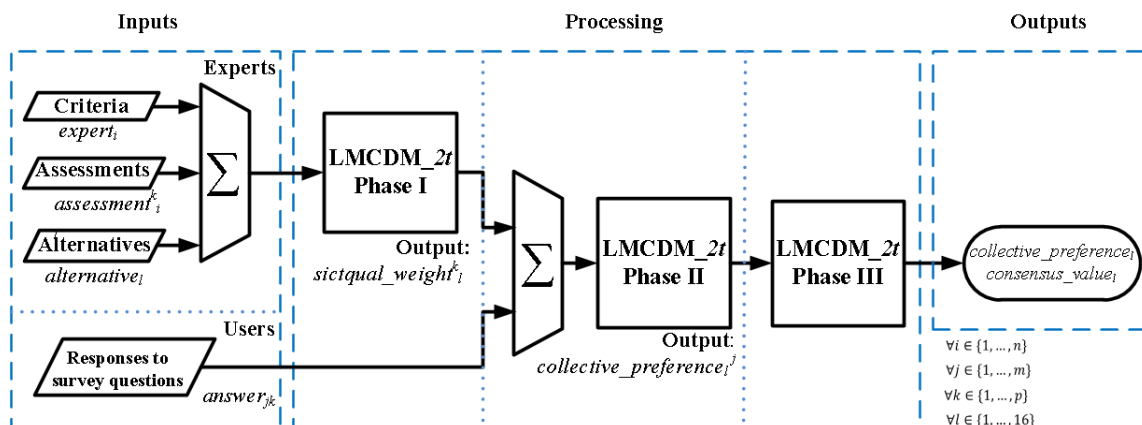


Fig. 3.4 Representación gráfica del modelo SICTQUAL y de los procesos LMCDM_2t que lo componen

3.1.4. Fases del modelo

Las tres fases se explican en detalle a continuación:

1. Fase I: El objetivo principal en esta etapa es obtener el grado de relación de cada pregunta original, $question_k, \forall k \in \{1, \dots, p\}$, con cada elemento de SICTQUAL, en otras palabras, con cada $sictqual_l, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$. El grado de relación es representado como $sictqual_weight^k = \{sictqual_weight_1^k, \dots, sictqual_weight_{16}^k\}$ y se calculará como un valor colectivo y consensuando, según las preferencias de opiniones expresados por un grupo de expertos. Por lo tanto, esta fase puede ser indicada como p -LMCDM procesos, uno por cada $question_k, \forall k \in \{1, \dots, p\}$ con la siguiente configuración y entradas para la función de LMCDM_2t:

- Un grupo de expertos en las TIC, $experts = \{expert_1, \dots, expert_n\}$ los cuales establecerán los diferentes criterios involucrados en este proceso. Esto puede ser representado como sigue: $criterion_i = expert_i, \forall i \in \{1, \dots, n\}$.
- Cada $expert_i$ formulará una auto-evaluación $weight_i$ conforme a su nivel de experiencia en el sector de las TIC, de modo que dicha auto-evaluación serán los pesos en los procesos LMCDM, obteniéndose: $weight = \{weight_1, \dots, weight_n\}$.
- Las alternativas serán representadas por cada elemento del modelo SICTQUAL: $alternative_l = sictqual_l, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$.
- Además, cada $expert_i$ evaluará cómo cada $question_k$ está relacionada con cada elemento SICTQUAL, las evaluaciones se expresan a través del conjunto $assessments^k = \{assessment_{il}^k, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall l \in \{1, \dots, 16\}\}$. También es posible que no se encuentre ninguna relación entre una pregunta y el elemento correspondiente de SICTQUAL. En este caso, se tendrá en cuenta como un “-”.

Como se mencionó anteriormente, toda la información proporcionada por los expertos (auto-evaluación de conocimientos y la relación entre las preguntas y los elementos SICTQUAL) se realizarán utilizando una escala de tipo Likert con las variables lingüísticas correspondientes. Aplicando la función LMCDM.2t, se obtiene el siguiente resultado en la salida:

- El valor de la preferencia colectiva del proceso, $collective_preferences^k = \{collective_preference_1^k, \dots, collective_preference_{16}^k\}$, que representa el grado de relación entre cada pregunta $question_k$ y cada elemento SICTQUAL, que hacen referencia a las alternativas del proceso. Las alternativas deben tener un nivel de consenso mayor al umbral mínimo establecido (ejemplo: $\gamma = s_3 = H$); de lo contrario, no serán tomadas en cuenta. En otras palabras, los valores de las preferencias colectivas sólo se tomarán en cuenta si el nivel de consenso entre los expertos es al menos “alto” (considerando la etiqueta “H” como el *umbral* establecido dentro del conjunto de etiquetas utilizado, que en nuestro caso se compone de las etiquetas: VL, L, R, H, VH). Por lo tanto, los resultados finales de esta fase se obtienen como sigue:
- El peso de cada uno de los elementos $sictqual_weight_l^k$ se determina como:

$$sictqual_weight_l^k = \begin{cases} collective_preference_l^k, & \text{if } consensus_value_l^k \geq \gamma, \\ & \forall l \in \{1, \dots, 16\} \\ \text{“ - ” en otros casos} \end{cases}$$

2. Fase II: En esta fase se obtiene el conjunto de respuestas de SICTQUAL, es decir, la percepción de cada usuario respecto al servicio proporcionado por las TIC, usando el modelo SICTQUAL. Los elementos $sictqual_answer_{jl}, \forall l \in \{1, \dots, 16\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$ se obtienen con *16 procesos LMCDM*, uno para cada elemento SICTQUAL. Cada uno de estos procesos, identificados con el iterador l , obtendrá las valoraciones del usuario $user_j$ para cada una de las alternativas $sictqual_l$ y que se ha denominado $sictqual_answer_{jl}$ de acuerdo con las respuestas del cuestionario original (incluidas en el conjunto *answer*) y de los resultados obtenidos en la Fase I. La configuración y las entradas para el función LMCDM.2t de este proceso se describe a continuación:

- Los criterios consistirán en todas las p preguntas del cuestionario original, tal que $criterion_k = question_k, \forall k \in \{1, \dots, p\}$
- Los pesos de cada criterio vendrán dados por el grado de relación existente entre cada pregunta (question k) y el elemento SICTQUAL l correspondiente. Expresado más formalmente: $weight_k = sictqual_weight_l^k, \forall k \in \{1, \dots, p\}, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$, obtenido en la Fase I.
- Las alternativas consisten en cada encuesta respondida por los diferentes usuarios: $alternative_j = user_j, \forall j \in \{1, \dots, m\}$.

- Las valoraciones expresadas por los usuarios en el cuestionario original serán integradas al conjunto global de valoraciones, tal que: $assessment_{jk} = answer_{jk}, \forall k \in \{1, \dots, m\}, \forall j \in \{1, \dots, p\}$.

Después de aplicar el proceso de LMCDM_2t, el resultado obtenido en este caso es:

- El conjunto $collective_preferences^j = \{collective_preference_1^j, \dots, collective_preference_{16}^j\}$, que representa las respuestas de cada usuario j asociadas al elemento $sictqual_l$, donde: $sictqual_answer_{jl} = collective_preference_l^j, \forall j \in \{1, \dots, m\}, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$.

3. Fase III. En esta última fase, se obtiene la percepción general del conjunto de usuarios respecto a los aspectos TIC evaluados. Esto se realiza de acuerdo al modelo SICTQUAL y a sus 16 elementos: $sictqual_overall = \{sictqual_overall_1, \dots, sictqual_overall_{16}\}$. Esto se soluciona a través de un nuevo proceso LMCDM_2t con la siguiente configuración de entradas.

- Los criterios vendrán determinados esta vez por cada encuesta respondida por el correspondiente usuario: $criterio_j = user_j, \forall j \in \{1, \dots, m\}$.
- Puesto que no existe información adicional que permita diferenciar a los usuarios respecto a su importancia, los criterios considerados (usuarios, en este caso) tienen pesos iguales: $weight_j = s_r \in S, \forall j \in \{1, \dots, m\}$. También es posible hacer una auto-evaluación del usuario respecto a su experiencia en el sector de las TIC; en ese caso, la auto-evaluación puede ser utilizada como el peso del usuario interesado.
- Las alternativas consistirán en cada elemento SICTQUAL: $alternative_j = sictqual_l, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$.
- La respuesta de los usuarios obtenidas en la Fase II integrarán el conjunto de valoraciones, convirtiéndose a SICTQUAL, tal que: $assessment_{jl} = sictqual_answer_{jl}, \forall j \in \{1, \dots, m\}, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$.

Después de aplicar la función LMCDM_2t se obtendrían los siguientes resultados:

- El conjunto $collective_preferences = \{collective_preference_1, \dots, collective_preference_{16}\}$, que representa la valoración general de todos los usuarios expresada en el formato SICTQUAL: $sictqual_overall_l = collective_preference_l, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$.
- El conjunto $consensus_values = \{consensus_value_1, \dots, consensus_value_{16}\}$, que representa el grado de consenso de todos los usuarios respecto a cada elemento $collective_preference_l, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$.

The paper corresponding to this proposal is: [Cid-López et al. \(2015b\)](#)

3.2. Modelo híbrido de toma de decisiones

En esta sección presentamos nuestro modelo híbrido para la toma de decisiones DMHM (Decision-Making Hybrid Model), que se propone para evaluar y analizar un problema dado en un contexto de negocios, con el fin de obtener la mejor solución para él. Un diagrama funcional del modelo se presenta en la Figura 3.5. En él se distinguen dos partes (izquierda y derecha), que corresponden respectivamente a cada una de las dos etapas en que se divide el modelo: La etapa en la que opera el Sistema de Información Inteligente IIS (Intelligent Information System) y la etapa en la que transcurre el proceso de Toma de Decisiones en Grupo. Ambas etapas se explican detalladamente a continuación.

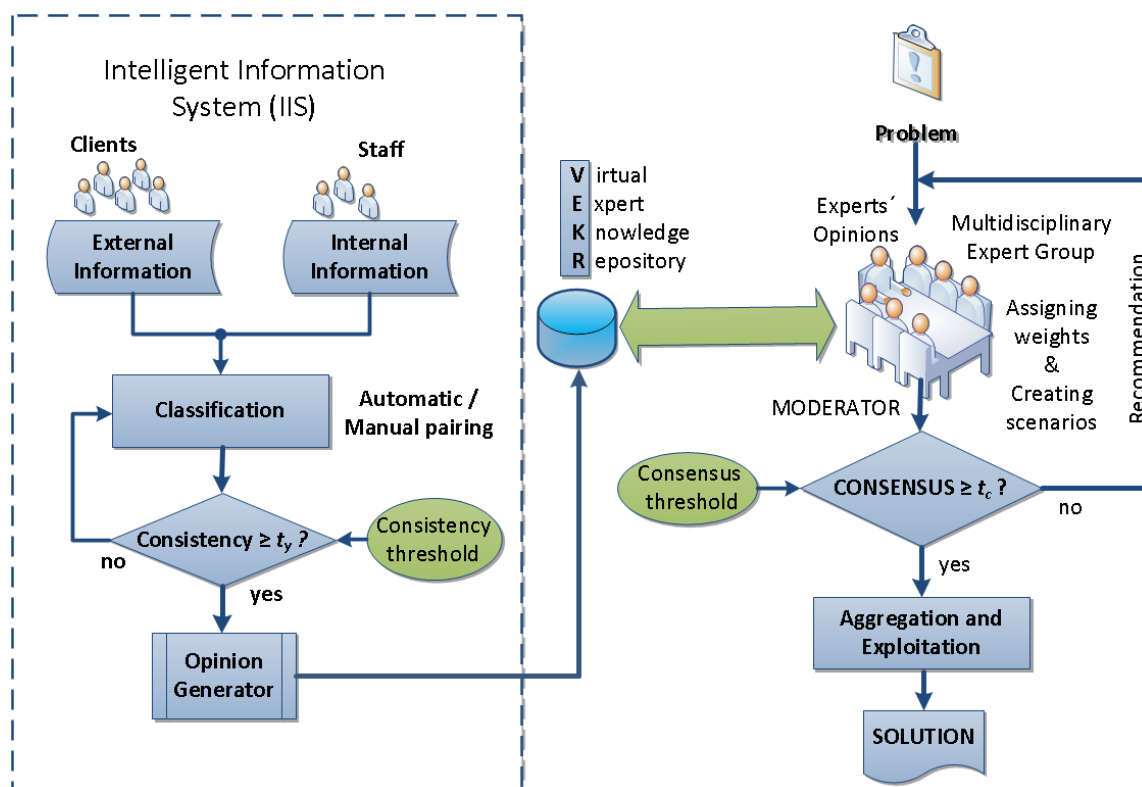


Fig. 3.5 Esquema operativo del modelo híbrido de TD

3.2.1. Sistema de Información Inteligente (IIS)

El IIS está conformado por bases de datos interconectadas. Los datos almacenados en estas bases de datos son categorizados por temas relacionados con las áreas de interés (contratación, calidad del servicio, facturación, asuntos legales, recursos humanos, etc.). Estas categorías son denotadas como $D = \{d_1, \dots, d_h\}$. Cada categoría d_i ($\forall i \in \{1, \dots, h\}$) se divide en grupos más específicos $B^i = \{b_1^i, \dots, b_q^i\}$, donde se almacenan otras subcategorías relacionadas con el tema

principal. Por ejemplo, en el caso de la calidad del servicio, temas específicos pueden incluir la satisfacción con el servicio, quejas, sugerencias, etc.

El objetivo de este módulo (IIS) es procesar, clasificar y agrupar el conjunto de respuestas $R = \{r_1, \dots, r_z\}$, obtenido de las preguntas formuladas usando diferentes medios (encuestas personales, on-line, y/o telefónica, redes sociales, sitio web, sistema de recolección automática de datos, etc.). Estas respuestas son dadas por los clientes externos (Clients en el IIS) $u^c = \{u_1^c, \dots, u_n^c\}$ e internos (Staff en el IIS) $u^s = \{u_1^s, \dots, u_m^s\}$ de la organización, utilizando un conjunto de etiquetas lingüísticas que más tarde se convertirán en el modelo lingüístico 2-tupla, siguiendo el formato (s_i, α) donde $\alpha = 0$.

La clasificación de los datos introducidos en el IIS incluye la agrupación de respuestas dadas a preguntas similares en diferentes momentos, diversos medios y distintas encuestas. Este procedimiento puede llevarse a cabo manualmente (por el personal encargado de procesamiento de datos) o automáticamente (software especializado). Después, es necesario realizar un proceso de evaluación de calidad, llamado cálculo de consistencia de los datos. El objetivo de este procedimiento es verificar que el subproducto obtenido de los datos después de la clasificación cumple con los requisitos de calidad propuestos (ser mayor o igual al umbral de consistencia, t_y).

Consistencia se refiere al grado en que las diferentes cuestiones que se refieren a un mismo tema están relacionadas entre sí. Esta consistencia indica el grado en que las preguntas, realizadas por diferentes mecanismos, están relacionadas entre sí, por lo tanto, determina si las respuestas a esas diferentes preguntas pueden combinarse para establecer opiniones integrales. Generalmente se utiliza un mecanismo de umbral mínimo para resolver el problema de identificación de las preguntas relacionadas, que serán aquellas que se encuentran por encima de dicho umbral considerándose que son similares o cercanas, y por lo que pueden ser asociadas. Estudios correspondientes a la implementación de este tipo de mecanismo puede encontrarse en [Alonso et al. \(2008\)](#) y [Dong and Herrera-Viedma \(2014\)](#) entre otros.

El modelo que proponemos emplea este mecanismo del umbral mínimo y la utilización del operador de minimización que se describe como $\min(s_i, s_j) = s_i, \forall s_i \leq s_j$. El número total de respuestas para cada pregunta coincidente o grupo de preguntas relacionadas (emparejados), $p \in \{1, \dots, k\}$, ya clasificado de acuerdo al perfil del usuario (interno o externo) puede ser representado respectivamente como:

$$R_p^{u^c} = \sum_{i=1}^n R_p^{u_i^c}$$

y

$$R_p^{u^s} = \sum_{j=1}^m R_p^{u_j^s}$$

A continuación es necesario agregar estas respuestas a fin de crear grupos de opiniones. Esto se realiza mediante el operador de agregación media aritmética extendida. El cálculo de los grupos de opiniones de los cliente internos y externos, respectivamente, se realiza mediante las siguientes ecuaciones

$$\bar{O}_p^c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_p^{u_i^c}, \alpha_p^{u_i^c})$$

y

$$\bar{O}_p^s = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (R_p^{u_j^s}, \alpha_p^{u_j^s})$$

Las respuestas recogidas y obtenidas del proceso de agregación de datos son expresadas en el modelo lingüístico 2-tupla (s_i, α_i) , correspondiente a las salidas de la primera fase del modelo. Estos valores (opiniones agregadas) una vez que es comparada su consistencia, se almacenan en el grupo correspondiente de acuerdo al tema específico $b_i^j \in B^i$ del Repositorio Virtual de Conocimiento Experto VEKR, del inglés (Virtual Expert Knowledge Repository) mismo que será consultado por los expertos en la segunda etapa del proceso, explicada a continuación.

3.2.2. Proceso de toma de decisiones en grupo

Dos grupos de expertos humanos intervienen en esta parte del proceso: $E_a = \{e_{a_1}, \dots, e_{a_q}\}$, que son los expertos encargados de asignar los pesos ($W = \{w_1, \dots, w_n\}$) para el conjunto de alternativas de solución propuestas, $A = \{A_1, \dots, A_n\}$, y $E_b = \{e_{b_1}, \dots, e_{b_r}\}$, que son los expertos que evalúan tales alternativas. Ambos grupos no tienen necesariamente que incluir a las mismas personas: por lo tanto es posible que $E_a = E_b$ o que $E_a \neq E_b$, en cuyo caso (el último) estos conjuntos pueden ser disjuntos o compartir algunos de los expertos.

Una parte crítica de este proceso es la de comprobar el grado de consenso alcanzado por los expertos en cuanto a la evaluación de las alternativas de solución. El grado de consenso se compara con el umbral de consenso mínimo (t_c) establecido inicialmente por la correspondiente autoridad jerárquica administrativa. En este caso se aplica lo establecido en las siguientes fórmulas (el operador Δ fue explicado en 2.2.4 página 40):

$$C_{A_i} = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i \times k_i)}{n}$$

y

$$C_f = \Delta \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{A_i} \right]$$

donde:

- v_i representa el número de valoraciones coincidentes de los m expertos, ordenadas de mayor a menor, ya que por cada alternativa tenemos que $\sum v_i = m$,

- k_i representa el coeficiente multiplicativo de acuerdo a la posición de la valoraciones agrupadas, esto es $k_i = \frac{(m-i)}{(m-1)}$,
- m es el número total de expertos que valoran las alternativas (E_b),
- n es el número de alternativas.

El valor obtenido es representado en notación 2-tupla. El coeficiente multiplicativo lingüístico (k_i) se refiere al valor asignado a cada etiqueta en el conjunto $S = \{s_0, \dots, s_g\}$. Este coeficiente se ordena según el grado de relevancia de las etiquetas lingüísticas utilizadas (desde la más a la menos significativa). También tenemos la variable v_i , que representa el número de veces que una etiqueta se repite en la evaluación de la alternativa A_i (antes agrupado del mayor al menor número de coincidencias), con:

$$\sum v_i = |E_b| + |e_v^c| + |e_v^s| = |E_b| + 2 = m$$

donde m es el número total de expertos que valoran las alternativas (E_b representa el grupo de expertos humanos, mientras que e_v^c y e_v^s son expertos virtuales, donde el primero corresponde a la opinión agregada de clientes externos y e últimos al de los clientes interno). Por lo tanto, la evaluación final de los expertos a las alternativas de solución propuestas se expresa en la matriz O_{ij} , que consta de n alternativas a ser evaluadas y m que son los expertos (humanos y virtuales) que llevan a cabo la evaluación.

El consenso entre los diferentes expertos para cada alternativa A_i (C_{A_i}) se calcula mediante la aplicación de C_{A_i} , mientras que el grado final de consenso es con (C_f) para el conjunto de alternativas se obtiene agregando el consenso alcanzado para cada A_i alternativa individual. Si se satisface el requisito de consenso establecido ($\geq t_c$), se continua con la fases de agregación y explotación. Si el requisito no se cumple, los expertos deben seguir debatiendo sobre las evaluaciones hasta alcanzar un grado suficiente de consenso (mayor o igual al umbral establecido), siguiendo las recomendaciones anteriores hechas por el sujeto que actúa como moderador.

Utilizando los pesos asignados inicialmente por los expertos del conjunto E_a , así como las evaluaciones de los expertos humanos (E_b) y virtuales (e_v^c y e_v^s). La agregación ponderada considerando cada una de las alternativas se expresa en la matriz O_{ij} que se calcula aplicando la fórmula correspondiente al operador de agregación de media ponderada extendido. La aplicación de dicha fórmula (ver 2.2.6 página 50) en el modelo propuesto sería el siguiente:

$$\bar{x}_{A_i} = \frac{\sum_{j=1}^m O_{ij} \times \bar{w}_i}{\sum_{j=1}^m w_{ij}} = L_i$$

donde \bar{w}_i representa la media aritmética de los pesos w_{ij} expresados (en 2-tuplas) por los expertos en E_a para cada alternativa A_i , correspondiendo a L_i el valor de agregación ponderada de las evaluaciones que recibió la alternativa correspondiente.

La fase final de explotación de este proceso consiste en la ordenación de los resultados obtenidos para cada alternativa (L_i), de la etiqueta más significativa a la menos significativa. La primera opción en la lista ordenada resultante será, por tanto, la solución más deseada.

The paper corresponding to this proposal is: [Cid-López et al. \(2015a\)](#)

3.3. Modelo de análisis de ofertas en el sector TIC

Los procesos de adquisición son fundamentales en el quehacer de las empresas, por lo que tener un mecanismo colaborativo que garantice la calidad de las adquisiciones redundará a la larga en la calidad percibida por los usuarios finales. En este sentido, se ha creído pertinente proponer un modelo de análisis de ofertas basado en el uso de etiquetas lingüísticas que garantice la no pérdida de información y que a la vez sea comprensible para las personas involucradas. Para validar el modelo propuesto, también se presenta un ejemplo de aplicación del modelo propuesto al análisis de ofertas de procesos contractuales en empresas relacionadas con los servicios TIC.

3.3.1. Modelo de toma de decisiones multi-criterio lingüístico propuesto

Esta propuesta se basa en la utilización de un modelo de TDMCL que hace uso de la lógica difusa, del modelo de representación 2-tuplas y de operadores de agregación, permitiendo utilizar un conjunto de etiquetas lingüísticas, sin que exista pérdida de información en su procesamiento. El modelo, que se apoya en trabajos como los de [Herrera et al. \(2009\)](#); [Carrasco et al. \(2011\)](#) y [Rodríguez et al. \(2012\)](#) entre otros, pretende encontrar la mejor alternativa del conjunto $alternativas = \{alternativa_1, \dots, alternativa_p\}$, de acuerdo a las valoraciones lingüísticas expresadas por un grupo de expertos, denotado por el conjunto $expertos = \{experto_1, \dots, experto_m\}$. Estos expertos en realidad expresan criterios, recogidos en el conjunto $criterios = \{criterio_1, \dots, criterio_n\}$. Cada uno de estos criterios, de acuerdo a su grado de importancia, tendrá asociado un peso, *expresado lingüísticamente* que estará representado en el conjunto $pesos = \{peso_1, \dots, peso_n\}$. Estos criterios y pesos conforman el *perfil* del producto o servicio en cuestión a ser contratado, siendo único y solo utilizable bajo condiciones idénticas de contratación. Las valoraciones son agrupadas en el conjunto $valoraciones = \{valoracion_{ij}\}, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, p\}$. La Figura 3.6 presenta un esquema del modelo propuesto, donde se distinguen tres bloques: El primero, denominado *Entradas*, está conformado por dos partes: La superior (*Internas*), correspondiente a la entidad contratante del producto/servicio, es la responsable de generar los insumos necesarios para valorar las propuestas presentadas por los proveedores. La inferior (*Externa*) corresponde a las alternativas presentadas por los proveedores. En el segundo bloque, *Procesamiento*, es donde se aplican las herramientas que constituyen el modelo de TDMCL propuesto a las entradas suministradas, incluyendo los procesos de agregación y explotación de información. En el último bloque, *Salida*, se presentan los resultados de las valoraciones obtenidas por cada una de las ofertas de proveedores TIC evaluadas, mostrándose una lista ordenada de forma descendente, de mejor alternativa a peor.

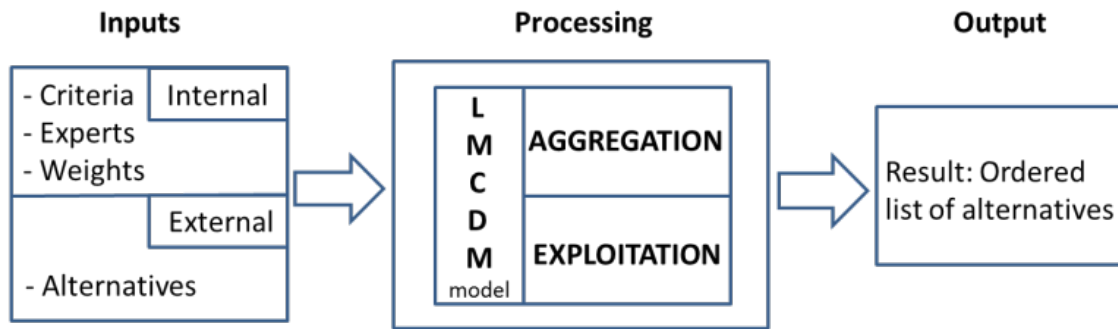


Fig. 3.6 Esquema del modelo de análisis de ofertas de proveedores TIC propuesto

Durante todo el proceso, la información es tratada lingüísticamente, utilizando un conjunto impar de etiquetas simétricas con respecto a una etiqueta central, $S = \{s_0, \dots, s_g\}$. Adicionalmente la información es tratada utilizando el modelo de representación 2-tuplas, donde una etiqueta $s_i \in S$ puede ser representada utilizando la 2-tupla $(s_i, 0)$, lo que significa que la traslación simbólica $\alpha = 0$.

El modelo propuesto consiste en la aplicación de un modelo de TDMCL basado en las variables que intervienen en este tipo de problemas, y que puede ser explicado utilizando la siguiente función:

$$\begin{array}{cccc}
 & \textit{criterion}_1 & \textit{criterion}_2 & \dots & \textit{criterion}_n \\
 & \textit{weight}_1 & \textit{weight}_2 & \dots & \textit{weight}_n \\
 \textit{LMCDM} - 2t = & \begin{array}{c} \textit{alternative}_1 \\ \textit{alternative}_2 \\ \vdots \\ \textit{alternative}_p \end{array} & \begin{bmatrix} \textit{rating}_{11} & \textit{rating}_{21} & \dots & \textit{rating}_{n1} \\ \textit{rating}_{12} & \textit{rating}_{22} & \dots & \textit{rating}_{n2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \textit{rating}_{1p} & \textit{rating}_{2p} & \dots & \textit{rating}_{np} \end{bmatrix} & &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 \rightarrow \\
 \textit{alternative}_1 \\
 \textit{alternative}_2 \\
 \vdots \\
 \textit{alternative}_p
 \end{array}
 \begin{bmatrix} \textit{preference}_1 \\ \textit{preference}_2 \\ \vdots \\ \textit{preference}_p \end{bmatrix}$$

3.3.2. Fases del modelo de análisis de ofertas

En los siguientes apartados de esta sección se describe más detalladamente el modelo que proponemos, representado gráficamente en la Figura 3.7, cuyo esquema estructural se presentó en la Figura 3.6. Como se puede observar en la Figura 3.7, la metodología planteada es de tipo lineal y consecutiva, debiendo completarse el paso previo para que pueda tener lugar el

siguiente paso. Además, tiene una concepción colaborativa, donde grupos de expertos trabajan para resolver un problema en común.

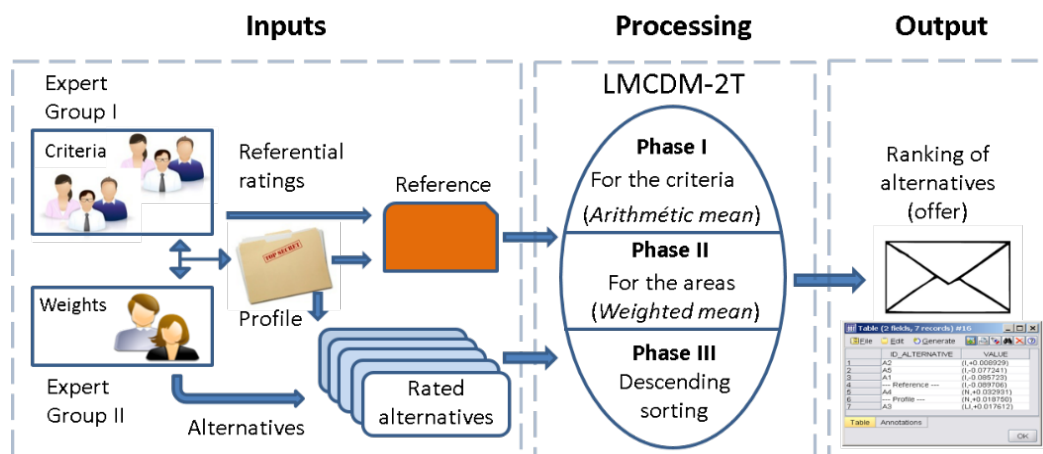


Fig. 3.7 Análisis de ofertas de proveedores TIC en procesos contractuales

3.3.2.1. Entradas

Ésta es la etapa del proceso donde se determinan los criterios, pesos y valoraciones que intervienen en el proceso de evaluación, así como las posibles alternativas. En esta etapa se distinguen los siguientes elementos:

- *Expert Group I* (Grupo Experto I), compuesto por una serie de expertos $e_{ij}^I \in \{e_{11}^I, \dots, e_{nm}^I\}$, donde i representa el área involucrada y j identifica a cada uno de los expertos que determinarán los criterios de evaluación a considerar en esa área $c_l^i \in \{c_1^i, \dots, c_p^i\}$, $\forall i \in \{1, \dots, n\}$, donde l representa el correspondiente criterio a ser considerado en el área i .
- *Expert Group II* (Grupo Experto II), conformado por un representante $e_i^{II} \in \{e_1^{II}, \dots, e_n^{II}\}$ de cada área involucrada en el análisis a ser realizado. Tienen la función de asignar los pesos (*weights*) $w_i \in \{w_1, \dots, w_n\}$ a cada una de las áreas involucradas, según su grado de importancia. Esta acción da como resultado el conjunto $weighted_criteria = \{c_l^i \times w_i\}$, $\forall i \in \{1, \dots, n\}$, $\forall l \in \{1, \dots, p\}$, donde c_l^i representa el criterio, i es el área involucrada y w_i es el peso asignado a la misma. El área con mayor valoración de peso asignado (*assigned weight*) corresponde al área requiriente dentro del proceso de contratación.
- El conjunto $weighted_criteria$ conforma el perfil único de evaluación de acuerdo a las particularidades de cada caso (proceso de contratación). Este conjunto se utiliza para establecer la valoración final de cada alternativa (oferta calificada) presentada por cada proveedor de productos/servicios.
- *Reference* (Referencia): Es un valor referencial obtenido de un proceso exitoso similar previo que sirve para determinar la bondad de la solución que se adopte, valores cercanos

a ese valor pueden indicar soluciones aceptables. Este valor será dado por el Grupo de Expertos I, y tendrá como base los mismos criterios utilizado para determinar el *perfil* específico calculado.

- Las *alternativas* presentadas son evaluadas tomando como guía los criterios del *perfil* y el valor de *referencia* establecido para cada producto/servicio.

3.3.2.2. Procesamiento

En esta etapa se aplican los operadores de agregación y se realiza el ordenamiento de resultados, en un total de tres fases:

- Fase I: Proceso de agregación de información utilizando un operador de media aritmética extendida. El proceso de agregación se realiza en relación a los criterios de cada área involucrada, lo que determina una valoración única por cada área (véase 2.2.6 página 50)
- Fase II: Proceso de agregación de información utilizando un operador de media ponderada extendida. El proceso de agregación se realiza en relación a las áreas, lo que determina una valoración única por alternativa presentada (véase 2.2.6 pagina 50).
- Fase III: Ordenamiento de los valores obtenidos para cada una de las alternativas, incluyendo la referencia y el perfil asignado. Este ordenamiento es de tipo descendente, de acuerdo con la importancia de las etiquetas lingüísticas establecidas.

3.3.2.3. Salida

En esta etapa del proceso se presenta el listado ordenado de forma descendente de las ofertas de los proveedores intervinientes, de acuerdo a las valoraciones globales calculadas para cada una, mostrándose con relación a la referencia, por lo que el resultado final obtenido es:

- Clasificación resultante de las alternativas (ofertas) participantes en el proceso de contratación.

El modelo presentado ha sido implementado con la utilización de la herramienta software IBM SPSS Modeler, con el propósito de automatizar esta aplicación. El resultado se muestra en la Figura 3.8. Como se puede observar, en la parte izquierda de dicha figura, se encuentran los *Inputs* necesarios, que serán introducidos por los diferentes grupos de expertos involucrados (evaluadores), denominado, *Expert Group I* (EG I) y *Expert Group II* (EG II). Ellos son los encargados de facilitar la información necesaria para que el modelo ejecute la metodología de análisis o evaluación de ofertas diseñada. Como se puede observar, el modelo crea internamente varias instancias: *profile*, *reference*, *rated alternatives* (rodeadas con líneas discontinuas, para su mejor identificación), que serán necesarias para poder llevar a cabo el proceso de evaluación y finalmente determinar la clasificación de resultados ordenados de las alternativas presentadas

por los distintos oferentes (competidores). Estas dos últimas operaciones se señalan mediante sendas flechas gruesas (azules) en la Figura 3.8.

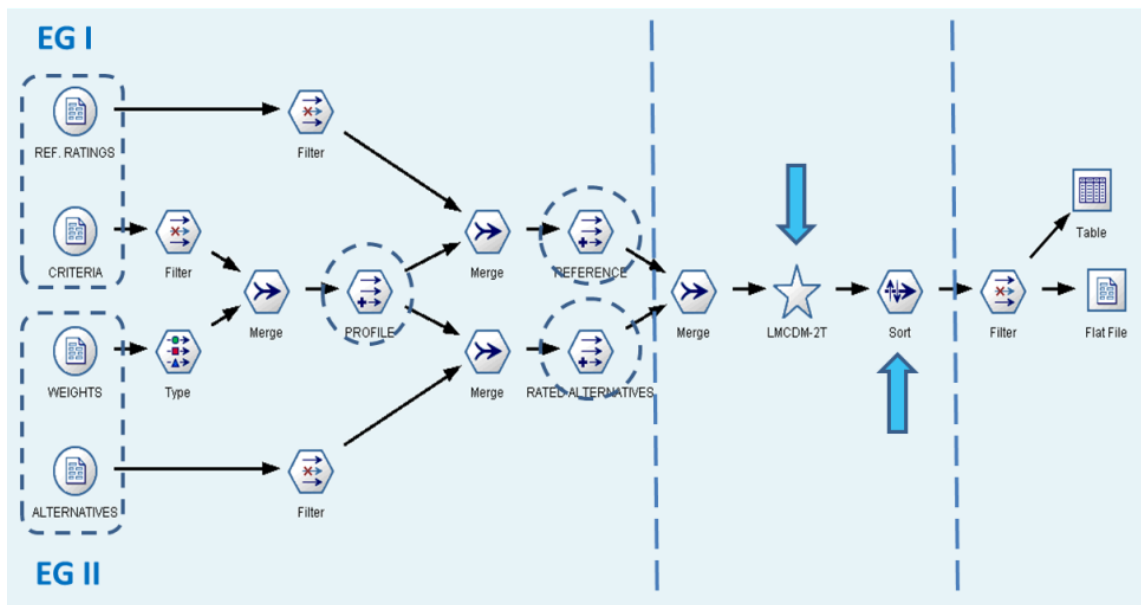


Fig. 3.8 Implementación del modelo de análisis de ofertas de proveedores TIC utilizando SPSS Modeler

El modelo se basa en la participación colaborativa de varias áreas de una determinada empresa u organización, lo que democratiza el proceso de toma de decisiones durante el análisis de ofertas en el seno de la misma, garantizando la equidad entre las diferentes áreas involucradas en dicho proceso.

The paper corresponding to this proposal is: [Cid-López et al. \(2016\)](#)

3.4. Modelo de priorización del lanzamiento de productos/servicios

Como se ha visto en el transcurso de la presentación de los diferentes modelos desarrollados, la calidad del servicio está estrechamente relacionada con diferentes procesos que se llevan a cabo en el interior de las empresas y que juega un rol fundamental en el proceso productivo, nos referimos en particular a la *Priorización del lanzamientos de producto/servicios* dentro de los procesos empresariales de Planificación Estratégica .

3.4.1. Lanzamiento de productos/servicios

La toma de decisiones en el lanzamiento de productos/servicios al mercado tiene un carácter estratégico dentro la organización, por lo que debe ser previsto con antelación, de acuerdo con [Bharadwaj et al. \(2013\)](#); [Hamel et al. \(1989\)](#); [Kaplan and Norton \(2001\)](#) y [Kahn et al. \(2012\)](#). Escoger el momento adecuado para realizar esta acción puede constituirse en un elemento diferenciador respecto a la competencia, lo que brindará ventajas competitivas. Por lo general, estas decisiones se toman a la hora de la elaboración de los planes estratégicos, que es cuando se determina el calendario de puesta en escena de estos nuevos productos/servicios. Existen varios mecanismos y estrategias para afrontar este problema desde una visión del mercado como se indica en [Bryson \(2011\)](#); [Goetsch and Davis \(2014\)](#); [Hultink et al. \(2000\)](#) y [Meyr et al. \(2015\)](#). También son varios los criterios que se deben tener en cuenta a la hora de tomar dicha decisión, y que ilustran en los trabajos de [Allen \(2015\)](#); [Calantone and Di Benedetto \(2012\)](#); [Guiltinan \(1999\)](#) y [Winter and Sundqvist \(2009\)](#) entre otros.

Por supuesto, la participación de varios actores en esta dinámica (departamento de marketing, finanzas, producción, TI, etc.), así como sus diferentes puntos de vista, hacen que esta tarea se vuelva compleja y genere tensiones en la organización ([Benedetto, 1999](#); [Debruyne et al., 2002](#); [Kapferer, 2012](#)). Adicionalmente, la complejidad de estos procesos se acentúa, debido a que dichos criterios suelen estar expresados en lenguaje natural, lo que conlleva de por sí mayor imprecisión e incertidumbre.

En este trabajo se presenta un modelo multi-criterio que es capaz de consensuar las diferentes sensibilidades y criterios existentes en los distintos departamentos o áreas de una empresa u organización a la hora de planificar los lanzamientos de nuevos productos/servicios. El modelo propuesto se basa en el modelo lingüístico difuso 2-tuplas, desarrollado por [Herrera and Herrera-Viedma \(2000a\)](#), con el fin de gestionar la información lingüística en la que se expresan las valoraciones asignadas a los distintos criterios empresariales, sin perder precisión en el cómputo de dicha información. Se ha implementado adicionalmente un mecanismo convertidor a escala de tiempo, con el fin de calendarizar el lanzamiento de los productos/servicios de una empresa de telecomunicaciones dentro de su planificación estratégica.

El modelo propuesto persigue el objetivo de calendarizar el lanzamiento de un conjunto de productos/servicios $PS = \{PS_1, \dots, PS_n\}$ del portafolio de una empresa, los cuales deberán ser implementados a lo largo de un determinado periodo de tiempo (t), que corresponderá al tiempo fijado por el plan estratégico de una empresa en el que se encuadren dichos lanzamientos, y que normalmente suelen tener una duración de entre 3 y 5 años, aunque este periodo t podrá variar en función del plan estratégico en cuestión.

Esta implementación se realizará de acuerdo al grado de importancia de cada PS_i . Para determinar el grado de importancia de cada PS_i se contará con la ayuda de dos grupos de expertos: El primero (E^I) determina los criterios a ser utilizados y las valoraciones de éstos, mientras que el segundo (E^{II}) determina el peso de cada uno de los criterios anteriores. Tanto los criterios como los pesos son expresados lingüísticamente utilizando un conjunto de etiquetas. La utilización de etiquetas lingüísticas facilita la recolección de las opiniones dadas por diferentes actores (administradores, gerentes, expertos, técnicos,...) en diferentes circunstancias (reuniones, presentaciones, documentos, consultas verbales,...). Del mismo modo, el uso de la representación 2-tupla utilizada durante el proceso permite realizar el procedimiento de computación con palabras sin que exista pérdida de información.

El modelo genera como salida o resultado un listado de los diferentes PS_i a ser lanzados comercialmente, ordenado de acuerdo al orden de prelación que se haya establecido para el lanzamiento de cada PS_i , utilizando para ello un conjunto específico de etiquetas lingüísticas, expresadas en 2-tuplas. El orden también es expresado dentro del intervalo de tiempo (periodo) escogido inicialmente, indicando el momento idóneo para la implementación de cada PS_i . Esta idoneidad viene dada por el valor central (b) de cada una de las funciones triangulares correspondientes a cada una de esas etiquetas. Si el correspondiente PS_i no se lanzara en ese momento idóneo, identificado por el valor b de la función triangular de su etiqueta, el rendimiento de dicho lanzamiento no sería el óptimo.

Un esquema gráfico de las diferentes etapas que componen el modelo multi-criterio propuesto para calendarizar el lanzamiento de productos/servicios, de acuerdo a una planificación estratégica, se representa en la Fig. 3.9. Los pasos a dar en cada una de dichas etapas se detallan en los siguientes apartados.

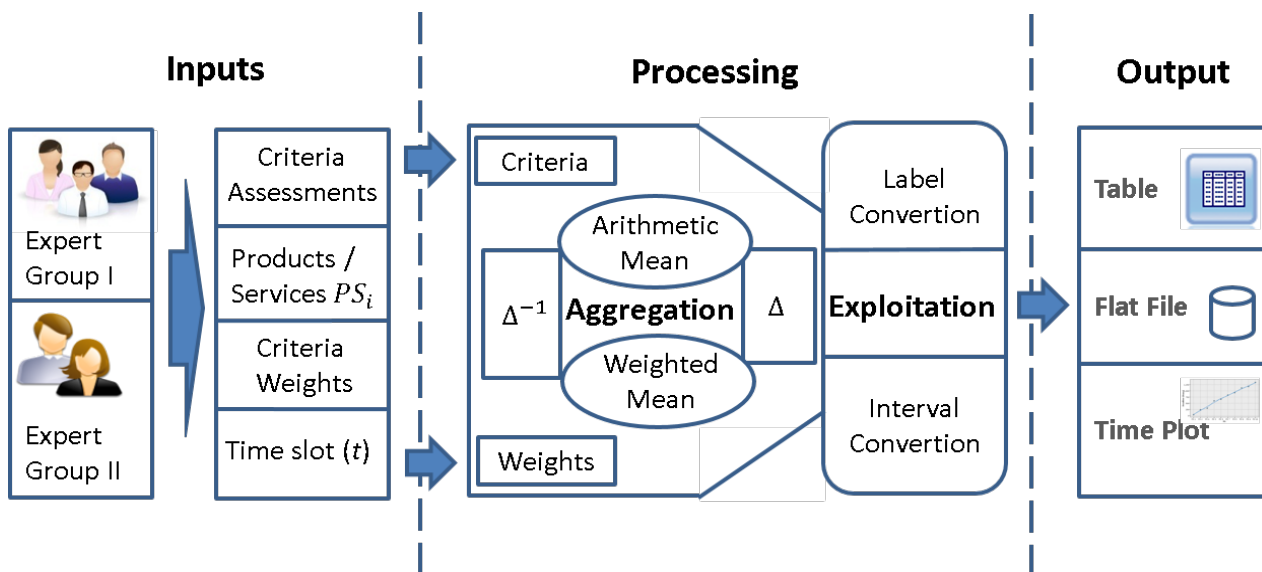


Fig. 3.9 Esquema para calendarizar el lanzamiento de productos/servicios

3.4.2. Etapas del proceso

3.4.2.1. Entradas

En esta primera etapa se proporcionan las entradas que el modelo requiere. Estas entradas son las siguientes:

- Conjunto de productos/servicios $PS = \{PS_1, \dots, PS_n\}$ involucrados en el proceso de planificación estratégica. Estos PS_i representan a los diferentes elementos cuyo lanzamiento hay que ordenar en el tiempo t .
- Conjunto de áreas involucradas $A = \{A_1, \dots, A_m\}$, de acuerdo al conjunto PS , así como sus respectivos criterios de evaluación $C_A = \{c_{11}, \dots, c_{mp}\}$. Cabe señalar que no necesariamente todas las áreas tendrán el mismo número de criterios de evaluación.
- Conjuntos de expertos, tanto los que conforman el grupo experto I (E^I), con la responsabilidad de valorar los PS_i de acuerdo a los criterios expresados por el representante de cada área, como los del grupo experto II (E^{II}), responsable de la asignación de los pesos (grados de importancia) correspondientes a cada uno de esos criterios.
- Valoración de los criterios $C_A = \{c_{11}, \dots, c_{mp}\}$ (por parte del grupo de expertos E^I) y asignación de sus respectivos pesos $w_{C_A} = \{w_{11}, \dots, w_{mp}\}$ (por parte del grupo de expertos E^{II}).

3.4.2.2. Procesamiento

Los pasos a dar en esta segunda etapa del modelo son los siguientes:

- (a) Aplicando lo establecido en 2.2.4, se procede a la transformación de los diferentes datos referentes a valoraciones y pesos al formato 2-tuplas (s_i, α) , con el fin de estandarizar su representación.
- (b) Aplicando lo establecido en la ecuación (2.7), se realiza la media aritmética de los pesos individuales asignados por los expertos a los distintos criterios de cada área, lo que dará como resultado un único peso por cada área A_j de cada PS_i considerado. Esto se expresa formalmente como sigue para cada PS_i :

$$\overline{W}_{C_{A_j}}^e ((w_{j1}, \alpha_{j1}^w), \dots, (w_{jp}, \alpha_{jp}^w)) = \Delta \left(\frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \Delta^{-1} ((w_{jk}, \alpha_{jk}^w)) \right), \forall j \in \{1, \dots, m\}$$

donde j itera sobre las áreas y k lo hace sobre los criterios de la correspondiente área.

- (c) Los pesos por área obtenidos en el punto anterior (b) se multiplican por las valoraciones dadas por los expertos a cada uno de los criterios del área correspondiente para un determinado PS_i . A continuación se calcula la media ponderada de los valores resultantes de dicha multiplicación, aplicando la Definición 2.2.6. Esta operación, que genera un único valor por cada área A_j involucrada, se repite para cada producto/servicio PS_i y se expresa formalmente como sigue:

$$\bar{D}_j^e = \Delta \left(\frac{\sum_{k=1}^p \Delta^{-1} ((c_{jk}, \alpha_{jk})) \cdot \Delta^{-1} ((w_j, \alpha_j^w))}{\sum_{j=1}^m \Delta^{-1} ((w_j, \alpha_j^w))} \right), \forall j \in \{1, \dots, m\}$$

- (d) Nuevo proceso de agregación, esta vez aplicando la media aritmética a los resultados obtenidos en el punto anterior (c), con el fin de obtener un único valor para producto/servicio PS_i , lo que puede ser formulado como:

$$\overline{PS}_i^e = \Delta \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Delta^{-1} (\bar{D}_j^e) \right), \forall i \in \{1, \dots, n\}$$

- (e) Como el conjunto de etiquetas iniciales hace referencia al grado de importancia del criterio valorado, y el conjunto de etiquetas de salida hace referencia al momento más idóneo para el lanzamiento del correspondiente producto/servicio, es necesario establecer una correspondencia entre las etiquetas de uno y otro conjunto, justo al final de la fase de explotación de nuestro modelo. Para hacerlo, y dado que a los productos/servicios mejor valorados por los expertos (usando el primer conjunto de etiquetas) se les asignan las etiquetas más a la derecha dentro de dicho conjunto, éstos serán los que se deban lanzar

antes, por lo que tendrán que tener etiquetas situadas más a la izquierda en el segundo conjunto, que expresa el grado de prioridad (de mayor a menor) en el lanzamiento del correspondiente PS_i . Por tanto, para transformar una etiqueta en otra nos apoyamos en el principio de complementariedad, que puede ser expresado mediante la siguiente ecuación:

$$l_2 = \Delta(1 - \Delta^{-1}(l_1))$$

donde $l_1 \in S^1$ y $l_2 \in S^2$ representan dos etiquetas pertenecientes a cada uno de los conjuntos mencionados, diferentes en cuanto a su semántica, pero constituidos por igual cantidad de términos lingüísticos, con una distribución lineal y uniforme de su función de membresía triangular.

- (f) Determinación de la posición de cada PS_i dentro del conjunto de etiquetas de salida (S^2), establecido para el periodo de tiempo t , de acuerdo a la necesidad del caso (días, meses, trimestres, años, etc.). Este cálculo se realiza aplicando la siguiente operación, que da como resultado un valor 2-tupla en el nuevo conjunto de etiquetas:

$$PS_i = \Delta(t \cdot \Delta^{-1}(\overline{PS_i^e}))$$

- (g) Ordenamiento de resultados de acuerdo a la prelación con la que se debe lanzar al mercado cada PS_i , utilizando el conjunto de etiquetas de salida (S^2). Esta ordenación se realiza teniendo en cuenta los resultados expresados en 2-tuplas obtenidos en el paso anterior (e) llevado a cabo en esta etapa de procesamiento.

3.4.2.3. Salida

Los pasos a realizar en esta última etapa del modelo son:

- (a) Elaboración de la tabla final de resultados, que muestra los valores expresados en 2-tuplas usando el conjunto de etiquetas S^2 para cada uno de los PS_i , así como el momento ideal de su lanzamiento.
- (b) Generación de un archivo plano (con extensión .csv) que contiene toda la información del modelo calculado, y que puede servir tanto para archivo histórico del caso resuelto, así como para hacer análisis posteriores del mismo, incluso con otras herramientas.
- (c) Representación gráfica del momento en el que cada PS_i debe lanzarse dentro del periodo t , según la prelación determinada por el modelo para cada uno de ellos.

The paper corresponding to this proposal is: Cid-López, A., Hornos, M. J., Carrasco, R. A., and Herrera-Viedma, E. (2016). Prioritization of the launch of ICT products and services through linguistic multi-criteria decision-making. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics: Systems* (**Submitted**)

3.5. Modelo de riqueza expresiva variable (VER)

Para realizar esta propuesta, se ha tomado como base el modelo TOPSIS, utilizando etiquetas lingüísticas (L) y el modelo de representación 2-tuplas (2T), lo que daría como resultado el modelo LTOPSIS-2T. Nuestra idea es susceptible de ser implementada utilizando como base prácticamente cualquier modelo TDMC, ya sea existente o formulado expresamente, dado que nuestra propuesta se centra en hacer más comprensibles para cualquier decisor los resultados generados por cualquiera de los modelos mencionados, mediante la aplicación del módulo VER que proponemos justo a la salida generada por cualquiera de dichos modelos.

Un esquema básico del modelo propuesto, tomando como base el modelo TOPSIS, utilizando etiquetas lingüísticas representadas en 2-tuplas, se muestra en la Figura 3.10, que representa los pasos del proceso que permite determinar la mejor alternativa de entre el grupo de alternativas propuestas en cada caso. Cada uno de los pasos de este proceso se explica con detalle en el siguiente subapartado.

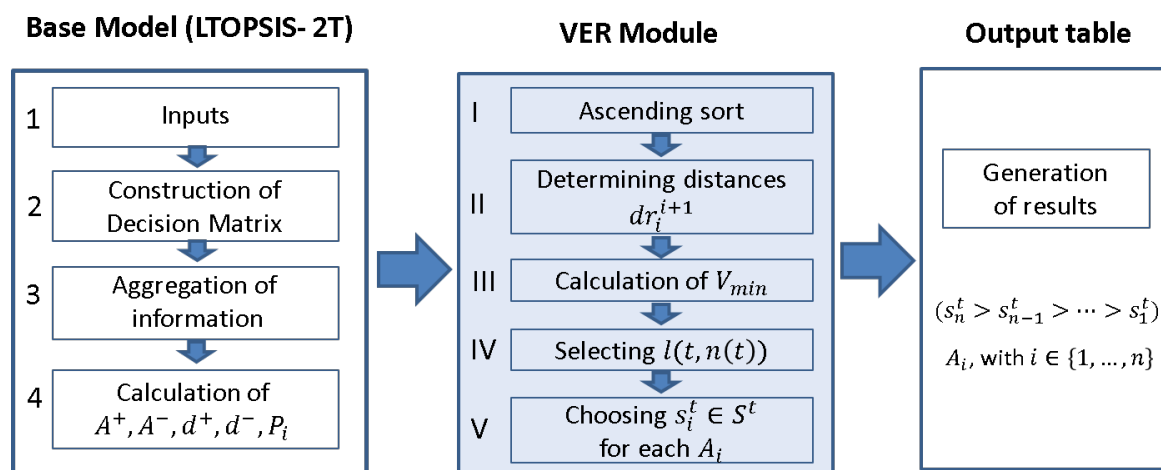


Fig. 3.10 Diagrama de los pasos de la propuesta LTOPSIS-2T-VER

3.5.1. Explicación detallada del proceso propuesto

Cabe señalar que durante todo el proceso se han utilizado etiquetas lingüísticas, que son convertidas al modelo de representación 2-tuplas, para garantizar la no pérdida de información. Una vez que tenemos los resultados finales de proximidad, calculados con el modelo base utilizado, se aplica el módulo VER (tal y como se muestra en la Figura 3.10) con la finalidad de determinar el nivel de pertenencia dentro de la jerarquía lingüística empleada y el conjunto de etiquetas más idóneo a ser utilizado. El proceso culmina con la transformación de los resultados al nuevo conjunto de etiquetas lingüísticas ordenadas de mayor a menor de acuerdo a su importancia.

A. **Pasos a aplicar en el modelo base (LTOPSIS-2T).** A continuación se presentan los pasos seguidos para calcular las variables que permitirán al final de este procedimiento determinar el valor de proximidad de cada una de las alternativas a la solución ideal. Dado que todas las valoraciones están expresadas con etiquetas lingüísticas (en vez de usar diferentes escalas de valoración), se facilita sustancialmente el proceso de cálculo del modelo TOPSIS, al no tener que aplicar procedimientos de normalización entre diferentes escalas. De acuerdo con la Figura 3.10, estos pasos son:

1. Identificación de la información que se debe proporcionar como entrada al modelo.
 - a) Identificación de las posibles alternativas de solución $A = \{A_1, \dots, A_n\}$, a fin de lograr el objetivo propuesto (input 1).
 - b) Establecimiento de los criterios de evaluación $C = \{c_1, \dots, c_m\}$ a ser utilizados para valorar las alternativas (input 2).
 - c) Estimación del grado de importancia (peso) de cada criterio de evaluación, $w = \{w_1, \dots, w_m\}$, teniendo en cuenta que es común que los criterios tengan diferente grado de importancia (input 3).
2. Construcción de una matriz de decisión (criterios/alternativas) para cada experto del conjunto $E = \{e_1, \dots, e_p\}$. Cada elemento de estas matrices será una etiqueta o término lingüístico de uno de los subconjuntos que conforman la jerarquía, representado por un número difuso triangular. Se sugiere utilizar una granularidad de nivel $t = 2$, a fin de facilitar el trabajo de los expertos, lo que nos da un subconjunto constituido por cinco etiquetas lingüísticas, $S^2 = \{s_1^2, \dots, s_5^2\}$. La estructura de cada una de estas matrices de decisión se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Estructura de la matriz de decisión Criterios/Alternativas

Alternativas \ Criterios	Criterios			
	c_1	c_2	\dots	c_m
A_1	x_{11}	x_{12}	\dots	x_{1m}
A_2	x_{21}	x_{22}	\dots	x_{2m}
\vdots	\vdots	\vdots	\dots	\vdots
A_n	x_{n1}	x_{n2}	\dots	x_{nm}

3. Agregación de la información contenida en las matrices correspondientes a los expertos $e_k, \forall k \in \{1, \dots, p\}$, con el fin de obtener una matriz unificada de las opiniones de los expertos. Las valoraciones $x_{ij} (\forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\})$ contenidas en la matriz resultante están expresadas en 2-tuplas, del tipo (s_{ij}^t, α^t) . Para este trabajo se ha considerado que todos los expertos tienen igual nivel de conocimiento (por lo que se le asigna el mismo grado de importancia).

Para realizar este paso se ha utilizado el siguiente operador de agregación de media

aritmética lingüística:

$$\bar{x}^e \left((s_{11}^t, \alpha_{11}^t)_1, \dots, (s_{nm}^t, \alpha_{nm}^t)_k \right) = \Delta \left(\frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \Delta^{-1} \left((s_{ij}^t, \alpha_{ij}^t)_k \right) \right),$$

$$\forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$$

La matriz obtenida es multiplicada por los correspondientes pesos de cada uno de los criterios, obteniéndose la matriz ponderada con la siguiente estructura:

$$\bar{X} = \begin{matrix} & \begin{matrix} c_1 & c_2 & \dots & c_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1m} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{n1} & \bar{x}_{n2} & \dots & \bar{x}_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

donde $\bar{x}_{ij}, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$ es el elemento agregado correspondiente a la alternativa A_i , con criterio c_j y el peso w_j .

