

Santiago Zapata Cáceres

*Departamento de Informática y
Computación, Facultad de Ingeniería*
Universidad Tecnológica de Chile
szapata@utem.cl

David Fuentealba Orellana

*Departamento de Informática y
Computación, Facultad de Ingeniería*
Universidad Tecnológica de Chile
david.fuentealba.info@gmail.com

Gaspar Valenzuela González

*Departamento de Informática y
Computación, Facultad de Ingeniería*
Universidad Tecnológica de Chile
gaspar.valenzuela.g.@gmail.com

APLICACIÓN DEL MODELO DE REPRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN LINGÜÍSTICA 2-TUPLAS CON INFORMACIÓN MULTIGRANULAR

RESUMEN

Se describe la Teoría de la Toma de Decisiones, las etapas que contempla el desarrollo de ésta, las dificultades que se presentan al agregar información lingüística multigranular, información numérica y lingüística. A su vez, se explica cómo debe adaptarse el modelo para evitar las pérdidas de información durante las combinatorias que se realizaran en el proceso de agregación. Una vez contextualizado el trasfondo, se desarrolla un ejemplo con el cual se explica la aplicación de la teoría a un caso organizacional. Dicho caso consiste en la adecuación de la instalación de un ERP (Enterprise Resource Planning) en una empresa, en donde deberán tomarse en cuenta las limitaciones, y con base en éstas, considerar la posterior generación de factores que permitirán dilucidar una solución.

Palabras clave: **toma de decisión, multicriterio, dinámico, información heterogénea, 2-tupla lingüística**

ABSTRACT

Theory Decision Making describes the steps that includes the development of this, the difficulties presented by adding multigranular linguistic information, numerical and linguistic information. In turn, explain how to adapt the model to avoid loss of information during the combinatorial to be undertaken in the aggregation process. Once contextualized the background, an example to which the application of theory to explain organizational case develops. This case is the adequacy of the installation of an ERP (Enterprise Resource Planning) in a company, where shall take into account the limitations, and based on these, the generation of factors that will figure out a solution.

Keywords: **Decision making, multicriteria dynamic heterogeneous information, 2-tuple linguistic**

INTRODUCCIÓN

La evaluación es uno de los procesos más importantes en la industria, con multitud de disciplinas tales como: la evaluación de calidad, la evaluación de desempeño, etc. En todo proceso de evaluación, se realiza un análisis de las características o indicadores del elemento que es objeto de evaluación. Este análisis es similar al que se realiza en los problemas de toma de decisiones, en los que antes de tomar una decisión se lleva a cabo un proceso de análisis que permite privilegiar la coherencia. Además de esto, dicho análisis implica un estudio metódico y analítico, que ayuda a analizar las alternativas e indicadores del elemento que se está estudiando.

En esta investigación centramos nuestro interés en el modelo de representación de información lingüística basado en una representación de 2-tuplas [1], que se crea con la finalidad de mejorar la toma de decisiones en problemas en los que se trabaja con información lingüística, debido a que los modelos más usados en la literatura (Modelo Basado en el Principio de Extensión [2] y Modelo Simbólico [3]) poseen aproximaciones y cálculos que generan “perdida de información” con resultados imprecisos y poco exactos al enfrentar un problema de toma de decisiones, a diferencia del modelo que proponemos, que incluye variables lingüísticas, además de permitir trabajar con información de distinta naturaleza, es decir, lingüística, numérica e intervalar.

Los resultados de esta investigación permitirán obtener resultados más adecuados y ajustados a la realidad, siendo esto un beneficio en el área de la toma de decisiones, actividad habitual en el mundo real y fundamental en multitud de campos, como la ingeniería, la economía, las finanzas o la evaluación.

La toma de decisiones es una actividad que se desarrolla y se trabaja a diario en la vida cotidiana, es por esto que el desarrollo de esta investigación permitirá resolver problemas prácticos en las distintas áreas del conocimiento.

La información obtenida servirá para comentar y apoyar la teoría de la toma de decisiones, y permitirá la relación entre diversas variables de distinta naturaleza, como se mencionó anteriormente, ofreciendo la posibilidad de una exploración y explicación fructífera de la toma de decisiones.

A través de este estudio, se demuestra que se puede desarrollar un mayor número de operadores sobre el modelo de representación con 2-tuplas para poder reflejar cualquier comportamiento de una situación de un problema real y, además, completar la integración de cualquier tipo de información mediante 2-tuplas lingüísticas.