4. Cálculo de los parámetros utilizados por el modelo base:

a) Determinación de la solución ideal positiva (A^+) e ideal negativa (A^-), a partir de la matriz unificada obtenida en el paso anterior (3). Para realizar esta operación se utilizará:

$$A^+ = \{(\max_i(x_{ij})|j \in Y), (\min_i(x_{ij})|j \in Z)\} = \{x_1^+, x_2^+, \dots, x_n^+\}$$

$$A^- = \{(\min_i(x_{ij})|j \in Y), (\max_i(x_{ij})|j \in Z)\} = \{x_1^-, x_2^-, \dots, x_n^-\}$$

$$\forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$$

donde Y está asociado a criterios de ganancias (valores máximos) y Z está asociado a criterios de coste (valores mínimos).

b) Obtención de las distancias (d^+, d^-) de cada alternativa respecto a las soluciones ideales (A^+ y A^- respectivamente), que fueron obtenidas en el paso anterior (3). Para realizar este procedimiento es necesario la utilización de los pesos (grados de importancia) de cada criterio, establecidos en el paso 1c. Para obtener los valores de distancias, se aplican las siguientes ecuaciones, que realizan las transformaciones

definidas para la representación en 2-tuplas:

$$d_i^+ = \Delta \left(\sum_{j=1}^m (|\Delta^{-1}((a_{ij}, \alpha_i)) - \Delta^{-1}((a_j^+, \alpha_j))| \times (w_i, \alpha_i)) \right)^{0.5}$$

$$d_i^- = \Delta \left(\sum_{j=1}^m (|\Delta^{-1}((a_{ij}, \alpha_i)) - \Delta^{-1}((a_j^-, \alpha_j))| \times (w_i, \alpha_i)) \right)^{0.5}$$

$$\forall i \in \{1, \dots, n\}$$

- c) Cálculo del coeficiente de proximidad (P_i) para cada alternativa, expresado en 2-tuplas. Esto significa determinar la posición de cada alternativa, teniendo en cuenta la distancia (d^+ , d^-) a la mejor y peor solución (A^+ , A^-). Este cálculo se realiza de acuerdo aplicando la fórmula:

$$P_i = \Delta \left(\frac{\Delta^{-1}(d_i^-)}{\Delta^{-1}(d_i^+) + \Delta^{-1}(d_i^-)} \right), \forall i \in \{1, \dots, n\}$$

B. Pasos a aplicar en el módulo de riqueza expresiva variable (VER). Este módulo permite aplicar una riqueza expresiva variable a los resultados obtenidos por el modelo base, riqueza que se mostrará a la salida del modelo propuesto. Los pasos a ejecutar en el módulo son:

- I. Ordenar ascendentemente los resultados de proximidad obtenidos en el paso 4c de la subsección anterior, de modo que a cada alternativa le corresponde un resultado $r_i = \Delta^{-1}(P_i), \forall i \in \{1, \dots, n\}$.

$$r_1 < r_2 < r_3 < \dots < r_n$$

- II. Calcular la distancia (dr_i^{i+1}) entre cada par de resultados consecutivos ordenados.

$$dr_i^{i+1} = (|r_i - r_{i+1}|^2)^{\frac{1}{2}} \quad \forall i \in \{1, \dots, (n - 1)\}$$

donde dr_i^{i+1} es la diferencia absoluta entre el valor inicial (r_i) y el siguiente valor (r_{i+1}) del resultado obtenido de la clasificación calculada en el punto anterior (I).

- III. Determinación del valor mínimo de los resultados obtenidos en el paso anterior (II)

$$V_{min} = \min(dr_i^{i+1}), \quad \forall i \in \{1, \dots, (n - 1)\}$$

- IV. Determinación del conjunto de etiquetas lingüísticas más apropiado de los disponibles en la jerarquía lingüística LH , con $t \in \{1, \dots, q\}$ niveles, para representar lingüísticamente los resultados obtenidos de *proximidad*. Este fin se logra utilizando la primera etiqueta S_1^t de cada nivel de la jerarquía lingüística presentada en la Figura 3.11. Para obtener el

valor de t más adecuado, aplicaremos el Algoritmo 3.1.

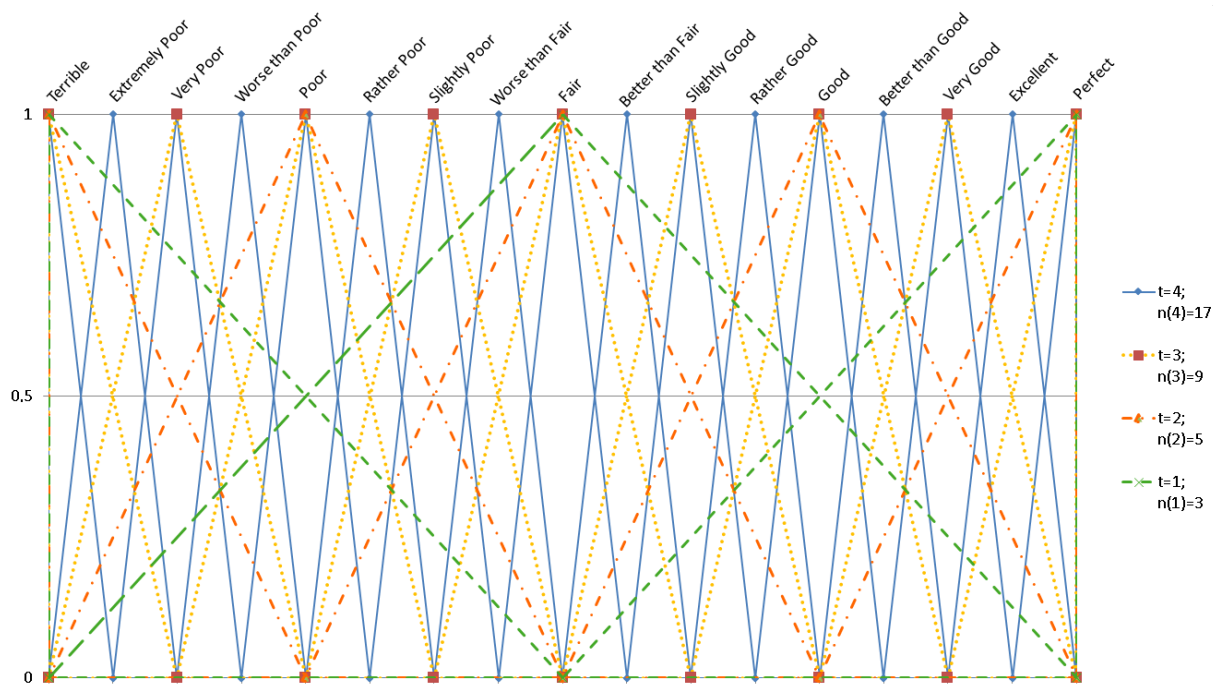


Fig. 3.11 Diagrama de jerarquía lingüística y sus niveles (t)

Algoritmo 3.1: Algoritmo que determina el nivel t de salida

```

1 Data: for  $t \in \{1, \dots, (q - 1)\}$ 
2 if  $V_{min} \leq s_1^t(c)$  then
3    $V_{min} = s_1^t(c)$ 
4 else if  $s_1^t(c) < V_{min} \leq s_1^{t-1}(c)$  then
5    $V_{min} = s_1^{t-1}(c)$ 
6 else
7    $t = q$ 
8 endif

```

donde c representa el extremo derecho de la función triangular definida para la primera etiqueta de cada uno de los niveles t correspondiente a s_1^t de la jerarquía. El valor V_{min} será comparado con el valor de la base de la primera etiqueta (s_1^t) de cada nivel ($\forall t \in \{1, \dots, q\}$) de la jerarquía lingüística (ver Figura 3.12 donde el intervalo considerado es $[0, 0.5]$). Esta comparación permitirá determinar el intervalo en que se ubica el valor V_{min} calculado, y por ende, el nivel (t) que mejor representará los resultados obtenidos.

- V. Aplicar el conjunto de etiquetas S^t seleccionado en el paso anterior (IV) a los resultados generados por el modelo base, teniendo en cuenta la etiqueta más próxima a cada

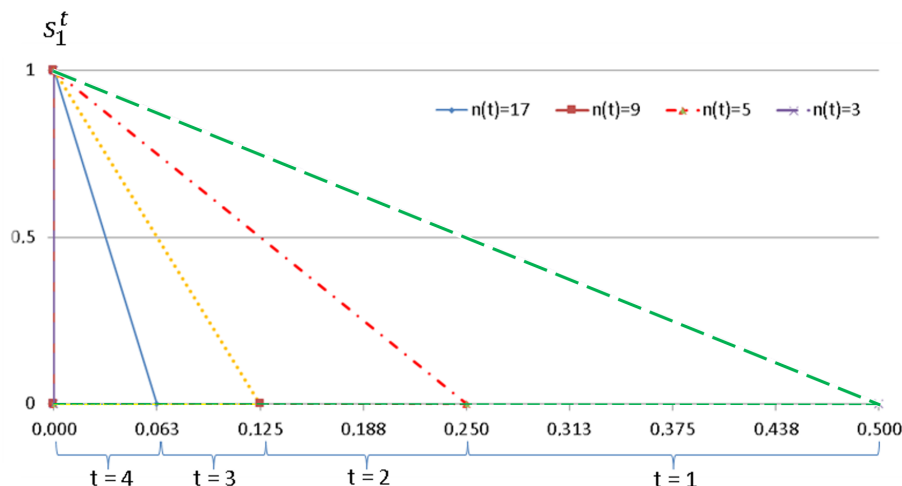


Fig. 3.12 Etiqueta s_1^t utilizada para determinar el nivel de riqueza expresiva óptima

resultado obtenido. Lo cual se puede formular como sigue:

$$s_i^t(b) = \text{round}(r_i), \quad \forall i \in \{1, \dots, n(t)\}, \forall t \in \{1, \dots, q\}$$

donde *round* es la función estándar de redondeo, que devuelve el valor *b* correspondiente al punto central de la función triangular correspondiente a la etiqueta s_i^t más cercana a r_i , de modo que *t* designa el nivel (1, 2, 3 ó 4, en el ejemplo dado) del correspondiente conjunto de etiquetas de la jerarquía, mientras que $n(t)$ indica el número máximo de etiquetas lingüísticas (3, 5, 9 o 17, en nuestro ejemplo) correspondiente a dicho nivel. De esta manera, es posible representar los resultados utilizando etiquetas descriptivas más adecuadas a la salida del modelo, y por tanto, más representativas y comprensibles para los decisores.

3.5.2. Análisis comparativo de resultados obtenidos en otros casos de estudio

En este subapartado se presentan los resultados de otros tres casos de estudios reales (mostrados en la Tabla 3.3) en los que ha sido aplicada la propuesta presentada en este trabajo, además de otros dos modelos lingüísticos, comparándose los resultados obtenidos por cada uno. Estos resultados corresponden a problemas de TDMC en los cuales se consideran cinco alternativas posibles de solución, utilizándose las correspondientes cinco etiquetas lingüísticas para valorar cada una de esas alternativas. En la columna correspondiente a nuestra propuesta (Linguistic VER), se puede observar que se ha utilizado diferente granularidad $n(t)$ para representar las valoraciones finales. Esta variedad significa que no necesariamente el modulo utilizará las mismas etiquetas para representar los resultados de diferentes problemas, sino que esto viene

dado por la distancia existente entre los resultados obtenidos.

Tabla 3.3 Comparativa de características relacionadas con la expresión de resultados en diferentes modelos

Real-Life example (5 alternatives each)	Linguistic	Linguistic 2T	Linguistic VER	Labels (s_i^t)	Observation
1. Analysis of a business plan	Agree	(A,-0.000200)	Good	s_{13}^4	The VER module is automatically adjusted to provide a better response. This example uses $n(t) = 17$ labels.
	Agree	(A,-0.039800)	Rather Good	s_{12}^4	
	Agree	(A,0.0938000)	Slightly Good	s_{11}^4	
	Neutral	(N,+0.034000)	Better than Fair	s_{10}^4	
	Neutral	(N,+0.022300)	Fair	s_9^4	
2. Purchase of a web server	Agree	(A,-0.000269)	Good	s_7^3	The VER module is automatically adjusted to provide a better response. This example uses $n(t) = 9$ labels.
	Agree	(A,-0.063000)	Slightly Good	s_6^3	
	Disagree	(D,+0.081000)	Slightly Poor	s_4^3	
	Disagree	(D,-0.097000)	Very Poor	s_2^3	
	Strongly Disagree	(SD,+0.061400)	Terrible	s_1^3	
3. Evaluation of cloud computing services	Strongly Agree	(SA,-0.094373)	Very Good	s_{15}^4	The VER module is automatically adjusted to provide a better response. This example uses $n(t) = 17$, labels.
	Agree	(A,+0.081770)	Better than Good	s_{14}^4	
	Neutral	(N,-0.018757)	Fair	s_9^4	
	Neutral	(N,-0.056272)	Worse than Fair	s_8^4	
	Disagree	(D,+0.091149)	Rather Poor	s_6^4	

En los ejemplos 1 y 2 (expuestos en las dos primeras filas) de la Tabla 3.3, se puede observar que al aplicar los dos primeros modelos (Linguistic y Linguistic 2T) se utilizan solo 2 y 3 etiquetas distintas (en cada ejemplo, respectivamente) de las 5 disponibles en esos modelos para expresar los resultados, por lo que varias de las 5 alternativas analizadas (en cada ejemplo) son valoradas con la misma etiqueta. Sin embargo, aplicando nuestra propuesta (Linguistic VER), se utiliza una etiqueta lingüística diferente para expresar los resultados obtenidos por cada una de las 5 alternativas consideradas. Obsérvese que al aplicar este último modelo a los tres ejemplos presentados en la Table 3.3, no existe repetición de ninguna etiqueta en la valoración final obtenida para cada alternativa.

The paper corresponding to this proposal is: Cid-López, A., Hornos, M. J., Carrasco, R. A., and Herrera-Viedma, E. (2016). Linguistic Multi-Criteria Decision-Making Model with Output Variable Expressive Richness. Applied Soft Computing (**Submitted**)

4 Conclusions and future work / Conclusiones y trabajo futuro

This chapter includes the main conclusions of the work carried out, as well as future research lines.

En este capítulo se exponen las principales conclusiones del trabajo realizado, así como futuras líneas de investigación.

4.1. Conclusions / Conclusiones

After carrying out a review of the state of the art of the researches conducted to date on decision-making focused on the quality of service from a user's perspective, we proceeded to make a conceptualization and segmentation of the ICTs as near the user's perspective as possible. We also examined the most widespread and accepted quality models in the scientific context, the most relevant computational models, and the qualitative methods related to the subject matter addressed in this thesis.

Once the study was carried out, we concluded, on the one hand, that existing quality of service models focus on the measurement of quality parameters based on indicators that do not fully reflect the perceptions (vision) of the user, but are quantitative indicators mainly based on assessing technological factors and usually developed to be applied by service providers.

On the other hand, we detected that, within the ICT sector, there is not a unified criterion for the measurement of the quality of service from a user's perspective, but each sector stakeholder performs their measurements in their particular way, using as evaluation criteria what they understand as necessary. In this sense, it was justified the need of proposing a model that helps expressing the user opinion while providing, at the same time, with the necessary elements for the service providers to allow them to improve the quality of the provided service.

The chart shown in Figure 4.1 outlines how the models proposed in this thesis (items in yellow) are integrated in order to measure and improve the quality of ICT services from the user's perspective. Note that this figure represents the implementation or adaptation of Figure 1.1, which is presented in the chapter entitled *Introduction / Introducción* (in page 5), and an intermediate evolution is presented in Chapter 3 of this thesis report (see Figure 3.1 in page 66).

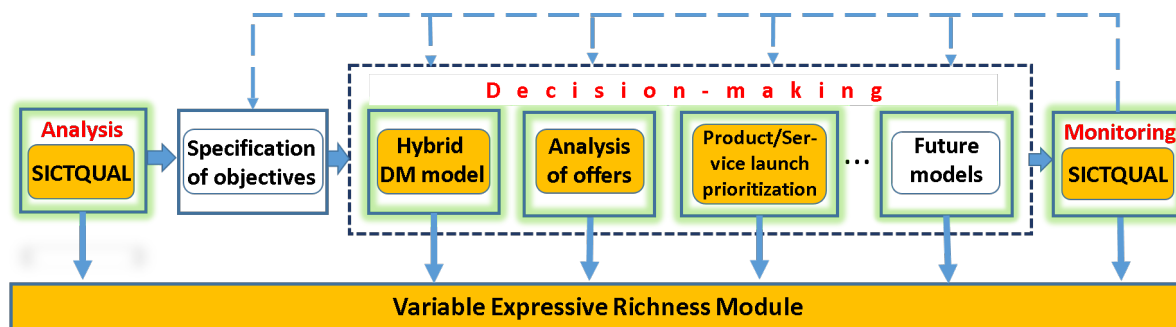


Fig. 4.1 Scheme that integrates the different models proposal in the thesis / Esquema que integra los diferentes modelos propuestos en esta tesis

The presented work proposes, as the main contribution, a new linguistic multi-criteria model called SICTQUAL, which is based on fuzzy logic and designed on a two-dimensional array. The model is founded on a user's perspective approach and aims at unifying the measurement, evaluation and analysis of the service quality in the ICT sector, mainly in developing countries.

This two-dimensional model has as a distinctive feature it provides information on different aspects of the service quality in the main segments into which the ICTs are divided, using a group of 16 elements/indicators that make up the model. It should be noted that, along with the measurement obtained from the above 16 indicators, it provides a measure of consensus for every indicator determining to what extent the respondents agree with the achieved results.

Although the proposal of the SICTQUAL model was initially intended to applied to information obtained from surveys created specifically to exploit this model (*Monitoring* Figure 4.1), one of the most interesting points of the comprehensive solution presented is that it can also take advantage of the historical polls carried out previously, even though they contain *heterogeneous información*, and which is represented as the *Analysis* block in Figure 4.1. This particularity allows comparing the results over time, providing the chance of performing multiple monitorizations and evaluations. This characteristic will result in better grounded decision-making processes, from the use of a methodology that is systematized in time.

As part of the validation process of the SICTQUAL model, we present its application to a case study for a real decision-making scenario in the field of the ICTs in Ecuador, showing each step of the phases in the process of application of the model and some of the intermediate results we obtained. Furthermore, we indicate how the implemented mechanisms are used in order to obtain the final result of the model.

It is important to note that, while developing the SICTQUAL model, we detected other sensitive areas within the strategic processes of decision-making that take place internally in companies within the ICT sector. In this sense, it was deemed appropriate to conduct additional studies that would make contributions to solve problems directly or indirectly affecting the quality of service perceived by users (see the proposed models within the *Decision-making* in Figure 4.1) block, drawn with dash line.

Such is the case of the development of a decision making hybrid model (DMHM), which includes a module for collecting the information expressed by users and which will be decisive for the actions taken by managers. This proposal allows a permanent collection of anonymous opinions given by users by several means (written, oral, using social networks, etc.), thus contributing to a decision counseling when pursuing an improvement in the perceived service quality and, therefore, in business performance.

Other contributions presented in this thesis are focused directly on contractual processes (offer analysis) and strategic planning (product/service launching prioritization). These models, despite having a less direct relationship with the perceived quality, are very important for such perceived quality, since the processes that are carried out in the business areas, either financial, commercial, technical, planning, etc., will affect the perceived quality of company services over time.

A practical example of the above statement is the case of the savings in opportunity costs and the benefits related to the brand image that a company may obtain through the timely launch of their products or services. Also, you can take as an example the implementation of offer analysis processes carried out with the support of expert groups, with the resulting benefits through the acquisition of a suitable infrastructure for providing the corresponding services.

At the end of our research, we determined that it is necessary to develop a new mechanism to express the results that will allow a variable expressive richness (VER), depending on the result you need to communicate. By variable expressive richness we mean the ability to automatically determine the set of linguistic labels which best suit when representing a particular result. While it is true that there are several mechanisms for representing results linguistically, such existing mechanisms do not meet our expressiveness requirements. On the one hand, models based on the extension principle have a calculation mechanism with information loss and, on the other hand, those based on the 2-tuple linguistic representation ensure that there will be no information loss, but they require some expertise for their interpretation.

The need for a new expression mechanism is imposed by the fact that people who this are intended for are just users, so we should provide them with a tool that helps reaching the expressiveness of the results obtained in the varied DM processes so that they can be perfectly understood by such users. For this purpose, we developed an intelligent module called VER (variable expressive richness), with the ability to combine a linguistic hierarchy including several sets containing different numbers of linguistic labels, with the result obtained for a particular process, so that responses are as differentiated as possible for the decision makers. This mechanism significantly reduces the uncertainty when the results are close to each other. It should also be noted that these responses do not contain quantitative information.

We proceeded with the rest of the developed models in the same way as with the model SICTQUAL, i.e. through the validation of their applicability to different case studies in the sector of ICTs. Thus, with the design of all the models proposed, their implementations and their application to specific case studies in the ICT sector of Ecuador, all the objectives, both the

general and the specific ones, formulated in the *Introduction / Introducción* chapter of this thesis report have been achieved.

Below are the specific **conclusions for each of the models** proposed:

- **SICTQUAL: A fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of service in the ICT sector from the user perspective.** From the experience gained in the application of this model in several case studies in the ICT sector, it can be concluded that:
 - SICTQUAL is a tool that provides relevant information on the service quality issue, also providing the user's opinion from an innovative perspective.
 - The model shows, in a practical and specific way, the evaluations corresponding to the various indicators to be taken into account when measuring the quality of service within the ICT segments identified in the model.
 - The application of this model is compatible with decision making in organizations/companies that use it.
 - It is feasible to implement the model both for operators in the ICT sector and regulatory and control bodies.
 - The model can be implemented in many developing countries and, in general, whenever there is a poor quality of ICT services, since it is able to identify areas to be improved.
 - It helps raising public awareness, especially among service providers, by pointing out a number of factors influencing the quality of ICT services.

In view of the above, we can conclude that the presented model has the following benefits:

- Regardless of the number of questions to be analysed, there is always a standard output made up of 16×2 clearly identified elements.
- It allows carrying out an analysis over time (past-present-future) of the ICT services quality from the user's perspective, as well as looking at the evolution of the obtained results.
- It focuses on a segment of the economy which, at the moment, lacks a standard model to evaluate the quality of received services.
- It is flexible in terms of the need of experts to evaluate the information, since it is a system based on computers which does not require any expert physical presence (at the site).
- It allows handling any type of questions with answers expressed through a Likert linguistic scale.
- It provides vendors with valuable information on ICT services, taking into account the user opinion on those services.
- It provides the management bodies with a suitable control function in order to regulate and ensure the quality control of the ICT services offered by the vendors operating in a given country.

- **A hybrid model for decision-making in the ICT sector.** With the development of this work, we have tried to mitigate the limitations of needing experts in the decision-making processes. Thus, the proposed method has the following benefits:
 - Greater democratization of decision-making on key issues that companies need to address, involving experts from all areas of the company, resulting in more coherent solutions.
 - Management of the opinions received in a natural language without information loss, unlike what happens in any translation process. This advantage is due to the application of the computing with words, using a methodology based on fuzzy logic and relying on the linguistic 2-tuple representation model. These operations allow us to work directly with the information provided in a natural language with no information loss.
 - Computerized process, which prevents the manipulation of the information. This implies managing the answers given by customers to a number of questions. These answers make up the opinions that are aggregated and stored in a repository, once they have been automatically processed by the *Intelligent Information System (IIS)*. This mechanism helps managing the answers and avoids biased interpretations that could impact the final solution.
 - It allows a geographic relocation, since experts do not need to be physically present, since it is possible to carry out the process on line. In practice, the help from experts can be quite extensive (global scale) and varied (multidisciplinary), thus enriching the decision-making process.
 - Despite being a computerized system, decision-making responsibilities are not diluted, which could be a problem for organizations. In our model, opinions provided by each expert are recorded at all times, which means that it is possible to know the answers given by each participant to each of the questions.
 - The process is fast and the results are obtained immediately. This has a positive impact in saving both financial and opportunity costs arising from the delay in the decision making.
- **Applying a linguistic multi-criteria decision-making model to the analysis of ICT suppliers' offers.** Below are the main conclusions to be highlighted for this model:
 - Use of weighing based on linguistic labels in order to determine the degree of importance of the areas involved, thus objectively indicating the company area where the hiring process is started.
 - Use of the item called *profile*, specific to each case of application, which enables to determine the minimum required value for considering an alternative as valid.
 - Use of a *reference* value estimated from a similar previous hiring process, in order to determine the suitability of the evaluated offers.

- Increased levels of transparency in control mechanisms within the decision-making processes through the use of two groups of independent experts.
 - Comparison of offers submitted by vendors against a market reference value, which determines the level of suitability of each offer.
 - The chance to assess the results against the profile value and the reference value from a similar process.
- **Prioritization in the launch of ICT products/ services by using a linguistic multi-criteria decision-making model.** Below are the main conclusions of this work:
- Flexible timing framework, adapted to the specific needs of the case study.
 - Conversion of the linguistic labels used during the evaluation of the alternatives into different and more suitable labels in order to determine the ideal timing to launch each evaluated product/service, within the initially set timeline in the corporate strategic plan.
- **Linguistic multi-criteria decision-making model with output variable expressive richness.** It can be concluded that the proposed solution has the following benefits:
- Use of a multilevel linguistic hierarchy containing sets of labels with different granularity levels.
 - Intelligent system which evaluates each alternative based on an optimization model, which automatically detects the most appropriate set of labels to use in each case.
 - It indicates the label subset applied in each case for the expression of the results.
 - Independent from the input type (numerical, linguistic, fuzzy, etc).
 - Compatible with the use of multiple granularities at the input.
 - Applicable to multiple result types (numerical, linguistic, 2-tuple, etc.) generated by diverse MCDM models.
 - Modular and flexible model, which is adaptable to many requirements and problems.
-

Conclusiones

Después de llevar a cabo una revisión del estado del arte de las investigaciones realizadas hasta la fecha relacionadas con la toma de decisiones y enfocadas a la calidad del servicio desde una visión del usuario, se procedió a realizar una conceptualización y segmentación de las TIC lo más cercana posible al usuario. También se han estudiado los modelos de calidad más difundidos y aceptados en el contexto científico, y se han revisado los modelos computacionales más relevantes, así como los métodos cualitativos relacionados con la temática abordada en esta tesis.

Después del estudio realizado, concluimos, por una parte, que los modelos de calidad de servicio existentes se centran en la medición de parámetros de calidad basados en indicadores

que no reflejan totalmente las percepciones (visión) del usuario, sino que son indicadores de tipo cuantitativo enfocados a valorar factores tecnológicos principalmente, y desarrollados generalmente para ser aplicados por los proveedores del servicio.

Por otra parte, se detectó que, dentro del sector de las TIC, no existe un criterio unificado para la medición de la calidad del servicio desde la perspectiva del usuario, sino que cada miembro del sector realiza sus mediciones de manera particular y tomando como criterio de evaluación aquellos que entiende como necesarios. En tal sentido, se ve justificada la necesidad de proponer un modelo que coadyuve a expresar la opinión de los usuarios, a la vez que brinde los elementos necesarios a los proveedores del servicio que permitan mejorar la calidad del servicio prestado.

El diagrama mostrado en la Figura 4.1 en la página 98 esquematiza cómo se integran los diferentes modelos propuestos en esta tesis (elementos coloreados en amarillo) con el propósito de medir y mejorar la calidad de los servicios TIC desde la perspectiva del usuario. Obsérvese que esta figura representa la concreción o adaptación de la Figura 1.1, presentada en la página 5 del Capítulo *Introducción / Introduction*, y que una evolución intermedia se presentó en el capítulo 3 de esta memoria de tesis (véase Figura 3.1 en la página 66).

El trabajo presentado propone como principal aportación un nuevo modelo multi-criterio lingüístico, denominado SICTQUAL, fundamentado en la lógica difusa, y diseñado sobre una matriz bidimensional. El modelo está enfocado desde la perspectiva del usuario y persigue el objetivo de unificar la medición, evaluación y análisis de la calidad del servicio proporcionado en el sector de las TIC, principalmente en países en vías de desarrollo.

Este modelo bidimensional tiene como distintivo particular el poder proporcionar información sobre los diferentes aspectos de calidad de servicio en los principales segmentos en que se dividen las TIC, utilizando para ello un grupo de 16 elementos o indicadores que integran el modelo. Cabe señalar que, paralelamente a la medición que se obtiene de los 16 indicadores mencionados, se obtiene una medida de consenso por cada indicador, que determina en qué grado las personas consultadas coinciden con los resultados alcanzados.

Aunque la propuesta del modelo SICTQUAL se pensó inicialmente para aplicarse a la información obtenida de encuestas creadas específicamente para explotar este modelo (bloque *Monitoring* en la Figura 4.1, página 98), uno de los aspectos más interesante de la solución integral presentada es que la misma puede también aprovechar las encuestas (históricas) realizadas previamente, aunque contengan *información heterogénea*, y que se representa como el bloque *Analysis* en la Figura 4.1. Esta particularidad permite contrastar los resultados en el tiempo, lo que nos brinda múltiples posibilidades de seguimiento y evaluación. Esta cualidad dará como resultado procesos de toma de decisiones mejor fundamentados, como consecuencia de la utilización de una metodología sistematizada en el tiempo.

Como parte de la validación del modelo SICTQUAL, se ha presentado su aplicación a un caso de estudio correspondiente a un escenario real de toma de decisiones en el sector de las TIC en Ecuador, mostrando cada paso de las fases realizadas en el proceso de aplicación del

modelo y algunos de los resultados intermedios obtenidos, además de indicar cómo se utilizan los mecanismos implementados para obtener el resultado final del modelo.

Es importante señalar que, en el transcurso del desarrollo del modelo SICTQUAL, se detectaron otras áreas sensibles dentro de los procesos estratégicos de toma de decisiones que tienen lugar interiormente en las empresas del sector TIC. En ese sentido, se vio oportuno realizar estudios adicionales que permitieran hacer aportaciones para solucionar problemas que afectan de forma directa o indirecta a la calidad del servicio percibido por los usuarios (véanse los modelos propuestos dentro del bloque *Decision Making* delimitado con líneas discontinuas en la Figura 4.1, página 98).

Tal es el caso del desarrollo de un modelo híbrido de toma de decisiones (DMHM), en el cual se incluye un módulo de recolección de información expresada por los usuarios y que será determinante en la acción que asuman los directivos. Esta propuesta permite la recolección permanente de las opiniones anónimas que los usuarios dan por diferentes medios (escrito, oral, utilizando redes sociales, etc.), y de esa manera contribuir a la orientación de las decisiones que persiguen una mejoría en la calidad del servicio percibido y, por ende, de los resultados empresariales.

Otras de las contribuciones presentadas en esta tesis doctoral están enfocadas directamente a los procesos contractuales (Análisis de ofertas) y de planificación estratégica (Priorización en el lanzamiento de productos y servicios). Estos modelos, a pesar de tener una relación menos directa con la calidad percibida, son de gran importancia para la misma, dado que los procesos que se lleven a cabo en las diferentes áreas de las empresas, sean éstos de naturaleza financiera, comercial, técnica, de planificación, etc., repercutirán con el tiempo en la calidad percibida de los servicios prestados por la empresa correspondiente.

Un ejemplo práctico de la afirmación anteriormente indicada es el caso del ahorro en costos de oportunidad y los beneficios derivados en lo relativo a la imagen de marca que puede tener una empresa por el lanzamiento oportuno de sus productos o servicios al mercado. También se puede poner como ejemplo el contar con procesos de análisis de ofertas realizados con el apoyo de grupos de expertos, con el consiguiente beneficio en la adquisición de las infraestructuras más adecuadas para la prestación de los correspondientes servicios.

Al final de nuestras investigaciones, determinamos que era necesario desarrollar un nuevo mecanismo de expresión de los resultados que permitiera una riqueza expresiva variable en función del resultado a comunicar. Con esto nos referimos a la posibilidad de determinar de forma automática el conjunto de etiquetas lingüísticas más apropiado para representar un determinado resultado. Si bien es cierto que existen mecanismos para representar resultados lingüísticamente, los existentes no cumplen con nuestros requisitos de expresividad. Por un lado, los modelos basados en el principio de extensión presentan un mecanismo de cálculo con pérdida de información y, por el otro, los basados en la representación lingüística 2-tuplas aseguran que no exista pérdida de información, pero requiere de conocimiento para su interpretación.

La necesidad de un nuevo mecanismo de expresión viene impuesta por el hecho de que las personas a las que se destinan los modelos aquí presentados son simples usuarios, por lo que se les debe proporcionar una herramienta que facilite la expresividad de los resultados obtenidos en los diferentes procesos de TD, de modo que éstos sean entendidos perfectamente por dichos usuarios. Para ello se desarrollo un módulo inteligente denominado (VER- Variable Expressive Richness), que es capaz de conjugar una jerarquía lingüística formada por varios conjuntos con distinto número de etiquetas lingüísticas con el resultado obtenido para un determinado proceso, de tal forma que las respuestas sean lo más diferenciadas posibles para los tomadores de decisión. Este mecanismo logra disminuir considerablemente la incertidumbre cuando los resultados son cercanos. También se debe señalar que estas respuestas no contienen información de tipo cuantitativa.

Al igual que se hizo con el modelo SICTQUAL, se ha procedido con el resto de los modelos desarrollados, validando su aplicabilidad a diferentes casos de estudio en el sector de las TIC. Así con el diseño de todos los modelos, su implementación y aplicación a casos de estudios específicos en el sector de las TIC en Ecuador, se cumplen todos los objetivo general, como los específicos planteados en el capítulo de introducción de esta tesis.

A continuación se presentan las **conclusiones específicas para cada uno de los modelos** propuestos:

- **SICTQUAL: Un modelo multi-criterio lingüístico difuso para evaluar la calidad de servicio en el sector de las TIC desde la perspectiva del usuario.** De la experiencia obtenida en la aplicación de este modelo en varios casos de estudios en el sector de las TIC, se puede concluir que:
 - SICTQUAL es una herramienta que proporciona información relevante sobre la problemática de la calidad de los servicios, proporcionando también la opinión de los usuarios desde una perspectiva innovadora.
 - El modelo muestra, de una manera práctica y de forma específica, las evaluaciones que corresponden a los diferentes indicadores a tenerse en cuenta cuando se mide la calidad del servicio dentro de los distintos segmentos TIC identificados en el modelo.
 - La aplicación de este modelo es compatible con la toma de decisiones en las organizaciones o empresas que lo utilizan.
 - Es factible implementar el modelo tanto por operadores de servicios en el sector de las TIC como por los órganos de regulación y control.
 - El modelo puede ser implementado en muchos países en vías de desarrollo y, en general, siempre que haya una deficiencia en la calidad de los servicios TIC, ya que es capaz de identificar las áreas a ser mejoradas.
 - Crea conciencia en la sociedad, y especialmente entre los proveedores de servicios, señalando los diferentes factores que intervienen en la calidad de los servicios TIC.

Adicionalmente podemos concluir que el modelo presentado tiene las siguientes ventajas:

- Independientemente de la cantidad de preguntas a ser analizadas, existe siempre una salida estándar formada por 16×2 elementos claramente identificados.
 - Permite llevar a cabo un análisis en el tiempo (pasado-presente-futuro) de la calidad de los servicios TIC desde la perspectiva del usuario, así como observar la evolución de los resultados obtenidos.
 - Se centra en un segmento de la economía que no tiene, de momento, un modelo estándar para evaluar la calidad de los servicios recibidos.
 - Es flexible en términos del uso de expertos necesarios para evaluar la información, ya que es un sistema basado en ordenador que no requiere la presencia física (en el sitio) de expertos.
 - Puede manejar cualquier tipo de preguntas con respuestas expresadas mediante una escala de Likert lingüística.
 - Proporciona información valiosa para los proveedores de servicios TIC, teniendo en cuenta la opinión de los usuarios sobre esos servicios.
 - Proporciona una adecuada función de control a los órganos de gobierno que deben regular y garantizar el control de la calidad de los servicios TIC ofrecidos por los diferentes proveedores que operan en un país.
- **Modelo híbrido para la toma de decisiones en el sector de las TIC.** Con el desarrollo de este trabajo, hemos intentado mitigar los efectos de las limitaciones existentes al usar a expertos en los procesos de toma de decisiones. Así, el método propuesto presenta las siguientes ventajas:
- Mayor democratización de la toma de decisiones en relación con temas y problemas clave que las empresas deben abordar, al implicar a expertos de todas las áreas de la empresa, traduciéndose en soluciones más coherentes.
 - Manejo de las opiniones recibidas en lenguaje natural sin pérdida de información, a diferencia de lo que ocurre en cualquier proceso de traducción. Esta ventaja se debe a la aplicación de la computación con palabras, utilizando una metodología basada en la lógica difusa y apoyada en el modelo lingüístico de representación 2-tupla. Estas operaciones nos permiten trabajar directamente con la información proporcionada en lenguaje natural sin pérdida de información.
 - Proceso computarizado, que evita la manipulación de la información. Esto implica la gestión de las respuestas dadas por los clientes a diferentes preguntas. Estas respuestas conforman las opiniones que se almacenan de manera agregada en un repositorio, después de haber sido procesada automáticamente por el *Sistema Inteligente de Información (IIS)*. Este mecanismo facilita la gestión de las respuestas y evita interpretaciones sesgadas que podrían influir en la solución final.

- Permite la deslocalización geográfica, lo que significa que los expertos no tienen que encontrarse en el mismo lugar, ya que es posible llevar a cabo el proceso en línea. En la práctica, el uso de expertos puede ser bastante extenso (escala global) y variado (multidisciplinario), lo que enriquece el proceso de toma de decisiones.
 - A pesar de ser un sistema computarizado, no se diluyen las responsabilidades en la toma de decisiones, lo que a veces es un problema para las organizaciones. En nuestro modelo, los procesos y opiniones proporcionadas por cada experto se registran en todo momento, lo que significa que es posible conocer las respuestas dadas por cada participante en relación con las preguntas planteadas.
 - El proceso es rápido y los resultados se obtienen inmediatamente. Esto tiene repercusiones positivas en ahorro tanto de costos financieros como de oportunidad derivados del retraso en la toma de decisiones.
- **Aplicación de un modelo multi-criterio lingüístico de toma de decisiones al análisis de ofertas de proveedores TIC.** Como principales conclusiones particulares de este modelo podemos destacar las siguientes:
- Uso de pesos basado en etiquetas lingüísticas para determinar el grado de importancia de las áreas involucradas, indicándose objetivamente el área de la empresa que inicia la contratación del proceso.
 - Uso del elemento denominado *perfil*, específico para cada caso de aplicación, que permite determinar el valor mínimo necesario para considerar una alternativa evaluada como válida.
 - Uso de un *valor referencial*, extraído de un proceso de contratación similar previo, para determinar la bondad de las ofertas evaluadas.
 - Aumento de los niveles de transparencia de los mecanismos de control en los procesos de toma de decisiones, mediante el uso de dos grupos de expertos independientes.
 - Comparación de las ofertas presentadas por los proveedores con los elementos adicionales introducidos (*perfil, referencia*), lo que permite comparar a los diferentes proveedores.
 - Posibilidad de evaluar los resultados del proceso versus el valor del perfil y la referencia establecida de un proceso similar para realizar seguimiento al comportamiento del mercado.
- **Priorización en el lanzamiento de productos/servicios en las TIC utilizando un modelo de toma de decisiones multi-criterio lingüístico.** A continuación se presentan las principales conclusiones de este trabajo:
- Marco temporal flexible, adaptado a las necesidades específicas del caso de estudio.
 - Conversión de las etiquetas lingüísticas utilizadas durante la evaluación de las alternativas a etiquetas diferentes y más apropiadas, para determinar el momento

ideal para lanzar cada producto o servicio evaluado, dentro de la escala de tiempo inicialmente establecida en la planificación estratégica corporativa.

- **Modelo de toma de decisiones multi-criterio lingüístico con riqueza expresiva variable en la salida.** Se puede concluir que la solución propuesta presenta las siguientes ventajas:
 - Uso de una jerarquía lingüística multinivel conformada por conjuntos de etiquetas con diferente granularidad.
 - Sistema inteligente que evalúa cada alternativa basada en un modelo de optimización, que detecta automáticamente el conjunto de etiquetas más adecuado a usar en cada caso.
 - Indica el subconjunto de etiquetas aplicado en cada caso para la expresión de los resultados.
 - Independiente del tipo de entrada (numérica, lingüística, difusos, etc).
 - Compatible con el uso de granularidad múltiple en la entrada.
 - Aplicable a múltiples tipos de resultados (numérico, lingüístico, 2-tupla, etc.) generados por diferentes modelos de TDMC.
 - Modelo modular y flexible, adaptable a diferentes requisitos y problemas de TD.
-

4.2. Future work / Trabajo futuro

As you may have perceived when reading this doctoral thesis report, while the central point is the quality of service perceived by the ICT sector users, we provide a series of additional contributions that make up a whole set of DM models. According to our experience, the time given and mainly the set objectives, these are the DM models we were able to develop in the given time period for making this thesis.

Below are some possible future lines of reearch which have been raised during the development of the proposed models:

- **SICTQUAL: A fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of service in the ICT sector from the user perspective.**
 - *Creation of a specific survey form for the SICTQUAL model.* In the work carried out the input used for the application of the SICTQUAL model was the (historical) data obtained from the surveys previously conducted among service users, for which we had to identify the questions that best fit the SICTQUAL indicators. However, we propose the creation, optimization and validation of a survey model answering to each of the 16 items it contains for assessing the dimensions of the service quality

and the segments identified in the ICT sector. Based on the tool we developed, companies can reproduce the scenarios, reach a more efficient decision making, and even re-thinking the role that experts play in them.

- *Development of new quality models which can be applied to other areas of interest within the ICT sector.* Taking into account the experience gained and the requirements detected within the ICT sector, we propose the development of new models to be applied in the decision-making processes within the ICT sector, either in the technical, legal or commercial areas.
 - *Studies of existing correlations between investments and the quality of service perceived by users.* Another area of interest which requires our time and effort is the area related to investments. Due to the susceptibility it implies, it requires the involvement of government authorities, since they should enable access to the detailed information regarding the investments in the ICT sector, and thus be able to correlate this information with the one collected by the SICTQUAL model indicators we are presenting.
 - *Validation of information.* Since there are some fuzzy set extensions, such as the hesitant and intuitionistic fuzzy sets, an interesting future research line would be using such extensions instead of regular fuzzy sets in the SICTQUAL model. In this way, we will be able to check if there are significant differences in the results obtained with the models based on the above extended fuzzy sets as compared to those obtained with the SICTQUAL model we are presenting.
- **A hybrid model for decision-making in the ICT sector.**
- *Extend the proposed model to other areas of the ICT sector.* As an extension of this research, we propose implement our proposal to other areas connected with the ICT sector, such as the software development area (mobile applications, programs, etc.). Furthermore, since the IIS (Intelligent Information System) developed in this model is a modular system, we intend to improve its analytical capacity, through the refining of its modules as well as adding new modules, providing the model with higher levels of robustness and flexibility.
 - *Ontological approach.* Another interesting research line for the future would be an ontological approach to support the computing with words (CW), in order to enrich the aspects related to the analysis of the opinions expressed in natural language and extract semantic annotations to be used in the CW and even using (fuzzy) ontologies to support the decision-making process through the descriptive logical reasoning.
 - *Integration of information from social media.* Another interesting research line would be the integration of the relevant information expressed in the social media into our hybrid model, in order to collect the user's concerns and requirements with regard to a particular product or service.

- **Applying a linguistic multi-criteria decision-making model to the analysis of ICT suppliers' offers.**
 - We consider the possibility of applying this model on an experimental basis to other economic areas where the decision-making process linked to the analysis of the contractual offers include deficiencies which affect the economic performance of the involved companies.
 - **Prioritization in the launch of ICT products/ services by using a linguistic multi-criteria decision-making model.**
 - Applying the LMCDM model to other economic sectors, in particular, to companies/ organizations that need to prioritize their goals/projects for a certain period of time, according to their strategic plan.
 - **Linguistic multi-Criteria decision-making model with output variable expressive richness.**
 - An interesting research line would be to extrapolate the VER output module to fuzzy models with different membership functions, as well as to models with multi-granular input.
-

Trabajo futuro

Como se puede haber percibido de la lectura de esta memoria de tesis doctoral, a pesar de que el punto central de la misma gira alrededor de la calidad de servicio percibida por los usuarios del sector de las TIC, se han realizado una serie de aportaciones adicionales que conforman todo un conjunto de modelos de TD. Estos son los que, de acuerdo a la experiencia, al tiempo y, sobre todo, a los objetivos trazados, fuimos capaces de desarrollar en el periodo de tiempo en que se ha realizado esta tesis.

A continuación se presentan algunas posibles líneas futuras de investigación que han sido pensadas durante el desarrollo de cada uno de los modelos propuestos:

- **SICTQUAL: Un modelo multi-criterio lingüístico difuso para evaluar la calidad de servicio en el sector de las TIC desde la perspectiva de los usuarios.**
 - *Creación de un formulario de encuesta específica para el modelo SICTQUAL.* En el trabajo llevado a cabo, el insumo utilizado para la aplicación del modelo SICTQUAL ha sido la información (histórica) resultante de encuestas previamente realizadas a usuarios del servicio, para lo cual ha sido necesario identificar las preguntas que mejor se ajustan a los indicadores SICTQUAL. Sin embargo, se propone la creación, optimización y validación de una encuesta propia del modelo que responda

a cada uno de los 16 elementos que la conforman y que evalúan las diferentes dimensiones de calidad de servicio y segmentos identificados en las TIC. Basados en la herramienta desarrollada, las empresas pueden recrear escenarios y hacer más eficiente la toma de decisiones, incluso replantearse el papel que en ellas juegan los expertos.

- *Desarrollo de nuevos modelos de calidad aplicados a otras áreas de interés dentro de las TIC.* Tomando en cuenta la experiencia acumulada y los requisitos detectados en el sector de las TIC, se propone el desarrollo de nuevos modelos a ser aplicados en la toma de decisiones en el sector de las TIC, ya sea ligados a las áreas técnicas, jurídicas o comerciales.
- *Estudios de correlaciones existentes entre las inversiones realizadas y la calidad del servicio percibida por los usuarios.* Otra área de interés y que requiere dedicar nuestro tiempo y esfuerzo es la relacionada con las inversiones. Por lo susceptible de la misma, requiere el involucramiento de las autoridades de gobierno, de modo que permitan el acceso a la información detallada respecto a inversiones realizadas en el sector TIC, y así poder correlacionar esta información con la recogida por los indicadores del modelo SICTQUAL aquí presentado.
- *Validación de información.* Como existen algunas extensiones de los conjuntos difusos, tales como los conjuntos difusos vacilantes e intuicionistas, una interesante línea de investigación futura sería aplicar tales extensiones, en lugar de los conjuntos difusos ordinarios, al modelo SICTQUAL. De esta forma, podremos comprobar si existen diferencias significativas en los resultados obtenidos con los modelos basados en los mencionados conjuntos difusos extendidos con respecto a los obtenidos con el modelo SICTQUAL que aquí se ha presentado.

■ **Modelo híbrido para la toma de decisiones en el sector de las TIC.**

- *Extender el modelo planteado a otras áreas del sector de las TIC.* Como una extensión de esta investigación, hemos planteado aplicar nuestra propuesta a otras áreas que están conectadas con el sector de las TIC, tales como la del desarrollo de software (aplicaciones para móviles, programas informáticos, etc.).
- *Mejora de la capacidad analítica del IIS (Intelligent Information System).* Como se muestra en el modelo, el IIS presenta una configuración modular, se propone refinar sus módulos, así como añadir nuevos módulos de ser necesario, que proporcionen mayores niveles de robustez y flexibilidad.
- *Enfoque ontológico.* Por otra parte, otra interesante línea a explorar en el futuro sería el enfoque ontológico para apoyar sistemas de computación con palabras, con el fin de enriquecer los aspectos relacionados con el análisis de las opiniones expresadas en lenguaje natural y extraer las anotaciones semánticas para ser utilizado en la CW

e incluso utilizar ontologías (fuzzy) para apoyar la toma de decisiones a través del razonamiento lógico descriptivo.

- *Integración de información de redes sociales.* Otra línea interesante de investigación sería la integración de la información relevante expresada en las redes sociales a nuestro modelo híbrido, a fin de recoger las inquietudes y requisitos de los usuarios con respecto a un determinado producto o servicio.
- **Aplicación de un modelo multi-criterio lingüístico de toma de decisiones para análisis de ofertas de proveedores en las TIC.**
 - Consideramos la posibilidad de aplicar de forma experimental este modelo a otras áreas económicas donde el proceso de toma de decisiones relacionadas con el análisis de las ofertas contractuales incluyan deficiencias que influyan en los resultados económicos de las empresas involucradas.
- **Priorización en el lanzamiento de productos/servicios en las TIC utilizando un modelo de toma de decisiones multi-criterio lingüístico.**
 - Aplicar el modelo de TDMCL a otros sectores económicos, en particular, a las empresas u organizaciones que necesiten priorizar metas o proyectos durante un determinado período de tiempo, establecido en su planificación estratégica.
- **Modelo de toma de decisiones multi-criterio lingüístico con riqueza expresiva variable en la salida.**
 - Una interesante línea de investigación sería extrapolar el módulo de salida VER a modelos difusos con diferentes funciones de membresía, así como a modelos con entrada multi-granular.

Part II

Published and Submitted Papers

En esta segunda parte, se presentan las diferentes publicaciones que se han realizado durante el periodo de investigación de esta tesis doctoral. Cabe señalar que los diferentes tópicos que aquí se presentan han sido los que el autor en conjunto con sus directores de tesis han entendido necesarios a fin de que se concrete una propuesta completa que abarque los elementos esenciales de un proceso de análisis de la calidad del servicio. Los artículos se presentan en el orden secuencial en que fueron percibidos de manera de complementar las necesidades que se fueron dislumbnando a medida que se fue desarrollando el proceso investigativo persiguiendo el objetivo de facilitar la manera más óptima de dar lectura a este documento.

El orden en que son presentados los trabajos en esta segunda parte es:

1. SICTQUAL: A fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of service in the ICT sector from the user perspective
2. A hybrid model for decision-making in the Information and Communications Technology sector
3. Applying a linguistic multi-criteria decision-making model to the analysis of ICT suppliers' offers
4. Prioritization in the launch of ICT products/services by using a linguistic multi-criteria decision-making model
5. Linguistic Multi-Criteria Decision-Making Model with Output Variable Expressive Richness

1 SICTQUAL: A fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of service in the ICT sector from the user perspective

The screenshot shows the ScienceDirect interface. At the top, there is a green header with the ScienceDirect logo and navigation links for 'Journals' and 'Books'. Below the header, there are options to 'Download PDF' (with a PDF icon), 'Export', a search bar labeled 'Search ScienceDirect', and an 'Advanced search' button. The main content area features the journal title 'Applied Soft Computing', the volume information 'Volume 37, December 2015, Pages 897–910', and the Elsevier logo. The article title is prominently displayed, followed by the authors' names: Andrés Cid-López^a, Miguel J. Hornos^a, Ramón Alberto Carrasco^b, and Enrique Herrera-Viedma^{a, d}. A 'Show more' link is provided. The DOI is 10.1016/j.asoc.2015.09.019, and there is a 'Get rights and content' link. A 'Highlights' section contains five bullet points summarizing the article's key contributions.

ScienceDirect Journals Books

Download PDF Export Search ScienceDirect Advanced search

Applied Soft Computing
Volume 37, December 2015, Pages 897–910

ELSEVIER

SICTQUAL: A fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of service in the ICT sector from the user perspective

Andrés Cid-López^a, Miguel J. Hornos^a, Ramón Alberto Carrasco^b, Enrique Herrera-Viedma^{a, d}

Show more

doi:10.1016/j.asoc.2015.09.019 Get rights and content

Highlights

- Measuring the quality of service in the ICT sector from a user perspective is pivotal.
- A two-dimensional model to do that is proposed.
- The two dimensions are ICT segments and SERVQUAL items.
- The model is validated by applying it to a real case study in Ecuador's ICT sector.
- The main advantages of applying this model are presented.

Quality evidence of the journal where the article was published #1

Status:	Published
Journal Name:	Applied Soft Computing
Impact Factor:	(JCR Science 2015) : 2.857
5-Year Impact Factor:	3.288
Subject Category:	Computer Science, Artificial Intelligence
Ranking:	21 / 130 (Q1)

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494615005918>

SICTQUAL: A fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of service in the ICT sector from the user perspective

Andrés Cid-López ^{a*}, Miguel J. Hornos ^{a*}, Ramón Alberto Carrasco ^b, Enrique Herrera-Viedma ^{c,d}

^a Department of Software Engineering, University of Granada, Granada 18071, Spain

^b Department of Marketing and Market Research, Complutense University of Madrid, Madrid 28015, Spain

^c Department of Computer Science and Artificial Intelligence, University of Granada, Granada 18071, Spain

^d Department of Electrical and Computer Engineering, King Abdulaziz University, Jeddah 21589, Saudi Arabia

A B S T R A C T

The Information and Communication Technologies (ICTs) play an important role in the economic development, making it necessary to assess the quality of service perceived by consumers in this sector. The most effective quality assessment from the consumer perspective is still to be researched, yet the most common approach is oriented towards quantitative indicators. This study proposes to use a two-dimensional model that combines the widely accepted segmentation of ICTs with elements from the SERVQUAL quality model. This model, useful in multi-criteria decision-making situations, has been developed using the 2-tuple linguistic representation and fuzzy logic principles. This methodology prevents data loss during processing and provides relevant information through 16 indicators related to the quality of service. Besides, an expert-based mechanism is defined for the use of historical information extracted from completed surveys. As a practical case, this mechanism is applied to the historical information of a telecommunications company for assessing the quality of the service provided to its customers.

Keywords:

Segmentation of ICTs
Linguistic multi-criteria decision-making
SERVQUAL
Quality of service
2-tuple representation model

1. Introduction

ICTs have become a crucial part of economy [1–3]. This is something that many developing countries have assumed, as for instance Ecuador, where important investments have been made in the recent years for the development of ICTs, according to the Andean Development Corporation (CAF¹), the Ecuadorian Ministry of Telecommunications and Information Society (MINTEL²) and the Coordination Ministry of Ecuador's Strategic Sectors (MICOSE³). These investments are mainly directed to areas related to infrastructure, human capital, digital public services, digital economy and innovation.

Due to this, it is necessary to assess both the current situation of ICT development and their evolution in time, in order to check the effectiveness of the measures and plans adopted so far. In this sense, both state entities and companies in the sector have a large amount of information at their disposal, from which significant knowledge can be obtained [4,5]. The surveys conducted regularly are one of the tools available for collecting information over time, in order to know the perceived quality of ICTs among the population. This type of studies meets specific needs of the moment and the people conducting it, their composition being the result of specific and heterogeneous requirements (widely varying from one case to another). These features make their integration complicated due to the varied nature of the information collected and its evolution in time.

The mostly used research methodology for assessing quality of service from the perspective of users' perception is called SERVQUAL, which consists of five basic indicators: tangibility, reliability, responsiveness, assurance and empathy. On the basis of this methodology, several quality assessment mechanisms have been developed and obtained good acceptance levels in different sectors: education [6], banking [7,8], telecommunications [9], health care [10,11], public services [12,13], professional services [14], retail

* Corresponding authors. Tel.: +34 958 24 88 22.

E-mail addresses: andrescid@ugr.es (A. Cid-López), mhornos@ugr.es (M.J. Hornos), ramoncar@ucm.es (R.A. Carrasco), viedma@decsai.ugr.es (E. Herrera-Viedma).

¹ http://publicaciones.caf.com/media/39689/cartilla_ecuador.pdf.

² <http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELERA/MINTEL-TIC%20para%20el%20Desarrollo.pdf>.

³ http://issuu.com/sectoresestrategicos/docs/informe_de_rendicio...n.de.cuenta.

[15], transport and delivery [16], finance [17], tourism and hotels [18], digital libraries [19], web services [20] and military and medical air transport [21].

There has been a shy attempt in the ICT sector to define an assessment standard for the quality of service based on SERVQUAL. Some of these studies in ICT sectors refer to: information technology [22,23], mobile services [24], retail banking [25] and telephone users [26], among others. However, there was limited and partial assessment in all of them, and therefore it was not possible to use them for assessing perceived quality of ICTs in a given country.

Given this framework, the first purpose of this paper is to define an assessment standard for the quality of service in the ICT sector, mainly based on the principles of the SERVQUAL methodology, which we called SICTQUAL. Although SERVQUAL indicators can be used to assess the quality of ICT services, the term ICT is too broad (hardware, protocols, contents, software, training, business, etc.), making it necessary to use an additional subscale which allows segmentation of the different areas integrating ICTs and which is widely accepted. Besides, an additional indicator would be added to the original SERVQUAL indicators, called *Overall Satisfaction Index* (OSI), as several authors have already done [27–29]. SICTQUAL will therefore be a two-dimensional model integrated mainly by the SERVQUAL assessment indicators (including the new OSI indicator) and a widely accepted segmentation of ICTs.