TOMA DE DECISIONES Y EVALUACIÓN

En un sentido amplio, tomar una decisión consiste en elegir la mejor opción o alternativa entre un conjunto de opciones o alternativas posibles. Los problemas de toma de decisión presentan los siguientes elementos básicos [9]:

1. Uno o varios objetivos por alcanzar.
2. Un conjunto de alternativas o decisiones posibles para alcanzar dichos objetivos.
3. Un conjunto de factores o estados de la naturaleza que definen el contexto en el que se plantea el problema de decisión.
4. Un conjunto de valores de utilidad o consecuencias asociados a los pares formados por cada alternativa y estado de la naturaleza.

Dependiendo de las características de los elementos del problema de decisión, estos podrían clasificarse atendiendo a distintos puntos de vista. Por otro lado, el tipo de información que

define el marco del problema y su modelado influirán también en el modelo de resolución del problema de decisión. Se revisará el modelado de preferencias debido a su papel principal en los procesos de toma de decisión, pues este define cómo se expresan el conocimiento, los gustos, las afinidades, etc., que forman parte del problema de toma de decisión.

CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE TOMA DE DECISIONES

Frente a la gran variedad de situaciones o problemas de decisión que se pueden presentar en la vida real, la teoría de la decisión [10, 11] ha establecido una serie de criterios que permiten clasificar los problemas de decisión atendiendo a diferentes puntos de vista:

1. Según el número de criterios o atributos que se han de valorar en la toma de decisión.
2. Según el ambiente de decisión en el que se han de tomar las decisiones.
3. Según el número de expertos que participan en el proceso de decisión.

NÚMERO DE CRITERIOS

El número de criterios o atributos que se tienen en cuenta en los procesos de decisión para obtener la solución permite clasificar a los problemas de decisión en dos tipos:

Problemas con un sólo criterio o atributo. Problemas de decisión en los que, para evaluar las alternativas, se tiene en cuenta un único criterio o atributo que representa la valoración dada a esa alternativa. La solución se obtiene como la alternativa que mejor resuelve el problema teniendo en cuenta este único criterio.

Supongamos un problema de decisión en el que nos planteamos cambiar de auto y nos ofrecen tres posibles alternativas, siendo el criterio de optimización de la decisión el precio. Este

problema de decisión será muy simple de resolver, puesto que previsiblemente se escogerá la alternativa con el menor precio.

En los problemas de decisión de un único criterio, cada alternativa es caracterizada por un único valor. Sea el conjunto de alternativas del problema, una forma de representación de la información del problema se muestra en la Tabla 1:

Alternativas	Valoración
x_1	y_1
...	...
x_n	y_n

TABLA 1. ESQUEMA GENERAL DE UN PROBLEMA DE TOMA DE DECISIÓN CON UN ÚNICO CRITERIO.

Cada entrada y_i de la tabla indica la valoración de la alternativa x_i . Según el marco de definición del problema, cada y_i estará valorada en un dominio de expresión determinado (numérico, lingüístico, etc.).

Problemas multi-criterio o multi-atributo:

Problemas de decisión en los que, para evaluar las alternativas, se tienen en cuenta dos o más criterios o atributos que definen cada alternativa. La alternativa solución será aquella que mejor resuelva el problema considerando todos estos criterios o atributos.

Supongamos el problema presentado anteriormente. Este se complicaría y el proceso para resolverlo sería diferente si, además de considerar el precio, también tuviésemos en cuenta otros criterios o atributos como el diseño y el consumo del auto. En este caso, nos enfrentaríamos a un problema en el que se consideran varios criterios o atributos para tomar una decisión y, por lo tanto, hablamos de un problema de decisión multi-criterio o multi-atributo.

Se asume que el número de criterios en un problema de decisión multi-criterio es finito. Sean $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ y $C=\{c_1, c_2, \dots, c_h\}$ el conjunto de alternativas y el conjunto de criterios, respectivamente, que caracterizan una situación de decisión determinada, entonces una representación de la información del problema podría expresarse mediante la Tabla 2:

Alternativas	Criterios			
(x_i)	C_1	C_2	C_3	C_4
(x_1)	y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{14}
...
(x_n)	y_{n1}	y_{n2}	...	y_{nh}

TABLA 4.2. ESQUEMA GENERAL DE UN PROBLEMA DE TOMA DE DECISIÓN MULTI-CRITERIO. CADA ENTRADA y_{ij} INDICA LA PREFERENCIA DE LA ALTERNATIVA, x_i RESPECTO DEL CRITERIO, C_j .