The second purpose of this paper is related with the use of information from previously completed surveys that include aspects concerning one or more SERVQUAL indicators, as well as the use of different ICT segments: the definition of a model which converts the different existing surveys about the quality of ICT services to the new SICTQUAL model proposed. The starting point for achieving this purpose is the assessment made by different ICT experts, in order to associate each survey item from the original surveys with each of the SICTQUAL indicators (ICT segments and SERVQUAL assessment elements). Possibly, one item from the original surveys (expressed in natural language) is related to more than one SICTQUAL element and has different relationships with each of them. Given this uncertain overview, it is considered that expressing this relationship linguistically would largely facilitate experts' work, thanks to the closeness of linguistic information to the human cognitive model. In these cases, the fuzzy linguistic approach allows successful modelling of the linguistic knowledge [30]. In this context, the processing of the linguistic labels was successfully performed through both computing with words and 2-tuple representation models [31,32], which allow working with these expressions under certain premises and prevent information loss.

Therefore, the model to achieve our second purpose could be defined as a Linguistic Multi-Criteria Decision-making (LMCDM) model. Decision-making is a common process in many activities. In this particular case, decisions are made on the basis of uncertain knowledge or personal perceptions. The LMCDM model would collect expert opinions (inputs) using the linguistic format and it would also linguistically express – through 2-tuple representation – how each item from the original surveys is related to each of the SICTQUAL indicators (outputs). This conversion would be subject to the compliance of a consensus previously established by the experts.

As a result of this first LMCDM model, we obtain a value represented in linguistic 2-tuple for each item (question) of the input surveys, relating the item with the SICTQUAL scale. The use of this information opens a second LMCDM process which calculates, based on the respondents' answers to each item of the original survey, a final questionnaire expressed in SICTQUAL.

The proposed model was applied in Ecuador to surveys about the quality of ICT services, answered by users of the public company

Corporación Nacional de Telecomunicaciones (National Telecommunications Corporation), which has the greatest market share in landline telephony and broadband Internet access. The possibility to integrate the information from different opinion surveys conducted by this company is very helpful for checking the validity of the information to be analysed and it allows having additional information that has not been taken into account. This also means time and money saving, since other studies conducted in the past might contain relevant and useful information for new analyses or studies the company needs.

The rest of the article is structured as follows: Section 2 presents a review of the preliminary concepts used for explaining the elements involved in the model, such as linguistic variables and 2-tuple representation, the LMCDM model and the SERVQUAL model. Section 3 describes the functioning of the SICTQUAL model, while Section 4 explains the underlying calculation model and its application to cases involving historical information (extracted from completed surveys). Section 5 displays a case study where the presented model is applied. Finally, Section 6 puts forward the conclusions and future work.

2. Preliminary concepts

This section introduces the concepts and foundations on which the proposed model is based. Hence, Section 2.1 deals with linguistic variables and their representation. Section 2.2 presents an approach of the fuzzy linguistic model based on 2-tuple representation. Section 2.3 deals with linguistic multi-criteria decision-making, while Section 2.4 introduces the consensus measuring. Finally, Section 2.5 presents the quality of service assessment model SERVQUAL.

2.1. Linguistic variables and their representation

Linguistic variables [30] are variables with values expressed in natural language – words or sentences – instead of numbers. The values of the linguistic variables are called linguistic labels.

Definition 1. A linguistic variable is determined by a quintuple $(H, T(H), U, G, M)$, where:

- H is the name of the variable.
- $T(H)$ symbolises the set of linguistic labels related to H .
- U is the universe of discourse of the variable.
- G is the syntactic rule to generate $T(H)$ values. The linguistic terms are often directly provided, distributed on a scale with a relation of total order.
- M is the semantic rule that relates each linguistic label X of $T(H)$ to its meaning $M(X)$, where $M(X)$ is a diffuse subset of U .

The focus in this paper is set on the use of linguistic information for modelling users' perceptions about the ICT services provided, according to their answers to a set of questions or statements. The most frequently used scale is Likert's [33], consisting of a set of linguistic qualifiers with an equal number of positive and negative values and a central neutral value related to the statement asked. This scale will also be used in the system proposed in this article, for the assessments of the ICT experts involved in the process.

According to different authors [34–37], linguistic variables are an appropriate mechanism for modelling this type of Likert scales, since they have the ability to express the uncertainty typical of the linguistic terms integrating the scale. Therefore, using linguistic variables we can achieve a much more accurate modelling of the information concerned than we would with conventional numerical variables.

The next step would be to define the linguistic variables that model the perceptions expressed through the Likert scale. The granularity of the set of labels and the labels themselves will be determined by the specific qualifiers used in the definition of the Likert scale. Besides, the appropriate semantic will have to be provided to each linguistic label. Certain authors [38–40] have addressed the issue considering that this semantics can be described with triangular linear functions, as they model quite well the implicit uncertainty of each term of the scale.

Below, the definition of a variable that models a 5-Likert scale, respecting its implicit philosophy, meaning that all the labels are equally informative, there is a central label associated to the neutral term, and the rest of labels are symmetrically distributed around it.

Example of definition of a linguistic variable called *5-Likert Scale*:

- $H = 5$ -Likert Scale.
- $T(H) = S$, where $S = \{s_0, \dots, s_T\}$, $T = 4$.
- $U = [0, 1]$.
- $G = S$, according to the order relation $s_i < s_j \Leftrightarrow i < j$, where $i, j \in \{0, \dots, T\}$.
- M : the semantic meaning of every label will be determined by a triangular linear function assigning a 3-tuple (a, b, c) to each label, where b is the central point with a membership value of 1, while a and c are the left and right ends of the triangular function which defines the domain of the label concerned. For instance: $s_0 = (0, 0, 0.250)$; $s_1 = (0, 0.250, 0.500)$; $s_2 = (0.250, 0.500, 0.750)$; $s_3 = (0.500, 0.750, 1.000)$; $s_4 = (0.750, 1.000, 1.000)$, as shown in Fig. 1.

This general definition could be used for any question in a questionnaire based on the 5-Likert scale, by simply defining a new H variable with the same characteristics mentioned above and with the appropriate labels or terms included in S . For instance, for a question in a survey about the quality of service a given organisation provided to a user, the definition of the corresponding linguistic variable could be the following: $H = \text{Level of agreement with the service provided}$, and one possible set of labels would be: $s_0 = \text{Strongly Disagree (SD)}$, $s_1 = \text{Disagree (D)}$, $s_2 = \text{Neutral (N)}$, $s_3 = \text{Agree (A)}$, and $s_4 = \text{Strongly Agree (SA)}$.

2.2. Fuzzy linguistic model: the 2-tuple based approach

The fuzzy linguistic approach developed by Zadeh [41,42] is a tool designed to model problems with qualitative information. It is based on the concept of linguistic variable and has been successfully used in many domains, including decision-making problems, recommendation systems and quality of service, among others. Examples of application of this model in different domains can be found in [18,39,43–50], among others.

The approach of the fuzzy linguistic modelling used in the proposed model will be addressed in this section, that is, the 2-tuple fuzzy linguistic approach described by Herrera and Martínez [51], with a quite broad application. The 2-tuple model requires the linguistic variables used in it to be integrated by equally informative labels, with triangular representation, and symmetrically distributed around the central label. As explained in the previous section, the scales used in this paper can be represented with linguistic variables defined according to these requirements, which allows the 2-tuple processing. The great advantage of using this 2-tuple model lies in the fact that it performs the processes of *computing with words* without information loss, unlike other fuzzy linguistic approaches such as the classical one [52], or the ordinal one [53]. This model is more formally outlined hereafter:

Let $S = \{s_0, \dots, s_T\}$ be a set of linguistic terms established with odd cardinality, where the mid value represents an indifference

value and the rest of terms are symmetric in respect of this mid value, where the semantic of the labels is assumed to be obtained through triangular membership functions. Besides, all the terms are considered to be distributed on a scale with the defined order $s_i < s_j \Leftrightarrow i < j$. In this context, if $b \in [0, T]$, where $b \notin \{0, \dots, T\}$ is the result of the aggregation of a set of linguistic labels, the ordinal or symbolic fuzzy linguistic approach [53] applies a rounding function to obtain a label s_i (from the existing labels in the S set) as a result of the aggregation. The application of the rounding entails a loss of information. The 2-tuple approach considers a representation with a couple of values (s_i, α) , that is, the label s_i and a second parameter $\alpha \in [-0.5, 0.5)$, which prevents information loss and is called *symbolic translation*. It needs to be mentioned that (s_i, α) is equivalent to s_i when the symbolic translation is 0, so $\alpha = 0$.

Definition 2. According to Herrera and Martínez [51]:

Let $S = \{s_1, \dots, s_T\}$ be a set of linguistic terms and $b \in [0, T]$ the resulting value of the symbolic aggregation operation, then the 2-tuple representation expressing the information equivalent to b is obtained with the following function:

$$\Delta : [0, T] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5) \quad (1)$$

$$\Delta(b) = (s_i, \alpha), \quad \text{with} \begin{cases} i = \text{round}(b) \\ \alpha = b - i \end{cases} \quad (2)$$

where $\text{round}(\cdot)$ is the rounding operator, s_i is the closest index label to b , and α is the value of the symbolic translation.

It needs to be noted that Δ is bijective. Thus, $\Delta^{-1} : S \times [-0.5, 0.5) \rightarrow [0, T]$ is defined by:

$$\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha = b \quad (3)$$

Example: Let $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4\}$ be a set of linguistic terms and $b = 1.9$ the result of the symbolic aggregation operation. The 2-tuple expressing the information equivalent to b is $\Delta(b) = \Delta(1.9) = (s_2, -0.1)$, since $\text{round}(b) = 2$ and $b - i = -0.1$.

The computational model is defined through the introduction of the following operators:

1. Comparison of 2-tuples: based on a lexicographic order. Let (s_k, α_1) and (s_l, α_2) be 2-tuples:
 - If $k < l$, then $(s_k, \alpha_1) < (s_l, \alpha_2)$.
 - If $k = l$, then:
 1. If $\alpha_1 = \alpha_2$, then $(s_k, \alpha_1) = (s_l, \alpha_2)$ and represent the same information
 2. If $\alpha_1 < \alpha_2$, then $(s_k, \alpha_1) < (s_l, \alpha_2)$
 3. If $\alpha_1 > \alpha_2$, then $(s_k, \alpha_1) > (s_l, \alpha_2)$

2. Negation:

$$\text{Neg}((s_i, \alpha)) = \Delta(T - (\Delta^{-1}(s_i, \alpha))) \quad (4)$$

where $T + 1$ is the cardinality of S , since $S = \{s_0, \dots, s_T\}$.

3. Aggregation: Using the functions Δ and Δ^{-1} , which transform numerical values into linguistic 2-tuples and vice versa without information loss, it is possible to use any existing aggregation operator. Herrera and Martínez [31] establish in their study several definitions of aggregation operators.

2.3. Linguistic multi-criteria decision-making

Decision-making is a complex process and one of the basic activities of human beings. We are constantly confronted with situations where we have to choose one or more option(s) – the best one(s) – from among different alternatives, by assessing a series of criteria. In a linguistic multi-criteria decision-making (LMCDM) model [54], the objective is to find the best alternative(s) from among a set of *alternatives* = $\{\text{alternative}_1, \dots, \text{alternative}_m\}$, based on the linguistic assessments provided by an expert group.

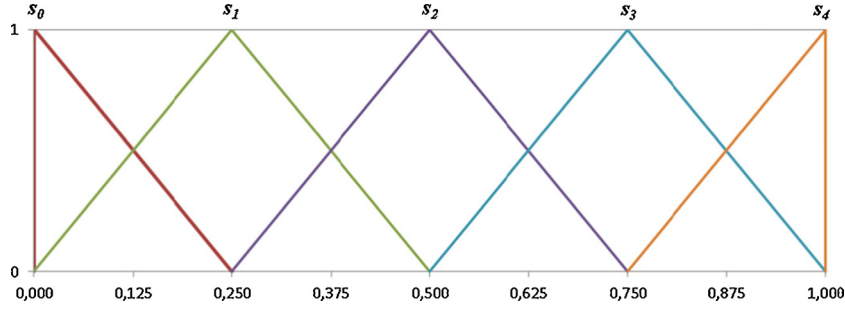


Fig. 1. Example of triangular linguistic labels.

In these cases, the experts formulate criteria that are gathered in the set of $criteria = \{criterion_1, \dots, criterion_n\}$. It is also frequently assumed that the importance of the assessments is determined by different $weights = \{weight_1, \dots, weight_n\}$, also linguistically expressed. Assessments are stored in the set $assessments = \{assessment_{ij}\}, \forall i \in \{1, \dots, m\}, \forall j \in \{1, \dots, n\}$.

As mentioned previously, the perceptions used in our model belong to respondents to the survey and ICT experts, expressed on a Likert scale using the linguistic representation mentioned in Definition 1. Besides, and in view of achieving higher accuracy of the model to be built, all this information is considered to be represented with the 2-tuple model. It must be noted that a label with the $s_i \in S$ value can be represented in the 2-tuple model through the expression $(s_i, 0)$, that is to say, with a symbolic translation equal to zero.

Therefore, the LMCDM model used in this study could be formalised through the $LMCDM_{2t}$ function:

$$\begin{array}{l}
 LMCDM_{2t} : \\
 \begin{array}{c}
 criterion_1 \quad \dots \quad criterion_n \\
 weight_1 \quad \dots \quad weight_n \\
 \\
 alternative_1 \left[\begin{array}{ccc} assessment_{11} & \dots & assessment_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ assessment_{1m} & \dots & assessment_{nm} \end{array} \right] \\
 \vdots \\
 alternative_m \left[\begin{array}{ccc} assessment_{11} & \dots & assessment_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ assessment_{1m} & \dots & assessment_{nm} \end{array} \right]
 \end{array} \quad (5) \\
 \\
 \rightarrow \begin{array}{c}
 alternative_1 \left[\begin{array}{cc} collective_preference_1 & , \quad consensus_value_1 \\ \vdots & \vdots \\ collective_preference_m & , \quad consensus_value_m \end{array} \right] \\
 \vdots \\
 alternative_m \left[\begin{array}{cc} collective_preference_m & , \quad consensus_value_m \end{array} \right]
 \end{array}
 \end{array}$$

The different phases of this decision-making process are the classical ones for this type of problem (aggregation and exploitation), with the following characteristics of the model to be implemented:

Aggregation phase: The experts' preferences, that is to say, the elements of the $assessment$ set, are combined based on the weights expressed in the $weights$ set through the appropriate aggregation operator, thus obtaining the set $collective_preferences = \{collective_preference_1, \dots, collective_preference_m\}$ with the collective preference value for every alternative included in the $alternatives$ set. It is necessary in this type of problems that the aggregation is performed with a sufficient level of consensus among the experts (criteria accepted by them), by expressing these values in the set $consensus_values = \{consensus_value_1, \dots, consensus_value_m\}$.

Both the collective preference values and the consensus values are expressed through the 2-tuple model, which allows a more accurate calculation, without information loss. The values of the $collective_preferences$ set are calculated through

a linguistic weighted average defined for the 2-tuple model [31]:

$$\begin{aligned}
 collective_preference_i &= 1 - \frac{\sum_{j=1}^n \Delta^{-1}(assessment_{ij}) \times \Delta^{-1}(weight_j)}{\sum_{j=1}^n \Delta^{-1}(weight_j)} \quad (6) \\
 \forall i &\in \{1, \dots, m\}
 \end{aligned}$$

Section 2.4 presents the values of consensus on the basis of which the elements of the $consensus_values$ set will be calculated.

Exploitation phase: If the problem requires selecting only the best options, the ones in the $alternatives$ set with the highest collective preference values will be selected. In other words, the ones with the highest values from the $collective_preferences$ set. In other cases a high level of consensus among the experts is required, equal to or above the minimum consensus threshold, $\gamma \in S$.

2.4. Measuring the level of consensus

According to [55–57], the degree of consensus is the correspondence between the relations of preference expressed by different actors. In other words, a measure for calculating the degree of group agreement based on the experts' individual preferences. The measurement of the degree of consensus is normally based on similarity or distance metrics that calculate the proximity between the experts' preferences. Aggregation operators are also used for obtaining the degree of global agreement in a group, by aggregating the similarity values previously calculated.

The measurement of consensus referred to here is based on [58–60] approaches, defined as follows:

$$\begin{aligned}
 consensus_value_i & \\
 &= 1 - \frac{\sum_{j=1}^n \left| \Delta^{-1}(collective_preference_i) - \Delta^{-1}(assessment_{ij}) \right| \times \Delta^{-1}(weight_j)}{\sum_{j=1}^n \Delta^{-1}(weight_j)} \\
 \forall i &\in \{1, \dots, m\} \quad (7)
 \end{aligned}$$

2.5. The SERVQUAL model

The SERVQUAL model is a model based on surveys, having the purpose of measuring the quality of any kind of organisation providing services. It was originally proposed by Parasuraman, Zeithaml and Berry [61], which is why it is also known as the PZB (initials of the authors' family names) model. The research conducted by these authors was based on several independent surveys conducted with executives of service companies and client-oriented groups. Initially, they proposed a scale integrated by ten indicators or measurement elements. The number of indicators used in the initial scale varied in time [62], thanks to new statistical correlation methods developed between 1991 and 1994

[63,64], being finally reduced to five elements: tangibility, reliability, responsiveness, assurance and empathy. Some authors [65,66] proposed an additional generic indicator that allows to measure user's global satisfaction, called *Overall Satisfaction Index* (OSI), also used in the present paper. The PZB model consists of a scale of several answers designed to understand customer expectations from a service. This model, as its creators admit, can be adapted to the context and nature of the service to be analysed. Several authors have done so, adapting the SERVQUAL tool for analysing user expectations and perceptions related to different services, based on the quality of the service provided [67–73]. Although there are other methods for analysing quality of service, such as SERVPERF [74], QDF [75] and E-S-QUAL [76], among others, SERVQUAL is still the most widely used method in the quality-of-service research, for being a very reliable measurement method [77].

The adapted SERVQUAL model used in this paper consists of the following indicators:

- **Tangibility:** Appearance of physical facilities, equipment, staff and communication material.
- **Reliability:** Ability to provide services in a careful and reliable manner.
- **Responsiveness:** Readiness and willingness to help users and provide prompt services.
- **Assurance:** Proven knowledge and attention of staff and skills to instil credibility and trust.
- **Empathy:** Customised attention provided by the organisation to its clients.
- **Overall Satisfaction Index:** Degree of general satisfaction with the services provided.

However, in spite of this adaptation, the use of only these SERVQUAL elements for measuring the quality of ICT services seems limited. This is mainly due to the fact that ICTs usually cover several sectors of the economy, which are often interrelated. Therefore, in order to perform an effective measurement of the service quality in the ICT sector, a model encompassing all the particularities of the sector is needed. The next section presents the newly designed and implemented model.

3. The SICTQUAL model

As already mentioned, the SERVQUAL model is considered to provide appropriate and useful elements for creating a model that allows measuring the quality of service in the ICT sector. However, the concept of ICTs is too generic and wide, so the semantics of every SERVQUAL indicator will depend on the specific ICT sector to which it is applied. Therefore, after having delimited the concept of ICT, a widely accepted segmentation of the ICTs is proposed in this section. Thereafter, the new SICTQUAL model will be defined for the assessment of ICTs from the consumer perspective.

3.1. The ICT concept

According to Sánchez-Pinilla [78], ICTs consist of: computers, multimedia equipment, local area networks, Internet, digital television, etc. A more accurate definition can be found in Romani's work [79], which provides 86 concepts in total, classified and grouped according to opinions expressed by survey respondents. It is worth taking also into consideration the European Commission's definition in its communication to the Council and the European

Parliament, in the document *The role of ICTs in EC development policy* (COM/2001/0770⁴):

“Information and communications technologies (ICTs) is a term which is currently used to denote a wide range of services, applications, and technologies, using various types of equipment and software, often running over telecom networks.”

The answer to the question “What are ICTs and in what segments are they divided?” is obtained in this context. The resulting segmentation is a necessary and key element for creating the SICTQUAL model, as it will become clear in the next sections. Therefore, it can be concluded that ICTs are divided in three large segments or pillars, namely *Services*, *Applications* and *Technologies*, defined in the next section.

3.2. Definition of ICT segments

The following definitions stand for Services, Applications and Technologies mainly provided, developed, implemented or appropriate for being used by consumers in a specific environment (for instance, in a specific country or region):

- **Services:** ICTs accessed by users remotely and electronically (e-management, e-learning, e-commerce, etc.) in order to communicate with their service providers for: tax declaration, payment of duties, registration of personal information, social security procedures, health procedures, communication with education centres, financial transactions, online training, online stock purchase/sale, contracting, etc.
- **Applications:** the software installed on the different types of devices (terminals or hardware), such as: smartphones, tablets, computers, TV, cameras, etc., which provides some facility to the device users. In the case of ICTs, it is the analysis of the software used in business, government or personal applications, developed, implemented, customised and/or adapted for being used in a specific country, by people from that country. In other words, it is the software created to be used specifically by the inhabitants of a specific country and developed by people from that country.
- **Technologies:** It refers to hardware, equipment and means of access to information provided by the service provider to consumers, including elements such as: bandwidth, communication equipment, perceived speed, wireless signal intensity (Wi-Fi/3G/4G/WiMax/. . .), quality of the Internet connection, level of coverage of the telecommunications network, etc.

3.3. The two-dimension SICTQUAL model

In order to represent the SICTQUAL model, a two-dimension matrix (see Table 1) will be used, including:

- The basic SERVQUAL scale (described in Section 2.5): S_1 = Tangibility, S_2 = Reliability, S_3 = Responsiveness, S_4 = Assurance and S_5 = Empathy, distributed on the matrix columns.
- The ICT widely accepted segments (defined in Section 3.2): C_1 = Services, C_2 = Applications and C_3 = Technologies, distributed on the matrix rows.

Besides, the model will have a global quality indicator applicable to all ICT segments:

- The SERVQUAL Overall Satisfaction Index (see Section 2.5): OSI. It is worth mentioning that, as defined by other authors, this

⁴ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52001DC0770>.

Table 1
Elements of the two-dimension SICTQUAL model.

ICT segments/SERVQUAL elements	S ₁ : Tangibility	S ₂ : Reliability	S ₃ : Responsiveness	S ₄ : Assurance	S ₅ : Empathy	OSI (Overall Satisfaction Index)
C ₁ : Services	SICTQUAL ₁ : Appearance of the ICT service provider's website; service perception through electronic management (e-service).	SICTQUAL ₂ : Availability of the services (websites) accessed online, no issues during website navigation.	SICTQUAL ₃ : Prompt response to the online requests, without needing the physical presence of the user.	SICTQUAL ₄ : Veracity of the information provided both online and through operators.	SICTQUAL ₅ : Proximity and kindness to users through remote interaction (call centres, forums, emails, social networks, etc.).	SICTQUAL ₁₆ : Customer overall satisfaction level with the ICT services enjoyed, considering all the mentioned aspects as a whole.
C ₂ : Applications	SICTQUAL ₆ : Appearance of the interface of the applications (software used on computers and mobile devices), ease of use and interaction with users.	SICTQUAL ₇ : Proper functioning of the applications provided by the service provider (Internet speedometer, banking access, public health application, website of the academic centre, etc.).	SICTQUAL ₈ : Response time needed to solve a request or unexpected issue related to the functioning of the applications (software).	SICTQUAL ₉ : Trust in the application provider in terms of information management security (backup, security of transmission, personal information privacy, etc.).	SICTQUAL ₁₀ : Attention paid to the user's interests in terms of solving inherent concerns and issues of the existing applications and the ability to detect new needs.	
C ₃ : Technologies	SICTQUAL ₁₁ : Hardware elements likely to be perceived in an objective manner and which represent the basis for providing services and running applications: connection equipment, terminals, peripheral systems, etc.	SICTQUAL ₁₂ : Quality of the physical installation and of the equipment integrating the communication system. Compliance with the technical specifications and the terms of service provided.	SICTQUAL ₁₃ : Staff readiness for problem solving, response time in case of service interruptions or malfunction, duration of the installation processes, attention to complaints or eventual service modifications.	SICTQUAL ₁₄ : Infrastructure security for coverage of the services provided and the applications installed.	SICTQUAL ₁₅ : Understanding and personalised attention to specific needs related to the equipment: configuration, interruptions, service deterioration, etc.	

indicator is generic and global, which is why we consider it is not appropriate to define it for every ICT segment, but for all in general.

More formally, the model would be defined through the *SICTQUAL.items* set composed by 16 items: $SICTQUAL.items = \{SICTQUAL_k\}, \forall k \in \{1, \dots, 16\}$, where the meaning of each element is the one expressed in Table 1. In order to improve understanding of this set, it is also expressed as the union between the two dimensions set specified (SERVQUAL scales and ICT segments) and the Overall Satisfaction Index common to all ICT segments, that is to say, $SICTQUAL.items = \{C_iS_j\} \cup \{OSI\}, \forall i \in \{1, \dots, 3\}, \forall j \in \{1, \dots, 5\}$.

4. Applying the SICTQUAL model to existing surveys

Now that the SICTQUAL model allows us to assess each ICT segment according to the basic measurement indicators of the quality of service (extracted from SERVQUAL) and the overall satisfaction index (cross-segment indicator applicable to all ICT segments), we introduce a model that allows us to convert to SICTQUAL other similar satisfaction studies based on previously completed surveys, although they have a different format. This allows us to compare and integrate these studies, in spite of them being based on heterogeneous surveys.

Fig. 2 shows a general overview of this model, where the input information represents the answers provided by the users in the questionnaires (surveys). Their processing consists of a group of experts analysing the correspondence between each question and the set of elements integrating the SICTQUAL matrix (ICT segments/SERVQUAL indicators) and assigning linguistic labels. These expert assessments, together with the set of answers provided by the users, are subject to three LMCDM processes, to finally get the users' point of view about the 16 quality indicators of the model, as well as the degree of consensus between all the users for each indicator.

This model takes the original questionnaire as an input, integrated by a series of questions expressed in natural language. The survey can be defined through the set $questions = \{question_1, \dots, question_p\}$. A group of users, $users = \{user_1, \dots, user_m\}$, has answered every question of the survey and the answers have been grouped under the set $answers = \{answer_{11}, \dots, answer_{mp}\}$. These answers are expressed through a Likert scale with the appropriate labels included in the sets S^k , that is to say, $answer_{jk} \in S^k, \forall j \in \{1, \dots, m\}, \forall k \in \{1, \dots, p\}$. As mentioned before, each of these questions will be modelled with its corresponding linguistic variables as explained in Definition 1, considering that $H = question_k$ and $T(H) = S^k, \forall k \in \{1, \dots, p\}$.

The aim of the proposed model is to obtain:

1. The perception of every consumer $user_j$ about ICTs, expressed with the SICTQUAL model: $sictqual.answers = \{sictqual.answer_{1j}, \dots, sictqual.answer_{16j}\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$.
2. The overall perception of ICTs, taking into account the opinion of all the respondents to the original questionnaire, expressed with the SICTQUAL model: $sictqual.overall = \{sictqual.overall_1, \dots, sictqual.overall_{16}\}$.

The items of these two sets are based on a Likert scale with an equal number of elements, modelled with the corresponding linguistic variables (see Definition 1). Therefore: $H = assessment$ of the quality of service of the $sictqual_i, \forall i \in \{1, \dots, 16\}$ item, where the labels forming the corresponding set $T(H)$ could be, for instance: $s_0 =$ "Very Low" (VL), $s_1 =$ "Low" (L), $s_2 =$ "Regular" (R), $s_3 =$ "High" (H),

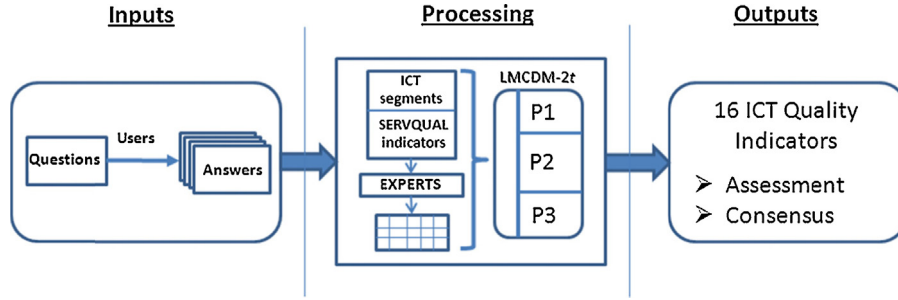


Fig. 2. SICTQUAL model for the analysis of existing (historic) information.

and $s_4 = \text{“Very High” (VH)}$. For higher accuracy, all the results are expressed with the 2-tuple model.

In order to achieve these results, a three phase system is proposed (see Fig. 3) with interdependent phases, as the output of each of them becomes the input of the next one.

The three phases are explained in detail hereafter:

Phase I. The main goal at this stage is to obtain the degree of relation of every question in the original form, $question_k, \forall k \in \{1, \dots, p\}$, with every SICTQUAL item; in other words, with each $sictqual_l, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$. The degree of relation is represented as $sictqual_weights^k = \{sictqual_weight_1^k, \dots, sictqual_weight_{16}^k\}$ and will be calculated as the collective and agreed upon preference of an expert group.

Therefore, this phase can be stated as p LMCDM processes, one for each $question_k, \forall k \in \{1, \dots, p\}$, with the following configuration and inputs for the $LMCDM_2t$ function (explained in Section 2.3):

- An ICT expert group will be available, $experts = \{expert_1, \dots, expert_n\}$, who will establish the different criteria involved in this process. Therefore, $criterion_i = expert_i, \forall i \in \{1, \dots, n\}$.
- Every $expert_i$ will formulate a self-evaluation $weight_i$ concerning their level of expertise in the ICT sector, their self-evaluation being the weights in the LMCDM processes: $weights = \{weight_1, \dots, weight_n\}$.
- The alternatives will be represented by each item of the SICTQUAL model: $alternative_l = sictqual_l, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$.
- Besides, each $expert_i$ will assess how every $question_k$ is related to each SICTQUAL item, the assessments being expressed through the set $assessments^k = \{assessment_{ij}^k, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, 16\}\}$. It is also possible to find no relation whatsoever between a question and the corresponding SICTQUAL item. In this case, it will be noted as “-”.

As previously mentioned, all the information provided by the experts (self-assessment of expertise and relation between the

questions and the SICTQUAL items) will be expressed with a Likert scale modelled with the corresponding linguistic variables (see Definition 1).

Applying the $LMCDM_2t$ function, the following required outcome is obtained:

- The collective preference value of the process, $collective_preferences^k = \{collective_preference_1^k, \dots, collective_preference_{16}^k\}$, representing the degree of relation between each $question_k$ and each SICTQUAL item, which means the alternatives of the process. The alternative having a level of consensus under the minimum threshold $\gamma = s_3 = H$ will not be taken into account. In other words, the collective preference values will only be taken into account if the level of consensus among the experts is at least “High” (considering this as the threshold label established within the set of labels used, which in the case mentioned above is made up of the labels: VL, L, R, H, VH). Therefore, the final results of this phase are obtained as follows:
- $sictqual_weight_1^k = \begin{cases} collective_preference_1^k, & \text{if } consensus_value_1^k \geq \gamma \\ \text{“-”} & \text{otherwise} \end{cases} \forall l \in \{1, \dots, 16\}$

Phase II. In this phase, the $sictqual_answers$ set is obtained, i.e. every user’s perception about ICTs, expressed with the SICTQUAL model. The $sictqual_answer_{lj}, \forall l \in \{1, \dots, 16\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$, elements are obtained with 16 LMCDM processes, one for each SICTQUAL item. Each of these processes identified with the l iterator will obtain the $user_j$ assessment for the $sictqual_l$ item, that is to say, $sictqual_answer_{lj}$, according to their answers to the original questionnaire (included in the $answers$ set) and to the results obtained in Phase I. The configuration and inputs for the $LMCDM_2t$ function (defined in Section 2.3) of each process are described hereafter:

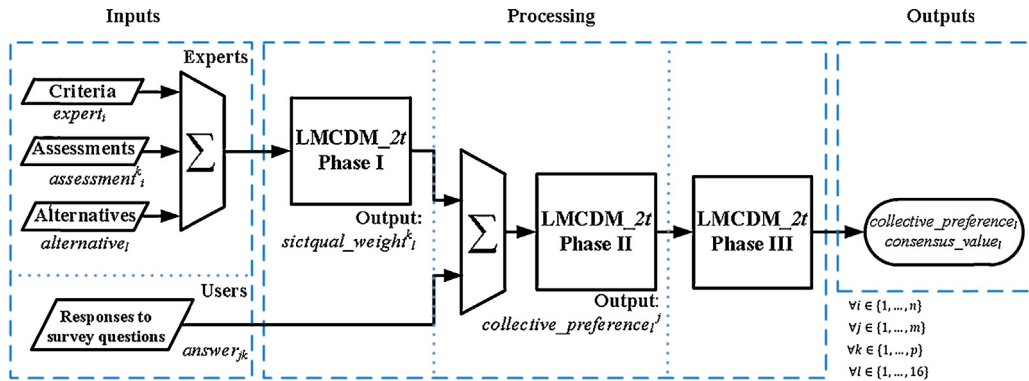


Fig. 3. Graphic representation of the SICTQUAL model and the LMCDM-2t processes included in it.

- The criteria will consist of all the p questions in the original questionnaire, so $criterion_k = question_k, \forall k \in \{1, \dots, p\}$.
- The weight of each criterion will be the level of relation between each specific question k and the SICTQUAL item l concerned. In other words: $weight_k = sictqual_weight_l^k, \forall k \in \{1, \dots, p\}, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$ obtained in Phase I.
- The alternatives consist of each survey respondent: $alternative_j = user_j, \forall j \in \{1, \dots, m\}$.
- User assessments of the questions in the original survey will integrate the *assessments* set, so $assessment_{jk} = answer_{jk}, \forall j \in \{1, \dots, m\}, \forall k \in \{1, \dots, p\}$.

After applying the *LMCDM.2t* function, the following result is obtained in this case:

- The set $collective_preferences^j = \{collective_preference_1^j, \dots, collective_preference_{16}^j\}$, representing the answers of every user m converted to *sictqual_l* items: $sictqual_answer_{jl} = collective_preference_j^l, \forall j \in \{1, \dots, m\}, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$.

Phase III. In this last phase, the overall perception of ICTs by the whole set of users is obtained according to the SICTQUAL model and its 16 items: $sictqual_overall = \{sictqual_overall_1, \dots, sictqual_overall_{16}\}$.

This is solved through an *LMCDM* process with the following configuration and inputs for the *LMCDM.2t* function (see Section 2.3):

- The criteria will be determined this time by every survey respondent: $criterion_j = user_j, \forall j \in \{1, \dots, m\}$.
- Since there is no additional information about a user being more important than another, each of the criteria considered (users, in this case) will have equal weights: $weight_j = s_r \in S, \forall j \in \{1, \dots, m\}$. It is also possible to ask a self-assessment of the user experience in the ICT sector; in that case, the self-assessment can be used as the weight of the user concerned.
- The alternatives will consist of each SICTQUAL item: $alternative_l = sictqual_l, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$.
- The users' answers converted to SICTQUAL (obtained in Phase II) will integrate the *assessments* set, so $assessment_{jl} = sictqual_answer_{jl}, \forall j \in \{1, \dots, m\}, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$.

After having applied the *LMCDM.2t* function, the following results would be obtained:

- The set $collective_preferences = \{collective_preference_1, \dots, collective_preference_{16}\}$ representing the overall assessment of all the users in the SICTQUAL format: $sictqual_overall_l = collective_preference_l, \forall l \in \{1, \dots, 16\}$.
- The set $consensus_value = \{consensus_value_1, \dots, consensus_value_{16}\}$ representing the degree of consensus of all the users concerning a *collective.preference_l*, $\forall l \in \{1, \dots, 16\}$, element.

A case of study is illustrated below, where the presented model is applied to historical information extracted from previously conducted surveys with ICT users in Ecuador.

5. Case study: applying the SICTQUAL model to assess the quality of ICT services in Ecuador

As stated in the introduction, the government of Ecuador has been carrying out important investments in ICT development for the past years. Thus, observing the evolution of the perceived quality of service in the ICT sector through a standard specifically developed for ICTs is crucial nowadays, since it could provide very

relevant information for their improvement. The SICTQUAL model presented in Section 3 aims to address this need. Additionally, as a transversal model that integrates both the different ICT fields or segments considered as standard and the different aspects that make up service quality (SERVQUAL scales), SICTQUAL could be applied as a tool to assess and follow up investment policies in ICTs within the strategy plans of a country. These strategy plans usually include a number of indicators called *Key Performance Indicator* (KPI) [80], intended for showing the progress in a specific aspect of the plan. Thus, the 16 items of the SICTQUAL model could be included like the corresponding KPIs in order to observe the evolution of the aspect modelled for each item.

Section 4 shows how studies on the quality of ICT services with formats other than the SICTQUAL model can be transformed into such model. This would allow the SICTQUAL model to be operational even before it is implemented as a standard. We have been working on the transformation of the studies conducted with users of the state-owned telecommunications enterprise in Ecuador CNT EP⁵, market leader in Ecuador due to its number of fixed telephony users⁶ (>85%) and fixed broadband Internet users⁷ (>55%), in January 2015, according to Ecuador's Agency for the Regulation and Control of Telecommunications.

In this section and as a case study selected for the application of the proposed model, we will explain the conversion to SICTQUAL of a survey conducted in the second half of 2012 concerning the Commercial Internet service. The form of the survey may be viewed in Annex I(a).

First, the questionnaire to be converted is defined as $questions = \{Q_1, \dots, Q_p\}$, where $p=28$. This questionnaire has been completed by a target audience of 544 users, i.e. $users = \{user_1, \dots, user_m\}$, with $m=544$. All the answers follow a 5-Likert scale, although the labels were not always the same in all the questions and thus we define the appropriate linguistic variables for each question by specifying the sets $S^k, \forall k \in \{1, \dots, p\}$. For instance, $S^2 = S^3 = S^4 = S^5 = S^{11} = S^{12} = S^{13} = S^{14} = S^{15}$, where $s_0 = \text{"Strongly Disagree"}$, $s_1 = \text{"Disagree"}$, $s_2 = \text{"Neutral"}$, $s_3 = \text{"Agree"}$, and $s_4 = \text{"Strongly Agree"}$. The other sets of labels that were used to answer the questions of the survey may be found in Annex I(b).

As seen in the previous section, the conversion model consists of three interdependent phases which are formed mainly by *LMCDM* processes implemented based on the *LMCDM.2t* function (explained in Section 2.3). For this specific problem we would need $p + 16 + 1$ *LMCDM* processes (28 for Phase I, 16 for Phase II and 1 for Phase III, 45 processes in total). Due to the resulting complexity, we have proceeded to implement the model suggested in Section 4 through IBM's SPSS Modeller⁸ software by following the scheme proposed by Carrasco et al. [49]. A capture of the implementation of our model in this tool is shown in Fig. 4. Note that vertical lines separate the inputs (the elements on the far left), the output (the element on the far right) and the three processing phases seen in our model, following exactly the same distribution shown in Fig. 3.

Hereafter we explain the phases followed for solving the specific problem addressed in this section:

Phase I. The degree of relation between each question in the original form and each SICTQUAL item has been obtained with the cooperation of 5 ICT experts, that is, $experts = \{expert_1, \dots, expert_n\}$, where $n=5$. These experts have conducted a self-assessment of their degree of expertise as the highest possible, i.e.

⁵ <https://www.cnt.gob.ec/>.

⁶ <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=11178&force=1>.

⁷ <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=11171&force=1>.

⁸ <http://www-03.ibm.com/software/products/es/spss-modeler>.

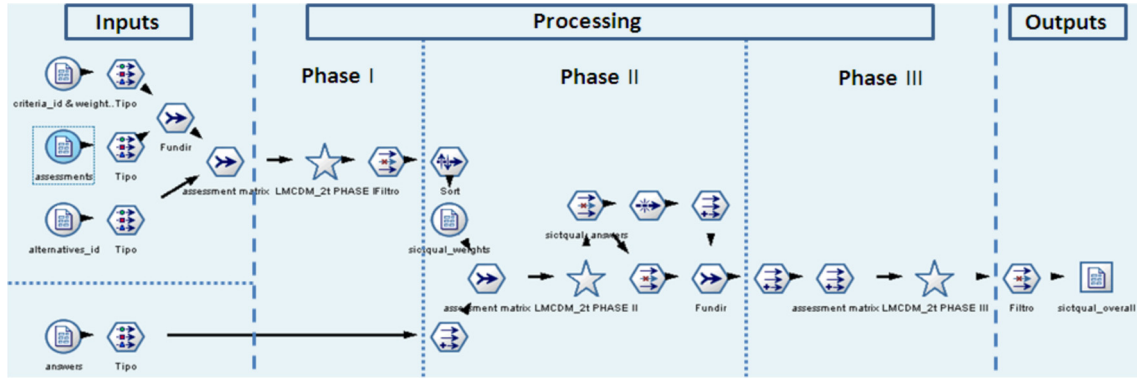


Fig. 4. Implementation of the problem using the SPSS Modeller.

Table 2
Assessments of the experts for question Q16 (using the corresponding set of labels).

Alternatives/Criteria	E1	E2	E3	E4	E5
SICTQUAL ₁ = C ₁ S ₁	N	SR	N	N	N
SICTQUAL ₂ = C ₁ S ₂	N	SR	SR	N	N
SICTQUAL ₃ = C ₁ S ₃	SR	SR	N	SR	SR
SICTQUAL ₄ = C ₁ S ₄	SR	SR	N	N	SR
SICTQUAL ₅ = C ₁ S ₅	CR	CR	SR	CR	CR
SICTQUAL ₁₆ = OSI	SR	SR	SR	SR	SR

Table 3
Assessments of the experts for question Q23 (using the corresponding set of labels).

Alternatives/Criteria	E1	E2	E3	E4	E5
SICTQUAL ₁ = C ₁ S ₁	CR	SR	CR	CR	CR
SICTQUAL ₂ = C ₁ S ₂	SR	N	SR	SR	SR
SICTQUAL ₆ = C ₂ S ₁	SR	SR	SR	SR	CR
SICTQUAL ₇ = C ₂ S ₂	N	SR	SR	SR	N
SICTQUAL ₁₄ = C ₃ S ₄	N	N	SR	N	N
SICTQUAL ₁₆ = OSI	CR	CR	SR	SR	CR

weights = {VH, VH, VH, VH, VH}. They have also issued linguistic assessments by connecting each of the k questions in the questionnaire with the SICTQUAL items, storing these assessments in the $assessments^k, \forall k \in \{1, \dots, p\}$, with $p=28$, sets. To do it, the experts have used the following set of labels: $s_0 = NR$ (Nothing Related), $s_1 = PR$ (Poorly Related), $s_2 = N$ (Neutral), $s_3 = SR$ (Something Related), $s_4 = CR$ (Closely Related). All the labels used by the experts can be seen in Annex I(c). The use of linguistic labels has greatly helped the experts' work, since as the questions of the

original questionnaire are expressed in natural language, their relation with the SICTQUAL items often leads to a certain degree of doubt, which makes difficult to express it with a precise numerical value.

To set some examples, the partial results of two questions randomly selected from the questionnaire are shown below:

- Q16. In general, how satisfied are you with the remote customer service that CNT EP offers to its customers?
- Q23. How easy is it for you to browse CNT EP's website?

A sample of the assessments provided by the experts for these two questions is available in Tables 2 and 3 respectively. As an example, it is pointed out that expert e_1 (E1) assessed the SICTQUAL₁ element = C₁S₁ (i.e. Services–Tangibility) with the linguistic label “Neutral” (N) for question Q16.

By applying the LMCDM.2t function to each of these two questions we obtain the result shown in Tables 4 and 5 respectively, where it may be observed that the degree of consensus achieved among the experts is high enough for each SICTQUAL item. Likewise, these two tables also show the values of the weights agreed by the experts for each model element or indicator involved in the corresponding question.

Phase II. In this phase we already have the weights generated by the experts in the previous phase, which are applied to the overall answers provided by the respondents to the survey form, which is available in Annex I(a). The process of information aggregation is carried out for every user in connection with the answers they provide to these questions.

Table 4
Result obtained in Phase I for question Q16.

SICTQUAL	Description	Weight	Consensus
SICTQUAL ₁ = C ₁ S ₁	Services–Tangibility	(N, +0.050000)	(SA, –0.080000)
SICTQUAL ₂ = C ₁ S ₂	Services–Reliability	(N, +0.050000)	(SA, –0.080000)
SICTQUAL ₃ = C ₁ S ₃	Services–Responsiveness	(SR, –0.100000)	(SA, –0.120000)
SICTQUAL ₄ = C ₁ S ₄	Services–Assurance	(SR, –0.050000)	(SA, –0.080000)
SICTQUAL ₅ = C ₁ S ₅	Services–Empathy	(CR, –0.050000)	(SA, –0.080000)
SICTQUAL ₁₆ = OSI	Overall Satisfaction Index	(SR, +0.000000)	(SA, –0.000000)

Table 5
Result obtained in Phase I for question Q23.

SICTQUAL	Description	Weight	Consensus
SICTQUAL ₁ = C ₁ S ₁	Services–Tangibility	(CR, –0.050000)	(SA, –0.080000)
SICTQUAL ₂ = C ₁ S ₂	Services–Reliability	(N, +0.100000)	(A, +0.070000)
SICTQUAL ₆ = C ₂ S ₁	Applications–Tangibility	(SR, +0.050000)	(SA, –0.080000)
SICTQUAL ₇ = C ₂ S ₂	Applications–Reliability	(N, +0.050000)	(SA, –0.080000)
SICTQUAL ₁₄ = C ₃ S ₄	Technologies–Assurance	(N, –0.050000)	(SA, –0.080000)
SICTQUAL ₁₆ = OSI	Overall Satisfaction Index	(CR, –0.050000)	(SA, –0.080000)

Table 6
Result obtained in Phase II for users 43 and 358 for the 16 SICTQUAL items.

SICTQUAL item	Assessment	
	User 43	User 358
1	(VS, -0.039286)	(D, +0.032143)
2	(VS, -0.043651)	(S, +0.035714)
3	(N, +0.098485)	(S, +0.053030)
4	(S, -0.000000)	(S, -0.064815)
5	(N, +0.121795)	(S, +0.006410)
6	(S, -0.027778)	(VS, -0.111111)
7	(S, -0.072581)	(VS, -0.088710)
8	(N, +0.000000)	(S, +0.000000)
9	(S, -0.125000)	(S, +0.000000)
10	(S, +0.000000)	(VS, -0.000000)
11	(S, +0.000000)	(N, +0.000000)
12	(VS, -0.125000)	(S, -0.125000)
13	(S, +0.000000)	(VS, -0.125000)
14	(S, +0.077586)	(N, +0.077586)
15	(N, +0.000000)	(S, +0.000000)
16	(S, -0.029669)	(S, -0.017023)

The result of this phase may be observed in Table 6, which shows the linguistic results for two randomly-selected users (users 43 and 358 respectively), by using the appropriate linguistic labels chosen for expressing the results in the model, which can be consulted in Annex I(d).

Phase III. In this last phase, the aggregation of information corresponding to the whole group of users is carried out in order to obtain the output of the 16 global indicators that form the SICTQUAL model. The final result is shown in the following figures:

In Fig. 5 the final (aggregated) results are shown for each of the 16 items of the SICTQUAL model. Each of these obtained elements includes not only the final assessment it received but also the degree of consensus between all the answers collected. Both linguistic values have been represented by using the 2-tuple model.

This figure also contains the Overall Satisfaction Index (OSI) item, which may be interpreted as the degree of consensus reached for the assessment of the overall satisfaction level obtained.

Fig. 6 represents, through a radar chart and by using the labels scale $s_0 = VD$, $s_1 = D$, $s_2 = N$, $s_3 = S$, and $s_4 = VS$, the final assessments (expressed as a result of applying the function Δ^{-1} to the 2-tuple value obtained) for each of the 16 items or indicators of the SICTQUAL model.

Similarly, Fig. 7 shows, through a radar chart and the labels $s_0 = SD$, $s_1 = D$, $s_2 = N$, $s_3 = A$, and $s_4 = SA$, the consensus reached by users for each of the 16 SICTQUAL items, applying also the function Δ^{-1} to the corresponding 2-tuple value.

	SICTQUAL	ASSESSMENTS	CONSENSUS
Services	SICTQUAL1	(N,+0.061406)	(A,+0.072237)
	SICTQUAL2	(S,+0.041166)	(A,+0.120396)
	SICTQUAL3	(S,+0.004858)	(A,+0.094742)
	SICTQUAL4	(S,-0.032336)	(SA,-0.109997)
	SICTQUAL5	(S,-0.030790)	(A,+0.102123)
Applications	SICTQUAL6	(S,-0.112579)	(SA,-0.112342)
	SICTQUAL7	(S,-0.118719)	(SA,-0.114221)
	SICTQUAL8	(N,+0.087316)	(A,+0.111119)
	SICTQUAL9	(N,+0.091452)	(A,+0.118042)
	SICTQUAL10	(S,-0.102022)	(A,+0.071374)
Technologies	SICTQUAL11	(S,-0.044118)	(A,+0.057850)
	SICTQUAL12	(S,-0.054228)	(A,+0.093061)
	SICTQUAL13	(S,-0.083180)	(A,+0.080734)
	SICTQUAL14	(S,-0.066483)	(A,+0.092452)
	SICTQUAL15	(N,+0.041513)	(SA,-0.109530)
OSI	SICTQUAL16	(S,-0.098844)	(SA,-0.078486)

Fig. 5. Results in 2-tuple format from SPSS Modeller.

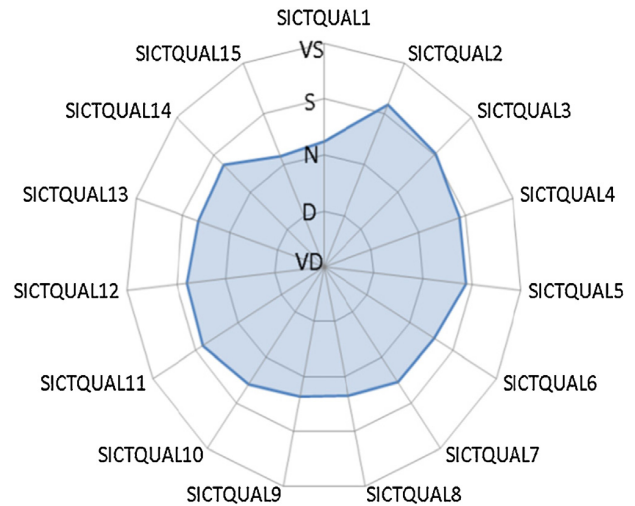


Fig. 6. Assessment of SICTQUAL items.

The SICTQUAL model groups the service quality indicators assessed in the three identified ICT segments: Services, Applications and Technologies (as seen in Fig. 5). Thus, it is easy to view in such figure the linguistic results obtained for every model item. For example, in this particular case, we can see results that are close to the linguistic label "Neutral" (N) that note the areas to be improved according to the survey respondents. These results are easy to interpret and are of valuable help for decision-makers within the organisation. With the results obtained in this specific case, they know they must pay attention and improve the aspects related to the following elements in the enterprise (pair of ICT segment and assessed quality service indicator) considered in the SICTQUAL model:

1. SICTQUAL₁ (C_1S_1): Segment = Services – Indicator = Tangibility.
2. SICTQUAL₈ (C_2S_3): Segment = Applications – Indicator = Responsiveness.
3. SICTQUAL₉ (C_2S_4): Segment = Applications – Indicator = Assurance.
4. SICTQUAL₁₅ (C_3S_5): Segment = Technologies – Indicator = Empathy.

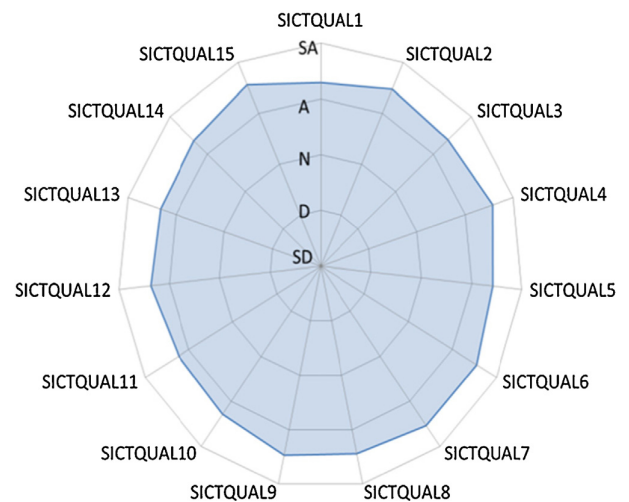


Fig. 7. Degree of consensus achieved.

6. Conclusions and future work

This work proposes a new linguistic multi-criteria model, called SICTQUAL, to measure, assess and analyse the quality of services in the ICT sector from the user perspective. It is characterised for providing information on the different aspects of service quality in all the main ICT segments, using a group of 16 items or indicators that integrate the model.

SICTQUAL may be applied to information gathered from surveys created with this specific model. However, perhaps its most interesting aspect is that it may also be applied to previously conducted surveys (historical surveys) through the process designed for this.

An application of the proposed model has also been presented to a case of study corresponding to a real decision-making scenario in the ICT sector in Ecuador, showing each step of the phases carried out in the model and some of the intermediate results obtained, as well as how are they used for obtaining the final output of the model.

From the experience obtained through the application of this model to several case studies in the ICT sector, it may be concluded that:

- SICTQUAL is a tool that provides relevant information on the problem to be addressed, providing also the view of users from an innovative perspective.
- The model shows, in a practical and specific way, the assessments that correspond to the different indicators taken into account when measuring the quality of service within the different ICT segments identified in the model.
- The application of this model supports decision-making in the organisation or enterprise that uses it.
- It may be implemented both by service operators in the ICT area and by regulation and control bodies.
- The model may be implemented in many developing countries and, in general, wherever there is a deficiency in the quality of the ICT services provided, since it helps to identify the areas to be improved.
- It raises awareness in society and especially among service providers on the different factors involved in the quality of ICT services.

In view of the foregoing, we may conclude that the model offers the following advantages:

- Regardless of the number of questions to be analysed, there is always a standard output formed by 16×2 clearly identified elements.
- It allows to carry out an analysis over time (past–present–future) on the ICT service quality from a user perspective and to observe the evolution of the results obtained by applying the SICTQUAL model.
- It focuses on a segment of the economy that does not have, for the moment, a standard model to assess the quality of the service provided.
- It is flexible in terms of use by the experts who need to assess the survey replies, since it is a computer system that does not require onsite experts.

- It can handle any type of questions with answers that are expressed through a Likert linguistic scale.
- It provides valuable information to ICT service providers.
- It easily provides a quality control function for these types of services to government bodies who must regulate and ensure their control.

Having presented SICTQUAL as a new model for the analysis of the quality of ICT services from the user's perspective, the goal is to continue its development by adding new models or functionalities that allow obtaining automatic information from other information sources such as: social networks, call centres, websites, etc. This would provide a practically instantaneous mechanism to assess the quality of service from the customer's view. We are especially considering the possibility of extracting information from social networks because people express more freely complaints about received services on social networks than in official surveys [81,82]. We also aim to apply this model to different problems or case studies within the ICT sector. Additionally, we would like to disseminate it on different scientific, business and political forums in order to have this model welcomed by the bodies responsible of regulating and controlling ICT services in different countries, mainly Latin America. This would avoid distortions that might have an impact on the study and analysis of the development of new technologies due to the lack of an assessment standard.

To mitigate the effect caused by some users who could fill out the survey questionnaires without a deep reflexion on the questions they are answering, validation questions (which are dependent on previous ones) could be added to the questionnaires created for the model here presented. Thus, we could know whether user answers are reliable by checking such dependencies.

Moreover, as there exist some extensions of fuzzy sets, such as hesitant fuzzy sets [83–85], and intuitionistic fuzzy sets [86–88], an interesting future research line would be to apply such extensions instead of ordinary fuzzy sets to the model presented in this article. Thus, we could check if there are significant differences in the results obtained with the models based on the mentioned extended fuzzy sets with respect to those obtained with the SICTQUAL model here presented.

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the financial support received from European Regional Development Funds (FEDER) for the Research Projects TIN2012-38600 and TIN2013-40658-P, as well as the funding obtained from the Andalusian Government for the Excellence Project TIC-5991, and the financial backing gotten from the Faculty of Economics and Business of the University of Granada (Spain).

ANNEX I. Satisfaction survey conducted for CNT EP in 2012

(a) Questions rated by the expert group for the survey (previously conducted) on the satisfaction of commercial segment users with the broadband Internet service in the Ecuadorian enterprise CNT EP. The two questions used as examples in Section 5 have been shaded.

Q1. Based on the scale where VD is Very Dissatisfied and VS is Very Satisfied, how satisfied are you with the Internet service provided by CNT EP?	VD	D	N	S	VS
Please rate the following sentences according to the scale where SD is Strongly Disagree and SA is Strongly Agree:					
Q2. The information received from the sales representative was clear	SD	D	N	A	SA
Q3. The speed with which the adviser guides or helps to resolve your requirements is appropriate	SD	D	N	A	SA
Q4. The sales representative who assisted you was friendly	SD	D	N	A	SA
Q5. The sales representative is able to perform his/her work successfully	SD	D	N	A	SA
Q6. Based on the scale where VD is Very Dissatisfied and VS is Very Satisfied, how satisfied are you in general with the service you received when you hired the Internet service? Did it meet your requirements?	VD	D	N	S	VS
Q7. The time required to install the service was... Please answer by using the scale from Very Slow (VS) to Very Fast (VF)	VS	S	N	F	VF
Q8. What is your opinion on the service provided by the technician in charge of the installation? On a scale from Very Bad (VB) to Very Good (VG)	VB	B	R	G	VG
Q9. Based on the scale where VD is Very Dissatisfied and VS is Very Satisfied, how satisfied are you with the service you received when you installed your Internet service?	VD	D	N	S	VS
Q10. In case of a breakdown, the time it took to solve it was... (On a scale from VS= Very Slow to VF= Very Fast)	VS	S	N	F	VF
Rate the following sentences according to a scale where SD is Strongly Disagree and SA is Strongly Agree:					
Q11. Operators attend your call immediately	SD	D	N	A	SA
Q12. The information you received from the Technical Support staff who assisted you through the remote service (CNT EP's call centre) was clear	SD	D	N	A	SA
Q13. They helped you immediately with your requests	SD	D	N	A	SA
Q14. The Technical Support staff (from CNT EP's call centre) who assisted you was friendly	SD	D	N	A	SA
Q15. The Technical Support staff (from CNT EP's call centre) have the skills to perform their job accordingly	SD	D	N	A	SA
Q16. In general, how satisfied are you with the remote customer service that CNT EP offers its customers? Please use the scale from Very Dissatisfied (VD) to Very Satisfied (VS)	VD	D	N	S	VS
How would you rate the following aspects concerning your Internet connection? Please use a scale from VB= Very Bad to VG= Very Good					
Q17. Internet browsing speed	VB	B	R	G	VG
Q18. Connection speed	VB	B	R	G	VG
Q19. Connection stability	VB	B	R	G	VG
Q20. Transmission time	VB	B	R	G	VG
Q21. 24-hour connection	VB	B	R	G	VG
Q22. In general, how satisfied are you with the quality of your Internet connection? Please use a scale from VD= Very Dissatisfied to VS= Very Satisfied	VD	D	N	S	VS
Q23. How easy is it for you to browse CNT EP's website? Please use a scale from VD= Very Difficult to VE= Very Easy	VD	D	N	E	VE
Q24. How satisfied are you with CNT EP as your Internet service provider? Please use a scale from VD= Very Dissatisfied to VS= Very Satisfied	VD	D	N	S	VS
Q25. Based on the scale where VD is Very Dissatisfied and VS is Very Satisfied, how satisfied are you with the plan you hired with CNT EP?	VD	D	N	S	VS
Q26. The price you pay for your Internet service is... (from VL= Very Low to VH= Very High)	VL	L	R	H	VH
Q27. How would you rate the customer service you received when you asked for help? Please use the scale from Very Rude (VR) to Very Friendly (VF).	VR	R	N	F	VF
Q28. Based on the scale where VD is Very Dissatisfied and VS is Very Satisfied, how satisfied are you in general with the service provided by CNT EP?	VD	D	N	S	VS

(b) Sets of labels used to answer the questions of the survey, i.e.: $S^k = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4\}$, $\forall k \in \{1, \dots, p\}$, with $p = 28$

Questions (Qk)	s_0	s_1	s_2	s_3	s_4
Q1, Q6, Q9, Q16, Q22, Q24, Q25, Q28	Very Dissatisfied VD	Dissatisfied D	Neutral N	Satisfied S	Very Satisfied VS
Q2, Q3, Q4, Q5, Q11, Q12, Q13, Q14, Q15	Strongly Disagree SD	Disagree D	Neutral N	Agree A	Strongly Agree SA
Q7, Q10	Very Slow VS	Slow S	Neutral N	Fast F	Very Fast VF
Q8, Q17, Q18, Q19, Q20, Q21	Very Bad VB	Bad B	Regular R	Good G	Very Good VG
Q23	Very Difficult VD	Difficult D	Neutral N	Easy E	Very Easy VE
Q26	Very Low VL	Low L	Regular R	High H	Very High VH
Q27	Very Rude VR	Rude R	Neutral N	Friendly F	Very Friendly VF

(c) Sets of labels used by the experts:

Experience	Very Low VL	Low L	Regular R	High H	Very High VH
Classification of questions	Nothing Related NR	Poorly Related PR	Neutral N	Something Related SR	Closely Related CR

(d) Sets of labels used to express the results provided by SICTQUAL model:

Assessments	Very Dissatisfied VD	Dissatisfied D	Neutral N	Satisfied S	Very Satisfied VS
Consensus	Strongly Disagree SD	Disagree D	Neutral N	Agree A	Strongly Agree SA

References

- [1] N. Hayes, C. Westrup, Context and the processes of ICT for development, *Inf. Organ.* 22 (1) (2012) 23–36.
- [2] S.H. Doong, S.C. Ho, The impact of ICT development on the global digital divide, *Electron. Commer. Res. Appl.* 11 (5) (2012) 518–533.
- [3] A. Naser, G. Concha, Rol de las TIC en la gestión pública y en la planificación para un desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Serie Gestión Pública No.79, 2014, <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/35951>.
- [4] C.W. Choo, The knowing organization: how organizations use information to construct meaning, create knowledge and make decisions, *Int. J. Inf. Manag.* 16 (5) (1996) 329–340.
- [5] A. Edmunds, A. Morris, The problem of information overload in business organisations: a review of the literature, *Int. J. Inf. Manag.* 20 (1) (2000) 17–28.
- [6] B.M. Oldfield, S. Baron, Student perceptions of service quality in a UK university business and management faculty, *Qual. Assur. Educ.* 8 (2) (2000) 85–95.
- [7] K. Newman, Interrogating SERVQUAL: a critical assessment of service quality measurement in a high street retail bank, *Int. J. Bank Market.* 19 (3) (2001) 126–139.
- [8] F.X. Zhu, W. Wymer, I. Chen, IT-based services and service quality in consumer banking, *Int. J. Serv. Ind. Manag.* 13 (1) (2002) 69–90.
- [9] R.W.E. Van der Wal, A. Pampallis, C. Bond, Service quality in a cellular telecommunications company: a South African experience, *Manag. Serv. Qual.* 12 (5) (2002) 323–335.
- [10] J.C. Wong, Service quality measurement in a medical imaging department, *Int. J. Health Care Qual. Assur.* 15 (5) (2002) 206–212.
- [11] A. Curry, E. Sinclair, Assessing the quality of physiotherapy services using SERVQUAL, *Int. J. Health Care Qual. Assur.* 15 (5) (2002) 197–205.
- [12] M. Wisniewski, Using SERVQUAL to assess customer satisfaction with public sector services, *Manag. Serv. Qual.* 11 (6) (2001) 380–388.
- [13] A. Brysland, A. Curry, Service improvements in public services using SERVQUAL, *Manag. Serv. Qual.* 11 (6) (2001) 389–401.
- [14] G. Philip, S.A. Hazlett, Evaluating the service quality of information services using a new “PCP” attributes model, *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* 18 (9) (2001) 900–916.
- [15] S.C. Mehta, A.K. Lalwani, S.L. Han, Service quality in retailing: relative efficiency of alternative measurement scales for different product-service environments, *Int. J. Retail Distrib. Manag.* 28 (2) (2000) 62–72.
- [16] F.A. Frost, M. Kumar, Service quality between internal customers and internal suppliers in an international airline, *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* 18 (4) (2001) 371–386.
- [17] R.A. Carrasco, F. Muñoz-Leiva, J. Sánchez-Fernández, F. Liébana-Cabanillas, A model for the integration of e-financial services questionnaires with SERVQUAL scales under fuzzy linguistic modeling, *Expert Syst. Appl.* 39 (14) (2012) 11535–11547.
- [18] R.A. Carrasco, P. Villar, M.J. Hornos, E. Herrera-Viedma, A linguistic multicriteria decision-making model applied to hotel service quality evaluation from web data sources, *Int. J. Intell. Syst.* 27 (7) (2012) 704–731.
- [19] R. Heradio, F.J. Cabrerizo, D. Fernández-Amorós, M. Herrera, E. Herrera-Viedma, A fuzzy linguistic model to evaluate the quality of Library 2.0 functionalities, *Int. J. Inf. Manag.* 33 (4) (2013) 642–654.
- [20] G.J. Udo, K.K. Bagchi, P.J. Kirs, An assessment of customers’e-service quality perception, satisfaction and intention, *Int. J. Inf. Manag.* 30 (6) (2010) 481–492.
- [21] M. Bahadori, M. Abdi, E. Teimourzadeh, A. Ayoubian, M. Yaghoobi, Assessment of the quality of transport services at a military healthcare center using SERVQUAL model, *J. Mil. Med.* 15 (3) (2013) 177–183.
- [22] M.A. Badri, M. Abdulla, A. Al-Madani, Information technology center service quality: assessment and application of SERVQUAL, *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* 22 (8) (2005) 819–848.
- [23] J.G. El-Bayoumi, Evaluating IT service quality using SERVQUAL, in: *Proceedings of the 40th Annual ACM SIGUCCS Conference on User Services*, ACM, 2012, pp. 15–22.
- [24] A.A. Abu-El Samen, M.N. Akroush, B.N. Abu-Lail, Mobile SERVQUAL: a comparative analysis of customers’ and managers’ perceptions, *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* 30 (4) (2013) 403–425.
- [25] L.K. Roses, N. Hoppen, J.L. Henrique, Management of perceptions of information technology service quality, *J. Bus. Res.* 62 (9) (2009) 876–882.
- [26] M.A. Khan, An empirical assessment of service quality of cellular mobile telephone operators in Pakistan, *Asian Soc. Sci.* 6 (10) (2010) 164–177.
- [27] W.M. Lassar, C. Manolis, R.D. Winsor, Service quality perspectives and satisfaction in private banking, *J. Serv. Market.* 14 (3) (2000) 244–271.
- [28] I. Fecikova, An index method for measurement of customer satisfaction, *TQM Mag.* 16 (1) (2004) 57–66.
- [29] H. Song, R. van der Veen, G. Li, J.L. Chen, The Hong Kong tourist satisfaction index, *Ann. Tour. Res.* 39 (1) (2012) 459–479.
- [30] L. Zadeh, The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning: Part I, *Inf. Sci.* 8 (3) (1975) 199–249.
- [31] F. Herrera, L. Martínez, A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* Part B: Cybern. 31 (2) (2001) 227–234.
- [32] L. Martínez, F. Herrera, An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: extensions, applications and challenges, *Inf. Sci.* 207 (2012) 1–18.
- [33] R. Likert, A technique for the measurement of attitudes, *Arch. Psychol.* 22 (140) (1932) 1–55.
- [34] M. Delgado, J.L. Verdegay, M.A. Vila, Linguistic decision-making models, *Int. J. Intell. Syst.* 7 (5) (1992) 479–492.
- [35] G. Bordogna, G. Pasi, An ordinal information retrieval model, *Int. J. Uncertain. Fuzziness Knowl.-Based Syst.* 9 (Supp 01) (2001) 63–75.
- [36] Q. Li, A novel Likert scale based on fuzzy sets theory, *Expert Syst. Appl.* 40 (5) (2013) 1609–1618.

- [37] J.A. Morente-Molinera, I.J. Pérez, M.R. Ureña, E. Herrera-Viedma, On multi-granular fuzzy linguistic modelling in group decision making problems: a systematic review and future trends, *Knowl.-Based Syst.* 74 (2015) 49–60.
- [38] S.H. Tsaur, T.Y. Chang, C.H. Yen, The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM, *Tour. Manag.* 23 (2) (2002) 107–115.
- [39] R.A. Carrasco, P. Villar, M.J. Hornos, E. Herrera-Viedma, A linguistic multi-criteria decision making model applied to the integration of education questionnaires, *Int. J. Comput. Intell. Syst.* 4 (5) (2011) 946–959.
- [40] W.C. Chou, Y.P. Cheng, A hybrid fuzzy MCDM approach for evaluating website quality of professional accounting firms, *Expert Syst. Appl.* 39 (3) (2012) 2783–2793.
- [41] L. Zadeh, The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning: Part II, *Inf. Sci.* 8 (4) (1975) 301–357.
- [42] L. Zadeh, The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning: Part III, *Inf. Sci.* 9 (1) (1975) 43–80.
- [43] F. Mata, L. Martínez, E. Herrera-Viedma, An adaptive consensus support model for group decision-making problems in a multigranular fuzzy linguistic context, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* 17 (2) (2009) 279–290.
- [44] S. Alonso, F.J. Cabrerizo, F. Chiclana, F. Herrera, E. Herrera-Viedma, Group decision making with incomplete fuzzy linguistic preference relations, *Int. J. Intell. Syst.* 24 (2) (2009) 201–222.
- [45] S. Alonso, I.J. Pérez, F.J. Cabrerizo, E. Herrera-Viedma, A linguistic consensus model for Web 2.0 communities, *Appl. Soft Comput.* 13 (1) (2013) 149–157.
- [46] A. Tejada-Lorente, C. Porcel, E. Peis, R. Sanz, E. Herrera-Viedma, A quality based recommender system to disseminate information in a University Digital Library, *Inf. Sci.* 261 (2014) 52–69.
- [47] J. Serrano-Guerrero, E. Herrera-Viedma, J.A. Olivas, A. Cerezo, F.P. Romero, A Google wave-based fuzzy recommender system to disseminate information in University Digital Libraries 2.0, *Inf. Sci.* 181 (9) (2011) 1503–1516.
- [48] C. Porcel, E. Herrera-Viedma, Dealing with incomplete information in a fuzzy linguistic recommender system to disseminate information in university digital libraries, *Knowl.-Based Syst.* 23 (2010) 32–39.
- [49] R.A. Carrasco, M.F. Blasco, E. Herrera-Viedma, An implementation of a linguistic multi-criteria decision making model: an application to tourism. In: *Rough Sets and Current Trends in Computing*, Lect. Notes Comput. Sci. 8536 (2014) 232–239.
- [50] A. Cid-López, M.J. Hornos, R.A. Carrasco, E. Herrera-Viedma, A hybrid model for decision-making in the information and communications technology sector, *Technol. Econ. Dev. Econ.* 21 (5) (2015) 720–737.
- [51] F. Herrera, L. Martínez, A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* 8 (6) (2000) 746–752.
- [52] R.M. Tong, P.P. Bonissone, A linguistic approach to decision making with fuzzy sets, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* 10 (11) (1980) 716–723.
- [53] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, J. Verdegay, Direct approach processes in group decision making using linguistic OWA operators, *Fuzzy Sets Syst.* 79 (2) (1996) 175–190.
- [54] F. Herrera, S. Alonso, F. Chiclana, E. Herrera-Viedma, Computing with words in decision making: foundations, trends and prospects, *Fuzzy Optim. Decis. Mak.* 8 (4) (2009) 337–364.
- [55] M. Fedrizzi, M. Fedrizzi, R.M. Pereira, Consensus modelling in group decision making: dynamical approach based on fuzzy preferences, *New Math. Nat. Comput.* 3 (2) (2007) 219–237.
- [56] I.J. Pérez, F.J. Cabrerizo, S. Alonso, E. Herrera-Viedma, A new consensus model for group decision making problems with non-homogeneous experts, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.: Syst.* 44 (4) (2014) 494–498.
- [57] E. Herrera-Viedma, F.J. Cabrerizo, J. Kacprzyk, W. Pedrycz, A review of soft consensus models in a fuzzy environment, *Inf. Fusion* 17 (2014) 4–13.
- [58] D. Ben-Arieh, Z. Chen, Linguistic group decision-making: opinion aggregation and measures of consensus, *Fuzzy Optim. Decis. Mak.* 5 (4) (2006) 371–386.
- [59] D. Ben-Arieh, Z. Chen, Linguistic-labels aggregation and consensus measure for autocratic decision making using group recommendations, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part A: Syst. Hum.* 36 (3) (2006) 558–568.
- [60] F.J. Cabrerizo, J.M. Moreno, I.J. Pérez, E. Herrera-Viedma, Analyzing consensus approaches in fuzzy group decision making: advantages and drawbacks, *Soft Comput.* 14 (5) (2010) 451–463.
- [61] A. Parasuraman, V.A. Zeithaml, L. Berry, A conceptual model of service quality and its implications for future research, *J. Market.* 49 (4) (1985) 41–50.
- [62] A. Parasuraman, V.A. Zeithaml, L. Berry, SERQUAL, *J. Retail.* 64 (1) (1988) 12–40.
- [63] A. Parasuraman, V.A. Zeithaml, L. Berry, Alternative scales for measuring service quality: a comparative assessment based on psychometric and diagnostic criteria, *J. Retail.* 70 (3) (1994) 201–230.
- [64] A. Parasuraman, V.A. Zeithaml, L. Berry, Reassessment of expectations as a comparison standard in measuring service quality: implications for further research, *J. Market.* 58 (1) (1994) 111–124.
- [65] J.J. Cronin, M. Brady, G. Hult, Assessing the effects of quality, value, and customer satisfaction on consumer behavioral intentions in service environments, *J. Retail.* 76 (2) (2000) 193–218.
- [66] L. Eboli, G. Mazzulla, A new customer satisfaction index for evaluating transit service quality, *J. Public Transp.* 12 (3) (2009) 21–37.
- [67] Y.L. Lee, N. Hing, Measuring quality in restaurant operations: an application of the SERVQUAL instrument, *Int. J. Hosp. Manag.* 14 (3) (1995) 293–310.
- [68] T.P. Van Dyke, L.A. Kappelman, V.R. Prybutok, Measuring information systems service quality: concerns on the use of the SERVQUAL questionnaire, *MIS Q.* (1997) 195–208.
- [69] F. Sultan, M.C. Simpson Jr., International service variants: airline passenger expectations and perceptions of service quality, *J. Serv. Market.* 14 (3) (2000) 188–216.
- [70] V.A. Zeithaml, Service excellence in electronic channels, *Manag. Serv. Qual.: Int. J.* 12 (3) (2002) 135–139.
- [71] C.C. Chou, L.J. Liu, S.F. Huang, J.M. Yih, T.C. Han, An evaluation of airline service quality using the fuzzy weighted SERVQUAL method, *Appl. Soft Comput.* 11 (2) (2011) 2117–2128.
- [72] R. Arambewela, J. Hall, A comparative analysis of international education satisfaction using SERVQUAL, *J. Serv. Res.* 6 (Special) (2006) 141–163.
- [73] S. Bose, N. Gupta, Customer perception of services based on the SERVQUAL dimensions: a study of Indian commercial banks, *Serv. Market. Q.* 34 (1) (2013) 49–66.
- [74] J.J. Cronin, S.A. Taylor, SERVPERF versus SERVQUAL: reconciling performance-based and perceptions-minus-expectations measurement of service quality, *J. Market.* 58 (1) (1994) 125–131.
- [75] Y. Akao, G.H. Mazur, The leading edge in QFD: past, present and future, *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* 20 (1) (2003) 20–35.
- [76] A. Parasuraman, V.A. Zeithaml, A. Malhotra, E-S-QUAL: a multiple-item scale for assessing electronic service quality, *J. Serv. Res.* 7 (3) (2005) 213–233.
- [77] R. Ladhari, A review of twenty years of SERVQUAL research, *Int. J. Qual. Serv. Sci.* 1 (2) (2009) 172–198.
- [78] M. Sánchez-Pinilla, Las Tecnologías de la Información y la Comunicación: Sus opciones, sus limitaciones y sus efectos en la enseñanza, *Nómadas: Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas* 8 (1) (2003) 1–20.
- [79] J.C.C. Romani, El concepto de tecnologías de la información, *Benchmarking sobre las definiciones de las TIC en la sociedad del conocimiento*, *Zer: Revista de Estudios de Comunicación* 14 (27) (2011) 295–318.
- [80] D. Parmenter, *Key Performance Indicators (KPI): Developing, Implementing and Using Winning KPIs*, John Wiley and Sons, 2010.
- [81] J. Wu, F. Chiclana, E. Herrera-Viedma, Trust based consensus model for social network in an incomplete linguistic information context, *Appl. Soft Comput.* 35 (2015) 827–839.
- [82] J. Wu, F. Chiclana, A social network analysis trust-consensus based approach to group decision-making problems with interval-valued fuzzy reciprocal preference relations, *Knowl.-Based Syst.* 59 (2014) 97–107.
- [83] R.M. Rodríguez, L. Martínez, F. Herrera, Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* 20 (1) (2012) 109–119.
- [84] H. Liu, R.M. Rodríguez, A fuzzy envelope for hesitant fuzzy linguistic term set and its application to multicriteria decision making, *Inf. Sci.* 258 (2014) 220–238.
- [85] J.V. Riera, S. Massanet, E. Herrera-Viedma, J. Torrens, Some interesting properties of the fuzzy linguistic model based on discrete fuzzy numbers to manage hesitant fuzzy linguistic information, *Appl. Soft Comput.* 36 (2015) 383–391.
- [86] K.T. Atanassov, Intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Sets Syst.* 20 (1) (1986) 87–96.
- [87] R. Ureña, F. Chiclana, H. Fujita, E. Herrera-Viedma, Confidence-consistency driven group decision making approach with incomplete reciprocal intuitionistic preference relations, *Knowl.-Based Syst.* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.knosys.2015.06.020> (in press).
- [88] J. Wu, F. Chiclana, A risk attitudinal ranking method for interval-valued intuitionistic fuzzy numbers based on novel attitudinal expected score and accuracy functions, *Appl. Soft Comput.* 22 (2014) 272–286.

2 A hybrid model for decision-making in the Information and Communications Technology sector

Technological and Economic Development of Economy
Volume 21, Issue 5, 2015
Special Issue: Fuzzy sets and fuzzy logic in multi-criteria decision making. The 50th anniversary of prof. Lotfi Zadeh's theory

Seleccionar idioma | ▼
Translator disclaimer

 CrossMark
click for updates

 Original Articles
A hybrid model for decision-making in the Information and Communications Technology sector

DOI: 10.3846/20294913.2015.1056281
Andrés Cid-López^{a*}, Miguel J. Hornos^{a*}, Ramón Alberto Carrasco^b & Enrique Herrera-Viedma^{cd}
pages 720-737

Preview
PDF
Access options

Publishing models and article dates explained
Received: 10 Mar 2015
Accepted: 17 May 2015
Published online: 29 Sep 2015

Alert me

Quality evidence of the journal where the article was published #2

Status:	Published
Journal Name:	Technological and Economic Development of Economy
Impact Factor:	(JCR Social Science 2015) : 1.952
5-Year Impact Factor:	2.057
Subject Category:	Economics
Ranking:	55 / 344 (Q1)

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/20294913.2015.1056281>

A HYBRID MODEL FOR DECISION-MAKING IN THE INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY SECTOR

Andrés CID-LÓPEZ^a, Miguel J. HORNOS^a, Ramón Alberto CARRASCO^b,

Enrique HERRERA-VIEDMA^{c,d}

^a*Department of Software Engineering, University of Granada, 18071 Granada, Spain*

^b*Department of Marketing and Market Research, Complutense University of Madrid, 28015 Madrid, Spain*

^c*Department of Computer Science and Artificial Intelligence, University of Granada, 18071 Granada, Spain*

^d*Department of Electrical and Computer Engineering, King Abdulaziz University, 21589 Jeddah, Saudi Arabia*

Abstract. The majority of businesses in the Information and Communications Technology (ICT) sector face decision-making problems on a daily basis. Most of these problems are based on contexts of uncertainty, where decisions are founded on qualitative information which may be imprecise or perception-based. In these cases, the information which is expressed by experts and users of evaluated services can be treated using processes of computing with words (CW). In this paper, we present a hybrid decision-making model especially designed for the ICT sector whereby the experts have the support of an intelligent system which provides information about the opinions of users related to those problems which are to be analysed. These opinions are obtained by using different mechanisms and techniques when users conduct business with the service provider. In addition, we employ a procedure for obtaining consensus between experts which enriches and strengthens the decision-making process.

Keywords: Information and Communications Technology, multicriteria decision-making, 2-tuple linguistic computational model, computing with words.

JEL Classification: D81, D83, M15, L86, L96.

Introduction

Economic growth in a large number of countries is linked to the development and use of ICTs. This link between ICTs and economic development is noted in several works (e.g. Pérez 2004; Katz 2009; Peres, Hilbert 2009; Naser, Concha 2014), where it is suggested that

the use and spread of information technology to other sectors could result in a sustained increase in the potential average growth rate in the economy. Taking into account the importance of this sector for a country's economy, this work aims to provide an additional tool to facilitate decision-making in ICT-related sectors.

The use of experts in decision-making is a common practice; however, there are a number of limitations involved. Among these limitations, we could mention the following ones: the impossibility of having them permanently, there are time restrictions involved in decision-making, the level of knowledge or experience of the experts may not be sufficient, and the level of responsibility in relation to the assigned tasks may vary from one expert to another.

To mitigate these limitations, our proposal is based on the utilisation of all available sources of information. Here, we are referring to the effective use that can be made of experience expressed verbally by those who are directly involved (available experts), as well as the anonymous opinions provided by external customers (clients) and internal users (staff). All of this information is collected by different means and mechanisms of contact, including, for example, surveys conducted with clients or users of the services of a given company. The aim here is to find out the expectations and perceptions of users who make up the portfolio of clients.

It is important to highlight that the above-mentioned data-collection procedures and mechanisms may or may not take place on a face-to-face basis. This means that it is not entirely necessary to have the physical presence of users in order to be able to investigate, to assess or to know their opinions regarding diverse topics of interest. As indicated, the aim of these information search mechanisms is to obtain additional information not only from external users (those who are not directly linked to the service provider), but also from internal users (those who have a direct link to the service provider). In the latter case, since internal users form part of the business conglomerate, they usually provide a richer source of information because they play two roles: on the one hand, they are clients of the service; on the other, they are part of the business.

Our proposal does not aim to create a substitute method for mature and proven technologies; instead, we provide a technological tool which is complementary to data analysis. In addition, the opinions collected are processed using fuzzy logic and CW, which ensures that there is no loss of information, since qualitative data provided are treated by using labels expressed in natural language, without having to transform it into numerical values, as is necessary in other methods.

This proposal arises as a result of the previous analyses of a series of studies dealing with multicriteria decision-making (MCDM). Among these works, we would highlight the ones authored by: Gal *et al.* (1999), where the main decision-making models are explained; Cabrerizo *et al.* (2009), who explain how fuzzy linguistic information is modelled; Oh *et al.* (2009) and Hu *et al.* (2014), who have developed decision-making models in the telecommunications sector; Tseng (2011), Carrasco *et al.* (2012) and Park and Jeong (2013), where models of quality of service are detailed; Pérez *et al.* (2010), who have developed a mobile decision support for dynamic group decision-making problems; Carrasco *et al.* (2011), where a decision-making model is applied to education; Zavadskas and Turskis (2011), who

present an overview on MCDM methods applied in economics; Keršulienė and Turskis (2011), where a model for architect selection is presented; and Elbarkouky *et al.* (2012), who provide a decision-making model employed in services and infrastructure.

Based on this previous analysis work, and taking into account other works that use a combination of some existing models (Porcel *et al.* 2012; Kabak, Dağdeviren 2014), we present the Hybrid Model for Decision-Making (HMDM) in the ICT sector. This name has been chosen because it involves human experts, on the one hand, and, on the other, an intelligent information system that plays the role of a virtual expert, since it processes, accumulates and presents the opinions expressed by the users. Once these opinions are collected, a consensus is reached according to previously stipulated criteria.

The rest of this article is structured in four further sections. In Section 1, the necessary preliminary concepts and theoretical bases are introduced. In Section 2, the proposed model (HMDM) is described. In Section 3, this model is applied to a practical case in the ICT sector. In Section 4, the results obtained are analysed and discussed. Finally, the conclusions are presented along with possible future research.

1. Material and methods

In this section, we will provide a brief revision of the main concepts and theoretical underpinnings used for our proposal.

1.1. Fuzzy linguistic approach

We are generally accustomed to working with quantitative information, which is expressed through precise numerical values. However, in many real-life problems, these values are not available; instead, we depend on perceptions or imprecise knowledge. According to Zadeh (1975), it is possible to use a fuzzy linguistic approach to represent this knowledge using linguistic variables instead of numerical values.

Definition 1. (Linguistic variable): A linguistic variable is one which is characterized by a quintuple $(V, T(V), X, G, M)$, where:

- V is the name of the variable;
- $T(V)$ is the set of terms of V , where each value is a fuzzy linguistic label (represented as ν) which varies throughout the universe of the discourse;
- X is the universe of the discourse;
- G is a syntactic rule for generating the terms of $T(V)$, in other words, the linguistic labels of V ; and
- M represents a semantic rule for associating each linguistic value ν with its corresponding meaning $M(\nu)$, which is a subset of X .

Taking into account the above definition, it is necessary to carefully choose the linguistic descriptors for the group of linguistic terms and their semantics, which are given by means of fuzzy numbers.

According to Bonissone (1980), one way of presenting a fuzzy number is by using a parametric representation of its membership functions. A fuzzy set A in a universe of discourse X is defined as the following set of pairs:

$$A = \left\{ (x, \mu_A(x)); x \in X \right\}.$$

Here $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$ is a membership function of the fuzzy set A ; thus, $\mu_A(x)$, often written as $A(x)$, gives us the degree of membership of the value $x \in X$ to the fuzzy set A . A membership function links elements x of one discourse domain X with elements of the interval $[0,1]$, which means that the closer $A(x)$ is to value 1, the greater the membership is of object x to the set A . This can be carried out in different ways. In our case, we have chosen five linguistic terms that are linearly and uniformly distributed, using a triangular membership function, as shown in Figure 1. The labels used are in the set $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4\}$.

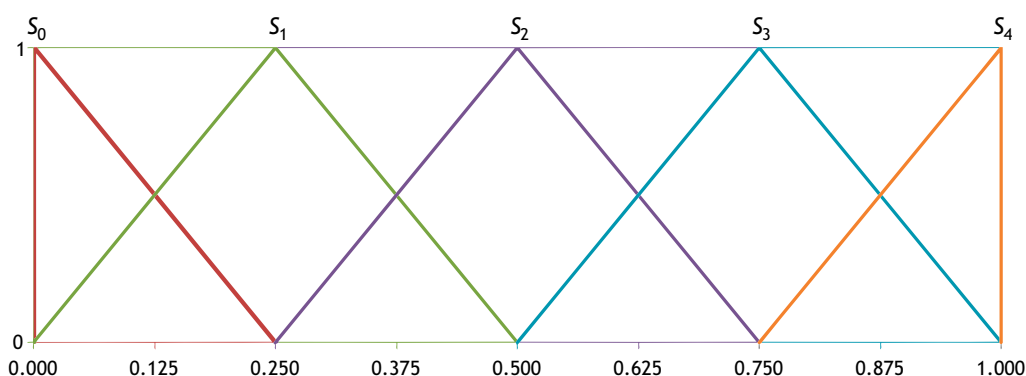


Fig. 1. Triangular linguistic labels

The definition of the semantics of the labels of an ordered set must fulfil the properties defined by the following operators:

- Negation operator: $Neg(s_i) = s_j, j = g - i$ ($g + 1$ is the cardinality of S);
- Maximization operator: $\max(s_i, s_j) = s_i, \text{ if } s_i \geq s_j$;
- Minimization operator: $\min(s_i, s_j) = s_i, \text{ if } s_i \leq s_j$.

1.2. Linguistic decision-making

The basic problem of Linguistic Decision-Making (LDM) consists in choosing the best possible solution from a number of alternatives $A = \{A_1, \dots, A_n\}$. In order to arrive at this result, a group of experts $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ express their assessments $x_i^j, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$, using a set of linguistic terms $S = \{s_0, \dots, s_g\}$. The values $x_i^j \in S$ are fuzzy sets defined by a membership function in $[0,1]$.

A diagram of the steps to be taken in solving an LDM problem is presented in Figure 2 and, as can be observed, the process has several phases. The Aggregation phase (see right Figure 2, which shows the steps to be taken within the Selection of Alternatives phase) is where the collective assessments corresponding to each alternative are obtained. In the Exploitation phase, we obtain the best solution from the set of possible alternatives A to

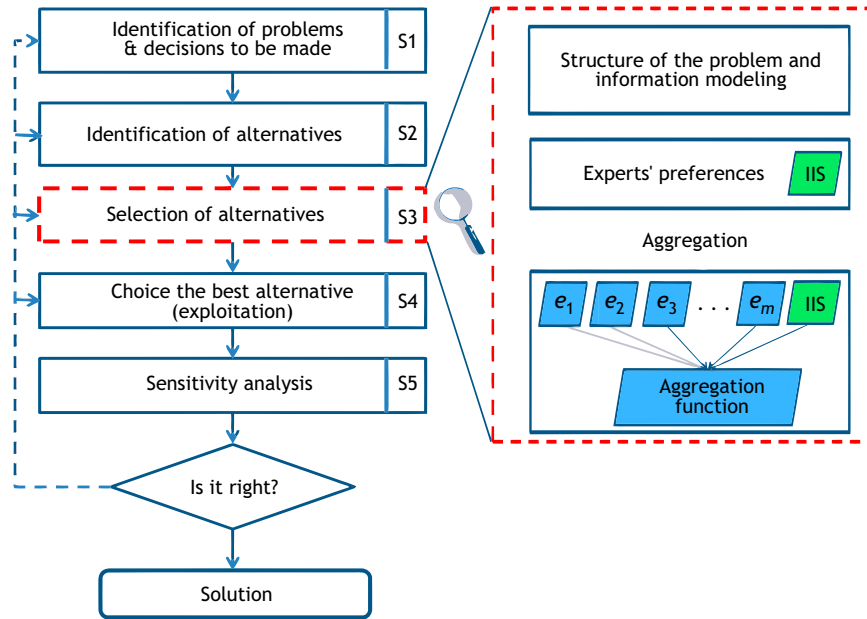


Fig. 2. Scheme of our decision-making process (left). Tasks to be carried out within the phase called Selection of Alternatives (right)

resolve the problem. At the end of the Sensitivity Analysis phase (step S5 in Fig. 2), the possible solutions are contrasted with several requirements previously established, such as: required level of consensus, minimum number of opinions expressed, etc., with the aim of checking the consistency of these solutions.

In Tong and Bonissone (1980), a technique for LDM is presented which makes use of linguistic labels with fuzzy semantics in order to deal with the uncertainty inherent in this type of problem. Its authors also indicated that the results obtained by applying any model supporting the decision-making must be expressed in natural language.

Other authors, such as Kacprzyk and Zadrozny (2001) and Massanet *et al.* (2014), state that it does not seem appropriate to make decisions based on numerical information when a linguistic model close to the human cognitive model has been developed.

1.3. 2-tuple linguistic model

The 2-tuple model was developed by Herrera and Martínez (2000) in order to improve the precision of the processes carried out in the CW. In this model, linguistic information is represented by means of two values (hence the name 2-tuple), expressed as (s_i, α) , where s_i is a linguistic term and α is the symbolic translation of this term. The definitions of the main concepts defined by these authors are presented below:

Definition 2. (Symbolic translation): The symbolic translation of a linguistic term $s_i \in S = \{s_0, \dots, s_g\}$ is a numerical value defined in $[-0.5, 0.5)$, which represents the “difference of information” between an amount of information $\beta \in [0, g]$ obtained from a symbolic operation and the index of the closest linguistic term.

In this linguistic model, a series of functions are defined to carry out transformations between numerical values and those represented by 2-tuples.

Definition 3. (2-tuple representation): Let $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ be a set of linguistic terms and $\beta \in [0, g]$ the value obtained by the symbolic translation operation, then the 2-tuple expresses the equivalent information to β which is obtained by the following function:

$$\Delta : [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5),$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ with } \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, & \alpha \in [-0.5, 0.5), \end{cases} \quad (1)$$

where $\text{round}(\beta)$ is the usual operator which calculates the closest integer value to β . Besides, it should be noted that Δ is bijective, so that:

$$\Delta^{-1} S \times [-0.5, 0.5) \rightarrow [0, g], \quad (2)$$

which is defined as:

$$\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha. \quad (3)$$

Thus, based on the previous functions, the conversion of a linguistic term into a 2-tuple consists in adding a value zero as its symbolic translation. This form of representation is associated with a computational model which lets us perform processes of CW without losing information (Herrera, Martínez 2001a; Herrera *et al.* 2009).

1.4. Linguistic aggregation process

Below, and following Herrera and Martínez (2001b), a couple of aggregation operators for linguistic 2-tuples are defined. These operators will be used in this study to calculate the mean values of the opinions obtained from users (extended arithmetical mean operator) and the opinions expressed by experts (extended weighted mean operator).

Definition 4. (Extended arithmetical mean): Let $A = \{(r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)\}$ be a set of linguistic 2-tuples, its arithmetical average is calculated by applying the extended arithmetical mean operator, \bar{x}^e , defined as:

$$\bar{x}^e((r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)) = \Delta\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(r_i, \alpha_i)\right) = \Delta\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i\right). \quad (4)$$

Definition 5. (Extended weighted mean): Let $A = \{(r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)\}$ be a set of linguistic 2-tuples and $W = \{(w_1, \alpha_1), \dots, (w_n, \alpha_n)\}$ a vector of 2-tuples corresponding to the weights associated to each 2-tuple of A . The extended weighted mean operator, \bar{x}_l^e , is defined as:

$$\bar{x}_l^e = \Delta\left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(r_i, \alpha_i) \times \Delta^{-1}(w_i, \alpha_i)}{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(w_i, \alpha_i)}\right). \quad (5)$$

1.5. Calculating the level of consensus

Several works have focused on determining the degree of consensus on linguistic models for decision-making (Alonso *et al.* 2013; Cabrerizo *et al.* 2010, 2015; Su *et al.* 2013; Morente-Molinera *et al.* 2015). In our case, the methodology to do this is based on the degree of coincidence of the answers given by the experts. The level of consensus (C_f) among the m experts participating in the decision-making process is carried out through the use of a technique which groups the same assessments made by such experts for each one of the alternatives A_p , i.e. the consensus for each alternative C_{A_i} , according to the following formula:

$$C_{A_i} = \frac{\sum_{i=1}^m (v_i \times k_i)}{m}, \quad (6)$$

with:

$$C_f = \Delta \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{A_i} \right), \quad (7)$$

where:

- v_i represents the number of coinciding assessments of the m experts, ordered from higher to lower, so that for each alternative $\sum v_i = m$,
- k_i represents the multiplicative coefficient according to the position of grouping of the assessments, this is, $k_i = (m - i) / (m - 1)$,
- m is the total number of experts,
- n is the number of alternatives.

The value obtained is also represented as a 2-tuple.

2. Hybrid Model for Decision-Making

In this section, we present our Hybrid Model for Decision-Making (HMDM), which is proposed to evaluate and analyse a given problem in a business context and to obtain the best solution for it. A functional diagram of the model is presented in Figure 3. In it, two parts may be observed (left and right), which respectively correspond to each of the two stages in which the model is divided: Intelligent Information System (IIS) and Group Decision-Making Process. Both stages are explained in detail below, in the corresponding subsections.

2.1. Intelligent Information System

The IIS is made up of interconnected databases. The data stored in these databases are categorized by topics related to the organization's main areas of interest (hiring, quality of service, billing, legal issues, human resources, etc.). We denote these categories as $\mathcal{D} = \{d_1, \dots, d_h\}$. Each category $d_i (\forall i \in \{1, \dots, h\})$ is divided into more specific groups $B^i = \{b_1^i, \dots, b_q^i\}$, where other data related to the main topic are stored. For example, in the case of service quality, specific topics may include satisfaction with the service, complaints, suggestions, etc.

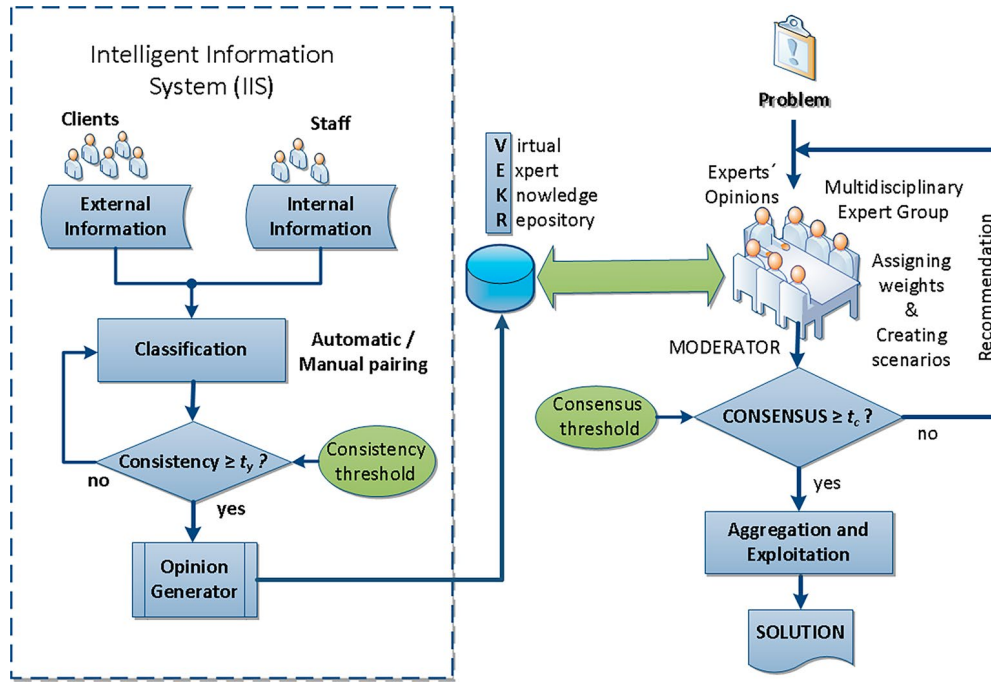


Fig. 3. Operating scheme of the Hybrid Model for Decision-Making

The objective of this module (IIS) is to process, classify and group the set of responses $R = \{(r_1, 0), \dots, (r_z, 0)\}$, obtained for questions formulated using different media (personal, online and/or telephone surveys, social networks, websites, automatic data collection systems, etc.). These responses are given by the organization's external users (clients), $u^c = \{u_1^c, \dots, u_n^c\}$, and internal users (staff), $u^s = \{u_1^s, \dots, u_m^s\}$, using the set of linguistic labels that will later be converted to the 2-tuple linguistic model, following the format (s_i, α) , with $\alpha = 0$.

The classification of data inputted in the IIS includes pairing similar questions made at different times in different media and different surveys. This procedure can be conducted manually (by the staff in charge of data processing) or automatically (by specialized software). Afterwards, it is necessary to conduct a quality assessment process called *data consistency calculation*. The objective of this procedure is to verify that the subproduct obtained from the data pairing complies with the established quality requirements (greater or equal to the *consistency threshold*, t_y).

Consistency refers to the degree to which the different questions referring to the same topic are related to each other. This consistency indicates the degree to which the questions are in accordance with each other and, therefore, determines whether they can be paired to establish comprehensive opinions. A minimum threshold mechanism is generally used to resolve this issue by identifying the questions that score above this limit, which are considered to be consistent and can therefore be paired. A series of studies in the relevant literature use this type of mechanism (Alonso *et al.* 2008; Dong, Herrera-Viedma 2014). The model we propose employs this minimum threshold mechanism and the minimization operator described in Section 1.1, defined as $\min(s_i, s_j) = s_i$, if $s_i \leq s_j$.

The total number of responses for each (non-paired) question or group of related (paired) questions, $p \in \{1, \dots, k\}$, already classified according to the (external or internal) user profile, may be represented respectively as:

$$R_p^{u^c} = \sum_{i=1}^n R_p^{u_i^c}$$

and

$$R_p^{u^s} = \sum_{j=1}^m R_p^{u_j^s}.$$

It is necessary to aggregate these responses in order to create groups of opinions. This is done by using the extended arithmetical mean aggregation operator, defined in (4), in order to calculate the groups of external and internal client opinions, respectively, with the following equations:

$$\bar{o}_p^c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_p^{u_i^c}, \alpha_p^{u_i^c})$$

and

$$\bar{o}_p^s = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (R_p^{u_j^s}, \alpha_p^{u_j^s}).$$

The collected responses and opinions obtained from the data aggregation process are expressed in the 2-tuple linguistic model (s_p, α_i) , corresponding to the outputs from the first phase. These values (aggregate opinions) are stored in the corresponding specific topic group $b_j^i \in B^i$ of the *Virtual Expert Knowledge Repository* (VEKR), which will be consulted by experts in the second stage, which is explained in the following subsection.

2.2. Group decision-making process

Two groups of human experts intervene in this part of the process: $E_a = \{e_{a_1}, \dots, e_{a_q}\}$, who are the experts that assign weights ($W = \{w_1, \dots, w_n\}$) to the set of proposed solution alternatives $A = \{A_1, \dots, A_n\}$, and $E_b = \{e_{b_1}, \dots, e_{b_r}\}$, who are the experts that evaluate such alternatives. Both groups do not necessarily have to include the same people, and it therefore is possible that $E_a = E_b$ or $E_a \neq E_b$, in which case (the latter) these sets may be disjoint or share some of the experts.

A critical part of this process is assessing the degree of consensus reached by the experts in terms of evaluating the solution alternatives. The degree of consensus is compared to the minimum consensus threshold initially established by the corresponding administrative hierarchical authority (*consensus threshold, t_c*). Formulas (6) and (7) are used in this case. A multiplicative linguistic coefficient (k_i) refers to the value assigned to each label in the set $S = \{s_0, \dots, s_g\}$. This coefficient is ordered according to the labels' degree of relevance (from the most to the least significant). There is also a variable v_p , which accounts for the number of times a label is repeated in the evaluation of an alternative A_i (formerly grouped from the greatest to the least number of coincidences), with $\sum v_i = |E_b| + |e_v^c| + |e_v^s| = |E_b| + 2 = m$, where m is the total number of experts who value the alternatives (E_b represents the group of human experts, while e_v^c and e_v^s are virtual experts, where the former corresponds to the aggregate opinion of external clients and the latter to internal clients).

Therefore, the experts' final assessments of the proposed solution alternatives are expressed in the matrix O_{ij} , which consists of n alternatives to be evaluated and m (human and virtual) experts conducting the evaluation.

The consensus among the different experts for each alternative A_i (C_{A_i}) is calculated by applying formula (6), while the final degree of consensus (C_p) for the entire set of alternatives is obtained by aggregating the consensus reached for each individual alternative A_p , using formula (7).

If the established consensus requirement is fulfilled ($\geq t_c$), the aggregation and exploitation phase follows. If the requirement is not met, the experts must continue to debate the evaluations until a sufficient degree of consensus has been reached (greater or equal to the established threshold), following the previous recommendations made by the subject serving as moderator.

Using the weights initially assigned by experts in E_a and the assessments of human experts (E_b) and virtual experts (e_v^c and e_v^s), the weighted aggregation considered for each alternative in the matrix O_{ij} is calculated by applying the formula described in (5), which corresponds to the extended weighted mean aggregation operator considered. The application of said formula to the proposed model would be as follows:

$$\bar{x}_{A_i} = \frac{\sum_{j=1}^m O_{ij} \times \bar{w}_i}{\sum_{j=1}^m w_{ij}} = L_i,$$

where \bar{w}_i represents the arithmetical average of the expressed weights w_{ij} (in 2-tuples) by experts in E_a for each alternative A_p , and L_i is the weighted aggregation of the assessments received for the corresponding alternative.

The final exploitation phase of this process consists of ordering the results obtained for each alternative (L_i), in order from the most to the least significant label. The first option in the resulting ordered list will therefore be the solution that should be applied.

The proposed model can be better understood in the application example explained in next section.

3. Application example

For this example, we take the case of a company that is a telecommunication service operator. The problem to be discussed is the improvement in the customer service timetable. It is important to point out here that, in the last months, the company has been quietly investigating client expectations in relation to this problem. Below are some of the questions users were asked at different times and in different circumstances. The answers to these questions have been expressed according to a scale of five linguistic labels, which are s_0 = Strongly Disagree (SD), s_1 = Disagree (D), s_2 = Neutral (N), s_3 = Agree (A) and s_4 = Strongly Agree (SA).

- Which of the following alternatives would contribute to better customer service?
- From the following alternatives to improve customer service, which do you think is the most effective?

- Indicate your level of agreement in relation to the following alternatives in customer service.
- How would you rate the following proposals of improvement in customer service?
- How would you assess the following alternatives for a better customer service?

The responses obtained are fed into the repository called VEKR (see Fig. 3), which stores the users' opinions about several topics of interest for the company.

In addition, a multidisciplinary team is created, which is made up of one or more experts from each of the areas involved. In this specific case, the team has one expert from the commercial area, another from the systems area, and one from the technical area (labelled as e_c , e_s and e_t respectively), who pre-evaluate the existing proposals and express their initial preferences for each alternative under consideration (A_1, \dots, A_5). With this procedure, it is possible to establish levels of importance (weights) for each alternative from the perspective of each area involved. This information, shown in Table 1, is used in the later stages of the process.

The alternatives under consideration are:

- A_1 . Moving the current customer service timetable;
- A_2 . Increasing the timeslot assigned to customer service;
- A_3 . Changing the nature of customer service (face-to-face vs. phone or online);
- A_4 . Forming alliances with entities with a different/wider customer service timetable;
- A_5 . Opening new points of customer service.

Experts who carry out the previous assessment (e_c , e_s and e_t), in order to assign levels of importance (weights) to the different alternatives, are not necessarily in charge of the assessment of the alternatives which arise in the proposal of a solution. For this reason, those who participate in the latter stage are labelled as e_1 , e_2 and e_3 (i.e., using different labels).

Table 1. Weights initially assigned by experts to each alternative

	e_c	e_s	e_t	Weighted Average
A_1	A	A	SA	(A, +0.0833)
A_2	SA	A	A	(A, -0.0833)
A_3	A	N	N	(N, +0.0833)
A_4	D	D	D	(D, +0.0000)
A_5	SD	D	SD	(SD, +0.0833)

4. Result analysis and discussion

After making the appropriate queries to the VEKR repository, 1048 responses were found from external customers and 82 from internal customers in relation to this point of interest (in total 1130 users provided opinions on the case under study). Once these answers were aggregated using the aggregation operator presented in Definition 4, the resulting information was included in the columns labelled as u^c and u^s in Table 2, which respectively represent external customer opinions and internal customer (staff) opinions.

Table 2. Assessments expressed by all the experts considered

	e_1	e_2	e_3	u^c (1048 users)	u^s (82 users)
A_1	A	A	A	(A, -0.0742)	(A, -0.0756)
A_2	SA	SA	A	(A, +0.0785)	(A, +0.0764)
A_3	A	SA	SA	(A, +0.0759)	(A, +0.0743)
A_4	N	N	A	(N, +0.0256)	(N, +0.0245)
A_5	N	D	N	(N, -0.1246)	(D, +0.1247)

Initially, the information stored in the VEKR (u^c and u^s) could be considered as the opinion of only one additional expert. However, in this particular case, we decided to show the information coming from two independent experts, in order to observe the possible differences of opinion between both (external and internal) customer types.

Consequently, in the second stage, five experts are involved (as shown in Table 2); three of them are human experts (e_1, e_2 and e_3) who assessed each alternative. In addition to these assessments, two vectors of preference provided by the IIS were added, which correspond to the aggregated assessments of the experts u^c (external customers) and u^s (internal customers).

As the minimum level of agreement among the experts required by the company was *higher than label “A”*, it was necessary to calculate the consensus attained. In order to complete this calculation, we used the equations (6) and (7) provided in Subsection 1.5, the results of which are shown in Table 3.

Table 3. Degree of consensus reached by experts

Alternative	Degree of consensus
A_1	(SA, -0.0000)
A_2	(SA, -0.1000)
A_3	(SA, -0.1000)
A_4	(SA, -0.0500)
A_5	(SA, -0.1000)
Final Consensus	(SA, -0.0700)

For calculations on the level of consensus among the five experts involved (e_1, e_2, e_3, u^c, u^s), five levels of grouping were chosen, since we were working with five possible answers or linguistic labels (i.e., $|T(V)| = 5$). As can be observed in Table 2, which collects the assessments given by all the experts, $v_1 = 5$ for the alternative A_1 , since the five assessments correspond to the same label (“A”). So, $\forall j = 2, \dots, 5, v_j = 0$. For $A_2, v_1 = 3$ (there are 3 “A” labels) and $v_2 = 2$ (there are 2 “SA” labels). The same calculation procedure was applied to the rest of the alternatives. In this example, the multiplicative coefficients for any alternative are $k_1 = 1, k_2 = 0.75, k_3 = 0.5, k_4 = 0.25$ and $k_5 = 0$.

Scores at levels equal to or higher than v_3 would indicate low levels of consensus and would require the intervention of the expert who plays the role of moderator and who would, in this case, activate the Recommendation process (see Fig. 3).

The final degree of consensus (see Final consensus row in Table 3) is calculated as the average of the degrees of consensus attained by all the experts for each alternative considered, and is expressed in the 2-tuple linguistic model. The total average is (SA,-0.0700), which fulfils the minimum score (“A” = “Agree”) required by the board of directors of the company for this specific decision-making process.

Using the model shown in Fig. 3 and the different definitions presented in Section 1, we obtain the results which are expressed in Table 4. Figure 4 provides a graphical semantic representation of the results obtained from the application of our model (HMDM) to this case study. These results are also expressed in the 2-tuple linguistic model.

Table 4. Results sorted according to their importance (expressed in linguistic 2-tuples)

Alternative	Importance
A_2	(A, +0.0576)
A_1	(N, +0.1000)
A_3	(N, +0.0134)
A_4	(D, -0.1100)
A_5	(SD, +0.0333)

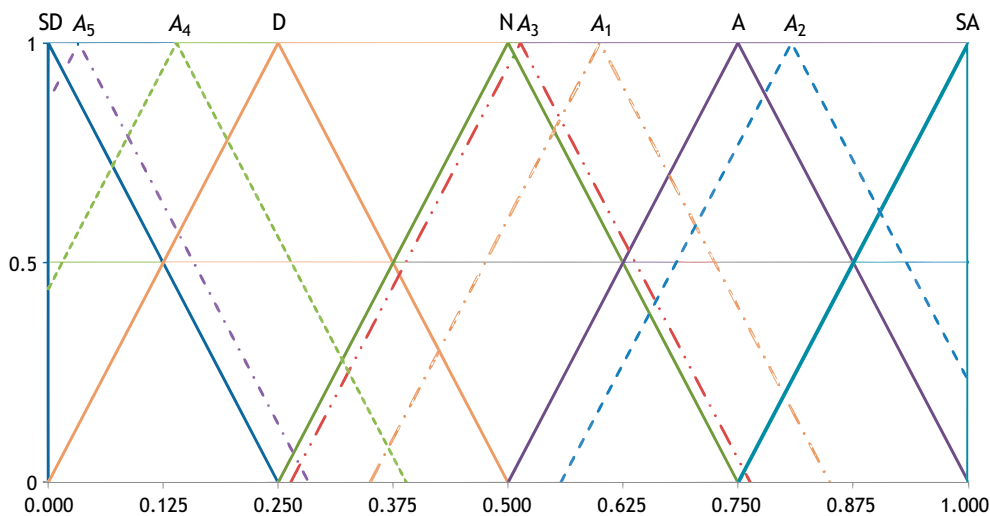


Fig. 4. Graphical result obtained by applying our HMDM

From the analysis carried out, we obtain an ordered list of the alternative solutions to the problem addressed (see Table 4), going from the ones which have a higher degree of membership (A,+0.0567) to those which have a lower degree of membership (SD,+0.0333). This can also be expressed as $A_2 > A_1 > A_3 > A_4 > A_5$. Here, we can observe that the best solution to the problem in question corresponds to alternative A_2 (which can also be observed in Fig. 4). In other words, the alternative of “Increasing the timeslot assigned to customer service” is the best solution.

Conclusions and future work

We have presented a hybrid decision-making model which combines the automatic processing of opinions provided by customers or users of a given service (first stage of the model) along with the appraisals of a group of experts in the area (second stage of the model). To use this model, experts had to consult the aggregated opinions calculated in the first stage and reach at least a pre-established minimum level of consensus in order to obtain the solution to the problem which was initially presented.

This decision-making model has been specially designed to be applied in the ICT sector. Thus, we aim to contribute to problem-solving in real decision-making cases in one of the sectors which has a high level of impact on the economy of a country. Another important objective pursued by the model is to help ensure that the decisions made on a daily basis take into account the opinions of those who use the services of the businesses involved in this sector.

To validate the model presented, it has been applied to a specific example of decision-making in a telecommunication company in relation to a problem in its commercial area that was affecting the company's image. In this article, we have described how it was employed and we have analysed the results obtained. This model could be applied in a similar way to many other decision-making problems in the ICT sector, or, even, in other sectors.

With the development of this work, we have attempted to mitigate the effects of the limitations involved when using experts in decision-making. Thus, the proposed method presents the following advantages:

- There is increased democracy in decision-making in relation to key problems and issues that companies must address, which, in turn, results in more coherent solutions.
- It is not necessary to transform the opinions received (in natural language) into numbers, which would result in a loss of information, as occurs with any translation process. This advantage is due to the application of the computing with words, using a methodology based on fuzzy logic and supported by the 2-tuple linguistic model. This allows us to work directly with information provided in natural language without information loss.
- It involves a computerized process, which avoids manipulation of information. This entails managing the answers provided to different questions by the costumers. These answers make up the opinions which are stored in an aggregated way in a repository, having been automatically processed (by the IIS). This mechanism facilitates the management of the answers and avoids skewed interpretations which could influence the final solution.
- It allows for geographical delocalisation, which means that the experts do not have to meet in the same place, since it is possible to carry out the process online. In practice, then, the use of experts may be fairly extensive (global scale) and varied (multidisciplinary), and this enriches the decision-making process.
- Despite being a computerized system, decision-making responsibilities are not diluted, which is sometimes a problem for organisations. In our model, the processes

and opinions provided by each expert are registered at all times, which means that it is possible to know the responses given by each participant in relation to the question posed.

- The process is fast and the results are obtained immediately. This has positive repercussions on savings of both financial and opportunity costs arising from delayed decision-making.

From the analysis carried out and the experience gained in the process, it is possible to conclude that the proposed model has the potential to contribute in a positive way to decision-making in companies or organisations who decide to use it. The plurality of opinions obtained from both internal and external sources enriches the information that is available to the expert group and offers different perspectives in relation to a given problem.

Additionally, the use of a methodology which is based on fuzzy logic involves a better modelling of problems expressed in qualitative terms. In the example provided, the opinions are expressed using linguistic criteria. This allows us to more faithfully represent the opinions collected, which, in turn, means no loss of information, since opinions expressed in natural language are directly processed without the need to transform such qualitative information into numerical values.

As an extension of this investigation, we have planned to apply our hybrid decision-making model to other areas which are connected to the ICT sector, such as the ones corresponding to the developers of software (mobile apps, computer programs, etc.) and manufacturers of hardware (smartphones, tablets, laptops, TVs, etc.), among others. In addition, since the IIS of our model is modular, we intend to enhance its analytical capacity by refining its modules and/or adding new modules in order to provide a model with greater levels of robustness and flexibility. Moreover, other interesting future line to explore would be the ontological approach to support CW-based systems (Reformat, Ly 2009), in order to enrich aspects related to analysis of opinions expressed in natural language to extract semantic annotations to be used in CW (De Maio *et al.* 2014), and even to use (fuzzy) ontologies to support decision-making through description logic reasoning (De Maio *et al.* 2012).

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the financial support received from European Regional Development Funds (FEDER) for the Research Projects TIN2012-38600 and TIN2013-40658-P, as well as the financial support received from the Andalusian Government for the Excellence Project TIC-5991.

References

- Alonso, S.; Chiclana, F.; Herrera, F.; Herrera-Viedma, E.; Alcalá-Fdez, J.; Porcel, C. 2008. A consistency based procedure to estimate missing pairwise preference values, *International Journal of Intelligent Systems* 23(2): 155–175. <http://dx.doi.org/10.1002/int.20262>
- Alonso, S.; Pérez, I. J.; Cabrerizo, F. J.; Herrera-Viedma, E. 2013. A linguistic consensus model for web 2.0 communities, *Applied Soft Computing* 13(1): 149–157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2012.08.009>

- Bonissone, P. P. 1980. A fuzzy sets based linguistic approach: theory and applications, in *Proceedings of the 12th Conference on Winter Simulation*, 3–5 December 1980, Orlando Marriott, Orlando, FL. IEEE Press, 99–111.
- Cabrerizo, F. J.; Alonso, S.; Herrera-Viedma, E. 2009. A consensus model for group decision making problems with unbalanced fuzzy linguistic information, *International Journal of Information Technology & Decision Making* 8(01): 109–131. <http://dx.doi.org/10.1142/S0219622009003296>
- Cabrerizo, F. J.; Moreno, J. M.; Pérez, I. J.; Herrera-Viedma, E. 2010. Analyzing consensus approaches in fuzzy group decision making: advantages and drawbacks, *Soft Computing* 14(5): 451–463. <http://dx.doi.org/10.1007/s00500-009-0453-x>
- Cabrerizo, F. J.; Al-hmouz, R.; Morfeq, A.; Balamash, A. S.; Herrera-Viedma, E. 2015. Fuzzy decision making and consensus: challenges, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. To appear.
- Carrasco, R. A.; Villar, P.; Hornos, M. J.; Herrera-Viedma, E. 2011. A linguistic multi-criteria decision making model applied to the integration of education questionnaires, *International Journal of Computational Intelligence Systems* 4(5): 946–959. <http://dx.doi.org/10.1080/18756891.2011.9727844>
- Carrasco, R. A.; Villar, P.; Hornos, M. J.; Herrera-Viedma, E. 2012. A linguistic multicriteria decision-making model applied to hotel service quality evaluation from web data sources, *International Journal of Intelligent Systems* 27(7): 704–731. <http://dx.doi.org/10.1002/int.21546>
- De Maio, C.; Fenza, G.; Furno, D.; Loia, V.; Senatore, S. 2012. OWL-FC: an upper ontology for semantic modeling of Fuzzy Control, *Soft Computing* 16(7): 1153–1164. <http://dx.doi.org/10.1007/s00500-011-0790-4>
- De Maio, C.; Fenza, G.; Gallo, M.; Loia, V.; Senatore, S. 2014. Formal and relational concept analysis for fuzzy-based automatic semantic annotation, *Applied Intelligence* 40(1): 154–177. <http://dx.doi.org/10.1007/s10489-013-0451-7>
- Dong, Y.; Herrera-Viedma, E. 2014. Consistency-driven automatic methodology to set interval numerical scales of 2-tuple linguistic term sets and its use in the linguistic GDM with preference relation, *IEEE Transactions on Cybernetics* 99: 1–13.
- Elbarkouky, M. G.; Ezeldin, A. S.; El-Assaly, A. 2012. A multi-criteria decision-making (MCDM) framework for prioritizing damaged infrastructure and services facilities in Egypt using sustainability objectives, in *Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering: Leadership in Sustainable Infrastructure*, 6–9 June 2012, Edmonton, Canada.
- Gal, T.; Stewart, T. J.; Hanne, T. 1999. *Multi criteria decision making: advances in MCDM models, algorithms, theory, and applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Herrera, F.; Alonso, S.; Chiclana, F.; Herrera-Viedma, E. 2009. Computing with words in decision making: foundations, trends and prospects, *Fuzzy Optimization and Decision Making* 8(4): 337–364. <http://dx.doi.org/10.1007/s10700-009-9065-2>
- Herrera, F.; Martínez, L. 2000. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 8(6): 746–752. <http://dx.doi.org/10.1109/91.890332>
- Herrera, F.; Martínez, L. 2001a. The 2-tuple linguistic computational model: advantages of its linguistic description, accuracy and consistency, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* 9: 33–48. <http://dx.doi.org/10.1142/S0218488501000971>
- Herrera, F.; Martínez, L. 2001b. A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics* 31(2): 227–234. <http://dx.doi.org/10.1109/3477.915345>
- Hu, S. K.; Lu, M. T.; Tzeng, G. H. 2014. Exploring smart phone improvements based on a hybrid MCDM model, *Expert Systems with Applications* 41(9): 4401–4413. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2013.12.052>
- Kabak, M.; Dağdeviren, M. 2014. A hybrid MCDM approach to assess the sustainability of students' preferences for university selection, *Technological and Economic Development of Economy* 20(3): 391–418. <http://dx.doi.org/10.3846/20294913.2014.883340>

- Kacprzyk, J.; Zadrozny, S. A. 2001. Computing with words in decision making through individual and collective linguistic choice rules, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* 9(supp01): 89–102. <http://dx.doi.org/10.1142/S0218488501001010>
- Katz, R. L. 2009. *El papel de las TIC en el desarrollo. Propuesta de América Latina a los retos económicos actuales*. Colección Fundación Telefónica. Barcelona: Ariel.
- Keršulienė, V.; Turskis, Z. 2011. Integrated fuzzy multiple criteria decision making model for architect selection, *Technological and Economic Development of Economy* 17(4): 645–666. <http://dx.doi.org/10.3846/20294913.2011.635718>
- Massanet, S.; Riera, J. V.; Torrens, J.; Herrera-Viedma, E. 2014. A new linguistic computational model based on discrete fuzzy numbers for computing with words, *Information Sciences* 258: 277–290. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2013.06.055>
- Morente-Molinera, J. A.; Pérez, I. J.; Ureña, M. R.; Herrera-Viedma, E. 2015. On multi-granular fuzzy linguistic modeling in group decision making problems: a systematic review and future trends, *Knowledge-Based Systems* 74: 49–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.knosys.2014.11.001>
- Naser, A.; Concha, G. 2014. *Rol de las TIC en la gestión pública y en la planificación para un desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe*. Serie Gestión Pública. CEPAL, Vol. 79. Santiago de Chile: United Nations Publications.
- Oh, Y.; Suh, E. H.; Hong, J.; Hwang, H. 2009. A feasibility test model for new telecom service development using MCDM method: a case study of video telephone service in Korea, *Expert Systems with Applications* 36(3): 6375–6388. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2008.07.051>
- Park, J.; Jeong, H. Y. 2013. The QoS-based MCDM system for SaaS ERP applications with Social Network, *Journal of Supercomputing* 66(2): 614–632. <http://dx.doi.org/10.1007/s11227-012-0832-4>
- Peres, W.; Hilbert, M. R. 2009. *La Sociedad de la Información en América Latina y el Caribe: Desarrollo de las Tecnologías y Tecnologías para el Desarrollo*. Serie Libros de la CEPAL, Vol. 98. Santiago de Chile: United Nations Publications.
- Pérez, J. (Coord.) 2004. *Productividad, crecimiento económico y TIC* [online], [cited 13 May 2015]. 41p. Available form Internet: http://www.usc.es/atpemes/IMG/pdf/04_03_30productividad_crecimiento_TIC.pdf
- Pérez, I. J.; Cabrerizo, F. J.; Herrera-Viedma, E. 2010. A mobile decision support system for dynamic group decision-making problems, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans* 40(6): 1244–1256. <http://dx.doi.org/10.1109/TSMCA.2010.2046732>
- Porcel, C.; Tejada-Lorente, A.; Martínez, M. A.; Herrera-Viedma, E. 2012. A hybrid recommender system for the selective dissemination of research resources in a technology transfer office, *Information Sciences* 184(1): 1–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2011.08.026>
- Reformat, M.; Ly, C. 2009. Ontological approach to development of computing with words based systems, *International Journal of Approximate Reasoning* 50(1): 72–91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijar.2008.03.004>
- Su, W.; Zeng, S.; Ye, X. 2013. Uncertain group decision-making with induced aggregation operators and Euclidean distance, *Technological and Economic Development of Economy* 19(3): 431–447. <http://dx.doi.org/10.3846/20294913.2013.821686>
- Tong, R. M.; Bonissone, P. P. 1980. A linguistic approach to decision making with fuzzy sets, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 10(11): 716–723. <http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1980.4308391>
- Tseng, M. L. 2011. Using hybrid MCDM to evaluate the service quality expectation in linguistic preference, *Applied Soft Computing Journal* 11(8): 4551–4562. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2011.08.011>
- Zadeh, L. A. 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning: Part III, *Information Sciences* 9(1): 43–80. [http://dx.doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90017-1](http://dx.doi.org/10.1016/0020-0255(75)90017-1)
- Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2011. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview, *Technological and Economic Development of Economy* 17(2): 397–427. <http://dx.doi.org/10.3846/20294913.2011.593291>

3 Applying a linguistic multi-criteria decision-making model to the analysis of ICT suppliers' offers

The screenshot shows the ScienceDirect website interface. At the top, there is a green header with the ScienceDirect logo and navigation links for 'Journals' and 'Books'. Below the header, there are utility buttons for 'Download PDF' (with an Adobe PDF icon), 'Export', a search bar labeled 'Search ScienceDirect', and 'Advanced search'. The main content area features the journal title 'Expert Systems with Applications', the volume information 'Volume 57, 15 September 2016, Pages 127–138', and the Elsevier logo. The article title 'Applying a linguistic multi-criteria decision-making model to the analysis of ICT suppliers' offers' is prominently displayed. Below the title, the authors are listed: Andrés Cid-López^a, Miguel J. Hornos^a, Ramón Alberto Carrasco^b, and Enrique Herrera-Viedma^{c,d}. A 'Show more' button is visible. The DOI is 10.1016/j.eswa.2016.03.025, and there is a link for 'Get rights and content'. A 'Highlights' section contains five bullet points summarizing the article's key findings.

Quality evidence of the journal where the article was published #3

Status:	Published
Journal Name:	Expert System with Applications
Impact Factor:	(JCR Science 2015) : 2.981
5-Year Impact Factor:	2.879
Subject Category:	Computer Science, Artificial Intelligence
Ranking:	19 / 130 (Q1)

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417416301166>

Applying a linguistic multi-criteria decision-making model to the analysis of ICT suppliers' offers

Andrés Cid-López ^{a, *}, Miguel J. Hornos ^{a, *}, Ramón Alberto Carrasco ^b, Enrique Herrera-Viedma ^{cd}

^a Department of Software Engineering, University of Granada, Granada 18071, Spain

^b Department of Marketing and Market Research, Complutense University of Madrid, 28015 Madrid, Spain

^c Department of Computer Science and Artificial Intelligence, University of Granada, 18071 Granada, Spain

^d Department of Electrical and Computer Engineering, King Abdulaziz University, 21589 Jeddah, Saudi Arabia

A B S T R A C T

Tender analysis processes are everyday processes in any company, but they become even more important when the financial resources are limited. Achieving optimal and transparent tender analysis processes requires hard work from everyone involved. This paper proposes a linguistic multi-criteria decision-making model which helps decision-makers in this task by automating it. To do that, the proposal requires diverse experts to assess different criteria and establish their corresponding weights. The processing of all these input data will determine a minimum value, called *profile*, to consider an alternative as valid. Additionally, assessments of a similar (probably external) process will be taken into account, becoming a *reference* valuation. Unlike other decision-making models, the use of this last value gives an idea of the goodness of the result depending on whether the solution obtained is close to the reference value. To the best of our knowledge, there is no expert or intelligent system specifically designed to fully meet the needs of tender analysis processes. For both input and output process stages carried out in our proposal, 2-tuple linguistic labels have been used. These linguistic labels were chosen to facilitate decision-making for the staff involved in the process, as well as for being the most suitable communication way used by human beings. To validate the model, we apply it to a case study in the ICT (Information and Communications Technology) sector. In addition, we include a literature review related to applications using the 2-tuple representation, as well as a comparison of our proposal with related methods, including the results obtained by these methods for the case study presented.

Keywords:

Multi-criteria decision-making

Fuzzy linguistic modelling

Analysis of offers

Information and communication technologies

1. Introduction

ICT development is an important source of growth in the economies of modern societies. This claim is based on the works of authors such as Heeks (2008) and Gómez and Pather (2011), as well as on the reports of the International Telecommunication Union (2015) and the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD, 2015), among others. Latin America is involved in these new technological trends and the member countries of this community make strong efforts concerning these technologies in order to improve the living standards of their societies. These efforts go through supplier selection and evaluation processes. Delays in the contracting processes mean loss of time, loss of revenues due to opportunity costs and lags in

implementing products or services in addition to questioning the legitimacy of the procedures carried out.

Taking into account the importance of the ICT sector in the economy, this paper is aimed at providing an additional tool for decision-making applied to the evaluation of contractual offers in this sector.

There are reviews, such as the ones carried out by De Boer, Labro, and Morlacchi (2001) and by Bhutta (2003), where the works related to the selection of suppliers are compiled. These contributions classify over 150 works that provide a good perspective of the most used mechanisms to evaluate suppliers. Additionally, there are different approaches applied to this subject, like those based on auction theory (Klemperer, 1999; Ockenfels & Roth, 2006; Rothkopf, Pekeč, & Harstad, 1998; Wu, 2001; Xuefeng, Lu, Lihua, & Zhao, 2006), game theory (Cachon & Netessine, 2004; Camerer, 2003; Han, 2012) and the use of various algorithms and techniques to determine a winner (Behzadian, Otagh Sara, Yazdani, & Ignatius, 2012; Fonseca & Fleming, 1995; Kwon, 2006; Sandholm, 2002), among many others.

* Corresponding authors. Tel.: +34 958 24 88 22.

E-mail addresses: andrescid@ugr.es (A. Cid-López), mhornos@ugr.es (M.J. Hornos), ramoncar@ucm.es (R.A. Carrasco), viedma@decsai.ugr.es (E. Herrera-Viedma).

In practice, the majority of the supplier evaluation processes are held in two stages. The first one is carried out under the mode “Complies/Does not comply” (qualitative). At this stage, the information presented by the offerors is verified (as a check list). This first verification allows enabling the proposal presented by the offerors/competitors, verifying that the offer meets the requirements demanded. The second stage evaluates quantitative parameters related to the main characteristics of the offers which have met the requirements established in the first stage. In this second stage, where ratings are numerical, difficulties arise when there is more than a single expert evaluator in the process of rating the suppliers’ offers, since each of them will have a different rating criterion.

This type of problems is analysed within the multi-criteria decision-making approach in works such as the ones described by [Figueira, Greco, and Ehrgott \(2005\)](#), [Kabak, Burmaoğlu, and Kazançoğlu \(2012\)](#) and [Gal, Stewart, and Hanne \(2013\)](#), where either quantitative or qualitative variables, or even hybrid (quantitative+qualitative) ones, are used. These problems involve various opinions representing the areas in which the company administrative management is distributed. In other words, these problems entail decision-making processes with multiple criteria/opinions, where participants are able to express different preferences over the different criteria discussed.

These approaches allow establishing the existing relation between the type of variables to be used and the nature of the information to be used to model the aspects demanded. When it comes to modeling quantitative aspects (length, power, financial interest...) the use of numerical information will be the one regularly used. However, when it comes to modeling qualitative aspects (degree of compliance, design, quality...), numerical information is usually not the right option, since these aspects are difficult to evaluate through an exact value.

There are some decision-making methods, such as TOPSIS ([Behzadian et al., 2012](#)), VIKOR ([Opricovic & Tzeng, 2004](#)), MULTIMOORA ([Brauwers & Zavadskas, 2012](#)), etc., which are quantitative models. However, some proposals based on the mentioned models use linguistic labels. Some example of this are LTOPSIS ([Cables, García-Cascales, & Lamata, 2012](#)) and 2-tuple linguistic VIKOR ([You, You, Liu, & Zhen, 2015](#)), among others. These methods are focused on measuring the distance between the assessment of the criteria and both an ideal and a non-ideal appraisal. Others approaches use a hybrid methodology, in the sense that they combine several models; for example, AHP-TOPSIS-Grey ([Oztaysi, 2014](#)).

In [Liao and Xu \(2015\)](#), [Massanet, Riera, Torrens, and Herrera-Viedma, \(2014\)](#), [Morente-Molinera, Pérez, Ureña, and Herrera-Viedma, \(2015a\)](#), [Perez-Asurmendi and Chiclana \(2014\)](#) and [Tapiá-García, Del Moral, Martínez, and Herrera-Viedma \(2012\)](#), we can find some proposals to approach the problem of establishing evaluation criteria without using quantitative (numerical) elements. These proposals are founded on the use of ratings based on natural language and which are aimed at providing a qualitative approach to these problems. They suggest applying a fuzzy linguistic modeling through the use of linguistic variables, which are variables that take values in a discrete universe of discourse, perhaps less precise than numerical values, but which better adapt to the human mindset when it comes to evaluating complex scenarios ([Carrasco, Sánchez-Fernández, Muñoz-Leiva, Blasco, & Herrera-Viedma, 2015](#); [Dutta & Guha, 2015](#); [Morente-Molinera, Pérez, Ureña & Herrera-Viedma, 2015b](#); [Wu, Chiclana, & Herrera-Viedma, 2015](#)).

However, to the best of our knowledge, there is no linguistic multi-criteria decision-making model in the literature that presents a solution for the processing of qualitative ratings without information loss in the analysis of supplier’ offers in the ICT sector. Our proposal intends to solve this by presenting a solution for the qualitative analysis of offers using the 2-tuple representation

model ([Herrera & Martínez, 2000](#)), which allows data processing without information loss. Additionally, comparative methods that allow knowing the distance from a given alternative to a known reference are also used.

In our proposal, the process used to achieve the ordered list of alternatives includes an established *reference* value and calculates and uses a minimum value called *profile*, which determines the valid alternatives. By including these two elements, our proposal differs from other existing decision-making models in that it not only sorts the alternatives according to evaluation criteria, but it also determines how good the achieved solution is by comparing it with these referential values. Hence, our proposal offers a more reliable warranty and a high level of transparency for its application to the decision-making process carried out in any company concerning the analysis of suppliers’ offers.

The rest of the article is organized as follows: [Section 2](#) presents a literature review concerning the use of the 2-tuple representation model. [Section 3](#) establishes the necessary theoretical foundations. [Section 4](#) presents the proposed linguistic multi-criteria decision-making model, while [Section 5](#) shows its application to a case study. Finally, [Section 6](#) addresses the conclusions and future works.

2. Literature review

The 2-tuple linguistic model was developed by [Herrera and Martínez, \(2000\)](#). In the last 15 years, it has had a major impact, being used by many researchers to define new theoretical models and approaches, as well as to apply them in different domains, mainly in decision-making processes and decision analyses. This is due to a common activity for human beings in their daily lives making decisions in conditions of uncertainty, thus selecting the best solution from a set of different possible alternatives. There are many areas in which the 2-tuple linguistic model has been applied, but we can group them in the four following clusters, which are briefly described just below, including complementary information and references in [Table 1](#):

- **Decision Analysis:** it uses different tools to assess all pertinent information to support the decision-making process. It is applied to many different areas, though [Table 1](#) only shows those in which the 2-tuple linguistic model has been used, such as engineering systems, knowledge evaluation, performance appraisal, product development, and risk evaluation, among others.
- **e-Services:** these are ICT tools or systems that manage information. Some application areas belonging to this cluster in which the 2-tuple linguistic model or any of its extensions have been used are information retrieval, recommender systems, and networks.
- **Fuzzy Rule-Based Systems (FRBS):** they represent expert knowledge by means of linguistic rules containing linguistic variables. These rules, which are usually provided by experts, link the evidences with the conclusions. They have been applied to improve fuzzy models in different domains, such as control systems, association rules, classification problems, imbalanced classification problems, and subgroup discovery.
- **Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) models:** these are widely used to deal with decision-making problems where several criteria are considered to select the best solution from a set of possible alternatives. Usually, most of these decision-making approaches have been used in quantitative contexts. However, many authors have used the 2-tuple linguistic model to define new MCDM models based on such approaches and extend them to manage qualitative information. These resulting models have been applied to different decision-making problems in diverse domains. [Table 1](#) shows some of the most representative ones.

Table 1
Main applications based on the use of the 2-tuple linguistic model.

	Application area	References
Decision analysis	Engineering systems	Martínez, Liu, Yang, and Herrera (2005)
	Knowledge evaluation	Fan, Feng, Sun, and Ou (2009)
	Performance appraisal	Espinilla, de Andrés, Martínez, and Martínez (2013)
	Product development	Wang (2009)
	Risk evaluation	Lin (2009)
	Safeguards evaluation	Rodríguez, Martínez, Ruan, and Liu (2010)
	Sensorial evaluation	Martínez, Espinilla, and Pérez (2008)
	Supply chain management	Yeh, Cheng, and Chi (2007)
e-Services	Sustainable development	Costa and Menichini (2013)
	Information retrieval	Herrera-Viedma, López-Herrera, Luque and Porcel (2007)
	Networks	Gramajo and Martí (2012)
FRBS	Recommender systems	Porcel and Herrera-Viedma (2010)
	Association rules	Alcalá-Fdez, Alcalá, Gacto, and Herrera (2009)
	Classification problems	Alcalá, Nojima, Herrera, and Ishibuchi (2011)
	Control systems	Alcalá, Alcalá-Fdez, Gacto, and Herrera (2009)
	Imbalanced classification	Fernández, del Jesus, and Herrera (2010)
MCDM	Subgroup discovery	Carmona, González, Gacto, and del Jesús (2012)
	R&D project selection	Sun, Ma, Fan, and Wang (2008)
	Human resources selection	De Andrés and García-Lapresta (2010)
	Quality in health-related websites	Moreno, Castillo, Porcel, and Herrera-Viedma (2010)
	Evaluation of hotel services	Carrasco, Villar, Hornos, and Herrera-Viedma (2012)
	Group MCDM with incomplete weight information	Ju and Wang (2013)
	Analysis in reverse logistics	Dhouib (2014)
	Evaluation of alternative-fuel vehicles	Yavuz, Oztaysi, Onar, and Kahraman (2015)
	Quality of service in ICT	Cid-López et al. (2015b)
	Group decision-making	Zhao, Li, and Wei (2014)
	Decision-making support in the housing market	Montes, Sánchez, Villar, and Herrera (2015)

Moreover, some tools have been developed to work with the 2-tuple linguistic representation, such as Flintstones (Estrella, Espinilla, Herrera & Martínez, 2014), to help in the resolution of this type of problems.

3. Theoretical foundations

This section briefly examines the main theoretical foundations that we use to develop our proposal.

3.1. Fuzzy linguistic approach

In general, we are used to handling quantitative information in our daily work. This information is expressed through the use of precise numerical values. However, in many problems found in real life, information is expressed through vague perceptions or imprecise knowledge, that is, qualitative information. A fuzzy linguistic approach is able to represent this type of imprecise perceptions or knowledge by using *linguistic variables* instead of precise numerical values (Herrera, Alonso, Chiclana, & Herrera-Viedma, 2009; Kacprzyk & Zadrozny, 2001; Martínez & Herrera, 2012; Mendel, 2007; Tong & Bonissone, 1980). A linguistic variable is defined through a quintuple, $(H, T(H), U, G, M)$. The following example of the definition of a linguistic variable, called *5-Likert Scale*, is aimed at clarifying the meaning of each of the elements that form this quintuple, where:

- H is the name of the variable, i.e. *5-Likert Scale* in this example;
- $T(H) = S$ is the set of labels to be used, with $S = \{s_0, \dots, s_g\}$, $g = 4$;
- $U = [0, 1]$ is the universe of discourse of the domain involved;
- G is the syntactic rule for generating the terms of $T(H)$, where the order relation $s_i < s_j \Leftrightarrow i < j$, with $i, j \in \{0, \dots, g\}$, is fulfilled; and
- M is the semantic rule that assigns the meaning to each label, which is determined here by a linear triangular

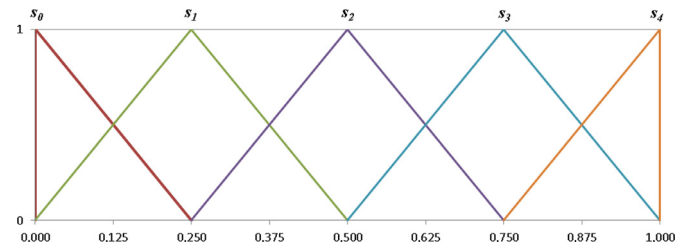


Fig. 1. An example of triangular linguistic labels.

function which assigns a 3-tuple (c, d, e) to each label, where d represents the center point of the triangle where the membership value is 1, while c and e are the left and right ends of the triangular function defining the domain of the corresponding label. Thus, for instance $s_0=(0,0,0.250)$; $s_1=(0,0.250,0.500)$; $s_2=(0.250,0.500,0.750)$; $s_3=(0.500,0.750,1.000)$; $s_4=(0.750,1.000,1.000)$, as shown in Fig. 1.

The definition of the semantics of the labels of a sorted set is completed with the definition of the following operators:

- Negation operator: $neg(s_i) = s_j$, with $j = g - i$, where $g + 1$ is the cardinality of S .
- Maximization operator: $max(s_i, s_j) = s_j$, if $s_i \geq s_j$.
- Minimization operator: $min(s_i, s_j) = s_i$, if $s_i \leq s_j$.

A linguistic variable could be used in any of the questions of a questionnaire using a Likert scale (Likert, 1932), by simply defining a new variable H with analogous characteristics to the ones mentioned and with the appropriate labels or terms included in S . Thus, for example, for a question in a questionnaire about the adequacy of a specific equipment to be contracted by an organization, the definition of the corresponding linguistic variable could be the

following: $H =$ Installation time of the equipment to be contracted and a possible set of labels to be used could be: $s_0 =$ Not Important (NI), $s_1 =$ Little Importance (LI), $s_2 =$ Neutral (N), $s_3 =$ Important (I), $s_4 =$ Very Important (VI).

3.2. Classical linguistic computational models

The use of linguistic variable involves processes of computing with words such as aggregation, comparison, etc. To perform these operations, the fuzzy linguistic approach provides two computational models:

- a. **Extension principle-based model**, which operates with linguistic terms, $s_i \in S$, through operations associated with their membership functions based on the extension principle (Zadeh, 1996). The results obtained with fuzzy operators are fuzzy numbers \tilde{s} that normally do not match any linguistic term of the initial set, $\tilde{s} \notin S$. Therefore, a process of approximation should be used to express them linguistically.
- b. **Symbolic model**, which uses for operation the ordered structure of the set of linguistic terms, $S = \{s_0, \dots, s_g\}$, where $s_i < s_j$, if $i < j$. It uses the operators *min* – *max* or the convex combination to calculate numerical values $\delta \in [0, g]$ which will be approximated by using an approximation function $app(\delta) \in \{0, \dots, g\}$ that will generate a numeric value indicating the index of the associated term linguistic, i.e. $s_{app(\delta)} \in S$.

Both models produce results with information loss due to the way they operate, and hence their results lack precision.

3.3. The 2-tuple linguistic model

This 2-tuple linguistic computational model was developed by Herrera and Martínez (2000), in order to improve the precision of the processes of computing with words. This model represents linguistic information through a pair of values (hence the name 2-tuple), expressed as (s_i, α) , where s_i is a linguistic term and α is the symbolic translation of this term. The definitions of the main concepts defined by these authors in this model are shown below.

Definition 1. (Symbolic translation): The symbolic translation of a linguistic term $s_i \in S = \{s_0, \dots, s_g\}$ is a numerical value, defined in the interval $[-0.5, 0.5]$, that represents the “difference of information” between a certain quantity of information $\beta \in [0, g]$, obtained from a symbolic operation, and the index of the nearest linguistic term.

This linguistic model defines a set of functions to carry out transformations between numerical values and the ones represented through 2-tuples and which are shown hereafter.

Definition 2. (2-tuple representation): Let $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ be a set of linguistic terms and $\beta \in [0, g]$ the resulting value of the symbolic translation operation between labels, then the 2-tuple that shows the information equivalent to β is obtained with the following function:

$$\Delta : [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5]$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ with } \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, & \alpha \in [-0.5, 0.5] \end{cases}$$

where *round* is the usual round operator that assigns the integer value nearest to β . Additionally, it should be noted that Δ is bijective, and thus,

$$\Delta^{-1} : S \times [-0.5, 0.5] \rightarrow [0, g]$$

is defined as:

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

Example: Let S be the set of linguistic terms represented in Fig. 1 and $\beta = 0.2730$ the result of a symbolic aggregation operation, the 2-tuple expressing the information equivalent to β is $\Delta(\beta) = \Delta(0.2730) = (s_1, +0.0230)$, since $\text{round}(\beta) = 0.2500$ and $\beta - i = 0.0230$.

Therefore, based on the previous functions, the conversion of a linguistic term into a 2-tuple involves adding a value zero as a symbolic translation. This representation model is linked to a computational model which allows carrying out processes of computing with words without loss of information (Carrasco, Villar, Hornos, & Herrera-Viedma, 2011; Cid-López, Hornos, Carrasco, & Herrera-Viedma, 2015a; Cid-López, Hornos, Carrasco & Herrera-Viedma, 2015b; Herrera & Martínez, 2001; Martínez & Herrera, 2012).

3.4. Linguistic multi-criteria decision-making

The basic problems of Linguistic Multi-Criteria Decision-Making (LMCDM) involve choosing from a set of alternatives $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ on which a group of experts $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ express their ratings, $a_i^j, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$, using a set of linguistic terms $S = \{s_0, \dots, s_g\}$, the best possible alternative for the problem in question. Values $a_i^j \in S$ are fuzzy sets defined by a membership function in $[0,1]$.

The work of Tong and Bonissone (1980) presents a technique for LMCDM where linguistic labels are used with fuzzy semantics in order to address the uncertainty inherent to these types of problems. It also states that the results to make a decision should be expressed through natural language. In this sense, other authors, like Kacprzyk and Zadrozny (2001), Mendel, (2007) and Morente-Moliner, et al. (2015b), suggest that it seems inappropriate to make decisions based on numerical information when a linguistic model that is close to the human cognitive model has been developed.

The choice of the best alternative in any decision-making problem related to linguistic information (Herrera & Herrera-Viedma, 2000) is carried out in two phases: the *aggregation phase*, focused on obtaining collective evaluations for each alternative, and the *exploitation phase*, which provides the ordered list according to the collective linguistic performance value that allows choosing the best solution for the problem addressed. These two phases are described just below using the 2-tuple linguistic representation.

3.4.1. Information aggregation

A couple of aggregation operators for linguistic 2-tuples (Herrera & Martínez, 2001) are defined in this subsection. These operators will be used in our contribution to calculate the mean values of the opinions expressed by users (extended arithmetic mean operator) as well as of the opinions expressed by experts (extended weighted arithmetic mean operator).

Definition 3. (Extended arithmetic mean): Let $S = \{(s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)\}$ be a set of linguistic 2-tuples, its arithmetic mean is calculated with the extended arithmetic mean operator \bar{x}^e , defined as:

$$\bar{x}^e((s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)) = \Delta \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i) \right)$$

Definition 4. (Extended weighted arithmetic mean): Let $S = \{(s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)\}$ be a set of linguistic 2-tuple and $W = \{(w_1, \alpha_1), \dots, (w_n, \alpha_n)\}$ a vector of 2-tuple values corresponding to the weights associated to each 2-tuple in S . The extended weighted

arithmetic mean \bar{x}_i^e is defined as:

$$\bar{x}_i^e = \Delta \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i) \cdot \Delta^{-1}(w_i, \alpha_i)}{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(w_i, \alpha_i)} \right)$$

3.4.2. Information exploitation process: Sorting of results

The process of information exploitation includes the phase that corresponds to the sorting of results. There are several methods in the literature for sorting results, among them: (I) The model described in Kou, Lu, Peng, and Shi, (2012), which aims to minimize the distance to an ideal candidate and therefore, it is based on distance measures (Chiclana, Garcia, del Moral, & Herrera-Viedma, 2013), such as the Euclidean distance, the Manhattan distance, the Hamming distance, etc.; and (II) models based on maximizing the competence aggregation index (Carlsson & Fullér, 2002; Filev & Yager, 1998; Kao & Liu, 2001; Yager, 1988), i.e., the higher the intersection between the calculated value and the ideal value, the more appropriate the calculated value is. To meet this objective, ordered weighted averaging (OWA) operators are used (Yager, 1988). In our proposal, the analysis and aggregation phase uses different aggregation operators, such as the extended arithmetic mean and the extended weighted arithmetic mean, described in Definitions 3 and 4. At the end, the results obtained are sorted according to their degree of importance within the linguistic scale used, established in the set $S = \{s_0, \dots, s_g\}$.

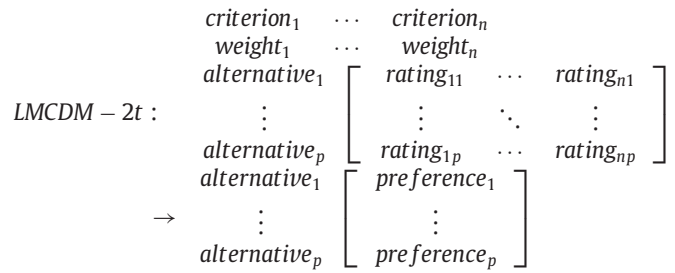
4. A new linguistic multi-criteria decision-making model

This proposal consists in a LMCDM model that uses fuzzy logic, the 2-tuple representation model and aggregation operators and enables the use of a set of linguistic labels without any loss of information in their processing. The model aims to find the best alternative in the set $alternatives = \{alternative_1, \dots, alternative_p\}$, according to the linguistic ratings expressed by the experts of the set $experts = \{expert_1, \dots, expert_m\}$. What these experts are really expressing are criteria, gathered in the set $criteria = \{criterion_1, \dots, criterion_n\}$. According to its degree of importance, each criterion will be associated to a weight, which is linguistically expressed and included in the set $weights = \{weight_1, \dots, weight_n\}$. These criteria and weights form the *profile* of the product or service to be contracted, which is unique and only to be used under identical contracting conditions. The ratings are grouped in the set $ratings = \{rating_{ij}\}$, $\forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, p\}$. Fig. 2 presents an outline of the proposed model, with three different blocks: The first one, called *Inputs*, is made up of two parts: The upper one (*Internal*), which corresponds to the entity contracting the product/service, is responsible for generating the necessary inputs in order to evaluate the proposals presented by the suppliers. The lower one (*External*) corresponds to the alternatives presented by the suppliers. In the second block, *Processing*, is where the tools that form the proposed LMCDM model are applied to the supplied inputs, including the processes of information aggregation and exploitation. The last block, *Output*, presents the results of the ratings obtained for each of the ICT suppliers' offers evaluated, showing a list sorted in descending order, from the best to the worst alternative.

Throughout the process, the information is handled linguistically, using a set $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ with an odd number of labels that are symmetric with regards to a central label. Additionally, the information is processed using the 2-tuple representation model, where the $s_i \in S$ label may be represented by using the $(s_i, 0)$ 2-tuple, which means the symbolic translation is $\alpha = 0$.

Summarizing, the proposal consists in the application of a LMCDM model based on the variables involved in these types of problems and which may be synthesized by means of the following

function:



The following subsections of this section describe in more detail the model that we propose, graphically represented in Fig. 3 and structurally presented in Fig. 2. As seen in Fig. 3, the methodology used is linear and consecutive, so the previous step must be completed for the next step to take place. Additionally, it has a collaborative conception, where groups of experts work to jointly solve a problem.

4.1. Inputs

This is the stage of the process where the criteria, weights and ratings that take place in the evaluation process are determined, as well as the possible alternatives. The main elements that intervene in this stage are the following ones:

- *Expert Group I*, formed by a number of experts, $e_{ij}^i \in \{e_{i1}^i, \dots, e_{im}^i\}$, where i represents the area involved and j identifies each of the experts within the corresponding area who will determine the evaluation criteria in such area $c_i^i \in \{c_1^i, \dots, c_p^i\}$, $\forall i \in \{1, \dots, n\}$, where l represents the corresponding criterion to be considered in the area i .
- *Expert Group II*, formed by a representative from each of the areas involved in the analysis to be carried out, $e_i^{II} \in \{e_1^{II}, \dots, e_n^{II}\}$. Their function is to assign weights $w_i \in \{w_1, \dots, w_n\}$ to each of the areas involved, according to their degree of importance. This action results in the set $weighted_criteria = \{c_i^i \times w_i\}$, $\forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall l \in \{1, \dots, p\}$, where c_i^i represents the criterion, i is the area involved and w_i is the weight assigned to it. The area with the highest rating (assigned weight) corresponds to the requesting area within the contracting process.
- The set $weighted_criteria$ forms the unique evaluation *profile* according to the characteristics of each particular case (contracting process). This set is used to establish the final rating of each offer (rated alternative) presented for each supplier of a product/service.
- *Reference*: It is a referential value obtained from previous similar processes that serves to determine the goodness of the solution adopted, which must be close to this value for being considered as a good solution. This value, which will be provided by the Expert Group I, should be based on the same criteria as those used for calculating the specific *profile*.
- The *alternatives* presented are evaluated by comparing them against both *profile* and *reference* values, using them as a guide to evaluate the goodness of each alternative (offer) analyzed.

4.2. Processing

In this stage, the aggregation operators are applied and the results are sorted, in a total of three phases:

- Phase I: Process of information aggregation using an extended arithmetic mean operator (Definition 3). The aggregation process is carried out with regards to the criteria of each area involved, which determines a unique rating for each area.

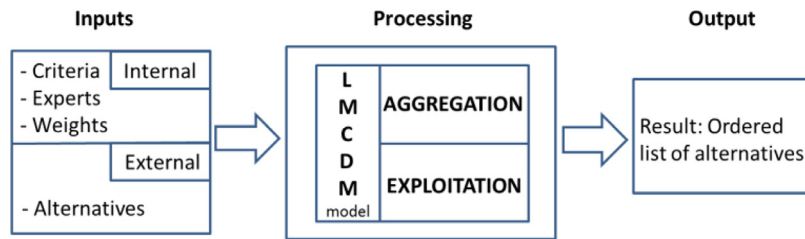


Fig. 2. Outline of the proposed model for the analysis of ICT suppliers' offers.

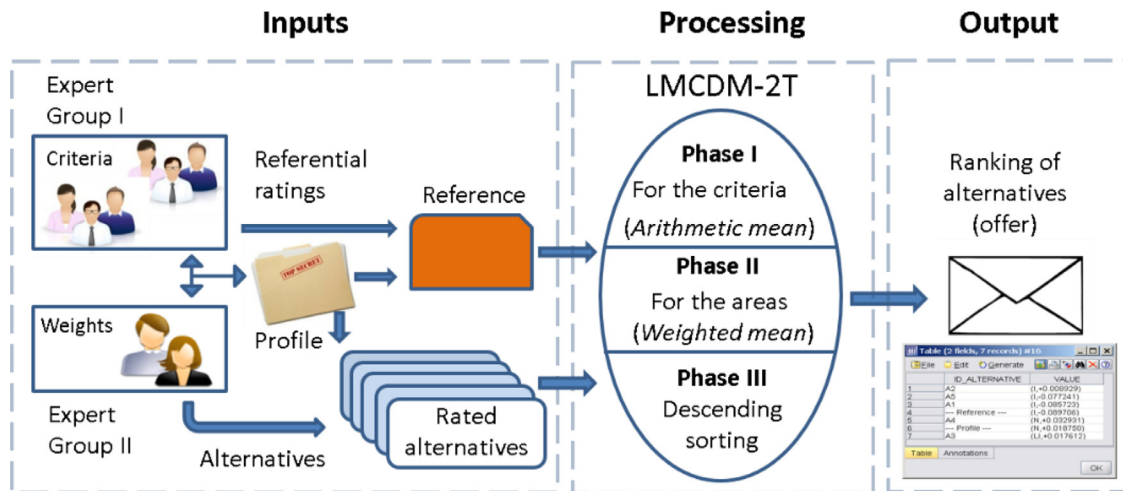


Fig. 3. Detailed scheme of the analysis process for suppliers' offers in contracting processes.

- Phase II: Process of information aggregation using an extended weighted arithmetic mean (Definition 4). The aggregation process is carried out with regards to the areas, which determines a unique rating for each alternative presented.
- Phase III: Sorting of the values obtained for each of the alternatives, including the reference. This sorting is in descending order, according to the importance of the linguistic labels established.

As a conclusion of the proposal presented, we must say that it is based on the collaborative participation of several areas from a specific company or organization. This democratizes the decision-making process throughout the analysis of the offers and guarantees equality among the different areas involved in the process. In order to validate the model, its application to a real case study in the ICT sector is presented in the next section.

5. Application example

This section presents an example of the application of the proposed model to the analysis of offers in contracting processes in companies related to ICT services. Let us suppose there is a telecommunications enterprise that wishes to contract the installation of a new data transmission link system between two geographic points in a city. In order to do so, the bidding rules have been drawn up for the process, where experts from the areas involved (Legal, Technical, Sales and Financial) have participated and determined the degree of importance for each of them. A set of five linguistic labels symmetrically distributed in the interval [0,1] have been used $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4\}$, where $s_0=NI$ (Not Important), $s_1=LI$ (Little Importance), $s_2=N$ (Neutral), $s_3=I$ (Important), and $s_4=VI$ (Very Important).

In this case, there are three experts per area in Expert Group I, which may be represented as $e_{ij}^l, \forall i \in \{1, \dots, 4\}, \forall j \in \{1, \dots, 3\}$. Similarly, five requirements to be evaluated were determined (evaluation criteria, $c_l^i, \forall l \in \{1, \dots, 5\}$) for each of the areas involved: Legal (L), Technical (T), Sales (S) and Financial (F). Some examples of evaluation criteria per area may be the following ones, among others:

- **Legal:** Guarantees (c_1^L), Validity of the offer (c_2^L), Experience of the offeror (c_3^L), Qualifying documents (c_4^L), Legal entity (c_5^L), etc.
- **Technical:** Time of installation (c_1^T), Compliance of standards (c_2^T), Compatibility (c_3^T), Physical space occupied by the

4.3. Output

This stage of the process presents the sorted list in descending order of the offers from the participating suppliers according to the global ratings calculated for each of them and which are shown with regards to the reference. Thus, the final result obtained is:

- Ranking resulting of the alternatives (offers) involved in the contracting process.

The model presented has been implemented using the IBM SPSS Modeler¹ tool, with the purpose of automating its application. The result is shown in Fig. 4. As may be observed, on the left of this figure we find the necessary inputs which will be inserted by the different groups of experts (evaluators) involved, namely, Expert Group I (EG I) and Expert Group II (EG II). They are responsible of facilitating the necessary information for the model to carry out the methodology designed for the analysis or evaluation of the offers. As shown in Fig. 4, the model internally creates several instances: *profile*, *reference*, *rated alternatives* (surrounded by broken lines for a better identification), which will be necessary to carry out the evaluation process and finally determine the sorted ranking of results of the alternatives presented by the different offerors (competitors). These two last operations are marked with thick (blue) arrows in Fig. 4.

¹ <http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/products/modeler/>

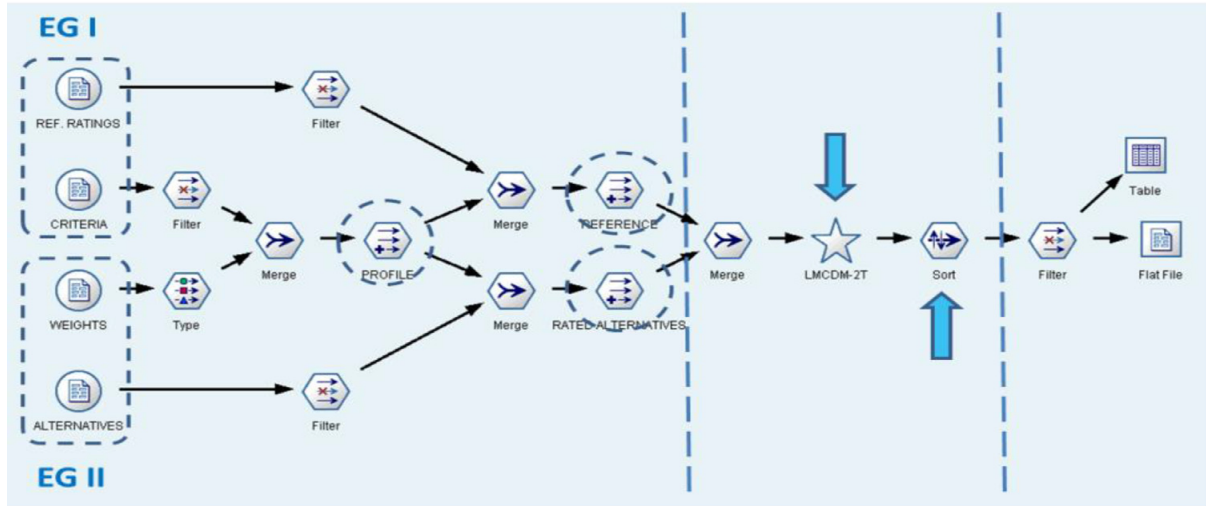


Fig. 4. Implementation of the analysis procedure of ICT suppliers' offers in contracting processes, developed with IBM SPSS Modeler.

ID_ALTERNATIVE	ID_AREA	ID_CRITERIA	ASSESSMENT
1	0 Legal	C1	(I,+0.0000)
2	0 Legal	C2	(N,+0.0000)
3	0 Legal	C3	(N,+0.0000)
4	0 Legal	C4	(I,+0.0000)
5	0 Legal	C5	(N,+0.0000)
6	0 Technical	C1	(VI,+0.0000)
7	0 Technical	C2	(I,+0.0000)
8	0 Technical	C3	(I,+0.0000)
9	0 Technical	C4	(N,+0.0000)
10	0 Technical	C5	(N,+0.0000)
11	0 Sales	C1	(LI,+0.0000)
12	0 Sales	C2	(I,+0.0000)
13	0 Sales	C3	(I,+0.0000)
14	0 Sales	C4	(LI,+0.0000)
15	0 Sales	C5	(N,+0.0000)
16	0 Financial	C1	(VI,+0.0000)
17	0 Financial	C2	(N,+0.0000)
18	0 Financial	C3	(I,+0.0000)
19	0 Financial	C4	(I,+0.0000)
20	0 Financial	C5	(N,+0.0000)

Fig. 5. Referential values of a similar contracting process for each criterion considered in the problem (corresponding to the element REF. RATINGS, shown in Fig. 4 on the left).

ID_ALTERNATIVE	ID_AREA	ID_CRITERIA	ASSESSMENTS
1	99 Legal	C1	(I,+0.0000)
2	99 Legal	C2	(N,+0.0000)
3	99 Legal	C3	(N,+0.0000)
4	99 Legal	C4	(I,+0.0000)
5	99 Legal	C5	(N,+0.0000)
6	99 Technical	C1	(I,+0.0000)
7	99 Technical	C2	(VI,+0.0000)
8	99 Technical	C3	(I,+0.0000)
9	99 Technical	C4	(I,+0.0000)
10	99 Technical	C5	(VI,+0.0000)
11	99 Sales	C1	(I,+0.0000)
12	99 Sales	C2	(I,+0.0000)
13	99 Sales	C3	(I,+0.0000)
14	99 Sales	C4	(N,+0.0000)
15	99 Sales	C5	(LI,+0.0000)
16	99 Financial	C1	(VI,+0.0000)
17	99 Financial	C2	(N,+0.0000)
18	99 Financial	C3	(I,+0.0000)
19	99 Financial	C4	(I,+0.0000)
20	99 Financial	C5	(N,+0.0000)

Fig. 6. Rating of the criteria according to the experts of the areas involved.

- equipment (c_4^I), Need of additional infrastructures (c_5^I), Maintenance conditions (c_6^I), etc.
- *Sales*: Training (c_1^S), Assistance (c_2^S), Providers' support (c_3^S), Participation in promotional campaigns (c_4^S), Quantity of samples (c_5^S), etc.
- *Financial*: Price (c_1^F), Financing (c_2^F), Payment terms (c_3^F), Financial history of the offeror company (c_4^F), Interest charged (c_5^F), etc.

The sets of data provided at the input as 2-tuples, using the format $(s_i, 0)$, are the following ones:

- Referential values, which are provided by the experts (from Expert Group I) for each evaluation criteria, are shown in Fig. 5.
- The number of criteria may vary according to the area and the particular contracting process. In the case here presented, five different criteria were used for each of the four areas involved. Fig. 6 shows the ratings assigned by Expert Group II to each criterion of each of the areas. This corresponds to the element CRITERIA shown on the left side of Fig. 4.
- The set of linguistic weights to be applied to each area involved is assigned by the Expert Group II and shown in Fig. 7. This corresponds to the element WEIGHTS placed on the left side of

ID_ALTERNATIVE	ID_AREA	WEIGHTS
1	99 Legal	(I,+0.0000)
2	99 Technical	(VI,+0.0000)
3	99 Sales	(N,+0.0000)
4	99 Financial	(I,+0.0000)

Fig. 7. Weights assigned to the areas involved indicating their degree of importance.

- The arrow shown in Fig. 7 points out the requesting area (initiator) of the contracting process, since it is the area with the highest weight.
- The ratings assigned to each alternative or offer presented $A = \{A_1, \dots, A_5\}$ are found in Fig. 8. These ratings, which have been expressed by the group evaluating the offers (Expert Group II) correspond to the ALTERNATIVES element shown on the left side of Fig. 4.

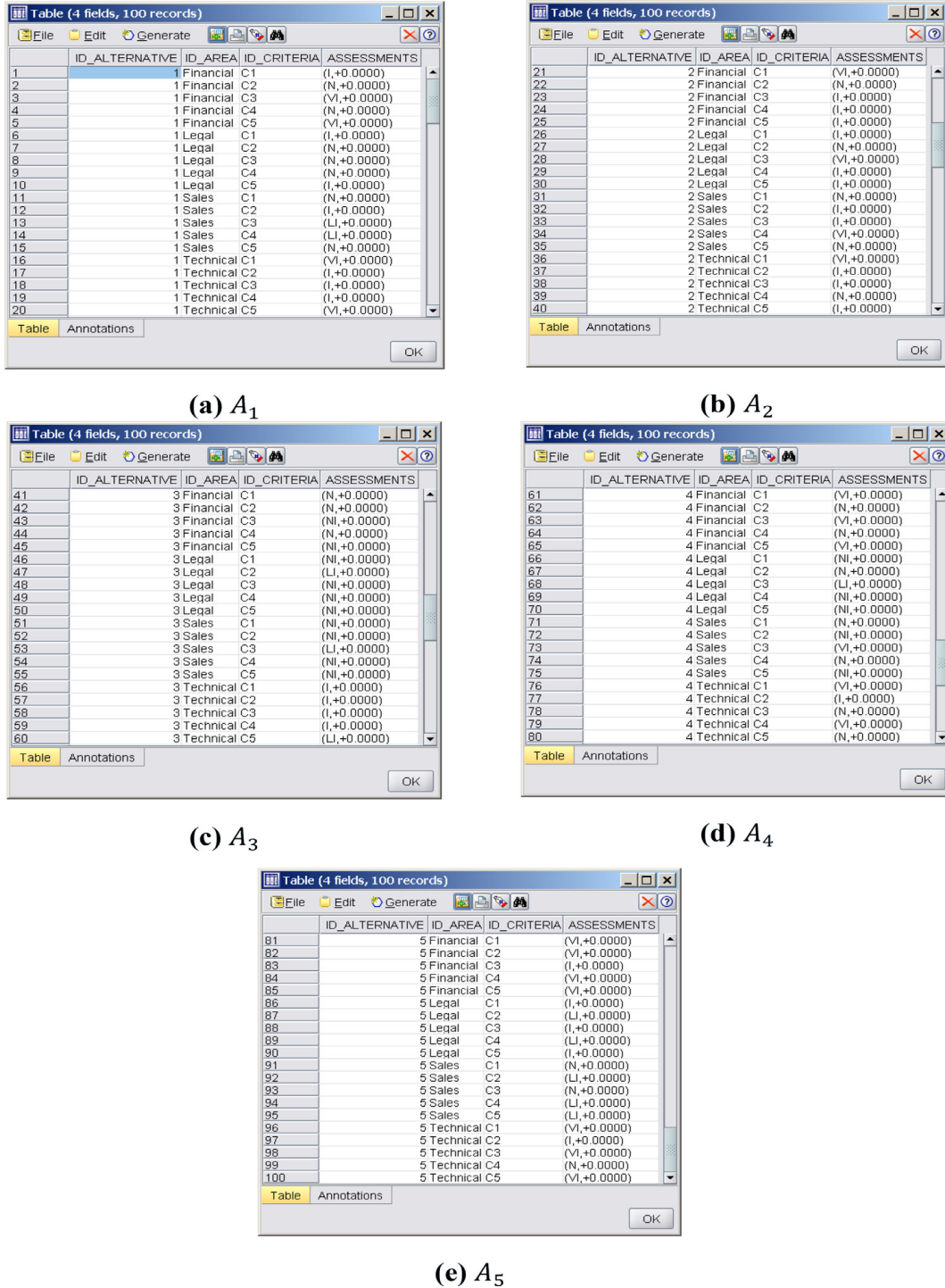


Fig. 8. Ratings of the alternatives or offers presented, expressed in 2-tuples.

We have 100 total assessment values, 20 for each alternative $\{A_1, \dots, A_5\}$ (shown in Fig. 8) and 20 additional values, corresponding to the reference (see Fig. 5).

The profile for this particular problem will be formed from multiplying the contents of the tables shown in Fig. 6 and Fig. 7 (assessment of all the criteria involved in each area, multiplied by the weights assigned to the corresponding area). As a result, we obtain the table shown in Fig. 9.

The ratings (obtained by the different alternatives, shown in Fig. 8) will be multiplied first by the specific profile obtained for

this particular problem (see Fig. 9), obtaining the result shown in Fig. 10, and will afterwards undergo an aggregation process with regards to the criteria of each area involved (Legal, Technical, Sales and Financial), using the extended arithmetic mean operator in order to obtain a unique value for each of these area (Phase I).

An example for the aggregation process carried out at the technical area for alternative A_2 is presented just below (the row highlighted in Fig. 11 shows the result obtained):

ID_ALTERNATIVE	ID_AREA	ID_CRITERIO	CRITERIA ASS. x WEIGHTS
1	99 Financial	C1	(I,+0.00000)
2	99 Financial	C2	(N,-0.125000)
3	99 Financial	C3	(N,+0.062500)
4	99 Financial	C4	(N,+0.062500)
5	99 Financial	C5	(N,-0.125000)
6	99 Legal	C1	(N,+0.062500)
7	99 Legal	C2	(N,-0.125000)
8	99 Legal	C3	(N,-0.125000)
9	99 Legal	C4	(N,+0.062500)
10	99 Legal	C5	(N,-0.125000)
11	99 Sales	C1	(LI,-0.125000)
12	99 Sales	C2	(N,-0.125000)
13	99 Sales	C3	(N,-0.125000)
14	99 Sales	C4	(LI,+0.000000)
15	99 Sales	C5	(LI,-0.125000)
16	99 Technical	C1	(I,+0.000000)
17	99 Technical	C2	(VI,-0.000000)
18	99 Technical	C3	(I,+0.000000)
19	99 Technical	C4	(I,+0.000000)
20	99 Technical	C5	(VI,-0.000000)

Fig. 9. Profile obtained for this particular contracting case, represented as 2-tuples.

ID_ALTERNATIVE	ID_AREA	ID_CRITERIO	CRITERIA X PROFILE
21	2 Financial	C1	(I,+0.000000)
22	2 Financial	C2	(LI,-0.062500)
23	2 Financial	C3	(N,-0.078125)
24	2 Financial	C4	(N,-0.078125)
25	2 Financial	C5	(LI,+0.031250)
26	2 Legal	C1	(N,-0.078125)
27	2 Legal	C2	(LI,-0.062500)
28	2 Legal	C3	(N,-0.125000)
29	2 Legal	C4	(N,-0.078125)
30	2 Legal	C5	(LI,+0.031250)
31	2 Sales	C1	(NI,+0.062500)
32	2 Sales	C2	(LI,+0.031250)
33	2 Sales	C3	(LI,+0.031250)
34	2 Sales	C4	(LI,+0.000000)
35	2 Sales	C5	(NI,+0.062500)
36	2 Technical	C1	(I,+0.000000)
37	2 Technical	C2	(I,+0.000000)
38	2 Technical	C3	(N,+0.062500)
39	2 Technical	C4	(N,-0.125000)
40	2 Technical	C5	(I,+0.000000)

Fig. 10. Results of multiplying the alternative assessments by the specific profile.

ID_ALTERNATIVE	ID_AREA	AGGREGATION1
1	0 Financial	(N,-0.106250)
2	0 Legal	(LI,+0.031250)
3	0 Sales	(LI,-0.106250)
4	0 Technical	(N,+0.087500)
5	1 Financial	(N,-0.106250)
6	1 Legal	(LI,+0.021875)
7	1 Sales	(NI,+0.112500)
8	1 Technical	(I,-0.025000)
9	2 Financial	(N,-0.087500)
10	2 Legal	(LI,+0.087500)
11	2 Sales	(LI,-0.062500)
12	2 Technical	(I,-0.112500)
13	3 Financial	(LI,-0.081250)
14	3 Legal	(NI,+0.018750)
15	3 Sales	(NI,+0.018750)
16	3 Technical	(N,+0.037500)
17	4 Financial	(N,-0.068750)
18	4 Legal	(NI,+0.056250)
19	4 Sales	(NI,+0.112500)
20	4 Technical	(I,-0.125000)
21	5 Financial	(N,-0.003125)
22	5 Legal	(LI,-0.006250)
23	5 Sales	(NI,+0.087500)
24	5 Technical	(I,-0.025000)
25	99 Financial	(N,+0.025000)
26	99 Legal	(N,-0.050000)
27	99 Sales	(LI,+0.000000)
28	99 Technical	(I,+0.100000)

Fig. 11. Results of the first aggregation process.

ID_ALTERNATIVE	ID_AREA	AGG 1/AGG WIGHTS
1	0 Financial	(I,+0.000000)
2	0 Legal	(I,-0.125000)
3	0 Sales	(N,+0.075000)
4	0 Technical	(I,-0.058824)
5	1 Financial	(I,+0.000000)
6	1 Legal	(N,+0.104167)
7	1 Sales	(N,-0.050000)
8	1 Technical	(I,+0.102941)
9	2 Financial	(I,+0.035714)
10	2 Legal	(I,+0.000000)
11	2 Sales	(I,+0.000000)
12	2 Technical	(I,+0.000000)
13	3 Financial	(LI,+0.071429)
14	3 Legal	(NI,+0.041667)
15	3 Sales	(NI,+0.075000)
16	3 Technical	(I,-0.117647)
17	4 Financial	(I,+0.071429)
18	4 Legal	(LI,-0.125000)
19	4 Sales	(N,-0.050000)
20	4 Technical	(I,-0.014706)
21	5 Financial	(VI,-0.053571)
22	5 Legal	(N,+0.041667)
23	5 Sales	(LI,+0.100000)
24	5 Technical	(I,+0.102941)

Fig. 12. Data used for the second aggregation process.

$$\begin{aligned}
 A_2^T &= \Delta \left(\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 c_i^T \cdot c_i^T \right) \\
 &= \Delta \left(\frac{1}{5} \cdot (0.7500 + 0.7500 + 0.5625 + 0.3750 + 0.7500) \right) \\
 &= \Delta \left(\frac{3.187500}{5} \right) = \Delta (0.637500) = (s_3, -0.112500) \\
 &= (I, -0.112500)
 \end{aligned}$$

Subsequently, other information aggregation process is carried out (now with regards to the areas) by using the extended weighted arithmetic mean operator (Phase II), in order to obtain a unique result for each alternative presented. These two aggregation processes (by criteria and by area involved) are also applied to the matrix of the reference values (see Fig. 5) in order to obtain the value to compare the results of the ratings corresponding to the alternatives. An example of this second aggregation process using the data set for alternative A_2 (highlighted in Fig. 12) is the following one:

$$\begin{aligned}
 A_2 &= \Delta \left(\frac{\sum_{i=1}^4 A_{2i}}{4} \right) \\
 &= \Delta \left(\frac{0.785714 + 0.750000 + 0.750000 + 0.750000}{4} \right) \\
 &= \Delta \left(\frac{3.035714}{4} \right) = \Delta (0.758929) \\
 &= (s_3, +0.008929) = (I, +0.008929)
 \end{aligned}$$

Fig. 13 presents the final results after applying the described model. The values have been sorted in descending order (Phase III) by taking into account their degree of importance, according to the ratings provided by the assessor group for each alternative (offer) presented to the tender. As shown in Fig. 13, a value coming from a similar contracting process (reference) and the minimum value established by both expert groups to consider an alternative as valid (profile) are also included.

As observed in Fig. 13, from the five offers presented the ratings obtained in three of them (A_2, A_5, A_1) are higher than the referential value (Reference, obtained from a previous similar scenario),

	ID_ALTERNATIVE	VALUE
1	A2	(I,+0.008929)
2	A5	(I,-0.077241)
3	A1	(I,-0.085723)
4	--- Reference ---	(I,-0.089706)
5	A4	(N,+0.032931)
6	--- Profile ---	(N,+0.018750)
7	A3	(LI,+0.017612)

Fig. 13. Final results.

where A_2 is the one that obtained the highest rating and is therefore the winning offer. Just after it, and in order of priority, A_5 and A_1 would be, while A_4 would have a better performance than the Profile value, but worse than the Reference one. Moreover, A_3 should be excluded, since it has obtained a rating below the profile established. A graphical representation of the results obtained may be observed in Fig. 14. This graphic helps to quickly identify the best alternatives (the closest ones to the right side of the graph), which have been enclosed within the rectangle drawn in dotted line.

A comparison of our proposal with related methods widespread in decision-making, i.e. extension principle-based and symbolic models, which use linguistic labels, can be found in Table 2. It

also includes a comparison of the results obtained by the different methods for the case study at hand.

Moreover, some approaches provide linguistic labels as input to the decision-making process, such as AHP (Kahraman, Cebeci, & Ulukan, 2003), different variants of TOPSIS (Boran, Genç, Kurt, & Akay, 2009; Chen, Lin, & Huang, 2006) and VIKOR (Sanayei, Mousavi, & Yazdankhah, 2010). However, the use of these labels is constrained only to the input. In the process carried out by these models, these linguistic labels are subjected to transformations and normalizations resulting numerical values. Therefore, these models do not provide as output linguistic labels but quantitative expressions, which are not as easily interpretable as the linguistic qualitative information offered by our model as a result.

6. Conclusions and future work

A linguistic multi-criteria decision-making model has been presented for its application to processes rating the offers of suppliers in the ICT sector. Natural language is used to evaluate the different solution alternatives according to the requirements initially established. The proposal has been specially designed for its implementation in the ICT sector. However, it is also applicable to other business sectors. The method proposed is focused on improving decision-making processes from a qualitative perspective. It eliminates the processes of information translation (from qualitative to quantitative and vice versa), avoiding the loss of information that takes place in all translation processes.

To prove the efficiency of the model and experimentally validate it, it has been applied to a case study in a telecommunications company in order to solve a contracting problem. The application of the model has been described step by step and the results

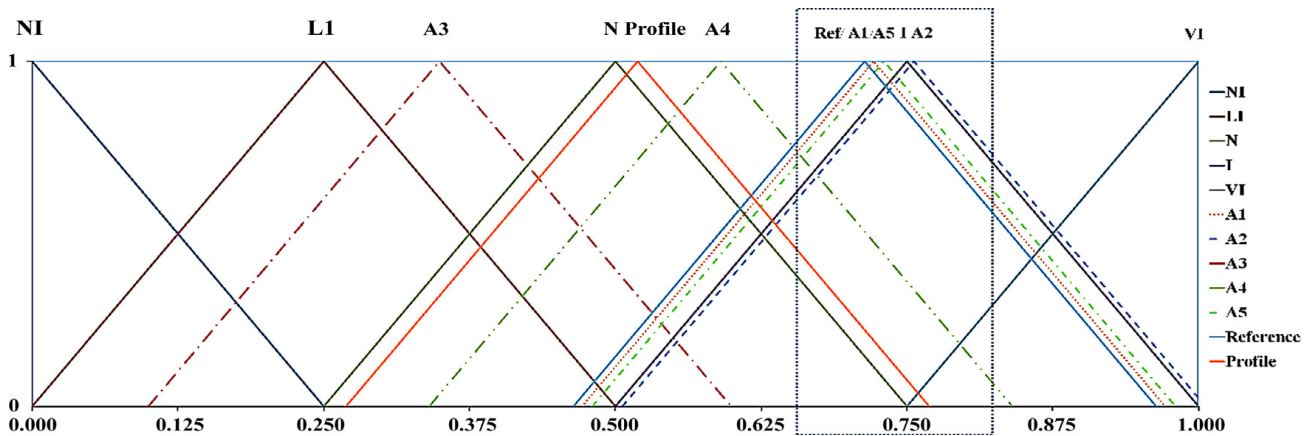


Fig. 14. Graphic of results.

Table 2 Comparative results with other related methods.

Factors \ Methods	Extension principle-based model	Symbolic model	LMCDM-2T
Method used	Approximation to linguistic terms	Approximation to linguistic terms	Linguistic terms and symbolic translation
Accuracy of results	Approximate	Approximate	Accurate
Loss of information	Yes	Yes	No
Qualitative application	When accuracy is not necessary	When accuracy is not necessary	When accuracy is required
Complexity	Not very complex	Not very complex	More complex
Differentiated values in the ranking list	Limited	Limited	Not limited
Results obtained for this case study			
A2	I	I	(I,+0.008929)
A5	I	I	(I,-0.077241)
A1	I	I	(I,-0.085723)
Reference	-	-	(I,-0.089706)
A4	N	N	(N,+0.032931)
Profile	-	-	(N,+0.018750)
A3	LI	LI	(LI,+0.017612)

obtained have been analysed until finally determining the successful alternative (i.e. the winning offer).

It is worth noting that this model is suitable for its application to many other decision-making problems in companies providing ICT products and/or services, or even from other economy sectors. This paper has pursued the dual goal of providing a sound alternative to the traditional methods for qualitatively analysing offers in contracting processes and providing managers involved in decision-making processes with a tool that make it possible to assess the offers submitted by suppliers in a more appropriate manner, and hence to improve the relationship with them. Thus, the proposed model presents the following advantages:

- Use of natural language to evaluate, through the use of linguistic labels, the different elements involved in the process.
- No use of numerical (quantitative) ratings, which would entail transformations from numerical values into qualitative expressions that could insert subjective and distortion elements in the process.
- Use of weights based on linguistic labels to determine the degree of importance of the areas involved, which objectively indicates the area of the business that initiates the contracting process.
- Ease of rating for the persons involved in the process (in-depth training is not necessary).
- Use of a *profile*, specific to each application case, to determine the minimum necessary value for considering a rated alternative as valid.
- Use of a *reference* value, from a previous similar contracting process, to determine the goodness of the offers ranked.
- Higher level of democratization in business making-decision processes by counting on experts from the different areas involved in the problem at hand, which allows taking into account the different views and sensitivities existing in the company and prevents such decision-making processes fall on too few people.
- Increase of both transparency levels and control mechanisms in decision-making processes by using two independent expert groups.
- Generation of more accurate results as compared to other linguistic methods, thanks to the use of the 2-tuple linguistic representation.
- Comparison of tenders submitted by suppliers against a market reference value, which determines the level of goodness of each offer.
- Possibility to evaluate, in a contracting process, how near or far the criteria assessments provided by the experts (profile value) are from the reference value obtained from a similar process.

Regarding the weak points of our proposal, we could highlight the following ones:

- Higher cost, due to a greater number of people involved.
- Difficulty to find reference values the first time a contracting process is carried out.
- The own limitations of the 2-tuple linguistic model, which is based on a set of linguistic labels uniformly distributed in the context interval, reason why it does not conform to problems requiring a solution space unbalanced.

Therefore, and according to the analysis carried out and to the accumulated experience, we can affirm that the model proposed will positively contribute to the decision-making of the entities or bodies that implement it.

As future work, we consider the possibility of experimentally applying this model to other economic areas where the process of making decisions related to the analysis of contractual offers in-

clude shortfalls that influence the economic results of the companies involved.

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the financial support received from the European Regional Development Fund (ERDF) for the Research Projects [TIN2012-38600](#) and [TIN2013-40658-P](#), as well as the funding obtained from the Regional Government of Andalusia (Spain) for the Excellence Project TIC-5991.

References

- Alcalá, R., Alcalá-Fdez, J., Gacto, M. J., & Herrera, F. (2009). Improving fuzzy logic controllers obtained by experts: A case study in HVAC systems. *Applied Intelligence*, 31(1), 15–30.
- Alcalá, R., Nojima, Y., Herrera, F., & Ishibuchi, H. (2011). Multiobjective genetic fuzzy rule selection of single granularity-based fuzzy classification rules and its interaction with the lateral tuning of membership functions. *Soft Comput.*, 15(12), 2303–2318.
- Alcalá-Fdez, J., Alcalá, R., Gacto, M. J., & Herrera, F. (2009). Learning the membership function contexts for mining fuzzy association rules by using genetic algorithms. *Fuzzy Sets Syst.*, 160(7), 905–921.
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Syst. Appl.*, 39(17), 13051–13069.
- Bhutta, M. K. S. (2003). Supplier selection problem: Methodology literature review. *J. Int. Inf. Manag.*, 12(2), 53–72.
- Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M., & Akay, D. (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Syst. Appl.*, 36(8), 11363–11368.
- Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2012). Robustness of MULTIMOORA: A method for multi-objective optimization. *Informatica*, 23(1), 1–25.
- Cables, E., García-Cascales, M. S., & Lamata, M. T. (2012). The LTOPSIS: an alternative to TOPSIS decision-making approach for linguistic variables. *Expert Syst. Appl.*, 39(2), 2119–2126.
- Cachon, G. P., & Netessine, S. (2004). Game theory in supply chain analysis. *Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis* (pp. 13–65). US: Springer.
- Camerer, C. (2003). *Behavioral game theory: Experiments in strategic interaction*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Carmona, C. J., González, P., Gacto, M. J., & del Jesús, M. J. (2012). Genetic lateral tuning for subgroup discovery with fuzzy rules using the algorithm NMEEF-SD. *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, 5(2), 355–367.
- Carlsson, C., & Fullér, R. (2002). Fuzzy reasoning in decision making and optimization. *Studies in Fuzziness and Soft Computing Series: Vol. 82*. Heidelberg, Germany: Physica-Verlag.
- Carrasco, R. A., Sánchez-Fernández, J., Muñoz-Leiva, F., Blasco, M. F., & Herrera-Viedma, E. (2015). Evaluation of the hotels e-services quality under the user's experience. *Soft Comput.*, 1–17 (in press). doi:10.1007/s00500-015-1832-0.
- Carrasco, R. A., Villar, P., Hornos, M. J., & Herrera-Viedma, E. (2011). A linguistic multi-criteria decision making model applied to the integration of education questionnaires. *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, 4(5), 946–959.
- Carrasco, R. A., Villar, P., Hornos, M. J., & Herrera-Viedma, E. (2012). A linguistic multicriteria decision-making model applied to hotel service quality evaluation from web data sources. *Int. J. Intell. Syst.*, 27(7), 704–731.
- Chen, C. T., Lin, C. T., & Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *Int. J. Prod. Econ.*, 102(2), 289–301.
- Chiclana, F., García, J. T., del Moral, M. J., & Herrera-Viedma, E. (2013). A statistical comparative study of different similarity measures of consensus in group decision making. *Inf. Sci.*, 221, 110–123.
- Cid-López, A., Hornos, M. J., Carrasco, R. A., & Herrera-Viedma, E. (2015). A hybrid model for decision-making in the Information and Communications Technology sector. *Technol. Econ. Dev. Econ.*, 21(5), 720–737.
- Cid-López, A., Hornos, M. J., Carrasco, R. A., & Herrera-Viedma, E. (2015). SICTQUAL: a fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of service in the ICT sector from the user perspective. *Appl. Soft Comput.*, 37, 897–910.
- Costa, R., & Menichini, T. (2013). A multidimensional approach for CSR assessment: The importance of the stakeholder perception. *Expert Syst. Appl.*, 40(1), 150–161.
- De Andrés, R., & García-Lapresta, J. L. (2010). An endogenous human resources selection model based on linguistic assessments. *Neural Netw. World*, 20(1), 91–111.
- De Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *Eur. J. Purch. Supply Manage.*, 7(2), 75–89.
- Dhouib, D. (2014). An extension of MACBETH method for a fuzzy environment to analyze alternatives in reverse logistics for automobile tire wastes. *Omega*, 42(1), 25–32.
- Dutta, B., & Guha, D. (2015). Partitioned Bonferroni mean based on linguistic 2-tuple for dealing with multi-attribute group decision making. *Appl. Soft Comput.*, 37, 166–179.
- Espinilla, M., de Andrés, R., Martínez, F. J., & Martínez, L. (2013). A 360-degree performance appraisal model dealing with heterogeneous information and dependent criteria. *Inf. Sci.*, 222, 459–471.
- Estrella, F. J., Espinilla, M., Herrera, F., & Martínez, L. (2014). FLINTSTONES: A fuzzy linguistic decision tools enhancement suite based on the 2-tuple linguistic model and extensions. *Inf. Sci.*, 280, 152–170.

- Fan, Z. P., Feng, B., Sun, Y. H., & Ou, W. (2009). Evaluating knowledge management capability of organizations: A fuzzy linguistic method. *Expert Syst. Appl.*, 36(2), 3346–3354.
- Fernández, A., del Jesus, M. J., & Herrera, F. (2010). On the 2-tuples based genetic tuning performance for fuzzy rule based classification systems in imbalanced data-sets. *Inf. Sci.*, 180(8), 1268–1291.
- (2005). In Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (Eds.). In *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys: Vol. 78*. New York: Springer Science+Business Media.
- Filev, D., & Yager, R. R. (1998). On the issue of obtaining OWA operator weights. *Fuzzy Sets Syst.*, 94(2), 157–169.
- Fonseca, C. M., & Fleming, P. J. (1995). An overview of evolutionary algorithms in multiobjective optimization. *Evol. Comput.*, 3(1), 1–16.
- Gal, T., Stewart, T., & Hanne, T. (2013). *Multicriteria decision making: Advances in MCDM models, algorithms, theory, and applications: Vol. 21*. New York: Springer Science & Business Media.
- Gómez, R., & Pather, S. (2011). ICT Evaluation: Are we asking the right questions? *Electron. J. Inf. Syst. Develop. Countries*, 50(5), 1–14.
- Gramajo, S., & Martí, L. (2012). A linguistic decision support model for QoS priorities in networking. *Knowl. Based Syst.*, 32, 65–75.
- Han, Z., Niyato, D., Saad, W., Başar, T., & Hjørungnes, A. (2012). *Game theory in wireless and communication networks: Theory, models, and applications*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Heeks, R. (2008). ICT4D 2.0: The next phase of applying ICT for international development. *Computer*, 41(6), 26–33.
- Herrera, F., Alonso, S., Chiclana, F., & Herrera-Viedma, E. (2009). Computing with words in decision making: Foundations, trends and prospects. *Fuzzy Optim. Decis. Making*, 8(4), 337–364.
- Herrera, F., & Herrera-Viedma, E. (2000). Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problems under linguistic information. *Fuzzy Sets Syst.*, 115(1), 67–82.
- Herrera, F., & Martínez, L. (2000). A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, 8(6), 746–752.
- Herrera, F., & Martínez, L. (2001). A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making. *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Part B: Cybern.*, 31(2), 227–234.
- Herrera-Viedma, E., López-Herrera, A. G., Luque, M., & Porcel, C. (2007). A fuzzy linguistic IRS model based on a 2-tuple fuzzy linguistic approach. *Int. J. Uncertainty, Fuzziness Knowl. based Syst.*, 15(02), 225–250.
- ITU (2015). Key 2005–2015 ICT data for the world, by geographic regions and by level of development. Retrieved from <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>, last accessed on 5 October 2015.
- Ju, Y., & Wang, A. (2013). Extension of VIKOR method for multi-criteria group decision making problem with linguistic information. *Appl. Math. Modell.*, 37(5), 3112–3125.
- Kabak, M., Burmaoğlu, S., & Kazançoğlu, Y. (2012). A fuzzy hybrid MCDM approach for professional selection. *Expert Syst. Appl.*, 39(3), 3516–3525.
- Kacprzyk, J., & Zadrozny, S. A. (2001). Computing with words in decision making through individual and collective linguistic choice rules. *Int. J. Uncertainty, Fuzziness Knowl. Based Syst.*, 9(supp01), 89–102.
- Kahraman, C., Cebeci, U., & Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logist. Inf. Manage.*, 16(6), 382–394.
- Kao, C., & Liu, S.-T. (2001). Fractional programming approach to fuzzy weighted average. *Fuzzy Sets Syst.*, 120(3), 435–444.
- Klemperer, P. (1999). Auction theory: A guide to the literature. *J. Econ. Surv.*, 13(3), 227–286.
- Kou, G., Lu, Y., Peng, Y., & Shi, Y. (2012). Evaluation of Classification Algorithms Using MCDM and Rank Correlation. *Int. J. Inf. Technol. Decis. Making*, 11(01), 197–225.
- Kwon, O. (2006). The potential roles of context-aware computing technology in optimization-based intelligent decision-making. *Expert Syst. Appl.*, 31(3), 629–642.
- Liao, H., & Xu, Z. (2015). Approaches to manage hesitant fuzzy linguistic information based on the cosine distance and similarity measures for HFLTSS and their application in qualitative decision making. *Expert Syst. Appl.*, 42(12), 5328–5336.
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Arch. Psychol.*, 22(140), 1–55.
- Lin, Y. (2009). Method for risk evaluation of high-technology with 2-tuple linguistic information. In *Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application* (pp. 261–264). IEEE.
- Martínez, L., Espinilla, M., & Pérez, L. G. (2008). A linguistic multigranular sensory evaluation model for olive oil. *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, 1(2), 148–158.
- Martínez, L., Liu, J., Yang, J. B., & Herrera, F. (2005). A multigranular hierarchical linguistic model for design evaluation based on safety and cost analysis. *Int. J. Intell. Syst.*, 20(12), 1161–1194.
- Martínez, L., & Herrera, F. (2012). An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges. *Inf. Sci.*, 207(1), 1–18.
- Massanet, S., Riera, J. V., Torrens, J., & Herrera-Viedma, E. (2014). A new linguistic computational model based on discrete fuzzy numbers for computing with words. *Inf. Sci.*, 258, 277–290.
- Mendel, J. M. (2007). Computing with words and its relationships with fuzzistics. *Inf. Sci.*, 177(4), 988–1006.
- Montes, R., Sánchez, A. M., Villar, P., & Herrera, F. (2015). A web tool to support decision making in the housing market using hesitant fuzzy linguistic term sets. *Appl. Soft Comput.*, 35, 949–957.
- Moreno, J. M., Castillo, D., Porcel, J. M. C., & Herrera-Viedma, E. (2010). A quality evaluation methodology for health-related websites based on a 2-tuple fuzzy linguistic approach. *Soft Comput.*, 14(8), 887–897.
- Morente-Molinera, J. A., Pérez, I. J., Ureña, M. R., & Herrera-Viedma, E. (2015). On multi-granular fuzzy linguistic modelling in group decision making problems: A systematic review and future trends. *Knowl. Based Syst.*, 74, 49–60.
- Morente-Molinera, J. A., Pérez, I. J., Ureña, M. R., & Herrera-Viedma, E. (2015). Building and Managing Fuzzy Ontologies with Heterogeneous Linguistic Information. *Knowl. Based Syst.*, 88, 154–164.
- Ockenfels, A., & Roth, A. E. (2006). Late and multiple bidding in second price Internet auctions: Theory and evidence concerning different rules for ending an auction. *Games Econ. Behav.*, 55(2), 297–320.
- OECD (2015). Key ICT Indicators. Retrieved from <http://www.oecd.org/internet/broadband/oecdkeyictindicators.htm>, last accessed on 5 October 2015.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: a comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Eur. j. oper. res.*, 156(2), 445–455.
- Oztaysi, B. (2014). A decision model for information technology selection using AHP integrated TOPSIS-Grey: the case of content management systems. *Knowl. Based Syst.*, 70, 44–54.
- Perez-Asurmendi, P., & Chiclana, F. (2014). Linguistic majorities with difference in support. *Appl. Soft Comput.*, 18, 196–208.
- Porcel, C., & Herrera-Viedma, E. (2010). Dealing with incomplete information in a fuzzy linguistic recommender system to disseminate information in university digital libraries. *Knowl. Based Syst.*, 23(1), 32–39.
- Rodríguez, R. M., Martínez, L., Ruan, D., & Liu, J. (2010). Using collaborative filtering for dealing with missing values in nuclear safeguards evaluation. *Int. J. Uncertainty Fuzziness Knowl. Based Syst.*, 18(04), 431–449.
- Rothkopf, M. H., Pekeč, A., & Harstad, R. M. (1998). Computationally manageable combinatorial auctions. *Manage. Sci.*, 44(8), 1131–1147.
- Sanayei, A., Mousavi, S. F., & Yazdankhah, A. (2010). Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Syst. Appl.*, 37(1), 24–30.
- Sandholm, T. (2002). Algorithm for optimal winner determination in combinatorial auctions. *Artif. Intell.*, 135(1), 1–54.
- Sun, Y. H., Ma, J., Fan, Z. P., & Wang, J. (2008). A group decision support approach to evaluate experts for R&D project selection. *IEEE Trans. Eng. Manage.*, 55(1), 158–170.
- Tapia-García, J. M., Del Moral, M. J., Martínez, M. A., & Herrera-Viedma, E. (2012). A consensus model for group decision making problems with linguistic interval fuzzy preference relations. *Expert Syst. Appl.*, 39(11), 10022–10030.
- Tong, R. M., & Bonissone, P. P. (1980). A linguistic approach to decision making with fuzzy sets. *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern.*, 10(11), 716–723.
- Wang, W. P. (2009). Evaluating new product development performance by fuzzy linguistic computing. *Expert Syst. Appl.*, 36(6), 9759–9766.
- Wu, D. J. (2001). Software agents for knowledge management: Coordination in multi-agent supply chains and auctions. *Expert Syst. Appl.*, 20(1), 51–64.
- Wu, D. J., Chiclana, F., & Herrera-Viedma, E. (2015). Trust Based Consensus Model for Social Network in an Incomplete Linguistic Information Context. *Appl. Soft Comput.*, 35, 827–839.
- Xuefeng, L., Lu, L., Lihua, W., & Zhao, Z. (2006). Predicting the final prices of online auction items. *Expert Syst. Appl.*, 31(3), 542–550.
- Yager, R. R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making. *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern.*, 18(1), 183–190.
- Yavuz, M., Oztaysi, B., Onar, S. C., & Kahraman, C. (2015). Multi-criteria evaluation of alternative-fuel vehicles via a hierarchical hesitant fuzzy linguistic model. *Expert Syst. Appl.*, 42(5), 2835–2848.
- Yeh, D. Y., Cheng, C. H., & Chi, M. L. (2007). A modified two-tuple FLC model for evaluating the performance of SCM: By the Six Sigma DMAIC process. *Appl. Soft Comput.*, 7(3), 1027–1034.
- You, X. Y., You, J. X., Liu, H. C., & Zhen, L. (2015). Group multi-criteria supplier selection using an extended VIKOR method with interval 2-tuple linguistic information. *Expert Syst. Appl.*, 42(4), 1906–1916.
- Zadeh, L. A. (1996). Fuzzy logic= computing with words. *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, 4(2), 103–111.
- Zhao, X., Li, Q., & Wei, G. (2014). Some prioritized aggregating operators with linguistic information and their application to multiple attribute group decision making. *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 26(4), 1619–1630.

4 Prioritization in the launch of ICT products/ services by using a linguistic multi-criteria decision-making model

Quality evidence of the journal where the article was submitted #4

Status:	Submitted
Journal Name:	IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems
Impact Factor:	(JCR Science 2015) : 1.598
5-Year Impact Factor:	2.269
Subject Category:	Computer Science, Cybernetics
Ranking:	7 / 22 (T1)

- A. Cid-López, M.J. Hornos, R.A. Carrasco, E. Herrera-Viedma. Prioritization in the launch of ICT products/services by using a linguistic multi-criteria decision-making model. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems (Submitted)

Prioritization of the launch of ICT products and services through linguistic multi-criteria decision-making

Andrés Cid-López^{a,1}, Miguel J. Hornos^{a,1}, Ramón Alberto Carrasco^b, Enrique Herrera-Viedma^{c,d}

^a *Department of Software Engineering, University of Granada, Granada 18071, Spain*

^b *Department of Marketing and Market Research, Complutense University of Madrid, 28015 Madrid, Spain*

^c *Department of Computer Science and Artificial Intelligence, University of Granada, 18071 Granada, Spain*

^d *Department of Electrical and Computer Engineering, King Abdulaziz University, 21589 Jeddah, Saudi Arabia*

Abstract. The market launch of new products and services is a basic pillar for large and medium-sized companies in the goods and services sector. Choosing the right moment for it is usually a differentiating factor in terms of competition, since it is a source of competitive advantages. There are several mechanisms and strategies to face this problem from the market perspective. However, the criteria of the different actors involved –managers, sales representatives, experts, etc.– coexist in the corporate sphere and they often differ, causing difficulties in priority setting processes in the launch of a product or service. These criteria are usually expressed in natural language, thus adding a great deal of uncertainty. Fuzzy linguistic models have proved to be an efficient tool for managing the intrinsic uncertainty of this type of information. This paper presents a linguistic multi-criteria decision-making model, able to reconcile the different requirements and viewpoints existing in the corporate sector when planning the launch of new products and services. The proposed model is based on the fuzzy 2-tuple linguistic model, aimed at managing linguistic data expressing different corporate criteria, without compromising accuracy in the calculation of said data. In order to illustrate this, a practical case study is put forward, in which the model is applied for scheduling the launch of several new products and services by a telecommunications company, within the deadlines set in its strategic planning.

Keywords: Strategic planning; linguistic multi-criteria decision-making; 2-tuple representation; launch of products and services.

1. Introduction

It is a known fact that products and services have a mainly strategic nature, which is why their launching on the market must be planned in advance [1–4]. Therefore, choosing the perfect moment for the launch is normally a differentiator in terms of competition, since it is a source of competitive advantages. Generally, the launch schedule for new products or services is set out in a company's strategic planning. There are several mechanisms and strategies to face this problem from the market perspective [5–8].

Given the importance of a proper scheduling in the launch of a company's products and services, several criteria must be taken into account in the decision-

making process [9–12]. Obviously, the participation of different actors in this process (marketing department, finance, production, etc.), with different views about prioritization in the launch of new products and services, makes planning very complex and causes organizational tensions [13–17]. This process can become even more complex due to the fact that all the different criteria are normally expressed in natural language, which entails significant inaccuracy and uncertainty.

Fuzzy linguistic models have proved to be an efficient tool for managing the intrinsic uncertainty of this type of data [18–21]. These linguistic models have also been applied to different problems related to

¹ Corresponding authors: mhornos@ugr.es, andrescid@ugr.es

multi-criteria decision-making [22–29], with great effectiveness.

This paper presents a multi-criteria model able to reconcile the different views and criteria existing in the corporate sphere when it comes to planning the launch of new products and services. The proposed model is based on the fuzzy 2-tuple linguistic model [30] and is aimed at managing the linguistic data that expresses the different corporate criteria, without losing accuracy in the calculation of said data. A practical implementation case, including a time scale and aimed at scheduling the launch of products and services for a telecommunications company within its strategic planning, is also illustrated.

The rest of the article is structured as follows: Section 2 presents the preliminary concepts and rationale necessary for the proposal put forward in this paper; Section 3 introduces the linguistic multi-criteria decision-making model proposed for managing the planning of strategic goal; Section 4 illustrates the model application to a practical case study; and finally, Section 5 sets out the conclusions and future lines of study.

2. Preliminaries

This section is a brief introduction to the fuzzy linguistic approach, the 2-tuple linguistic model and multi-criteria decision-making (MCDM), where the data aggregation process and the exploitation of results are carried out, since these concepts and bases are going to be employed throughout this paper.

2.1. Fuzzy linguistic approach

Generally, in our daily work we are used to dealing with quantitative data expressed through accurate numerical values. However, many of the problems we encounter are expressed through perceptions or inaccurate knowledge, that is to say, qualitative data. A fuzzy linguistic approach can represent this type of perceptions or inaccurate knowledge using linguistic variables instead of accurate numerical values. A way of characterizing fuzzy numbers is through parametric representation of its membership functions [31].

Definition 1. Membership function: A membership function is one that pairs the elements of a discourse domain X with elements of the interval $[0,1]$, meaning that the closer $A(x)$ is to 1, the higher the membership of x to set A .

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

These membership functions can have different geometric forms of representation. In the case at hand, a uniform linear distribution was chosen, with a triangular membership function that can be represented through the following equation:

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

Resulting from the application of the equation above, Fig. 1 illustrates a uniformly distributed set of triangular functions, where each triangular function corresponds to a label s_i and where the three points (a, b, c) forming the triangle of the label s_2 are shown. A balanced set is thus obtained, with an odd number of linguistic labels, represented as $S = \{s_0, \dots, s_g\}$.

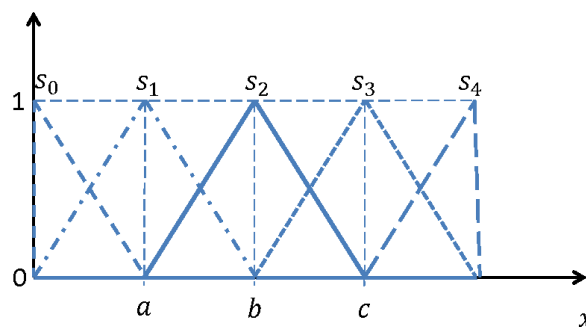


Fig. 1. Example of triangular linguistic labels.

The definition of the following properties and operators completes the semantics of the set of linguistic labels S :

- Ordered set: $s_i \geq s_j$, if $i \geq j$.
- Negation operator:
 $Neg(s_i) = s_j$, $j = g - i$ ($g + 1$ is the cardinality of S).
- Maximization operator:
 $max(s_i, s_j) = s_i$, if $s_i \geq s_j$.
- Minimization operator:
 $min(s_i, s_j) = s_i$, if $s_i \leq s_j$.

According to the above stated and applying the extension principle [32], [33], we have the bases required for using linguistic labels in decision-making problems.

2.2. Linguistic 2-tuple model

This model [30], [34] was developed to improve accuracy in computing processes with words. It represents linguistic data through a pair of values (hence its name ‘2-tuple’) expressed as (s_i, α) , where s_i is a linguistic term and α is the symbolic translation of that term. The symbolic translation of a linguistic term $s_i \in S = \{s_0, \dots, s_g\}$ is a numerical value within $[-0.5, 0.5)$ that represents the “difference of information” between a given value $\beta \in [0, g]$, obtained from a symbolic operation, and the index of the closest linguistic term. This linguistic model defines a couple of functions in order to translate numerical values into values expressed through 2-tuple representation. The transformation of the numerical value $\beta \in [0, g]$, corresponding to the result of a symbolic aggregation operation, into the 2-tuple expressing the information equivalent to β is obtained by applying the function $\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5)$, defined below:

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha),$$

$$\text{with } \begin{cases} s_i & , & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i & , & \alpha \in [-0.5, 0.5) \end{cases}$$

where *round* is the usual round operator which assigns the nearest integer value to β .

Please note that Δ is bijective, therefore $\Delta^{-1}: S \times [-0.5, 0.5) \rightarrow [0, g]$, and it is defined as $\Delta^{-1}((s_i, \alpha)) = i + \alpha$.

Therefore, based on the previous functions, the conversion of a linguistic term s_i into a 2-tuple (s_i, α) consists in adding the zero (0) value as symbolic translation, which can be represented as $(s_i, 0)$. This representation model is associated with a computation model allowing computing processes with words without information loss [34–38].

2.3. Multi-criteria decision-making

Papers like the ones presented by [39–41] and [42] among others, lay out the basic principles and the progress achieved in multi-criteria decision-making models. The main issues in linguistic multi-criteria decision-making (LMCDM) are related to choosing from a set of alternatives $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ to be assessed by a set of experts $E = \{e_1, \dots, e_m\}$, who express their assessments $x_j^i, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$ using linguistic terms from the set $S = \{s_0, \dots, s_g\}$, the best

alternative possible for a given problem. The values $x_j^i \in S$ are fuzzy numbers defined by a membership function in $[0, 1]$. In Tong and Bonissone [43] present a decision-making technique using linguistic labels with fuzzy semantics to deal with the intrinsic uncertainty of this type of problems. They also point out that decision-making results should be expressed in natural language. Authors of subsequent studies, such as [44–49], among others, suggest it is not appropriate to make decisions based on numerical information when a linguistic model close to the human cognitive model has been developed.

Two phases can be distinguished in the multi-criteria decision-making process: the information aggregation and the exploitation of results, both explained in the following subsections.

2.3.1. Information aggregation

Below, and following [36], several aggregation operators are defined for the 2-tuple linguistic representation, which will be used for calculating the average values of the opinions expressed by users (arithmetic mean operator) and by experts (weighted mean operator).

Definition 2. Linguistic arithmetic mean operator: Let $A = \{(r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)\}$ be a set of linguistic 2-tuples; its arithmetic mean is calculated by means of the extended arithmetic mean operator, \bar{x}^e , defined below:

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

Definition 3. Linguistic weighted mean operator: Let $A = \{(r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)\}$ be a set of linguistic 2-tuples and $W = \{(w_1, \alpha_1), \dots, (w_n, \alpha_n)\}$ a vector of 2-tuple values corresponding to the weights of each of the 2-tuples in A . The extended weighted mean operator \bar{x}_i^e is defined as follows:

$$\bar{x}_i^e((r_1, \alpha_1), (w_1, \alpha_1^w), \dots, (r_n, \alpha_n), (w_n, \alpha_n^w)) = \Delta \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}((r_i, \alpha_i)) \cdot \Delta^{-1}((w_i, \alpha_i^w))}{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}((w_i, \alpha_i^w))} \right)$$

2.3.2. Exploitation of results

The exploitation process includes the ordering of results. For the phase of ordering results, literature provides two main groups of methods: (I) the ones that seek to minimize the distance to an ideal candidate,

which apply techniques such as the Euclidean distance, the Manhattan distance, the Hamming distance, etc. [50], and (II) the ones based on maximizing the aggregate competence index, which use operators such as the OWA and arithmetic and weighted mean variants, and which we apply in our proposal. Among the papers that develop these latter methods, it is worth citing [51–58], among others.

3. Linguistic multi-criteria decision-making model proposed

The proposed model aims at setting a schedule for the launch of a company’s set of products or services $PS = \{PS_1, \dots, PS_n\}$, that will have to be implemented in a given time span (t), matching the time slot set in the company’s strategic plan for said launch. Normally, this time period (t) can go from 3 to 5 years, although it may vary according to the strategic plan. The launch of these products/services will be made according to the importance level of each PS_i . To establish the importance level of each PS_i , two expert groups will provide advice: the first one (E^I) establishes the criteria to be applied and how will these be assessed, while the second one (E^{II}) establishes the weight of each criterion. Both the criteria and their weights are expressed in natural language by means of a set of labels. The use of linguistic labels makes it easier to collect the different actors’ opinions (administrators, managers, experts, technicians, etc.) under different circumstances (meetings, presentations, documents, verbal queries, etc.). At the same time, the 2-tuple representation used in the process allows carrying out the computing procedure with words without any information loss.

The model output is a list of different PS_i ready for a commercial launch, structured according to the order of prioritization established for the launch of each PS_i , based on a specific set of linguistic labels represented by 2-tuples. The order is also expressed within the time slot initially established, specifying the ideal moment for the implementation of each PS_i . This ideal moment is defined by the central (b) value of each label’s triangular function. If a PS_i was not launched at the ideal moment identified by the (b) value of its label’s triangular function, its performance would not be optimal.

Figure 2 below illustrates the different stages composing the proposed model. The steps to be followed in each stage are detailed in the following sections.

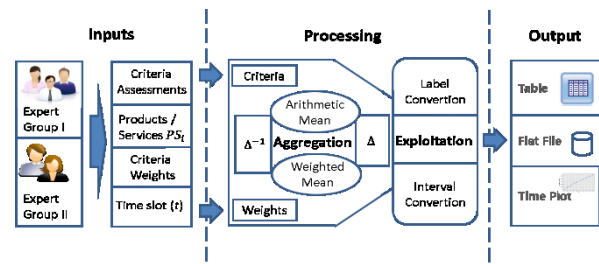


Fig. 2. Diagram of the multi-criteria model proposed for scheduling the launch of products/services according to a strategic plan.

3.1. Inputs

In this first stage, the following inputs required by the model are provided:

- (a) Set of products/services $PS = \{PS_1, \dots, PS_n\}$ involved in the strategic planning process. These PS_i represent the different elements that need to be ordered chronologically for their launch within the time slot t .
- (b) Set of areas involved $A = \{A_1, \dots, A_m\}$, according to the set PS , as well as their corresponding assessment criteria $C_A = \{c_{11}, \dots, c_{mp}\}$. It should be noted that not necessarily all the areas will have the same number of assessment criteria.
- (c) Set of experts that make up the expert group I (E^I), having the task to assess the products/services PS_i based on the criteria expressed by each area representative, and the expert group II (E^{II}), responsible for assigning a weight (importance level) to each criterion.
- (d) Assessment of criteria $C_A = \{c_{11}, \dots, c_{mp}\}$ (by the expert group E^I) and assignment of the corresponding weights $w_{CA} = \{w_{11}, \dots, w_{mp}\}$ (by the expert group E^{II}).

3.2. Processing

The following steps need to be followed in the second stage of this model:

- (a) By applying the transformation established in Section 2.2, the different data related to assessments and weights are converted, in order to standardize their representation with the 2-tuple (s_i, α) format.

- (b) According to Definition 2, the arithmetic mean of the individual weights assigned by the experts to the different criteria for each area are established, resulting in a single weight for each area A_j of each PS_i considered. For each PS_i , this is formally expressed as follows:

$$\begin{aligned} & \overline{w_{C_{A_j}}^e} \left((w_{j1}, \alpha_{j1}^w), \dots, (w_{jp}, \alpha_{jp}^w) \right) \\ &= \Delta \left(\frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \Delta^{-1} \left((w_{jk}, \alpha_{jk}^w) \right) \right), \forall j \\ & \in \{1, \dots, m\} \end{aligned}$$

where j iterates on the areas concerned and k iterates on the criteria of the corresponding areas.

- (c) The area weights obtained in the previous step (b) are multiplied by the assessments assigned by the experts to each criterion of the corresponding area for a given PS_i . Then, the weighted mean of the resulting values of said multiplication is calculated according to Definition 3. This operation, expressed below and resulting in one single value for each area A_j involved, is repeated for each product/service PS_i :

$$\begin{aligned} \overline{D}_j^e &= \Delta \left(\frac{\sum_{k=1}^p \Delta^{-1} \left((c_{jk}, \alpha_{jk}) \right) \cdot \Delta^{-1} \left((w_j, \alpha_j^w) \right)}{\sum_{j=1}^m \Delta^{-1} \left((w_j, \alpha_j^w) \right)} \right), \\ & \forall j \in \{1, \dots, m\} \end{aligned}$$

- (d) New aggregation process, this time by applying the arithmetic mean of the results obtained in the previous step (c), in order to obtain one single value per PS_i product/service. This can be formulated as follows:

$$\overline{PS}_i^e = \Delta \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Delta^{-1} \left(\overline{D}_j^e \right) \right), \forall i \in \{1, \dots, n\}$$

- (e) Given that the set of input labels indicates the importance level of the criterion assessed, and the set of output labels refers to the ideal moment for launching each product/service, we need to establish the correspondence or relation between the labels in both sets right at the end of the exploitation phase of our

model. To do this, and since the products/services best assessed by the experts (using the first set of labels) are assigned the labels to the right of that set, these will be the products/services launched first, so their labels will be located more to the left of the second set indicating the priority level (from high to low) in the launch of the corresponding PS_i . Therefore, in order to convert one label into another, we take the complementarity principle as a basis, which can be expressed with the following equation:

$$l_2 = \Delta(1 - \Delta^{-1}(l_1))$$

where $l_1 \in S^1$ and $l_2 \in S^2$ represent two labels belonging to the sets specified, which are semantically different, but are integrated by the same number of linguistic terms, with a linear and even distribution of its triangular membership function.

- (f) The position of each PS_i within the set of output labels S^2 is established for the time slot t , according to the needs of the case at hand (days, months, quarters, years, etc.). This calculation is made by applying the following operation resulting in a 2-tuple value in the new set of labels:

$$PS_i = \Delta(t \cdot \Delta^{-1}(\overline{PS}_i^e))$$

- (g) Ordering of results according to the order of prioritization established for each PS_i during the launching process, using the set of output labels (S^2). This ordering is made taking into account the 2-tuples obtained in the previous step (e).

3.3. Output

The following steps are to be taken in this final phase of our model:

- Preparation of the final results table showing the values represented by 2-tuples (using labels from the set S^2) for each PS_i , as well as the ideal moment for their launching.
- Generation of a flat file (in CSV format) containing all the information of the model obtained, which may serve both as a historical record of the case and as a basis for later analyses of the case, maybe with different tools.

(c) Graphic representation of the ideal moment for launching each PS_i within the time slot t , based on the prioritization established by the model for each product/service.

The model presented above has been implemented with IBM Co.'s SPSS Modeler² software, as shown in Fig. 3.

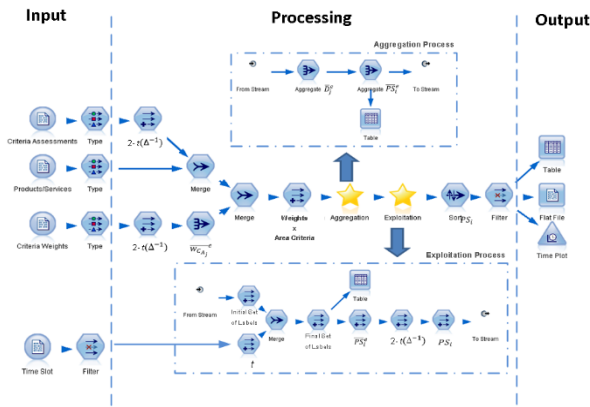


Fig. 3. Implementation of the LMCDM model proposed, with SPSS Modeler.

As an application example of the different steps in the above-described process, a real case study from the IT sector is presented below.

4. Case study

To illustrate the application of the model proposed in this paper, this section presents a case study based on a strategic planning process from the IT sector in Ecuador. The case study is described below, with explanations on the model application, followed by an analysis and interpretation of the results obtained.

4.1. Description of the case study selected and application of the proposed model

The case study selected is related to the scheduling of the launch of different products/services by a telecommunications company, based on the prioritization established for these products/services, according to

the goals identified in the company’s strategic planning. This example consists in a set of products/services (PS_i) to be launched on the market at different moments within the time frame (t) established in the strategic planning, namely four years. Therefore, the launch of each product/service may be considered as a project of the company. The proposed model was applied for assessing the importance of each project PS_i and establishing –based on the opinions (criteria) and importance levels (weights) expressed by the different groups of experts– an implementation schedule. In order to express both the assessments and the weights assigned to the criteria, we established the set S^1 , integrated by the following five linguistic labels: $s_0^1 = \text{Not important at all (NI)}$, $s_1^1 = \text{Less important (LI)}$, $s_2^1 = \text{Neutral (N)}$, $s_3^1 = \text{Important (I)}$, and $s_4^1 = \text{Very Important (VI)}$.

In this particular case, we have a set of 10 different projects (products/services) $PS = \{PS_1, \dots, PS_{10}\}$ to be implemented along the 4 years time slot (t) defined in the strategic planning or, in other words, 1460 days. The implementation time frame was divided into five evenly distributed labels, which integrate the set S^2 , the semantics of which denote the immediacy of each product PS_i launch. The labels forming this second set are: $s_0^2 = \text{Immediate (IM)}$, $s_1^2 = \text{Short Term (ST)}$, $s_2^2 = \text{Medium Term (MT)}$, $s_3^2 = \text{Long Term (LT)}$, and $s_4^2 = \text{Very Long Term (VLT)}$. These labels are used in the final phase of the model to establish the order of prioritization (in the development or implementation phase), based on the importance levels (expressed in terms of immediacy) assigned to each PS_i .

The participating experts defined five assessment criteria for each of the areas concerned (Legal, Technical, Sales and Financial), so that each area has its own criteria, different from the rest of the areas. Table 1, shows the assessments assigned by the expert group E^I to every project PS_i , for which they had to assess the criteria established in every area concerned.

Likewise, Table 2 shows the weights assigned by the expert group E^{II} to each project PS_i , indicating the importance levels assigned to every criterion identified in each area.

² <http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/products/modeler/>

Table 1. Assessments expressed by the expert group I (E^I) for every PS_i proposed.

PS 1	c1	c2	c3	c4	c5	PS 2	c1	c2	c3	c4	c5	PS 3	c1	c2	c3	c4	c5
Legal	VI	VI	VI	VI	VI	Legal	VI	VI	VI	VI	VI	Legal	N	I	VI	N	VI
Technical	VI	VI	VI	VI	VI	Technical	VI	VI	VI	VI	VI	Technical	I	I	I	I	VI
Sales	VI	VI	VI	VI	VI	Sales	VI	VI	VI	VI	VI	Sales	VI	N	VI	I	VI
Financial	VI	VI	VI	VI	VI	Financial	VI	VI	VI	VI	VI	Financial	N	I	VI	N	VI

PS 4	c1	c2	c3	c4	c5	PS 5	c1	c2	c3	c4	c5	PS 6	c1	c2	c3	c4	c5
Legal	NI	N	LI	NI	NI	Legal	I	LI	I	LI	I	Legal	VI	VI	N	VI	VI
Technical	I	I	N	VI	N	Technical	VI	I	VI	N	VI	Technical	VI	VI	I	N	VI
Sales	N	NI	I	N	NI	Sales	NI	LI	LI	LI	NI	Sales	VI	VI	VI	VI	VI
Financial	VI	N	I	N	VI	Financial	VI	VI	I	VI	VI	Financial	N	VI	I	VI	VI

PS 7	c1	c2	c3	c4	c5	PS 8	c1	c2	c3	c4	c5	PS 9	c1	c2	c3	c4	c5
Legal	VI	VI	VI	VI	VI	Legal	VI	VI	NI	VI	NI	Legal	VI	N	LI	N	N
Technical	NI	NI	NI	NI	NI	Technical	I	I	I	I	LI	Technical	VI	I	N	VI	N
Sales	VI	VI	VI	VI	VI	Sales	NI	NI	LI	NI	NI	Sales	N	I	VI	N	VI
Financial	LI	VI	I	VI	VI	Financial	N	N	NI	N	NI	Financial	VI	N	VI	N	VI

PS 10	c1	c2	c3	c4	c5
Legal	I	LI	I	LI	NI
Technical	N	I	N	N	VI
Sales	NI	LI	LI	LI	NI
Financial	LI	N	LI	LI	N

Table 1. Weights or importance levels assigned by the expert group II (E^{II}) to each criterion identified in the areas concerned, for each PS_i proposed.

PS 1	wc1	wc2	wc3	wc4	wc5	PS 2	wc1	wc2	wc3	wc4	wc5	PS 3	wc1	wc2	wc3	wc4	wc5
Legal	VI	VI	VI	VI	VI	Legal	I	N	VI	VI	VI	Legal	I	I	N	VI	VI
Technical	VI	VI	VI	VI	VI	Technical	I	I	N	VI	VI	Technical	I	I	I	VI	VI
Sales	VI	VI	VI	VI	VI	Sales	I	VI	VI	VI	VI	Sales	I	VI	VI	VI	VI
Financial	I	I	VI	VI	VI	Financial	I	N	N	VI	VI	Financial	I	I	N	N	NI

PS 4	wc1	wc2	wc3	wc4	wc5	PS 5	wc1	wc2	wc3	wc4	wc5	PS 6	wc1	wc2	wc3	wc4	wc5
Legal	LI	LI	N	NI	N	Legal	I	I	N	N	N	Legal	VI	I	VI	I	VI
Technical	I	I	LI	N	NI	Technical	I	I	I	VI	VI	Technical	I	I	I	VI	VI
Sales	I	N	LI	LI	N	Sales	I	I	LI	LI	N	Sales	I	VI	I	I	VI
Financial	LI	I	LI	N	N	Financial	I	I	LI	N	N	Financial	I	I	N	VI	VI

PS 7	wc1	wc2	wc3	wc4	wc5	PS 8	wc1	wc2	wc3	wc4	wc5	PS 9	wc1	wc2	wc3	wc4	wc5
Legal	I	LI	N	N	N	Legal	I	LI	N	I	N	Legal	I	I	N	N	VI
Technical	I	I	I	I	VI	Technical	N	N	N	LI	VI	Technical	I	I	I	N	VI
Sales	I	I	LI	N	NI	Sales	N	I	I	I	N	Sales	I	N	VI	VI	VI
Financial	I	I	N	N	VI	Financial	N	I	I	I	N	Financial	I	N	N	VI	VI

PS 10	wc1	wc2	wc3	wc4	wc5
Legal	LI	LI	N	NI	NI
Technical	LI	N	NI	NI	NI
Sales	LI	LI	LI	LI	N
Financial	LI	N	NI	NI	NI

In order for all the necessary operations to be carried out with no information loss, the linguistic labels need to be expressed through the 2-tuple representation, i.e. (s_i, α) . Using this representation, Table 3

shows the result of the aggregation of the different weights assigned to the criteria in each area, thus generating one single weight per area for each project PS_i .

Table 2. Resulting weights per area for each product/service concerned.

PS 1	Weight	PS 2	Weight	PS 3	Weight	PS 4	Weight	PS 5	Weight
Legal	(VI,-0,0000)	Legal	(I,+0,1000)	Legal	(I,+0,0500)	Legal	(LI,+0,0500)	Legal	(N,+0,1000)
Technical	(VI,-0,0000)	Technical	(I,+0,0500)	Technical	(I,+0,1000)	Technical	(N,-0,0500)	Technical	(I,+0,1000)
Sales	(VI,-0,0000)	Sales	(VI,-0,0500)	Sales	(VI,-0,0500)	Sales	(N,-0,0500)	Sales	(N,-0,0000)
Financial	(VI,-0,1000)	Financial	(I,+0,0000)	Financial	(N,-0,0000)	Financial	(N,-0,0500)	Financial	(N,+0,0500)

PS 6	Weight	PS 7	Weight	PS 8	Weight	PS 9	Weight	PS 10	Weight
Legal	(VI,-0,1000)	Legal	(N,-0,0000)	Legal	(N,+0,0500)	Legal	(I,-0,0500)	Legal	(LI,-0,0500)
Technical	(I,+0,1000)	Technical	(I,+0,0500)	Technical	(N,+0,0500)	Technical	(I,+0,0000)	Technical	(LI,-0,1000)
Sales	(I,+0,1000)	Sales	(N,-0,0500)	Sales	(N,-0,0000)	Sales	(I,+0,1000)	Sales	(LI,+0,0500)
Financial	(I,+0,0500)	Financial	(I,-0,0500)	Financial	(I,-0,1000)	Financial	(I,+0,0000)	Financial	(LI,-0,1000)

Once the single weights per area are obtained for each project considered, we carry out the operations corresponding to step (d) of the processing stage, explained in subsection 3.2. Finally, the results shown in Fig. 4. are obtained.

	PS	2-tuple Assessment
1	PS 10	(NI,+0.081875)
2	PS 4	(LI,-0.055000)
3	PS 8	(LI,-0.015000)
4	PS 5	(LI,+0.115625)
5	PS 7	(N,-0.067500)
6	PS 9	(N,+0.047500)
7	PS 3	(N,+0.092500)
8	PS 6	(I,+0.043750)
9	PS 2	(I,+0.087500)
10	PS 1	(VI,-0.025000)

Fig. 4. Final assessments ordered by importance level of the input labels.

The assessment labels (2-tuple values) obtained for each product/service displayed in Fig. 4 are ordered from lower to higher (according to the input set $S^1 = \{NI, \dots, VI\}$). However, for converting these labels to the new set of output labels $S^2 = \{IM, \dots, VLT\}$ –following the step (f) of the procedure described in

subsection 3.2– we need to order them from higher to lower in terms of immediacy, that is, the products/services that are supposed to be launched first would occupy the first positions, as illustrated in Fig. 5.

	PS	2-tuple Importance	Deadline (Days)
1	PS 1	(IM,+0.025000)	37
2	PS 2	(ST,-0.087500)	237
3	PS 6	(ST,-0.043750)	301
4	PS 3	(MT,-0.092500)	595
5	PS 9	(MT,-0.047500)	661
6	PS 7	(MT,+0.067500)	829
7	PS 5	(LT,-0.115625)	926
8	PS 8	(LT,+0.015000)	1117
9	PS 4	(LT,+0.055000)	1175
10	PS 10	(VLT,-0.081875)	1340

Fig. 5. Final results sorted and expressed using the final set of labels.

This is interpreted as follows: *the assessments with greatest importance level correspond to the projects to be implemented with the greatest immediacy.* In other words, the importance level is directly proportional to the launch priority established for the product/service PS_i concerned. This prioritization is represented on the time line (x axis) in Fig. 6, namely a four-year period.

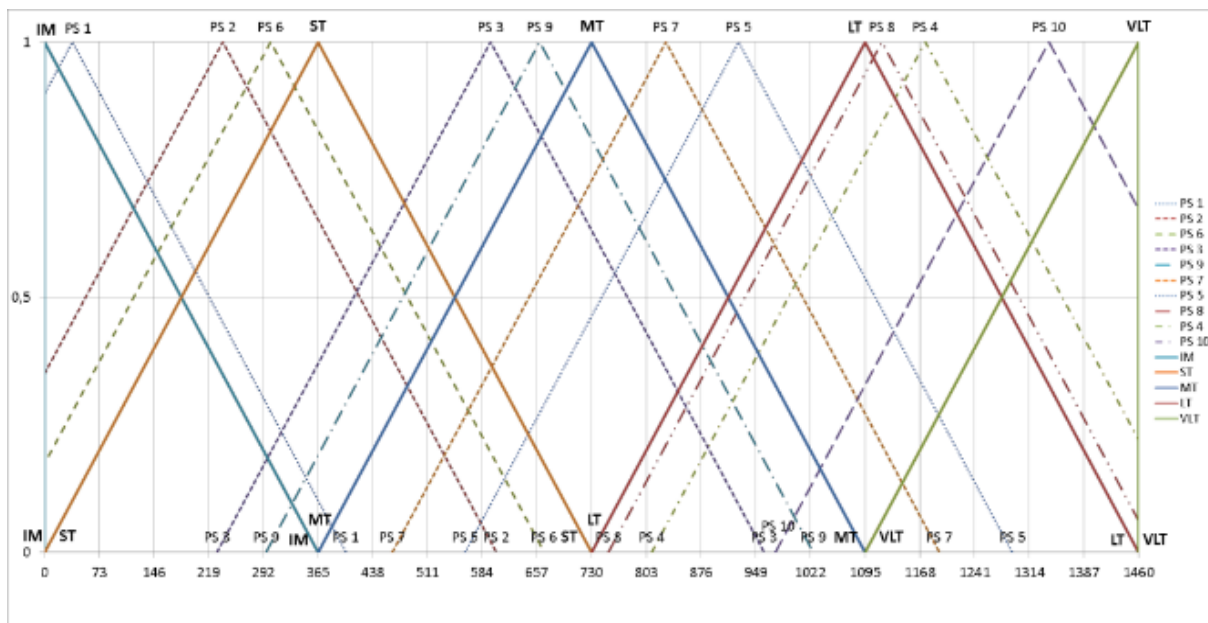


Fig. 6. Graphical representation of the launch of products/services according to the strategic plan.

4.2. Analysis of results

As an example, we can see that, according to the assessments expressed by the experts for the product/service PS_3 (expressed as PS 3 in Fig. 4, Fig. 5 and Fig. 6), the ideal moment for its launch is day 595 of the strategic planning (see Fig. 5). The assessment obtained by this element is *Neutral* ($N,+0.092500$), according to the input labels (see Fig. 4), while, according to the output labels, its implementation should be done at the *Medium Term* ($MT,+0.092500$), as shown in Fig. 5. Since the results are represented with a triangular membership function (see Fig. 6), a variation in the time of the launch would impact the appropriateness of that launch, represented in the diagram below on the y -axis (membership value). Thus, the maximum membership (value = 1) for PS_3 is day 595, i.e. the ideal moment for this product/service to be launched.

Therefore, the final results, ordered and expressed according to the final set of linguistic labels S^2 are the ones displayed in Fig. 5 and graphically illustrated in Fig. 6. The x -axis of said graph represents the time scale established for this case study (4 years or 1460 days), providing additional information on the time frame expressed in calendar days. This information is also illustrated in Fig. 5 in the Deadline (Days) column.

The analysis of the results obtained shows that, based on the initial assessments provided by the expert group I (E^I) and the weights assigned by the expert group II (E^{II}), and by applying the LMCDM model proposed, we obtain a clear planning of the timing (within the time frame t) of the launch for all the different products/services PS_i considered in the company's strategic plan. Besides, the graph depicted in Fig. 6 shows both the order and the ideal moment of launch for each PS_i addressed in the strategic development plan of the company. This example illustrates how the model is able to convert the experts' assessments into a time scale easily understandable by anyone, by expressing the results through a set of linguistic labels closer to the specific language employed in this type of tasks.

Fig. 7 illustrates a different way of displaying results, by expressing them directly with the PS_i concerned on the x -axis. It shows the continuity in time of the implementation of the different PS_i projects, i.e. the launch sequence for the products/services concerned in this particular case. In the event of any parallel launch of projects (simultaneously), these products/services would be deployed with the same value on the y -axis.

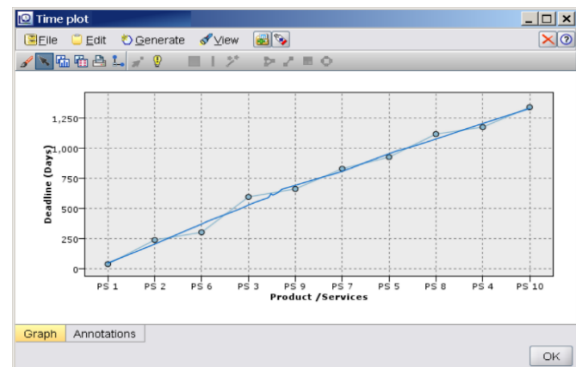


Fig. 7. Order of launch of each project PS_i according to its importance level.

5. Conclusions and future work

This paper puts forward a multi-criteria decision-making model, specifically designed to be applied to corporate strategic planning concerning products and services in the ICT sector, although it can also be applied to any other economic sector. Linguistic labels (expressed in natural language) are used for both expressing assessments and assigning the weight or importance level to each criterion involved in the evaluation of the different products or services considered in the goals to be achieved by a company within its strategic plan. In order to avoid information loss, computing with words is employed, using the 2-tuple representation throughout the process. Therefore, this proposal is aimed at improving the decision-making processes in corporate strategic planning, from a qualitative perspective. In other words, we avoid translating the qualitative information to quantitative information and vice versa, which involves information loss.

For the model validation and for proving its efficiency, we have presented an example of application to a specific case study concerning a telecommunications company's decision-making within its strategic plan. By applying the proposed model, we established the order of launch for the products and services included in the company's strategic plan and the goals set in it. The article describes how our model was applied to the selected case study and analyzes the results obtained.

The goal of the work presented in this paper is to provide a sound alternative to the launch processes of products/services considered in the strategic planning of companies from the ICT sector, different from the standard methodologies based on quantitative analyses.

Therefore, the proposed method brings the following advantages:

- Easy assessment by the people participating in the process, thanks to the natural language used through linguistic labels, for assessing the different elements involved in the process.
- Quantitative assessments are not needed anymore, thus avoiding conversions (to qualitative information) that would introduce distorting elements in the process.
- Establishment of the importance level for every criterion considered in the areas involved, by assigning weights expressed with 2-tuple linguistic labels.
- Flexible time-frame, adapted to the specific needs of the case study at hand.

Conversion of the linguistic labels used during the assessment of alternatives to different and more appropriate labels, to determine the ideal moment for launching each product/service assessed, within the time scale initially established in the corporate strategic planning.

On the basis of the analysis carried out and the experience acquired, we can state that the model proposed will be a positive contribution to the decision-making processes of the companies or institutions using it.

As a future line of work, we consider applying this LMCDM model to other economic sectors, in particular to companies or organizations that need to prioritize goals or projects to be implemented over the period of time established in their strategic planning. Without a doubt, this will have positive impacts on their subsequent decision-making processes, which will result in better and more effective strategic plans, which in turn will be reflected in their profit and loss accounts.

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the financial support received from the European Regional Development Fund (ERDF) for the Research Project TIN2013-40658-P, as well as the funding obtained from the Regional Government of Andalusia (Spain) for the Excellence Project TIC-5991.

References

[1] A. Bharadwaj, O. A. El Sawy, P. A. Pavlou, and N. Venkatraman, "Digital business strategy: toward a next

generation of insights," *Mis Quarterly*, vol. 37, no. 2, pp. 471–482, 2013.

[2] G. Hamel, Y. L. Doz, and C. K. Prahalad, "Collaborate with your competitors and win," *Harvard business review*, vol. 67, no. 1, pp. 133–139, 1989.

[3] K. B. Kahn, G. Barczak, J. Nicholas, A. Ledwith, and H. Perks, "An examination of new product development best practice," *Journal of Product Innovation Management*, vol. 29, no. 2, pp. 180–192, 2012.

[4] R. S. Kaplan and D. P. Norton, *The strategy focused organization: How balanced scorecard companies thrive in the new business environment*. Harvard Business Press: Boston, MA, 2001.

[5] J. M. Bryson, *Strategic planning for public and nonprofit organizations: A guide to strengthening and sustaining organizational achievement*, vol. 1. John Wiley & Sons: Somerset, NJ, 2011.

[6] D. L. Goetsch and S. B. Davis, *Quality management for organizational excellence*. Pearson Higher Education: Upper Saddle River, NJ, 2014.

[7] E. J. Hultink, S. Hart, H. S. J. Robben, and A. Griffin, "Launch decisions and new product success: an empirical comparison of consumer and industrial products," *Journal of Product Innovation Management*, vol. 17, no. 1, pp. 5–23, 2000.

[8] H. Meyr, M. Wagner, and J. Rohde, "Structure of advanced planning systems: Supply chain management and advanced planning," Springer: Heidelberg, Germany, 2015.

[9] K. R. Allen, *Launching new ventures: An entrepreneurial approach*. Cengage Learning: Mason, OH, 2015.

[10] R. J. Calantone and C. A. Di Benedetto, "The role of lean launch execution and launch timing on new product performance," *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 40, no. 4, pp. 526–538, 2012.

[11] J. P. Guiltinan, "Launch strategy, launch tactics, and demand outcomes," *Journal of Product Innovation Management*, vol. 16, no. 6, pp. 509–529, 1999.

[12] S. Winter and S. Sundqvist, "IMC strategies in new high technology product launches," *Marketing Intelligence & Planning*, vol. 27, no. 2, pp. 191–215, 2009.

[13] A. Adepetu, E. Arnautovic, D. Svetinovic, and O. L. de Weck, "Complex urban systems ICT infrastructure modeling: A sustainable city case study," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 44, no. 3, pp. 363–374, 2014.

[14] C. A. Benedetto, "Identifying the key success factors in new product launch," *Journal of product innovation management*, vol. 16, no. 6, pp. 530–544, 1999.

[15] M. Bristow, L. Fang, and K. W. Hipel, "From values to ordinal preferences for strategic governance," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 44, no. 10, pp. 1364–1383, 2014.

[16] M. Debruyne, R. Moenaert, A. Griffinc, S. Hartd, E. J. Hultinke, and H. Robben, "The impact of new product launch strategies on competitive reaction in industrial markets," *Journal of Product Innovation Management*, vol. 19, no. 2, pp. 159–170, 2002.

[17] J. N. Kapferer, *The new strategic brand management: Advanced insights and strategic thinking*. Kogan Page: London, UK, 2012.

[18] S. Massanet, J. V. Riera, J. Torrens, and E. Herrera-Viedma, "A new linguistic computational model based on discrete fuzzy numbers for computing with words," *Information Sciences*, vol. 258, pp. 277–290, 2014.

[19] J. A. Morente-Molinera, I. J. Pérez, M. R. Ureña, and E. Herrera-Viedma, "On multi-granular fuzzy linguistic

- modeling in group decision making problems: A systematic review and future trends," *Knowledge-Based Systems*, vol. 74, pp. 49–60, 2015.
- [20] P. Perez-Asurmendi and F. Chiclana, "Linguistic majorities with difference in support," *Applied Soft Computing*, vol. 18, pp. 196–208, 2014.
- [21] J. M. Tapia, M. J. Del Moral, M. A. Martínez, and E. Herrera-Viedma, "A consensus model for group decision making problems with linguistic interval fuzzy preference relations," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 11, pp. 10022–10030, 2012.
- [22] R. A. Carrasco, F. Muñoz-Leiva, J. Sánchez-Fernández, and F. J. Liébana-Cabanillas, "A model for the integration of e-financial services questionnaires with SERVQUAL scales under fuzzy linguistic modeling," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 14, pp. 11535–11547, 2012.
- [23] R. A. Carrasco, J. Sánchez-Fernández, F. Muñoz-Leiva, M. F. Blasco, and E. Herrera-Viedma, "Evaluation of the hotels e-services quality under the user's experience," *Soft Computing*, pp. 1–17, 2015.
- [24] R. A. Carrasco, P. Villar, M. J. Hornos, and E. Herrera-Viedma, "A linguistic multi-criteria decision making model applied to the integration of education questionnaires," *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 4, no. 5, pp. 946–959, 2011.
- [25] A. Cid-López, M. J. Hornos, R. A. Carrasco, and E. Herrera-Viedma, "A Hybrid Model for Decision-Making in the Information and Communications Technology Sector," *Technological and Economy Development of Economy*, vol. 21, no. 5, pp. 731–748, 2015.
- [26] A. Cid-López, M. J. Hornos, R. A. Carrasco, and E. Herrera-Viedma, "SICTQUAL: A fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of service in the ICT sector from the user perspective," *Applied Soft Computing*, vol. 37, pp. 897–910, 2015.
- [27] C. Liu, X. Xu, and D. Hu, "Multiobjective reinforcement learning: A comprehensive overview," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Systems*, vol. 45, no. 3, pp. 385–398, 2015.
- [28] J. A. Morente-Moliner, I. J. Pérez, M. R. Ureña, and E. Herrera-Viedma, "Building and managing fuzzy ontologies with heterogeneous linguistic information," *Knowledge-Based Systems*, vol. 88, pp. 154–164, 2015.
- [29] J. Wu, F. Chiclana, and E. Herrera-Viedma, "Trust based consensus model for social network in an incomplete linguistic information context," *Applied Soft Computing*, vol. 35, pp. 827–839, 2015.
- [30] F. Herrera and L. Martínez, "A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 8, no. 6, pp. 746–752, 2000.
- [31] J. C. Bezdek, *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*. Springer Science & Business Media: Logan, UT, 2013.
- [32] L. A. Zadeh, "Fuzzy logic = computing with words," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 103–111, 1996.
- [33] L. A. Zadeh, "A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages," *Computers & Mathematics with Applications*, vol. 9, no. 1, pp. 149–184, 1983.
- [34] F. Herrera and L. Martínez, "The 2-tuple linguistic computational model: Advantages of its linguistic description, accuracy and consistency," *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, vol. 9, no. supp01, pp. 33–48, 2001.
- [35] F. Herrera, S. Alonso, F. Chiclana, and E. Herrera-Viedma, "Computing with words in decision making: foundations, trends and prospects," *Fuzzy Optimization and Decision Making*, vol. 8, no. 4, pp. 337–364, 2009.
- [36] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and L. Martínez, "A fuzzy linguistic methodology to deal with unbalanced linguistic term sets," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 16, no. 2, pp. 354–370, 2008.
- [37] F. Herrera and L. Martínez, "An approach for combining linguistic and numerical information based on the 2-tuple fuzzy linguistic representation model in decision-making," *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, vol. 8, no. 05, pp. 539–562, 2000.
- [38] L. Martínez and F. Herrera, "An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges," *Information Sciences*, vol. 207, pp. 1–18, 2012.
- [39] J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott, *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*, vol. 78. Springer Science + Business Media: New York, NY, 2005.
- [40] H.-F. Wang, "Fuzzy multicriteria decision making: An overview," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 9, no. 1, 2, pp. 61–83, 2000.
- [41] R. R. Yager and A. Kelman, "Decision making under various types of uncertainties," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 3, no. 4, pp. 317–323, 1995.
- [42] T. Gal, T. Stewart, and T. Hanne, *Multicriteria decision making: Advances in MCDM models, algorithms, theory, and applications*, vol. 21. Springer Science + Business Media: New York, NY, 2013.
- [43] R. M. Tong and P. P. Bonissone, "A linguistic approach to decision making with fuzzy sets," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 10, no. 11, pp. 716–723, 1980.
- [44] J. Kacprzyk, "Group decision making with a fuzzy linguistic majority," *Fuzzy sets and systems*, vol. 18, no. 2, pp. 105–118, 1986.
- [45] J. Kacprzyk and M. Fedrizzi, *Multiperson decision making models using fuzzy sets and possibility theory*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 1990.
- [46] J. Kacprzyk and S. A. Zadrozny, "Computing with words in decision making through individual and collective linguistic choice rules," *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, vol. 9, no. supp01, pp. 89–102, 2001.
- [47] L. Martínez, "Sensory evaluation based on linguistic decision analysis," *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 44, no. 2, pp. 148–164, 2007.
- [48] J. M. Mendel, "Computing with words: Zadeh, Turing, Popper and Occam," *IEEE Computational Intelligence Magazine*, vol. 2, no. 4, pp. 10–17, 2007.
- [49] J. M. Mendel, "Computing with words and its relationships with fuzzistics," *Information Sciences*, vol. 177, no. 4, pp. 988–1006, 2007.
- [50] G. Kou, Y. Lu, Y. Peng, and Y. Shi, "Evaluation of classification algorithms using MCDM and rank correlation," *International Journal of Information Technology & Decision Making*, vol. 11, no. 01, pp. 197–225, 2012.
- [51] C. Carlsson and R. Fuller, *Fuzzy reasoning in decision making and optimization*, vol. 82. Springer-Verlag: Heidelberg, Germany, 2002.
- [52] C. Kao and S. T. Liu, "Fractional programming approach to fuzzy weighted average," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 120, no. 3, pp. 435–444, 2001.

- [53] R. R. Yager, "Aggregation of ordinal information," *Fuzzy Optimization and Decision Making*, vol. 6, no. 3, pp. 199–219, 2007.
- [54] R. R. Yager, "On weighted median aggregation," *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, vol. 2, no. 01, pp. 101–113, 1994.
- [55] R. R. Yager, "Interpreting linguistically quantified propositions," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 9, no. 6, pp. 541–569, 1994.
- [56] R. R. Yager, "Families of OWA Operators," *Fuzzy sets and systems*, vol. 59, no. 2, pp. 125–148, 1993.
- [57] R. R. Yager, "On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 18, no. 1, pp. 183–190, 1988.
- [58] R. R. Yager and D. P. Filev, "Induced ordered weighted averaging operators," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, vol. 29, no. 2, pp. 141–150, 1999.

5 Linguistic Multi-Criteria Decision-Making Model with Output Variable Expressive Richness

Quality evidence of the journal where the article was submitted #5

Status:	Submitted
Journal Name:	Applied Soft Computing
Impact Factor:	(JCR Science 2015) : 2.857
5-Year Impact Factor:	3.288
Subject Category:	Computer Science, Artificial Intelligence
Ranking:	21 / 130 (Q1)

- A. Cid-López, M.J. Hornos, R.A. Carrasco, E. Herrera-Viedma and F. Chiclana. Linguistic Multi-Criteria Decision-Making Model with Output Variable Expressive Richness. Applied Soft Computing (Submitted)

Linguistic Multi-Criteria Decision-Making Model with Output Variable Expressive Richness

Andrés CID-LÓPEZ^{a,*}, Miguel J. HORNOS^{a,*}, Ramón Alberto. CARRASCO^b,
Enrique HERRERA-VIDEVA^{c,d}, and Francisco CHICLANA^e

^a *Department of Software Engineering, University of Granada, 18071 Granada, Spain*

^b *Department of Marketing and Market Research, Complutense University of Madrid, 28015 Madrid, Spain*

^c *Department of Computer Science and Artificial Intelligence, University of Granada, 18071 Granada, Spain*

^d *Department of Electrical and Computer Engineering, King Abdulaziz University, 21589 Jeddah, Saudi Arabi*

^e *Centre for Computational Intelligence, De Montfort University, LE1 9BH Leicester, UK*

E-mail: {andrescid, mhornos}@ugr.es, ramoncar@ucm.es, viedma@decsai.ugr.es, chiclana@dmu.ac.uk

Abstract. In general, traditional decision-making models are based on the calculation of quantitative measures. Some examples of methods that are being used are AHP (*Analytic Hierarchy Process*), TOPSIS (*Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*), QFD (*Quality Function Deployment*), etc. These methods are usually applied to assess solutions, resulting in an arrangement of alternatives in a ranking order. However, when it comes to making decisions about qualitative measures –such as service quality– the quantitative assessment is a bit difficult to interpret. Therefore, taking into account the maturity of the linguistic assessment models, a new solution proposal is put forth, consisting of a decision-making model which uses linguistic labels represented with the 2-tuple notation and variable expressive richness for expressing results. This solution allows expressing results in a manner closer to the human cognitive system. To achieve this goal, a mechanism has been implemented for measuring the distance between results, providing the decision-maker with a fast and intuitive answer. The solution is illustrated with an example based on the TOPSIS model, using linguistic labels throughout the entire process.

Keywords: multi-criteria decision-making, linguistic labels, variable expressive richness, 2-tuple representation, linguistic TOPSIS model.

1. Introduction

Multi-criteria decision-making (MCDM) is present in the day-to-day life of companies [1,2]. It is a process through which the best solution to a problem is sought among a set of possible solutions. There are several MCDM models based on the so-called compensatory methods including aspects related to costs and benefits. Some good examples among many others are the TOPSIS method [3], a performance-ranking method based on the resemblance to the ideal solution, the AHP method [4], with its limitations in terms of the number of alternatives it can analyze, and the QFD model [5] for decision-making on the quality of products and services. However, these solutions have been developed for assessing problems that involve quantitative variables, that is, for cases where the dimensions or criteria used are expressed numerically.

Some studies –like the ones conducted by Wang and Lee [6], Wang and Lee [7], Sun [8], Sipahi and Timor [9] and Low and Lin [10], among others– propose alternative solutions to traditional information processing and have been used in different decision-making (DM) areas, such as fuzzy models, determination of weights, data mining, etc. However, it is necessary to seek solutions to DM problems from a closer

* Corresponding authors: Miguel J. Hornos, Andrés Cid-López
E-mails: mhornos@ugr.es; andrescid@ugr.es

perspective to human thought and expression. Since natural language is the most widely used communication mechanism by humans, it would be useful to develop a method closer to natural language, which expresses results in a more understandable way for decision-makers and thus makes the DM process easier. In general, linguistic models are based on the use of descriptive semantics related to the particular topic at hand. Here it should be noted that some methods use variable expressive richness initially [3], while some papers approach this problem from a multi-granularity perspective [11,12,13,14] thus allowing experts with different levels of expertise to express their assessments in a more flexible manner. Other models provide a solution combining the use of output linguistic labels with input quantitative information [15]. Some studies also consider using the 2-tuple representation throughout the entire process [16,17,18,19,20,21,22], thus ensuring that no information will be lost in the process. The papers mentioned in this section are just some of the examples proposed for MCDM from a wide variety of solutions found in literature.

This paper puts forward a new MCDM model based on human thinking, hence introducing an alternative solution to the representation of results according to their complexity and using a new mechanism called *Variable Expressive Richness* (VER). To better understand this proposal, let us suppose we have a DM problem which, for instance, uses a specific number of linguistic labels to express final results, then it is possible that different results are expressed with the same label, which finally makes the decision-maker's work more complicated. By using the proposed VER mechanism, the number of output labels does not need to be predefined, since it will be automatically adjusted to the ideal set of labels expressing the corresponding results. In other words, we propose using an expressive richness that will vary according to the final results –provided by any base system– for the problem at hand. In order to achieve this, the distance between the previously sorted final results needs to be calculated. The lowest value obtained (minimum distance) will determine the most appropriate set of linguistic labels for expressing the corresponding results. Label sets make up a multi-granular system containing different levels of label sets, which will be reflected in the variety of answers generated. To illustrate this proposal, the implementation algorithm of the Linguistic TOPSIS (LTOPSIS) model will be used as a base model, with the proposed VER module connected to its output in order to better express the results obtained.

The rest of the article is structured as follows: Section 2 sets out the materials and methodology necessary to explain how the basic elements of our proposal work; Section 3 provides a detailed presentation of our proposal, explaining both the base model used and the changes implemented to obtain the new model; Section 4 describes a case study, analyses the results obtained and presents additional examples of use of the VER module. Finally, Section 5 displays the conclusions and future work.

2. Materials and methodology

This section puts forward the theoretical foundations used in our proposal by shortly describing them.

2.1 Linguistic variables

It is very common for the decision-maker to encounter difficulties in defining the importance of a set of criteria and/or the appropriateness of an alternative for a given set of criteria, especially if she/he uses a numerical evaluation method. Hence the importance of providing the appropriate tools that will make the decision-maker's work easier. In this sense, we are sure that using the widely known linguistic variables would hugely facilitate this task. Since Zadeh introduced the 'fuzzy set' and 'linguistic variable' concepts [23,24,25], the use and popularity of fuzzy logics has been outstanding. In this case, we are interested in the role linguistic variables play as an ordinal scale, as well as in their application to the MCDM.

The concept of linguistic variable [23] can be understood as a variable that takes values in a context of words or sentences expressed in natural language. For instance, the quality of a service from the user's perspective can be considered a linguistic variable if its values are expressed linguistically (e.g. *Extremely Poor, Very Poor, Poor, Fair, Good, Very Good, Excellent*) instead of numerically (e.g. 0, ..., 15, ..., 25, ..., 50, ..., 80, ..., 100). Therefore, linguistic variables can be defined as an ordered set of linguistic terms or labels, $S = \{s_i \mid i = 1, \dots, n\}$, where $s_i < s_j \Leftrightarrow i < j$.

Definition 1: According to Zadeh, a linguistic variable is characterized by a quintuple with the following structure:

$$\{X; T(X); U; G; M\}$$

where:

- X is the name of the variable,
- $T(X)$ is the set of linguistic terms (or labels) defined or contained in it,
- U is the universe of discourse of the variable,
- G is the syntactic rule to generate the elements of the $T(X)$ set, and
- M is the semantic rule that assigns a meaning to each element of the $T(X)$ set.

The amount of elements in $T(X)$ could vary depending on the expressive richness necessary for each case, or, in other words, depending on the context of the DM process. Miller [26] established that the number of labels can be determined according to the context. Having sufficient linguistic label sets with different numbers of labels allows enriching the expression of results and makes them easier to understand.

These different label sets can be expressed as S^t , where $t \in \{1, \dots, q\}$ and q is the number of levels in the linguistic hierarchy employed. Therefore, each of the different labels can be represented as follows:

$$s^t \in \{s_1^t, \dots, s_{n(t)}^t\}, \forall t \in \{1, \dots, q\}, \forall i \in \{1, \dots, n(t)\}$$

Table 1 shows examples of variability of the elements in $T(X)$ for one linguistic variable, depending on the context or the expressive richness needed.

Table 1. Different sets of (3, 5, 9 and 17) labels for the same variable.

$t = 1$ $n(1) = 3$ $S^1 = \{s_1^1, \dots, s_3^1\}$	$t = 2$ $n(2) = 5$ $S^2 = \{s_1^2, \dots, s_5^2\}$	$t = 3$ $n(3) = 9$ $S^3 = \{s_1^3, \dots, s_9^3\}$	$t = 4$ $n(4) = 17$ $S^4 = \{s_1^4, \dots, s_{17}^4\}$		
Terrible	Terrible	Terrible	Terrible		
		Very Poor	Extremely Poor		
	Poor	Poor	Very Poor	Very Poor	
		Slightly Poor	Worse than Poor	Worse than Poor	
		Poor	Poor	Poor	
		Slightly Poor	Rather Poor	Slightly Poor	
Fair	Fair	Fair	Worse than Fair		
Perfect	Good	Slightly Good	Better than Fair		
		Good	Slightly Good		
	Perfect	Good	Rather Good	Rather Good	
		Very Good	Good	Good	
		Perfect	Very Good	Better than Good	Better than Good
			Perfect	Very Good	Very Good
			Perfect	Excellent	Excellent
				Perfect	Perfect

The semantic rule applied to assign a meaning to every label will be determined by a triangular linear function assigning a 3-tuple (a, b, c) to each label, where b represents the center of the triangle with a maximum membership value (i.e. 1), while a and c are the left and right ends of the triangular function defining the domain of the label concerned [27,28].

According to Zimmermann [29], one way of presenting a fuzzy number is by using a parametric representation of its membership functions. A fuzzy set A in a universe of discourse U is defined as the following set of pairs:

$$A = \{(x, \mu_A(x)); x \in U\}$$

Here, $\mu_A : U \rightarrow [0,1]$ is a membership function of the fuzzy set A . Thus, $\mu_A(x)$ –often written as $A(x)$ – points out the degree of membership of the value $x \in U$ in the fuzzy set A . A membership function links elements x of a discourse domain U with elements of the interval $[0,1]$, which means that the closer $A(x)$ is to value 1, the greater the membership of object x in set A , whose terms are linearly and uniformly distributed with the following triangular membership function:

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

Figure 1 illustrates the graphic representation of Table 1 using the triangular function previously described for the interval $[0,1]$.

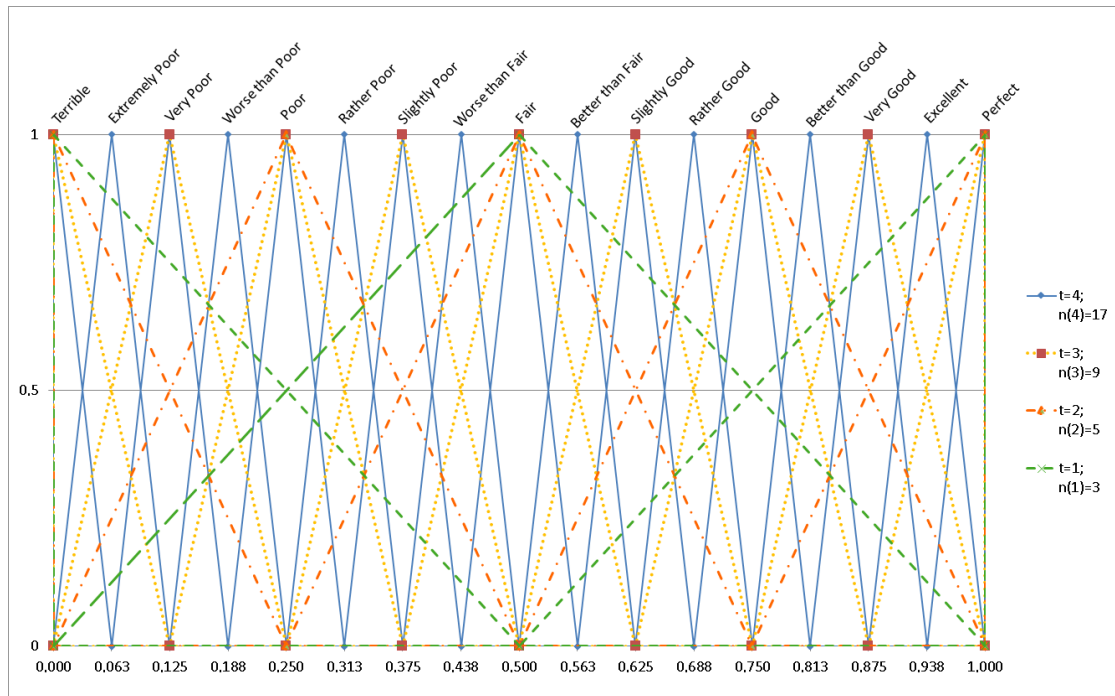


Fig. 1. Linguistic label sets for different t values.

However, the fact of using linguistic variables (based on natural language) involves a certain degree of uncertainty in the process, as we are dealing with words. This intrinsic difficulty of working with words would, in principle, involve a certain information loss; hence the need to find a form of representation that allows using these variables in the corresponding calculations, while it ensures that there will be no information loss. The model below allows working with linguistic labels and guarantees that no information will be lost in the process.

2.2 Linguistic 2-tuple representation model

This representation model was developed as a solution to the problem of the information loss in computational processes using words [30], and it is based on the concept of symbolic translation explained below:

Definition 2: According to Herrera and Martínez [30], a linguistic representation using a 2-tuple can be defined as follows: Let $S = \{s_1, \dots, s_g\}$ be a linguistic term set and $\beta \in [1, g]$ a value representing the result of a symbolic aggregation operation (see Section 2.4 for more details about this), then the 2-tuple expressing the equivalent information to β is obtained with the following function:

$$\Delta: [1, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5]$$

$$\Delta(\beta) = \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, & \alpha \in [-0.5, 0.5) \end{cases}$$

where $\text{round}(\cdot)$ is the usual round operation, s_i has the closest index label to β and α is the value of the symbolic translation.

Definition 3: Let $S = \{s_1, \dots, s_g\}$ be a linguistic term set and (s_i, α_i) a 2-tuple. There is always a Δ^{-1} function which returns its equivalent numerical value $\beta \in [1, g] \subset \mathfrak{R}$ from a 2-tuple:

$$\Delta^{-1}: S \times [-0.5, 0.5) \rightarrow [1, g]$$

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

Hence, the conversion of a linguistic term into a linguistic 2-tuple consists in adding a zero (0) value as symbolic translation:

$$s_i \in S \Rightarrow (s_i, 0)$$

The following section explains the ‘linguistic hierarchy’ concept and how the linguistic levels it contains are built. These principles are crucial for the operation of the proposed VER module.

2.3 Linguistic hierarchy

Some papers –like the one published by Herrera and Martínez [31], Martínez et al. [32] and Wang [33]– address the problem of handling linguistic variables with different granularity levels (that is, with a different number of labels). These papers establish a set of levels in which each level is made up of a set of linguistic terms with different granularity as compared to the other levels. Thus, each level in the linguistic hierarchy can be expressed as $l(t, n(t))$, where t is the level number and $n(t)$ is the granularity of the set of linguistic terms in the t level.

The levels within a hierarchy are ordered according to their granularity, so that successive levels can be represented as t and $t + 1$, provided that $n(t) < n(t + 1)$. Therefore, with this representation each level contains greater expressive richness as compared to the previous level.

A linguistic hierarchy LH can be defined as the union of all t levels:

$$LH = \bigcup_t l(t, n(t))$$

where the t level label set is represented as S^t . The following conditions need to be met to build a linguistic hierarchy:

1. Keep all the modal points of the membership function (the points where the function reaches its maximum membership value, i.e. 1) corresponding to each linguistic term, from the previous level to the next level in the hierarchy.

2. The transition between consecutive levels should result in a set of the kind S^{t+1} , adding a new term between every two terms of the t level set. This is done by reducing the size of each label's base (established with a triangular function), in order to ensure enough space for the new labels, which will be placed right in the middle of each pair of labels of the previous t level.

Therefore, the granularity of a $t + 1$ level set of terms is obtained from its predecessor t level as follows:

$$l(t, n(t)) \rightarrow l(t + 1, 2 \cdot n(t) - 1)$$

Figure 2 shows an example of a four-level linguistic hierarchy with a different number of labels (or granularity) on each level (3, 5, 9 and 17, respectively).

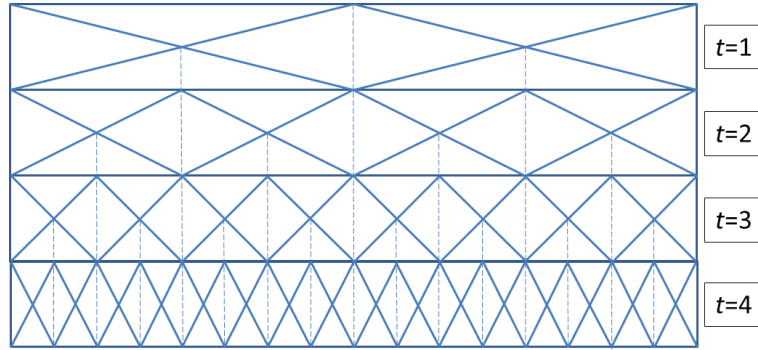


Fig. 2. Four-level linguistic hierarchy.

Linguistic hierarchies allow us to operate with labels from different levels without losing information, by using the 2-tuple representation model to transform the labels between hierarchy levels.

Definition 4: Let $LH = \cup_t l(t, n(t))$ be a linguistic hierarchy with the following term sets: $S^t = \{s_1^t, \dots, s_{n(t)}^t\}$. The transformation of a term from the t level into a term belonging to the t' level is defined with the following function [31]:

$$TF_{t'}^t : l(t, n(t)) \rightarrow l(t', n(t'))$$

$$TF_{t'}^t((s_i^t, \alpha^t)) = \Delta \left(\frac{\Delta^{-1}((s_i^t, \alpha^t)) \cdot (n(t') - 1)}{n(t) - 1} \right)$$

The term transformation function between different hierarchy levels is a bijective function:

$$TF_t^{t'} \left(TF_{t'}^t((s_i^t, \alpha^t)) \right) = (s_i^t, \alpha^t)$$

This guarantees transformation without information loss. The information aggregation mechanism applied is shown in the next section.

2.4 Aggregation operator employed

When we have several opinions or evaluations from different people, it is very common in decision-making problems to aggregate those values within a unique value that will express the entire collective's opinion. As the arithmetic mean is a classical aggregation operator, its equivalent operator for linguistic 2-tuples is defined as follows:

Definition 5: Let $x = \{(r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)\}$ be a set of 2-tuples; the arithmetic mean \bar{x} of the elements of such set is computed as:

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

In this way, the arithmetic mean of a 2-tuple allows us to compute the mean of a set of linguistic values without any loss of information. One can find different types of aggregation operators in literature, depending on the needs of each case [34]. In this case, we use the arithmetic mean aggregation operator with the 2-tuple representation model defined by Zhang [35].

The following section explains the distance measurement applied to determine the most appropriate linguistic level to be used within the hierarchy, and hence the set of linguistic labels that will be used for expressing the final results.

2.5 Distance measurement

There are several measurement methodologies (Euclidean, Manhattan, t-norms, cosine function, etc.) for establishing the distance (difference) between two evaluations [36]. In this case, and according to the principles of the base model development selected, we have opted for the Euclidean distance [37,38], expressed as follows with the 2-tuple representation:

$$d_i = \Delta \left(\sum_{j=1}^m \left(\Delta^{-1}((s_{ij}, \alpha_{ij})) - \Delta^{-1}((s_{cj}, \alpha_{cj})) \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}$$

where (s_{ij}, α_{ij}) values represent the assessments of the m criteria for the alternative A_i expressed as 2-tuples and (s_{cj}, α_{cj}) is the 2-tuple value chosen to calculate the distance to it for the c_j criterion.

Once we have all the necessary concepts and tools (linguistic variables, multi-granularity, 2-tuple representation model, aggregation operators and distance measurement), we can apply them to the model that will be used as a basis for the linguistic multi-criteria decision-making.

2.6 Base model employed: TOPSIS

The TOPSIS model is among the most widely used in DM processes [39,40,41,42], which is why it was selected as the basis model for the proposal at hand. This method, applied here as conceived initially, suggests a solution to DM problems by establishing a ranking of the different alternatives available through an analysis of the distance between each possible solution and the ideal and anti-ideal solutions. This approach can be expressed as follows: Let A_i , with $i \in \{1, 2, \dots, n\}$, be a set of solutions to a problem, where the set of evaluation criteria c_j , with $j \in \{1, 2, \dots, m\}$, are taken into account, to which the evaluation weights w_j are applied. This model suggests that it is possible to build a decision matrix $x_{ij} = U_j(A_i)$, where U is the decision-maker's *usefulness* function that assesses the alternatives A_i based on the criteria c_j to maximize gains and minimize costs. The viability ranking of the different alternatives is determined through the interpretation of the results obtained in the calculation of proximity: the highest the proximity value obtained for a solution, the more desirable the solution to the DM problem.

The model is applied and explained in detail in the next section, using linguistic variables expressed with the 2-tuple representation model to avoid loss of information. Our proposal is set forth below, using all the concepts and foundations already presented and implementing them in this widely known and accepted base model.

3. Proposed model: LTOPSIS-2T-VER

In order to carry out this proposal, the TOPSIS model was used as a basis, with linguistic labels (L) and the 2-tuple representation model (2T), resulting in the LTOPSIS-2T model. Our idea may be implemented using nearly any MCDM model as a basis –either an existing or a specifically designed one– since our proposal

aims at providing decision-makers with more understandable results obtained with any of the models mentioned, by applying the proposed VER module to the output generated by any of these models.

Figure 3 shows a basic diagram of the proposed model, taking the TOPSIS model as a basis and using linguistic labels represented as 2-tuples. It illustrates the process steps that allow establishing the best solution among the alternatives available for each case. The next section explains each process step in detail.

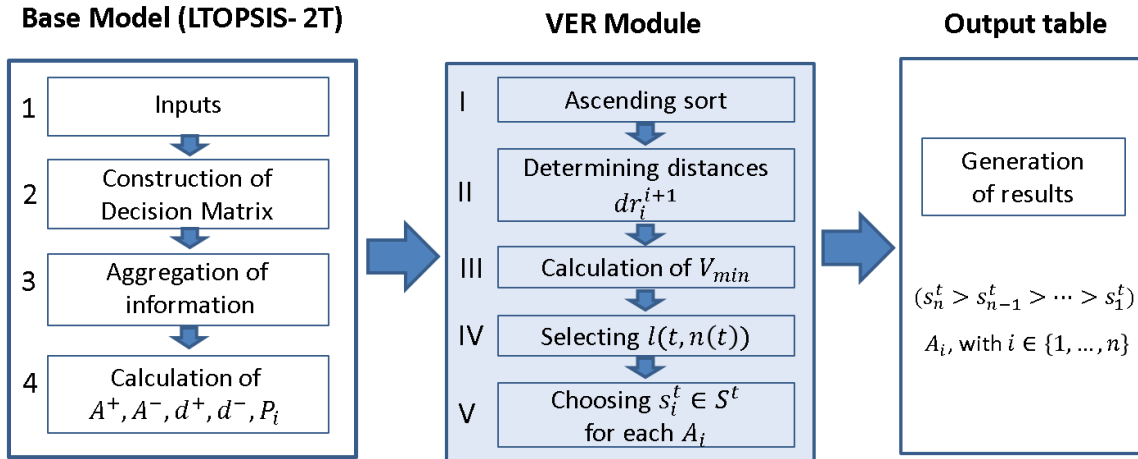


Fig. 3. Diagram of steps to be applied in the proposed LTOPSIS-2T-VER model.

3.1 Detailed explanation of the proposed process

It is worth noting that during the process we use linguistic labels converted to the 2-tuple representation model, to ensure that no information is lost. Once obtained the final proximity results, calculated with the base model employed, the VER module is applied (as shown in Figure 3) for establishing the level of membership within the linguistic hierarchy employed, and therefore the most appropriate label set. The process is completed with the conversion of results to the new set of linguistic labels, ranked from the most to the least significant.

1.1.1 Steps to be applied in the base model (LTOPSIS-2T)

This section presents the necessary steps for calculating the variables that will allow establishing, at the end of this procedure, the proximity value for each of these alternatives to the ideal solution. Since all the evaluations are expressed with linguistic labels (instead of using different evaluation scales), the calculation process of the TOPSIS model becomes significantly easier for not having to apply normalization procedures between different scales. As illustrated in Figure 3, these steps are:

1. Identify the model input information to be provided.
 - a) Identify the set of possible alternative solutions $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ in order to achieve the proposed goal (input 1).
 - b) Establish the evaluation criteria $C = \{c_1, \dots, c_m\}$ to be used for assessing the alternatives (input 2).
 - c) Estimate the importance (weight) of each evaluation criterion, $w = \{w_1, \dots, w_m\}$, taking into account that it is common for criteria to have different weights (input 3).
2. Build a decision matrix (criteria/alternatives) for each expert in the set $E = \{e_1, \dots, e_p\}$. Each element of these matrixes will be a label or linguistic term from one of the hierarchy subsets represented by a triangular fuzzy number. It is advisable to use the granularity corresponding to level $t = 2$ in order to

make experts' work easier, which will result in a subset $S^2 = \{s_1^2, \dots, s_5^2\}$ made up of five linguistic labels. Table 2 shows the structure of each of these decision matrices.

Table 2. Structure of the Criteria/Alternatives decision matrices.

Criteria / Alternatives	c_1	c_2	...	c_m
A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1m}
A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2m}
...
A_n	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{nm}

3. Aggregate the information contained in the matrixes relating to experts $e_k, \forall k \in \{1, \dots, p\}$, to obtain a unified matrix of expert opinions. The evaluations $x_{ij}, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$, contained in the resulting matrix are expressed by means of 2-tuples (s_{ij}^t, α^t) . In this proposal, all the experts are considered to have the same level of knowledge (level of importance). The following linguistic arithmetic mean aggregation operator is used at this step:

$$\bar{x}^e((s_{11}^t, \alpha_{11}^t), \dots, (s_{nm}^t, \alpha_{nm}^t)_k) = \Delta \left(\frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \Delta^{-1} \left((s_{ij}^t, \alpha_{ij}^t)_k \right) \right), \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$$

The matrix obtained is multiplied by the weights corresponding to each criterion getting a weighted matrix with the following structure:

$$\bar{X} = \begin{matrix} & \begin{matrix} c_1 & c_2 & \dots & c_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1m} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{n1} & \bar{x}_{n2} & \dots & \bar{x}_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} w_1 & w_2 & \dots & w_m \end{matrix}$$

where $\bar{x}_{ij}, \forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$, is the aggregated element corresponding to alternative A_i , with the criteria c_j and weight w_j .

4. Calculate the parameters used by the base model.
 - a) Establish the positive ideal solution (A^+) and the negative ideal solution (A^-) from the unified matrix obtained in the previous step (3). The following formulas will be used in this operation:

$$A^+ = \{(\max_i (\bar{x}_{ij}) \mid j \in Y), (\min_i (\bar{x}_{ij}) \mid j \in Z)\} = \{\bar{x}_1^+, \bar{x}_2^+, \dots, \bar{x}_n^+\}$$

$$A^- = \{(\min_i (\bar{x}_{ij}) \mid j \in Y), (\max_i (\bar{x}_{ij}) \mid j \in Z)\} = \{\bar{x}_1^-, \bar{x}_2^-, \dots, \bar{x}_n^-\}$$

$$\forall i \in \{1, \dots, n\}, \forall j \in \{1, \dots, m\}$$

where Y is associated with gain criteria (maximum values) and Z is associated to cost criteria (minimum values).

- b) Obtain the distances (d^+, d^-) to the ideal solutions (A^+ and A^-) for each alternative, obtained in the previous step (4a). The weights (levels of importance) of each criterion established in step 1c need to be applied in this procedure. In order to obtain the distance values, the following equations –using the conversions defined for the 2-tuple representation– are applied:

$$d_i^+ = \Delta \left(\sum_{j=1}^m (|\Delta^{-1}((\bar{x}_{ij}, \alpha_{ij})) - \Delta^{-1}((\bar{x}_j^+, \alpha_j^+))|)^2 \right)^{0.5}, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}$$

$$d_i^- = \Delta \left(\sum_{j=1}^m (|\Delta^{-1}((\bar{x}_{ij}, \alpha_{ij})) - \Delta^{-1}((\bar{x}_j^-, \alpha_j^-))|)^2 \right)^{0.5}, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}$$

- c) Calculate the proximity coefficient (P_i) for each alternative, represented with a 2-tuple. This involves establishing the position for each alternative, taking into account the distance (d^+ , d^-) to the best and worst solution (A^+ , A^-). The following formula is used for this calculation:

$$P_i = \Delta \left(\frac{\Delta^{-1}(d_i^-)}{\Delta^{-1}(d_i^+) + \Delta^{-1}(d_i^-)} \right), \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}$$

1.1.2 Steps to apply in the VER module

This module allows applying a variable expressive richness (VER) to the results obtained by the base model, which will be reflected in the proposed model output. The steps to take in this module are the following:

- I. Rank the proximity results obtained in the step 4c of the previous subsection in ascending order, so that each alternative is associated with a result $r_i = \Delta^{-1}(P_i)$, $\forall i \in \{1, \dots, n\}$.

$$r_1 < r_2 < r_3 < \dots < r_n$$

- II. Calculate the distance (dr_i^{i+1}) between the consecutive pairs of results.

$$dr_i^{i+1} = (|r_i - r_{i+1}|^2)^{\frac{1}{2}}, \quad \forall i \in \{1, \dots, n-1\}$$

where dr_i^{i+1} is the absolute difference between the initial value (r_i) and the following value (r_{i+1}) of the results previously ranked in ascending order.

- III. Determine the minimum value of the $n-1$ results obtained in the previous step (II).

$$V_{min} = \min(dr_i^{i+1}), \quad \forall i \in \{1, \dots, n-1\}$$

- IV. Determine the most appropriate set of linguistic labels among the available sets in the LH linguistic hierarchy, to represent linguistically the proximity results obtained, by applying the following rule:

$$\text{If } V_{min} \leq s_1^t(c), \text{ and } t = q, \text{ then } V_{min} = s_1^t(c),$$

$$\text{else if } s_1^t(c) < V_{min} \leq s_1^{t-1}(c), \text{ then } V_{min} = s_1^{t-1}(c), \text{ with } t \in \{1, \dots, q-1\},$$

where c represents the right end of the triangular function defining the corresponding s_1^t label domain.

The V_{min} value will be compared with the values at the base of the first s_1^t label on each level ($\forall t \in \{1, \dots, n\}$) of the linguistic hierarchy (see Figure 4, where the interval considered is $[0,0.5]$). This comparison will allow determining the interval that contains the calculated V_{min} value, and hence the t level that best represents the results obtained.

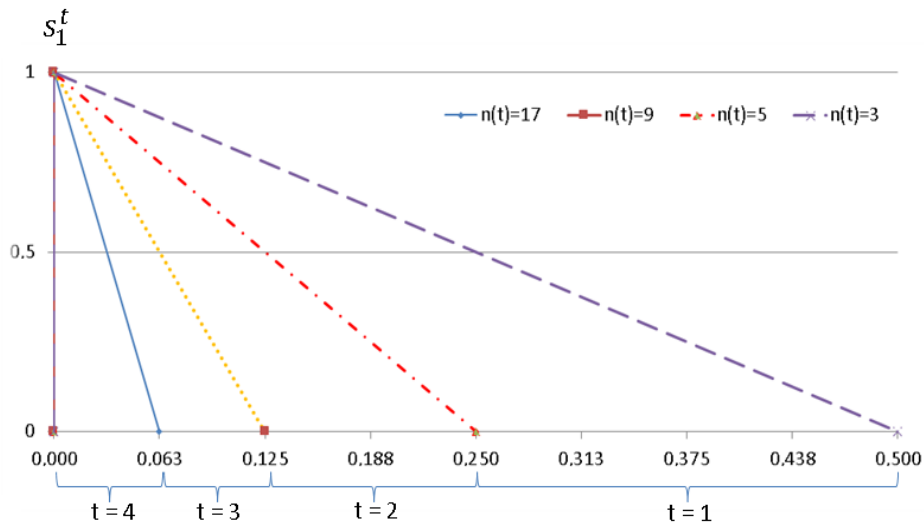


Fig. 4. Diagram of the s_1^t label for each of the $t \in \{1,2,3,4\}$ levels employed for determining the ideal expressive richness for each case in the example put forward.

- V. Apply the S^t set of labels selected in the previous step (IV) to the results generated by the base model, taking into account the closest label to each result obtained. This can be expressed with the following formula:

$$s_i^t(b) = \text{round}(r_i), \quad \forall i \in \{1, \dots, n(t)\}, \forall t \in \{1, \dots, q\}$$

where *round* is the standard rounding function that outputs the b value representing the central point of the triangular function for the s_i^t label closest to r_i , so that t designs the level (1, 2, 3 or 4, in our example) of the label set within the hierarchy, while $n(t)$ is the maximum number of linguistic labels (3, 5, 9 or 17, in our example) corresponding to that level. In this way, it is possible to represent the results using more appropriate descriptive labels for the model output, as well as more representative and understandable by decision-makers.

1.1.3 Generation of final output results

The output table will be made up by all the alternatives in the $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ set, assessed with the corresponding linguistic label of the selected linguistic level ($s_i^t \in S^t$), according to the required or the most appropriated expressive richness.

The results are ranked in descending order according to the values of their labels ($s_n^t > s_{n-1}^t > \dots > s_1^t$), the highest label being associated to alternative A_i , with $i \in \{1, \dots, n\}$, which obtained a higher value in the proximity calculation (P_i).

3.2 Expression of results as compared with other models

Table 3 displays a comparison of different characteristics (in particular, 8) concerning the expression of results with different models applied in MCDM problems. The last column corresponds to the new model put forward in this paper.

As shown in Table 3, there are several factors that provide a significant advantage in the presentation of results with the VER module over the other models included in the chart. Besides, the fact that the linguistic labels used for expressing results are dynamically adapted to the context of the case concerned is entirely in line with humans' inherent capacity to communicate their preferences using natural language and with their ability to choose the most appropriate adjectives in every case.

Table 3. Comparison of characteristics related to the expression of results in different models.

Features / Models	Common	Linguistic	Linguistic 2-tuple	Linguistic VER
Expression of results	Numerical	Linguistic labels	Linguistic labels in 2-tuples	With variable expressive richness
Diversity in the results	Positive real numbers	Subset of labels	Subset of labels	Group of label subsets
Ease of interpretation of results	It requires interpretation	Easy	Easy	Very easy
Usefulness for qualitative problems	Fair	Good	Good	Very good
Use of natural language	No	Limited by the number of labels used	Limited by the number of labels used	Limited by the group of label subsets used
Number of linguistic subsets	-	1	1	Several
Linguistic auto-setting	No	No	No	Yes
Granularity depending on the outcome	-	No	No	Yes

Below, a case study putting into practice what has been explained so far.

4. Examples of application of the proposed model

The first part of this section is dedicated to the detailed application of our model in a case study related to the Services sector, in particular to the Information and Communication Technologies (ICT) sector. In the second part, the results obtained in the case study are analyzed and, finally, in the third part, the results obtained by applying our model to other three case studies are compared with those obtained with other linguistic MCDM models.

4.1 Detailed application of the LTOPSIS-2T-VER model to a case study

A company in the ICT sector is facing a decision-making problem: choosing the products that are a matter of priority in terms of investment for the next six-months. A group of experts $E = \{e_1, \dots, e_3\}$ has been selected for expressing their preferences in this regard. All experts are assumed to have the same level of expertise, so their opinions will have the same level of importance.

The following alternatives are available, expressed by the set $A = \{A_1, \dots, A_5\}$:

- A_1 : Purchase a new range of smart terminals (smartphones).
- A_2 : Acquire new satellite capacity to increase TX¹ redundancy.
- A_3 : Extend the free Internet network (Wi-Fi) to shopping centers, stadiums and public places in provincial capitals.
- A_4 : Invest in infrastructure for new customer service offices.
- A_5 : New prime time advertising campaign to promote new n-P (n-Play)² services.

The following set of criteria $C = \{c_1, \dots, c_4\}$ has to be analyzed by experts for each alternative:

- c_1 : Financial risk
- c_2 : Expandability
- c_3 : Social and political impact
- c_4 : Environmental impact

¹ Data transmission systems used by telecommunication operators.

² Market package offered by telecommunication operators to their users, normally including voice services (landline and mobile), broadband and mobile Internet Access, television, VoD (video on demand), etc.

Depending on their importance, each of these criteria will be assigned a weight determined by the set $W = \{w_1, \dots, w_4\}$.

The proposed model was applied to this case study, taking the LTOPSIS model as a basis and adding the VER module to express output results in the most appropriate way. All the data gathered under this case study were expressed with linguistic labels and entirely processed through the 2-tuple linguistic representation, in order to ensure uniformity throughout the process.

Table 4 shows the evaluations expressed in natural language by each of the (3) participating experts, who assessed all the alternatives from the perspective of each criterion. The labels used were from level $t = 2$, belonging to the $S^2 = \{s_1^2, \dots, s_5^2\}$ set, where $s_1^2 = Strongly Disagree$ (SD), $s_2^2 = Disagree$ (D), $s_3^2 = Neutral$ (N), $s_4^2 = Agree$ (A), y $s_5^2 = Strongly Agree$ (SA). The weights assigned to each criterion were expressed with a set containing the same number of terms, with the following labels: $s_1^w = Not Important$ (NI), $s_2^w = Little Importance$ (LI), $s_3^w = Neutral$ (N), $s_4^w = Important$ (I), and $s_5^w = Very Important$ (VI) (see Table 5).

Table 4. Assessment matrix of each expert (e_1, e_2 and e_3) for this case study.

e_1	c_1	c_2	c_3	c_4		e_2	c_1	c_2	c_3	c_4		e_3	c_1	c_2	c_3	c_4
A_1	A	SA	N	N		A_1	N	A	D	SD		A_1	SA	N	SD	D
A_2	N	D	A	N		A_2	SD	SA	SA	SA		A_2	SD	SA	N	SA
A_3	SA	A	SA	SA		A_3	A	SA	N	SA		A_3	D	SD	SA	N
A_4	D	N	N	SA		A_4	SA	SD	SD	A		A_4	SA	D	SA	SD
A_5	SA	SA	D	A		A_5	N	SD	A	SD		A_5	A	SD	A	SA

Table 5. Weights assigned by the expert group to each criterion, expressed with linguistic labels.

	c_1	c_2	c_3	c_4
w_j	LI	I	VI	NI

Table 6 shows the matrix resulting from the aggregation of the three experts' opinions, for which we applied the equation developed in Definition 5. That information is expressed in natural language, using the 2-tuple representation.

Table 6. Matrix of the aggregation of the three experts' opinions, expressed with 2-tuples.

A_i / c_j	c_1	c_2	c_3	c_4
A_1	(A,+0.000000)	(A,+0.000000)	(D,+0.000000)	(D,+0.000000)
A_2	(D,-0.083340)	(A,+0.000000)	(A,+0.000000)	(A,+0.083300)
A_3	(A,-0.083400)	(N,+0.083300)	(A,+0.083300)	(A,+0.083300)
A_4	(A,+0.000000)	(D,+0.000000)	(N,+0.000000)	(N,+0.083300)
A_5	(A,+0.000000)	(D,+0.083300)	(N,+0.083300)	(N,+0.083300)

Figure 5 shows a diagram of the proposed model, implemented using IBM's SPSS Modeler³ tool, where the VER module –essential in this proposal– is highlighted in a box.

³ <http://www-03.ibm.com/software/products/en/spss-modeler>

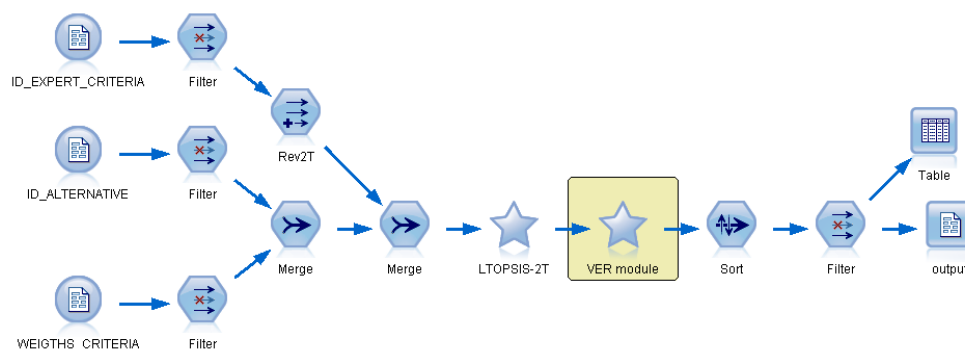


Fig. 5. Model developed using IBM’s SPSS Modeler software, highlighting the VER module.

Figure 6 shows the results obtained for the ideal positive and negative solutions (A^+ , A^-), as well as the distance between each alternative and the ideal positive (d^+) and negative (d^-) solutions. The calculated proximity value (P) is also shown. As can be seen, all the resulting values are expressed using the linguistic 2-tuple representation.

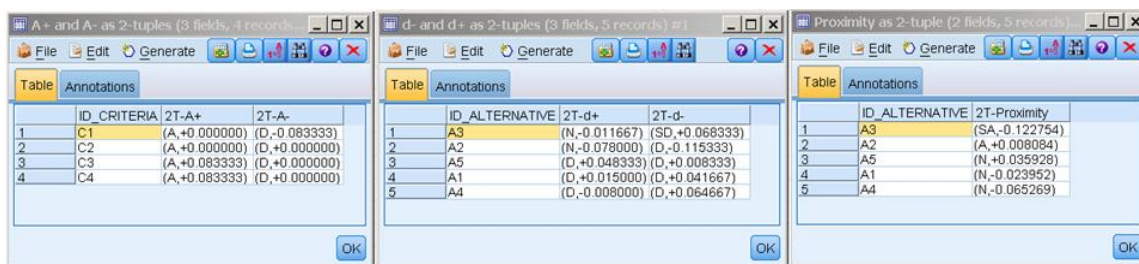


Fig. 6. Results obtained for A^+ , A^- , d^+ , d^- and proximity P , expressed with linguistic 2-tuples (2T-A+, 2T-A-, 2T-d+, 2T-d- and 2T-Proximity, respectively).

The content of the VER module is shown in Figure 7, while Figures 8 and 9 display the implementation of the two sub-modules contained in such module.

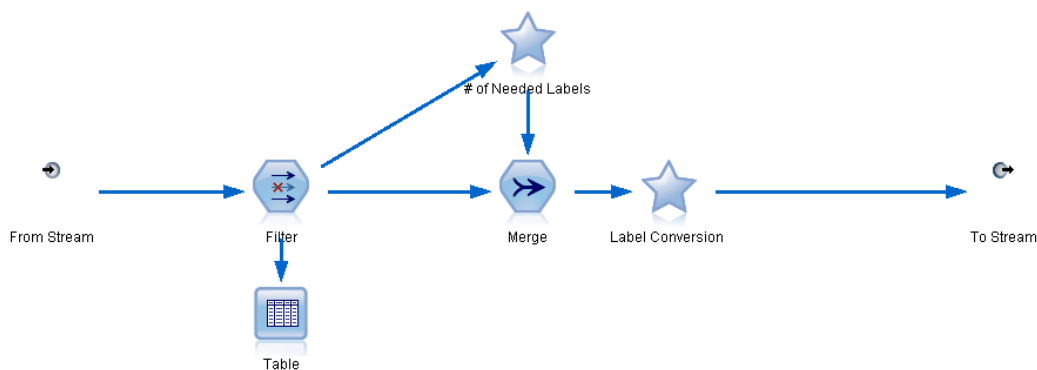


Fig. 7. Implementation details of the VER module.

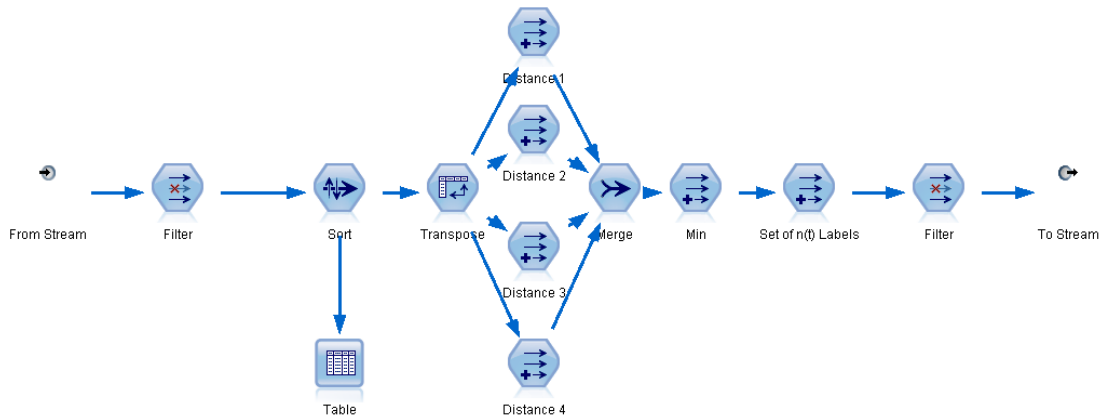


Fig. 8. Implementation of the # of Needed Labels sub-module. It determines the V_{min} value and the s_1^t label.

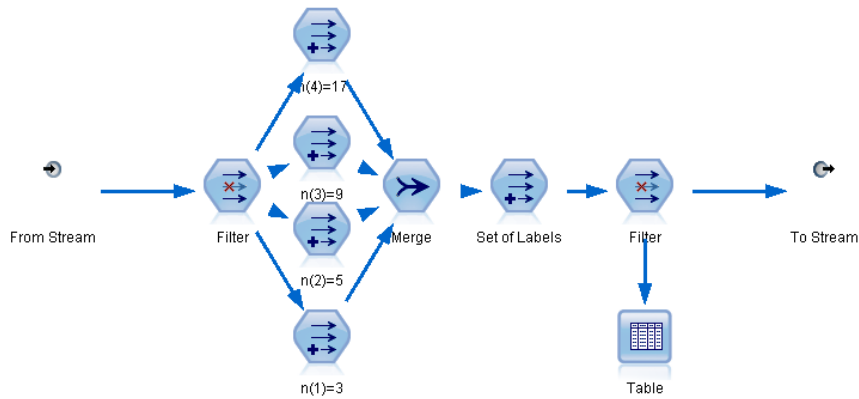


Fig. 9. Implementation of the Label Conversion sub-module. It determines the set of labels to be used.

The final result after process completion is shown in Figure 10.

ID_ALTERNATIVE	Linguistic VER
1 A3	Very Good
2 A2	Good
3 A5	Better than Fair
4 A1	Fair
5 A4	Worse than Fair

Fig. 10. Final results obtained with the VER module.

4.2 Analysis of results for the case study depicted

This section presents the results obtained and analyzes the advantage of the solution put forth over the other forms of expressing results. Table 6, which shows the results obtained for the case study explained in Section 4.1, contains the results linguistically expressed in three different ways (Linguistic, Linguistic 2-tuples and Linguistic VER).

Table 7. Results obtained for the case study depicted, expressed with different output types.

Results	Linguistic	Linguistic 2-tuples	Linguistic VER	Labels (s_i^t)	Observation
A_3	Strongly Agree	(SA,-0.122754)	Very Good	s_{15}^4	The VER module is automatically adjusted in order to provide the best response. This example uses $n(t) = 17$ linguistic labels
A_2	Agree	(A,+0.008084)	Good	s_{13}^4	
A_5	Neutral	(N,+0.035928)	Better than Fair	s_{10}^4	
A_1	Neutral	(N,-0.023952)	Fair	s_9^4	
A_4	Neutral	(N,-0.065269)	Worse than Fair	s_8^4	

As shown in Table 7, the results expressed in natural language using a set of 5 labels (second and third column) can be confusing when it comes to selecting a final solution. This is due to the fact that the same linguistic label or evaluation might have been assigned to more than one alternative. However, looking at the results contained in the fourth column, we can see how answers are more varied thanks to the automatism implemented in the VER module and they provide clearer information to the decision maker, which allows his/her to choose without hesitation the most appropriate alternative. In other words, it allows making better and faster decisions.

The VER module could also pose the problem of having two different alternatives assessed with the same label, which would point out the need to add an extra level to the hierarchy, with new adjectives or linguistic expressions. It could also happen, depending on the nature of the problem concerned, that both alternatives are accepted as possible solutions.

4.3 Comparative analysis of results obtained in other case studies

This section presents the results of three other real cases (shown in Table 8) where the proposal put forward in this paper was applied, as well as two other linguistic models, and compares the results obtained in each one. These results are the outcome of DM problems considering five possible alternative solutions, where five linguistic labels are used for assessing every alternative. In the column assigned to our proposal (Linguistic VER) we can see that different $n(t)$ granularity was used for representing the final assessments. This diversity implies that the module will not necessarily use the same labels to represent results for different problems, since this is rather determined by the distance between the results obtained.

Table 8. Comparison of the results obtained by applying 3 different models to 3 real examples considering 5 alternatives. The results are therefore expressed with different output expressions.

Real-life examples (5 alternatives each)	Linguistic	Linguistic 2T	Linguistic VER	Labels (s_i^t)	Observation
1 Analysis of a business plan	Agree	(A,-0.000200)	Good	s_{13}^4	The VER module is automatically adjusted to provide a better response. This example uses $n(t) = 17$ labels.
	Agree	(A,-0.039800)	Rather Good	s_{12}^4	
	Agree	(A,-0.093800)	Slightly Good	s_{11}^4	
	Neutral	(N,+0.034000)	Better than Fair	s_{10}^4	
	Neutral	(N,+0.022300)	Fair	s_9^4	
2 Purchase of a web server	Agree	(A,-0.000269)	Good	s_7^3	The VER module is automatically adjusted to provide a better response. This example uses $n(t) = 9$ labels.
	Agree	(A,-0.063000)	Slightly Good	s_6^3	
	Disagree	(D,+0.081000)	Slightly Poor	s_4^3	
	Disagree	(D,-0.097000)	Very Poor	s_2^3	
	Strongly Disagree	(SD,+0.061400)	Terrible	s_1^3	
3 Evaluation of cloud computing services	Strongly Agree	(SA,-0.094373)	Very Good	s_{15}^4	The VER module is automatically adjusted to provide a better response. This example uses $n(t) = 17$ labels.
	Agree	(A,+0.081770)	Better than Good	s_{14}^4	
	Neutral	(N,-0.018757)	Fair	s_9^4	
	Neutral	(N,-0.056272)	Worse than Fair	s_8^4	
	Disagree	(D,+0.091149)	Rather Poor	s_6^4	

Examples 1 and 2 (first two rows) displayed in Table 8 show how the first two models (Linguistic and Linguistic 2T) only apply 2 and 3 different labels in each example, respectively, from the 5 labels available for expressing results, so that several of the 5 alternatives analyzed in each example are assessed with the same label. On the contrary, the Linguistic VER model uses a different linguistic label for expressing the results obtained for each of the 5 alternatives. It is worth noting that by applying this latter model in the three examples shown in Table 8, we prevent label repetition in the final assessment of every solution.

5. Conclusions and future work

The linguistic MCDM model based on variable expressive richness (VER) presented in this paper introduces several advantages (detailed below) that make decision making easier. Besides, this proposal expresses results through different linguistic expressions or labels, so that the language employed is understood by any expert involved in the DM process, regardless of their area of knowledge or work in a company. In this way, we reduce the uncertainty inherent in DM problems, as well as the response times, thus substantially improving DM efficiency.

The main novelty introduced by this model is the self-detection of the most appropriate label set for expressing solutions (assessment of the different alternatives) to DM problems in every case in the most flexible, adequate and expressive way possible.

The proposed solution introduces the following advantages:

- Output results totally within the framework of natural language, through the use of linguistic labels.
- Use of a multilevel linguistic hierarchy made up of label sets with different granularity.
- A smart system that assesses each alternative available based on the optimization model, which self-detects the most appropriate labels in each case.
- It indicates the label subset applied in every case for the expression of results.
- Independent of the input type, which can be numerical, linguistic, fuzzy numbers, etc.
- Compatible with the use of input multi-granularity.
- Applicable to multiple types of results (numerical, linguistic, 2-tuple, etc.) generated by different MCDM models.
- Modular and flexible model, adaptable to different DM requirements and problems.

As a future line of research, this development could be extrapolated to fuzzy models with different membership functions, as well as to models with multi-granular input.

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the financial support received from the European Regional Development Funds (FEDER) for the Research Project TIN2013-40658-P, as well as the funding obtained from the Andalusian Government for the Excellence Project TIC-5991.

References

- [1] Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2005). Multiple criteria decision analysis: State of the Art Surveys. Boston, MA: Kluwer.
- [2] Turskis, Z., & Zavadskas, E.K. (2011). Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: An overview. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(2), 397-427.
- [3] Behzadian, M., Khanmohammadi Otagsara, S., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051-13069.
- [4] Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- [5] Chan, L., & Wu, M. (2002). Quality Function Deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 143(3), 463-497.
- [6] Wang, Y.J., & Lee, H.S. (2007). Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making. *Computers and Mathematics with Applications*, 53(11), 1762-1772.
- [7] Wang, T.C., & Lee, H.D. (2009). Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8980-8985.
- [8] Sun, C.C. (2010). A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert systems with applications*, 37(12), 7745-7754.
- [9] Sipahi, S., & Timor, M. (2010). The analytic hierarchy process and analytic network process: An overview of applications. *Management Decision*, 48(5), 775-808.

- [10] Low, C.Y., & Lin, S.N. (2013). Fuzzy data mining with TOPSIS for fuzzy multiple criteria decision making problems (pp. 377-389).
- [11] Herrera, F., Herrera-Viedma, E., & Martínez, L. (2000). A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 43-58.
- [12] Massanet, S., Riera, J.V, Torrens, J., & Herrera-Viedma, E. (2014). A new linguistic computational model based on discrete fuzzy numbers for computing with words. *Information Sciences* 258, 277-290.
- [13] Morente-Molinera, J.A., Pérez, I.J., Ureña, M.R., & Herrera-Viedma, E. (2015). On multi-granular fuzzy linguistic modeling in group decision making problems: A systematic review and future trends. *Knowledge-Based Systems*, 74, 49-60.
- [14] Morente-Molinera, J.A., Al-hmouz, R., Morfeq, A., Balamash, A.S., & Herrera-Viedma, E. (2016). A Decision Support System for Decision Making in Changeable and Multi-Granular Fuzzy Linguistic Contexts. *J. of Mult.-Valued Logic & Soft Computing*, 26(3-5),485-514.
- [15] Herrera, F., & Martínez, L. (2000). An approach for combining linguistic and numerical information based on the 2-tuple fuzzy linguistic representation model in decision-making. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 8(5), 539-562.
- [16] Carrasco, R.A., Villar, P., Hornos, M.J., & Herrera-Viedma, E. (2011). A linguistic multi-criteria decision making model applied to the integration of education questionnaires. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 4(5), 946-959.
- [17] Carrasco, R.A., Villar, P., Hornos, M.J., & Herrera-Viedma, E. (2012). A linguistic multicriteria decision-making model applied to hotel service quality evaluation from web data sources. *International Journal of Intelligent Systems*, 27(7), 704-731.
- [18] Carrasco, R.A., Muñoz-Leiva, F., & Hornos, M.J. (2013). A multidimensional data model using the fuzzy model based on the semantic translation. *Information Systems Frontiers*, 15(3), 351-370.
- [19] Tejada-Lorente, A., Porcel, C., Peis, E., Sanz, R., & Herrera-Viedma, E. (2014). A quality based recommender system to disseminate information in a University Digital Library. *Information Sciences* 261, 52-69.
- [20] Cid-López, A., Hornos, M.J., Carrasco, R.A., & Herrera-Viedma, E. (2015). A hybrid model for decision-making in the Information and Communications Technology sector. *Technological and Economic Development of Economy*, 21(5), 720-737.
- [21] Cid-López, A., Hornos, M.J., Carrasco, R.A., & Herrera-Viedma, E. (2015). SICTQUAL: A fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of services in the ICT sector from the user perspective. *Applied Soft Computing*, 37, 897-910.
- [22] Dong, Y. & Herrera-Viedma, E. (2015). Consistency-driven automatic methodology to set interval numerical scales of 2-tuple linguistic term sets and its use in the linguistic GDM with preference relation. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 45(4),780-792.
- [23] Zadeh, L.A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning: Part 3. *Information Science*, 9(1), 43-80.
- [24] Zadeh, L.A. (1983). A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. *Computers & Mathematics with Applications*, 9(1), 149-184.
- [25] Zadeh, L.A. (1996). Fuzzy logic computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4(2), 103-111.
- [26] Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *The Psychological Review*, 63, 81-97.
- [27] Pedrycz, W. (1994). Why triangular membership functions?. *Fuzzy sets and Systems*, 64(1), 21-30.
- [28] Cabrerizo, F.J., Herrera-Viedma, E., & W. Pedrycz, W. (2013) A Method based on PSO and Granular Computing of Linguistic Information to Solve Group Decision Making Problems defined in Heterogeneous Contexts. *European Journal of Operational Research* 230(3), 624-633.
- [29] Zimmermann, H.J. (2010). Fuzzy set theory. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(3), 317-332.
- [30] Herrera, F., & Martínez, L. (2000). A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6), 746-752.
- [31] Herrera, F., & Martínez, L. (2001). A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 31(2), 227-234.

- [32] Martínez, L., Espinilla, M., & Pérez, L.G. (2008). A linguistic multigranular sensory evaluation model for olive oil. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1(2), 148-158.
- [33] Wang, S.Y. (2008). Applying 2-tuple multigranularity linguistic variables to determine the supply performance in dynamic environment based on product-oriented strategy. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 16(1), 29-39.
- [34] Yager, R.R. (2007). Aggregation of ordinal information. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 6(3), 199-219.
- [35] Zhang, H. (2012). The multiattribute group decision making method based on aggregation operators with interval-valued 2-tuple linguistic information. *Mathematical and Computer Modelling*, 56(1), 27-35.
- [36] Chiclana, F., Tapia-Garcia, J.M., Del Moral, M.J., & E. Herrera-Viedma E. (2013). A Statistical Comparative Study of Different Similarity Measures of Consensus in Group Decision Making. *Information Sciences* 221, 110–123.
- [37] Boran, F.E., Genç, S., Kurt, M., & Akay, D. (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363-11368.
- [38] Su, W., Zeng, S., & Ye, X. (2013). Uncertain group decision-making with induced aggregation operators and Euclidean distance. *Technological and Economic Development of Economy*, 19(3), 431-447.
- [39] Lai, Y.J., Liu, T.Y., & Hwang, C.L. (1994). Topsis for MODM. *European Journal of Operational Research*, 76(3), 486-500.
- [40] Shih, H.S., Shyur, H.J., & Lee, E.S. (2007). An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 45(7), 801-813.
- [41] Jahanshahloo, G.R., Lotfi, F.H., & Davoodi, A.R. (2009). Extension of TOPSIS for decision-making problems with interval data: Interval efficiency. *Mathematical and Computer Modelling*, 49(5), 1137-1142.
- [42] Triantaphyllou, E. (2013). Multi-criteria decision making methods: A comparative study (Vol. 44). Springer Science & Business Media.

References

- Allen, K.R. 2015. *Launching new ventures: An entrepreneurial approach*, Cengage Learning: Mason, OH.
- Alonso, S., F.J. Cabrerizo, F. Chiclana, F. Herrera, and E. Herrera-Viedma. 2008. An interactive decision support system based on consistency criteria., *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, 14((3/5)), 371–385.
- Armstrong, J.S. 1982. The value of formal planning for strategic decisions: review of empirical research, *Strategic Management Journal*, 3(3), 197–211.
- Atanassov, K.T. 1999. *Intuitionistic Fuzzy Sets: Theory and Applications*, Physica-Verlag: Heidelberg, Germany.
- Basilevsky, A. 2013. *Applied matrix algebra in the statistical sciences*, Dover Publications: Mineola, NY.
- Behzadian, M., S.K. Otaghsara, M. Yazdani, and J. Ignatius. 2012. A state-of-the-art survey of topsis applications, *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051–13069.
- Bellman, R.E. and L.A. Zadeh. 1970. Decision making in a fuzzy environment, *Management Science*, 17(4), 141–164.
- Ben-Arieh, D. and Z. Chen. 2006. Linguistic-labels aggregation and consensus measure for autocratic decision making using group recommendations, *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, 36(3), 558–568.
- Benedetto, C.A. 1999. Identifying the key success factors in new product launch, *Journal of product innovation management*, 16(6), 530–544.
- Berry, L., L. Bennett, and D.R. Brown. 1989. *Calidad de Servicio una Ventaja Estratégica para Instituciones Financieras*, Editorial Díaz de Santos: Madrid, Spain.
- Bezdek, J.C., B. Spillman, and R. Spillman. 1978. A fuzzy relation space for group decision theory, *Fuzzy Sets and Systems*, 1(4), 255–268.
- Bharadwaj, A., O.A. El Sawy, P.A. Pavlou, and N. Venkatraman. 2013. Digital business strategy: toward a next generation of insights, *Mis Quarterly*, 37(2), 471–482.
- Bigne, J.E., M.A. Moliner, M.T. Vallet, and J. Sánchez. 1997. Un estudio comparativo de los instrumentos de medición de la calidad de los servicios públicos, *Revista Española de Investigación de Marketing. ESIC*, 1, 33–53.
- Bonissone, P.P. 1980. A fuzzy sets based linguistic approach: theory and applications, in *Proceedings of the 12th conference on Winter simulation*, IEEE Press, 99–111.

- Bonissone, P.P. and K.S. Decker. 1986. *Uncertainty in Artificial Intelligence.*, North-Holland Publishing Company: Amsterdam, Netherlands.
- Bonissone, P.P. and K.S. Decker. 2013. Selecting uncertainty calculi and granularity: An experiment in trading-off precision and complexity, *arXiv preprint arXiv:1304.3425*.
- Bordogna, G., M. Fedrizzi, and G. Pasi. 1997. A linguistic modeling of consensus in group decision making based on owa operators, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 27(1), 126–133.
- Bordogna, G. and G. Pasi. 1993. A fuzzy linguistic approach generalizing boolean information retrieval: A model and its evaluation, *JASIS*, 44(2), 70–82.
- Bouyssou, D., D. Dubois, H. Prade, and M. Pirlot. 2013. *Decision Making Process: Concepts and Methods*, John Wiley & Sons: Somerset, NJ.
- Brans, J.P. and P. Vincke. 1985. A preference ranking organisation method: (the promethee method for multiple criteria decision-making), *Management science*, 31(6), 647–656.
- Bryson, J.M. 2011. *Strategic planning for public and nonprofit organizations: A guide to strengthening and sustaining organizational achievement*, vol. 1, John Wiley & Sons: Somerset, NJ.
- Bustince, H., E. Barrenechea, T. Calvo, S. James, and G. Beliakov. 2014. Consensus in multi-expert decision making problems using penalty functions defined over a cartesian product of lattices, *Information Fusion*, 17, 56–64.
- Cabrerizo, F.J., J. López-Gijón, A.A. Ruiz, and E. Herrera-Viedma. 2010. A model based on fuzzy linguistic information to evaluate the quality of digital libraries, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 9(03), 455–472.
- Calantone, R.J. and C.A. Di Benedetto. 2012. The role of lean launch execution and launch timing on new product performance, *Journal of the Academy of Marketing Science*, 40(4), 526–538.
- Camisón, C., S. Cruz, and T. Gonzalez. 2007. *Gestión de la Calidad*, Pearson/Prentice-Hall: Upper Saddle River, NJ.
- Canós, L. and V. Liern. 2008. Soft computing-based aggregation methods for human resource management, *European Journal of Operational Research*, 189(3), 669–681.
- Cantú, H. 2001. *Desarrollo de una cultura de calidad*, McGrawHill: DF, México.
- Carlsson, C., D. Ehrenberg, P. Eklund, M. Fedrizzi, P. Gustafsson, P. Lindholm, G. Merkurjeva, T. Riissanen, and A. Ventre. 1992. Consensus in distributed soft environments, *European Journal of Operational Research*, 61(1), 165–185.
- Carlsson, C. and R. Fuller. 2000. Benchmarking in linguistic importance weighted aggregations, *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 35–41.
- Carlsson, C. and R. Fuller. 2002. *Fuzzy reasoning in decision making and optimization*, vol. 82 of *Studies in fuzziness and soft computing*, Springer-Verlag: Heidelberg, Germany.
- Carrasco, R.A., F. Muñoz-Leiva, J. Sánchez-Fernández, and F.J. Liébana-Cabanillas. 2012. A model for the integration of e-financial services questionnaires with SERVQUAL scales under fuzzy linguistic modeling, *Expert Systems with Applications*, 39(14), 11535–11547.

- Carrasco, R.A., F. Muñoz-Leiva, and M.J. Hornos. 2013. A multidimensional data model using the fuzzy model based on the semantic translation, *Information Systems Frontiers*, 15(3), 351–370.
- Carrasco, R.A., P. Villar, M.J. Hornos, and E. Herrera-Viedma. 2011. A linguistic multi-criteria decision making model applied to the integration of education questionnaires, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 4(5), 946–959.
- Caruana, A. 2002. Service loyalty: The effects of service quality and the mediating role of customer satisfaction, *European journal of marketing*, 36(7/8), 811–828.
- Chiclana, F. 2000. *Integración de Modelos de Representación de Preferencias en Problemas de Toma de Decisiones con Múltiples Expertos*, Ph.D. thesis, Universidad de Granada.
- Chiclana, F., F. Herrera, and E. Herrera-Viedma. 1998. Integrating three representation models in fuzzy multipurpose decision making based on fuzzy preference relations, *Fuzzy sets and Systems*, 97(1), 33–48.
- Christopher, M., A. Payne, and D. Ballantyne. 1994. *Marketing relacional: integrando la calidad, el servicio al cliente y el marketing*, Ediciones Díaz de Santos: Madrid, Spain.
- Cid-López, A., M.J. Hornos, R.A. Carrasco, and E. Herrera-Viedma. 2015a. A Hybrid Model for Decision-Making in the Information and Communications Technology Sector, *Technological and Economy Development of Economy*, 21(5), 731–748.
- Cid-López, A., M.J. Hornos, R.A. Carrasco, and E. Herrera-Viedma. 2015b. SICTQUAL: A fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of service in the ict sector from the user perspective, *Applied Soft Computing*, 37, 897–910.
- Cid-López, A., M.J. Hornos, R.A. Carrasco, and E. Herrera-Viedma. 2016. Applying a linguistic multi-criteria decision-making model to the analysis of ICT suppliers' offers, *Expert Systems with Applications*, 57, 127–138.
- Cohen, S., J. Zysman, and B. DeLong. 2000. *Tools for Thought: What is New and Important about the E-conomy?*, vol. 3, Berkeley Roundtable: Berkeley, CA.
- Colmenares, O.A. and J.L. Saavedra. 2007. Aproximación teórica de los modelos conceptuales de la calidad del servicio, *Técnica administrativa*, 6(32), 2.
- Cook, W.D. and M. Kress. 1985. Ordinal ranking with intensity of preference, *Management science*, 31(1), 26–32.
- Cook, W.D. and L.M. Seiford. 1978. Priority ranking and consensus formation, *Management Science*, 24(16), 1721–1732.
- Cronin, J.J. and S. Taylor. 1994. Servperf versus servqual: Reconciling performance-based and perceptions-minus-expectations measurement of service quality., *Journal of marketing*, 58(1).
- Cronin Jr, J. and S.A. Taylor. 1992. Measuring service quality: A reexamination and extension, *The Journal of Marketing*, 55–68.
- Debruyne, M., R. Moenaertb, A. Griffinc, S. Hartd, E.J. Hultinke, and H. Robben. 2002. The impact of new product launch strategies on competitive reaction in industrial markets, *Journal of Product Innovation Management*, 19(2), 159–170.
- Degani, R. and G. Bortolan. 1988. The problem of linguistic approximation in clinical decision making, *International Journal of Approximate Reasoning*, 2(2), 143–162.

- Delgado, M., F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and L. Martínez. 1998. Combining numerical and linguistic information in group decision making, *Information Sciences*, 107(1), 177–194.
- Delgado, M., J.L. Verdegay, and M.A. Vila. 1992. Linguistic decision-making models, *International Journal of Intelligent Systems*, 7(5), 479–492.
- Delgado, M., J.L. Verdegay, and M.A. Vila. 1993. On aggregation operations of linguistic labels, *International journal of intelligent systems*, 8(3), 351–370.
- Delgado, M., J.L. Verdegay, and M.A. Vila. 1994. A model for linguistic partial information in decision-making problems, *International Journal of Intelligent Systems*, 9(4), 365–378.
- Dong, Y. and E. Herrera-Viedma. 2014. Consistency-driven automatic methodology to set interval numerical scales of 2-tuple linguistic term sets and its use in the linguistic gdm with preference relation.
- Dong, Y., Y. Xu, H. Li, and B. Feng. 2010. The owa-based consensus operator under linguistic representation models using position indexes, *European Journal of Operational Research*, 203(2), 455–463.
- Dubois, D. and J.L. Koning. 1991. Social choice axioms for fuzzy set aggregation, *Fuzzy sets and systems*, 43(3), 257–274.
- Dubois, D. and H. Prade. 1985. A review of fuzzy set aggregation connectives, *Information sciences*, 36(1), 85–121.
- El-Bayoumi, J.G. 2012. *40th Annual Conference on Special Interest Group on University and College Computing Services SIGUCCS: Evaluating IT service quality using SERVQUAL*, ACM Digital Library: New York, NY.
- Española, Real Academia. 2001. Diccionario de la lengua española., *Vigésima Segunda Edición*. Espasa: Madrid, España.
- Evans, J.R. and W.M. Lindsay. 2008. *Administración y Control de la Calidad*, Cengage Learning: DF, Mexico.
- Fan, Z.P. and Y. Liu. 2010. A method for group decision-making based on multi-granularity uncertain linguistic information, *Expert Systems with Applications*, 37(5), 4000–4008.
- Fan, Z.P., J. Ma, and Q. Zhang. 2002. An approach to multiple attribute decision making based on fuzzy preference information on alternatives, *Fuzzy sets and systems*, 131(1), 101–106.
- Fan, Z.P., S.H. Xiao, and G.F. Hu. 2004. An optimization method for integrating two kinds of preference information in group decision-making, *Computers & Industrial Engineering*, 46(2), 329–335.
- Fedrizzi, M., M. Fedrizzi, and R.A. Marques. 1999. Soft consensus and network dynamics in group decision making, *International Journal of Intelligent Systems*, 14(1), 63–77.
- Fedrizzi, M., M. Fedrizzi, and R.A. Pereira. 2013. *On Fuzziness: Consensus modelling in group decision making: A dynamical approach based on Zadeh's fuzzy preferences*, Springer: Heidelberg, Germany.
- Fernández, J.M. and S. Murakami. 2003. Extending yager's orness concept for the OWA aggregators to other mean operators, *Fuzzy Sets and Systems*, 139(3), 515–542.
- Figueira, J., V. Mousseau, and B. Roy. 2005. Electre methods, in *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*, Springer, 133–153.

- Filev, D. and R.R. Yager. 1998. On the issue of obtaining OWA operator weights, *Fuzzy Sets and Systems*, 94(2), 157–169.
- Fodor, J.C. and M.R. Roubens. 1994. *Fuzzy preference modelling and multicriteria decision support*, vol. 14, Springer: Berlin, Germany.
- Goetsch, D.L. and S.B. Davis. 2014. *Quality management for organizational excellence*, Pearson Higher Education: Upper Saddle River, NJ.
- Greco, S., B. Matarazzo, and R. Slowinski. 2001. Rough sets theory for multicriteria decision analysis, *European journal of operational research*, 129(1), 1–47.
- Guiltinan, J.P. 1999. Launch strategy, launch tactics, and demand outcomes, *Journal of Product Innovation Management*, 16(6), 509–529.
- Hamel, G., Y.L. Doz, and C.K. Prahalad. 1989. Collaborate with your competitors and win, *Harvard business review*, 67(1), 133–139.
- Hamers, L., Y. Hemeryck, G. Herweyers, M. Janssen, H. Keters, R. Rousseau, and A. Vanhoutte. 1989. Similarity measures in scientometric research: the jaccard index versus salton's cosine formula, *Information Processing & Management*, 25(3), 315–318.
- Helson, H. 1964. *Adaptation-level theory*, Harper & Row: New York, NY.
- Herrera, F., S. Alonso, F. Chiclana, and E. Herrera-Viedma. 2009. Computing with words in decision making: foundations, trends and prospects, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 8(4), 337–364.
- Herrera, F. and E. Herrera-Viedma. 1996. A model of consensus in group decision making under linguistic assessments, *Fuzzy sets and Systems*, 78(1), 73–87.
- Herrera, F. and E. Herrera-Viedma. 1997. Aggregation operators for linguistic weighted information, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 27(5), 646–656.
- Herrera, F. and E. Herrera-Viedma. 2000a. Choice functions and mechanisms for linguistic preference relations, *European Journal of Operational Research*, 120(1), 144–161.
- Herrera, F. and E. Herrera-Viedma. 2000b. Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information, *Fuzzy Sets and systems*, 115(1), 67–82.
- Herrera, F., E. Herrera-Viedma, and J.L. Verdegay. 1995. A sequential selection process in group decision making with a linguistic assessment approach, *Information Sciences*, 85(4), 223–239.
- Herrera, F., E. Herrera-Viedma, and J.L. Verdegay. 1996a. Direct approach processes in group decision making using linguistic OWA operators, *Fuzzy Sets and Systems*, 79(2), 175–190.
- Herrera, F., E. Herrera-Viedma, and J.L. Verdegay. 1996b. A linguistic decision process in group decision making, *Group Decision and Negotiation*, 5(2), 165–176.
- Herrera, F., E. Herrera-Viedma, and J.L. Verdegay. 1997a. Applications of the linguistic owa operators in group decision making, 207–218.
- Herrera, F., E. Herrera-Viedma, and J.L. Verdegay. 1997b. Linguistic measures based on fuzzy coincidence for reaching consensus in group decision making, *International Journal of Approximate Reasoning*, 16(3), 309–334.
- Herrera, F., E. Herrera-Viedma, and J.L. Verdegay. 1997c. A rational consensus model in group decision making using linguistic assessments, *Fuzzy Sets and Systems*, 88(1), 31–49.

- Herrera, F. and L. Martínez. 2000. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6), 746–752.
- Herrera, F., L. Martínez, and P.J. Sánchez. 2005. Managing non-homogeneous information in group decision making, *European Journal of Operational Research*, 166(1), 115–132.
- Herrera, F. and J.L. Verdegay. 1993. Linguistic assessments in group decision, in *Proc. of First European Congress on Fuzzy and Intelligent Technologies, Aachen*, 941–948.
- Herrera, F. and J.L. Verdegay. 1995. On group decision making under linguistic preferences and fuzzy linguistic quantifiers, *Fuzzy Logic and Soft Computing, World Scientific, Singapore*, 173–180.
- Herrera-Viedma, E. 1996. *Modelos Lingüísticos para la Toma de Decisiones en Grupo*, Ph.D. thesis, Universidad de Granada.
- Herrera-Viedma, E., S. Alonso, F. Chiclana, and F. Herrera. 2007a. A consensus model for group decision making with incomplete fuzzy preference relations, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(5), 863–877.
- Herrera-Viedma, E., F. Chiclana, F. Herrera, and S. Alonso. 2007b. Group decision-making model with incomplete fuzzy preference relations based on additive consistency, *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on*, 37(1), 176–189.
- Herrera-Viedma, E., F. Herrera, and F. Chiclana. 2002. A consensus model for multiperson decision making with different preference structures, *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, 32(3), 394–402.
- Herrera-Viedma, E., L. Martínez, F. Mata, and F. Chiclana. 2005. A consensus support system model for group decision-making problems with multigranular linguistic preference relations, *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 13(5), 644–658.
- Herrera-Viedma, E., G. Pasi, A.G. López-Herrera, and C. Porcel. 2006. Evaluating the information quality of web sites: A methodology based on fuzzy computing with words, *Journal of American Society for Information Science and Technology*, 57(4), 538–549.
- Huang, C.Y., S.Y. Chang, Y.H. Yang, and G.H. Tzeng. 2011. Next generation passive optical networking technology predictions by using hybrid mcdm methods, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 15(4), 400–405.
- Hultink, E.J., S. Hart, H.S.J. Robben, and A. Griffin. 2000. Launch decisions and new product success: an empirical comparison of consumer and industrial products, *Journal of Product Innovation Management*, 17(1), 5–23.
- Hwang, C.L. and K. Yoon. 2012. *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*, vol. 186, Springer Science & Business Media: Heidelberg, Germany.
- Insua, S., C. Lozoya, and A. Caballero. 2002. *Fundamentos de los Sistemas de Ayuda a la Decisión*, Rama S.A. Editorial y Publicaciones: Madrid, Spain.
- Ishizaka, A. and A. Labib. 2011. Review of the main developments in the analytic hierarchy process, *Expert Systems with Applications*, 38(11), 14336–14345.
- Johannessen, J.A. and B. Olsen. 2010. The future of value creation and innovations: Aspects of a theory of value creation and innovation in a global knowledge economy, *International Journal of Information Management*, 30(6), 502–511.

- Kacprzak, J., H. Nurmi, and M. Fedrizzi. 1997. *Consensus under fuzziness*, vol. 10, Kluwer Academic Pub: Amsterdam, Netherlands.
- Kacprzyk, J. 1986. Group decision making with a fuzzy linguistic majority, *Fuzzy sets and systems*, 18(2), 105–118.
- Kacprzyk, J. 1987. On some fuzzy cores and 'soft' consensus measures in group decision making, *The analysis of fuzzy information*, 2, 119–130.
- Kacprzyk, J. and M. Fedrizzi. 1988. A "soft" measure of consensus in the setting of partial (fuzzy) preferences, *European Journal of Operational Research*, 34(3), 316–325.
- Kacprzyk, J. and M. Fedrizzi. 1990. *Multiperson decision making models using fuzzy sets and possibility theory*, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands.
- Kahn, K.B., G. Barczak, J. Nicholas, A. Ledwith, and H. Perks. 2012. An examination of new product development best practice, *Journal of Product Innovation Management*, 29(2), 180–192.
- Kapferer, J.N. 2012. *The new strategic brand management: Advanced insights and strategic thinking*, Kogan Page: London, UK.
- Kaplan, R.S. and D.P. Norton. 2001. *The strategy focused organization: How balanced scorecard companies thrive in the new business environment*, Harvard Business Press: Boston, MA.
- Keeney, R.L. and H. Raiffa. 1993. *Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs*, Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Kiker, G.A., T.S. Bridges, A. Varghese, T.P. Seager, and I. Linkov. 2005. Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making, *Integrated environmental assessment and management*, 1(2), 95–108.
- Kim, S.H. and B.S. Ahn. 1999. Interactive group decision making procedure under incomplete information, *European Journal of Operational Research*, 116(3), 498–507.
- Kim, S.H., S.H. Choi, and J.K. Kim. 1999. An interactive procedure for multiple attribute group decision making with incomplete information: Range-based approach, *European Journal of Operational Research*, 118(1), 139–152.
- Klir, G.j. and B. Yuan. 1995. *Fuzzy sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, Prentice Hall PTR: Upper Saddle River, NJ.
- Kundu, S. 1997. Min-transitivity of fuzzy leftness relationship and its application to decision making, *Fuzzy sets and systems*, 86(3), 357–367.
- LaTour, S.A. and N.C. Peat. 1979. Conceptual and methodological issues in consumer satisfaction research, *Advances in consumer research*, 6(1), 431–437.
- Li, D.F. and T. Sun. 2007. Fuzzy linear programming approach to multi-attribute decision-making with linguistic variables and incomplete information, *Advances in Complex Systems*, 10(04), 505–525.
- Likert, R. 1932. A technique for the measurement of attitudes., *Archives of psychology: New York, NY*.
- Lloréns, F.J. and M.M. Fuentes. 2000. *Calidad total: Fundamentos e Implantación*, Pirámide: Madrid, Spain.
- Luce, R.D. 2012. *Individual choice behavior: A theoretical analysis*, Dover Publications: Mineola, NY.

- Luce, R.D. and P. Suppes. 1965. Preference, utility, and subjective probability, *Handbook of mathematical psychology*, 3, 249–410.
- Martin, O. and G.J. Klir. 2006. On the problem of retranslation in computing with perceptions, *International journal of general systems*, 35(6), 655–674.
- Martínez, L. 1999. *Un nuevo Modelo de Representación de Información Lingüística basado en 2-tuplas para la Agregación de Preferencias Lingüísticas*, Ph.D. thesis, Universidad de Granada.
- Martínez-Tur, V. and M.N. Santamatilde. 1995. Comparación de los modelos causales sobre satisfacción del usuario, *Estudios sobre consumo*, 34, 12–23.
- Mata, F. 2006. *Modelos para Sistemas de Apoyo al Consenso en Problemas de Toma de Decisión en Grupo definidos en Contextos Lingüísticos Multigranulares*, Ph.D. thesis, Universidad de Jaen.
- Mata, F., L. Martínez, and E. Herrera-Viedma. 2009. An adaptive consensus support model for group decision-making problems in a multigranular fuzzy linguistic context, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 17(2), 279–290.
- McKinsey-Global-Institute. 2011. Internet matters: The net's sweeping impact on growth, jobs, and prosperity. www.mckinsey.com.
- Merigó, J.M. 2008. *Nuevas Extensiones a los Operadores OWA y sus Aplicaciones en los Métodos de Decisión*, Ph.D. thesis, Universidad de Barcelona.
- Mestanza, J. and R. Muñoz. 2008. Comparativa entre distintos sistemas de mediación de calidad de servicio, *Esic market*, 130, 27–97.
- Meyr, H., M. Wagner, and J. Rohde. 2015. *Structure of advanced planning systems: Supply chain management and advanced planning*, Springer: Heidelberg, Germany.
- Miller, G. 1956. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information, *The psychological review*, 63, 81–97.
- Müller, E. 2003. *Cultura de la calidad de servicio*, Trillas: DF, Mexico.
- National-Science-Foundation. 2010. Science and Engineering Indicators, URL www.nsf.gov/statistics/seind12/.
- Oliva, E.J. 2005. Revisión del concepto de calidad del servicio y sus modelos de medición, *Innovar: Madrid, Spain*, 15.
- Oliver, R.L. 2014. *Satisfaction: A behavioral perspective on the consumer*, Routledge: London, UK.
- Olsen, S.O. 2002. Comparative evaluation and the relationship between quality, satisfaction, and repurchase loyalty, *Journal of the Academy of Marketing Science*, 30(3), 240–249.
- Oprićovic, S. and G.H. Tzeng. 2004. The compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455.
- Orlovsky, S.A. 1978. Decision-making with a fuzzy preference relation, *Fuzzy sets and systems*, 1(3), 155–167.
- Parasuraman, A., V.A. Zeithaml, and L. Berry. 1985. A conceptual model of service quality and its implications for future research, *The Journal of Marketing*, 49(4), 41–50.
- Parasuraman, A., V.A. Zeithaml, and L. Berry. 1988. Servqual, *Journal of Retailing*, 64(1), 12–40.

- Parasuraman, A., V.A. Zeithaml, and L. Berry. 1994a. Alternative scales for measuring service quality: A comparative assessment based on psychometric and diagnostic criteria, *Journal of Retailing*, 70(3), 201–230.
- Parasuraman, A., V.A. Zeithaml, and L. Berry. 1994b. Reassessment of expectations as a comparison standard in measuring service quality: Implications for further research, *The Journal of Marketing*, 58(1), 111–124.
- Parasuraman, A., V.A. Zeithaml, and A. Malhotra. 2005. ES-QUAL a multiple-item scale for assessing electronic service quality, *Journal of Service Research*, 7(3), 213–233.
- Pareto, V. 1906. *Manuale di economia politica*, vol. 13, Societa Editrice: Roma, Italy.
- Payne, A. 1993. *Mercadotecnia de servicios*, Pearson: Buenos Aires, Argentina, 2.
- Pedrycz, W., P. Ekel, and R. Parreiras. 2011. *Fuzzy Multicriteria Decision-Making: Models, Methods and Applications*, John Wiley & Sons: Somerset, NJ.
- Peláez, J.I. and J.M. Doña. 2003. Lama: A linguistic aggregation of majority additive operator, *International Journal of Intelligent Systems*, 18(7), 809–820.
- Philip, G. and S.A. Hazlett. 1997. The measurement of service quality: A new PCP attributes model, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 14(3), 260–286.
- Pérez, I.J., F.J. Cabrerizo, and E. Herrera-Viedma. 2011. Group decision making problems in a linguistic and dynamic context, *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1675–1688.
- Ramonet, I. 2015. *La explosión del periodismo: de los medios de masas a la masa de medios*, Editorial Universitaria: Madrid, Spain.
- Rodríguez, R.M., L. Martínez, and F. Herrera. 2012. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 20(1), 109–119.
- Rodriguez, R. 2008. *Sistema de Apoyo al Consenso en TDG en Contextos Heterogéneos*, Ph.D. thesis, Universidad de Jaen.
- Romaní, J.C. 2009. El concepto de Tecnologías de la Información. Benchmarking sobre las definiciones de las TIC en la Sociedad del Conocimiento, *Zer: País Vasco, Spain*, 14(27).
- Ríos, S., C. Bielza, and A. Mateos. 2002. *Fundamentos de los Sistemas de Ayuda a la Decisión*, Ra-Ma S.A.:Madrid, Spain.
- Ross, T.J. 2009. *Fuzzy logic with engineering applications*, John Wiley & Sons: Somerset, NJ.
- Roubens, M. 1989. Some properties of choice functions based on valued binary relations, *European Journal of Operational Research*, 40(3), 309–321.
- Roy, B. 2013. *Multicriteria methodology for decision aiding*, vol. 12, John Wiley & Sons: Somerset, NJ.
- Ruíz, M. and F. Palacío. 2011. Variables cognitivas y psicología del consumidor. El modelo de la confirmación de expectativas en la actualidad, *Boletín de Psicología*, 103, 61–73.
- Saaty, T.L. 1980. *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill: New York, NY.
- Saaty, T.L. 2001. Decision making with dependence and feedback: The analytic network process., *RWS Publications*, 7, 557–570.

- Saaty, T.L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process, *International journal of services sciences*, 1(1), 83–98.
- Saaty, T.L. and M.S. Ozdemir. 2003. Why the magic number seven plus or minus two, *Mathematical and Computer Modelling*, 38(3), 233–244.
- Saaty, T.L. and K. Peniwati. 2013. *Group decision making: drawing out and reconciling differences*, RWS Publications: Pittsburgh, PA.
- Saint, S. and J.R. Lawson. 1994. *Rules for reaching consensus: A modern approach to decision making*, Pfeiffer San Diego, CA.
- Salminen, P., J. Hokkanen, and R. Lahdelma. 1998. Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems, *European Journal of Operational Research*, 104(3), 485–496.
- Sánchez-Pinilla, M.D. 2003. Las Tecnologías de la Información y la Comunicación: Sus opciones, sus limitaciones y sus efectos en la enseñanza, *Nómadas: Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, 8(1), 1–20.
- Szmidt, E. and J. Kacprzyk. 2003. A consensus-reaching process under intuitionistic fuzzy preference relations, *International Journal of Intelligent Systems*, 18(7), 837–852.
- Tanino, T. 1984. Fuzzy preference orderings in group decision making, *Fuzzy sets and systems*, 12(2), 117–131.
- Tanino, T. 1990. On group decision making under fuzzy preferences, in *Multiperson Decision Making Models using Fuzzy Sets and Possibility Theory*, Springer, 172–185.
- Teas, R.K. 1993. Expectations, performance evaluation, and consumers' perceptions of quality, *The journal of marketing*, 18–34.
- Thibaut, J.W. and H.H. Kelley. 1959. *The social psychology of groups.*, John Wiley: New York, NY.
- Tzeng, G.H. and J.J. Huang. 2011. *Multiple attribute decision making: Methods and applications*, CRC Press.
- Umamo, M., I. Hatono, and H. Tamura. 1998. Linguistic labels for expressing fuzzy preference relations in fuzzy group decision making, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 28(2), 205–218.
- Velázquez, B.M., G.B. Contrí, and I.G. Saura. 2001. La importancia de la performance y las expectativas en la formación de la satisfacción del consumidor, *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la empresa*, 7(3), 155–172.
- Von Neumann, J. and O. Morgenstern. 2007. *Theory of Games and Economic Behavior (60th Anniversary Commemorative Edition)*, Princeton University Press: Princeton, NJ.
- Wang, R. and S. Chuu. 2004. Group decision-making using a fuzzy linguistic approach for evaluating the flexibility in a manufacturing system, *European Journal of Operational Research*, 154(3), 563–572.
- Wang, S.Y. 2008. Applying 2-tuple multigranularity linguistic variables to determine the supply performance in dynamic environment based on product-oriented strategy, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 16(1), 29–39.
- Wei, G. and X. Zhao. 2012. Some dependent aggregation operators with 2-tuple linguistic information and their application to multiple attribute group decision making, *Expert Systems with Applications*, 39(5), 5881–5886.

- Wei, G.W. 2010. A method for multiple attribute group decision making based on the et-wg and et-owg operators with 2-tuple linguistic information, *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7895–7900.
- Winter, S. and S. Sundqvist. 2009. Imc strategies in new high technology product launches, *Marketing Intelligence & Planning*, 27(2), 191–215.
- Wu, D. and J.M. Mendel. 2007. Aggregation using the linguistic weighted average and interval type-2 fuzzy sets, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(6), 1145–1161.
- Xu, Z. 2004a. Eowa and eowg operators for aggregating linguistic labels based on linguistic preference relations, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 12(06), 791–810.
- Xu, Z. 2004b. Goal programming models for obtaining the priority vector of incomplete fuzzy preference relation, *International journal of approximate reasoning*, 36(3), 261–270.
- Xu, Z. 2006. On generalized induced linguistic aggregation operators, *International journal of general systems*, 35(1), 17–28.
- Xu, Z. 2007a. An interactive procedure for linguistic multiple attribute decision making with incomplete weight information, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 6(1), 17–27.
- Xu, Z. 2007b. A method for multiple attribute decision making with incomplete weight information in linguistic setting, *Knowledge-Based Systems*, 20(8), 719–725.
- Xu, Z. 2008. Group decision making based on multiple types of linguistic preference relations, *Information Sciences*, 178(2), 452–467.
- Xu, Z. and X. Cai. 2013. On consensus of group decision making with interval utility values and interval preference orderings, *Group Decision and Negotiation*, 22(6), 997–1019.
- Yager, R.R. 1983. Quantifiers in the formulation of multiple objective decision functions, *Information Sciences*, 31(2), 107–139.
- Yager, R.R. 1988. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 18(1), 183–190.
- Yager, R.R. 1991. Connectives and quantifiers in fuzzy sets, *Fuzzy sets and systems*, 40(1), 39–75.
- Yager, R.R. 1993. Families of owa operators, *Fuzzy sets and systems*, 59(2), 125–148.
- Yager, R.R. 1994a. Interpreting linguistically quantified propositions, *International Journal of Intelligent Systems*, 9(6), 541–569.
- Yager, R.R. 1994b. On weighted median aggregation, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2(01), 101–113.
- Yager, R.R. 1996. Quantifier guided aggregation using owa operators, *International Journal of Intelligent Systems*, 11(1), 49–73.
- Yager, R.R. 2004. On the retranslation process in Zadeh's paradigm of computing with words, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 34(2), 1184–1195.
- Yang, W. and Z. Chen. 2012. New aggregation operators based on the choquet integral and 2-tuple linguistic information, *Expert Systems with Applications*, 39(3), 2662–2668.
- Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy sets, *Information and control*, 8(3), 338–353.

- Zadeh, L.A. 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning: Part III, *Information sciences*, 9(1), 43–80.
- Zadeh, L.A. 1983. A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages, *Computers & Mathematics with Applications*, 9(1), 149–184.
- Zadeh, L.A. 1997. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic, *Fuzzy sets and systems*, 90(2), 111–127.
- Zarghami, M. and F. Szidarovszky. 2009. Revising the owa operator for multi criteria decision making problems under uncertainty, *European Journal of Operational Research*, 198(1), 259–265.
- Zhang, H. 2012. The multiattribute group decision making method based on aggregation operators with interval-valued 2-tuple linguistic information, *Mathematical and Computer Modelling*, 56(1), 27–35.
- Zhang, Q., J.C. Chen, and P. Chong. 2004. Decision consolidation: criteria weight determination using multiple preference formats, *Decision Support Systems*, 38(2), 247–258.
- Zhang, Y. and Z.P. Fan. 2006. An approach to linguistic multiple attribute decision-making with linguistic information based on elowa operator, *Systems Engineer*, 24(12), 98–101.
- Zhou, S.M., R.I. John, F. Chiclana, and J.M. Garibaldi. 2010. On aggregating uncertain information by type-2 owa operators for soft decision making, *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6), 540–558.
- Zimmermann, H.J. 1987. Operators and membership functions in decision models, in *Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems*, Springer, 193–233.
- Zimmermann, H.J. 2001. *Fuzzy set theory-and its applications*, Springer: Berlin, Germany.
- Zopounidis, C. and M. Doumpos. 2002. Multicriteria classification and sorting methods: A literature review, *European Journal of Operational Research*, 138(2), 229–246.