AMBIENTE DE DECISIÓN

El ambiente de decisión viene definido por las características y contexto en el que se va a llevar a cabo la toma de decisiones. La Teoría Clásica de la Decisión distingue tres situaciones o ambientes de decisión [10]:

- 1. Ambiente de certidumbre.** Un problema de decisión está definido en un ambiente de certidumbre cuando son conocidos con exactitud todos los elementos y/o factores que intervienen en el problema. Esta situación permite asignar valores precisos de utilidad a cada una de las alternativas presentes en el problema.
- 2. Ambiente de riesgo.** Un problema de decisión está definido en un ambiente de riesgo cuando alguno de los elementos o factores que intervienen está sujeto a las leyes del azar. En estos casos estos problemas son resueltos utilizando la Teoría de la Probabilidad.
- 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. Los métodos clásicos no son adecuados para tratar situaciones en los que la incertidumbre se debe a la aparición de información vaga e imprecisa, como por ejemplo, la que puede surgir al intentar valorar fenómenos relacionados con apreciaciones sensoriales y subjetivas de los expertos.

NÚMERO DE EXPERTOS

Finalmente, otro punto de vista a la hora de clasificar los problemas de decisión hace referencia al número de expertos o fuentes de información que toman parte en el proceso. Un proceso de toma de decisión en el que participan varios expertos es más complejo que otro en el que la toma de decisión se realiza de forma individual. Sin embargo, el hecho de que intervengan varios expertos con puntos de vista diferentes puede ofrecer una solución más satisfactoria al problema.

Atendiendo al número de expertos o fuentes de información que toman parte en la toma de decisión, los problemas de decisión se pueden clasificar en dos tipos:

- 1. Unipersonales o individuales.** Las decisiones son tomadas por un sólo experto.
- 2. En grupo o multi-experto.** Las decisiones son tomadas en conjunto por un grupo de expertos que intentan alcanzar una solución en común al problema.

MODELO DE REPRESENTACIÓN LINGÜÍSTICA BASADO EN 2-TUPLAS

El Modelo de Representación Lingüístico basado en 2-tuplas fue presentado en [1] para mejorar los problemas de pérdida de información en los procesos de computación con palabras de los siguientes modelos:

- **Modelo basado en el Principio de Extensión [2]**
- **Modelo simbólico [3]**

Se ha demostrado que es un modelo útil en el tratamiento de contextos de información no homogéneos [4, 25], puesto que permite mejorar su comprensión y su manipulación matemática con el objetivo de facilitar el proceso de ordenación. Para explicar este modelo de representación de información lingüística basado en 2-tuplas, se debe definir el concepto de "Traslación Simbólica", para representar la información lingüística mediante 2-tuplas.

MODELO COMPUTACIONAL LINGÜÍSTICO PARA LA REPRESENTACIÓN CON 2-TUPLAS

A continuación, se presentan un conjunto de operadores sobre este modelo para las siguientes operaciones:

COMPARACIÓN DE 2-TUPLAS

Sean (s_k, a_1) y (s_l, a_2) dos 2-tuplas, cada una representando una cantidad de información, entonces:

- Si $k < l$ entonces (s_k, a_1) es menor que (s_l, a_2)
- Si $k = l$ puede ocurrir que:
 1. Si $a_1 = a_2$ entonces (s_k, a_1) , (s_l, a_2) representan la misma información
 2. Si $a_1 < a_2$ entonces (s_k, a_1) es menor que (s_l, a_2)
 3. Si $a_1 > a_2$ entonces (s_k, a_1) es mayor que (s_l, a_2)

AGREGACIÓN DE 2-TUPLAS

La agregación consiste en obtener un valor colectivo que exprese la información de un conjunto de valores marginales. El resultado de una operación de agregación debe de ser consistente con la representación de los valores de entrada, por tanto el resultado de la agregación de 2-tuplas debe ser una 2-tupla.

Posteriormente, se presentan un conjunto de operadores de agregación sobre 2-tuplas, algunos basados en operadores de agregación numéricos y otros en operadores de agregación simbólicos.

OPERADOR DE NEGACIÓN DE UNA 2-TUPLA

Se define el operador de negación sobre una 2-tupla lingüística como:

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

Siendo $g + 1$ la cardinalidad de S , $S = \{s_0, \dots, s_g\}$.

PROCESO TDME USANDO EL MODELO BASADO EN 2-TUPLAS LINGÜÍSTICAS

En primer lugar, se deben obtener los valores de preferencia colectiva para cada alternativa mediante un proceso de agregación. Luego, se debe transformar los valores de preferencia de cada experto a 2-tuplas:

expertos	operadores	alternativas			
	y_{ij}	x_1	x_2	x_3	x_4
	p_1	(MB,o)	(M,o)	(M,o)	(B,o)
	p_2	(M,o)	(B,o)	(MB,o)	(A,o)
	p_3	(A,o)	(MB,o)	(M,o)	(M,o)
	p_4	(A,o)	(A,o)	(B,o)	(B,o)

TABLA 5.3. EXPERTOS VS ALTERNATIVAS EN 2-TUPLAS.

Con toda la información expresada con 2-tuplas, ésta se agrega para obtener el vector de valores de preferencia colectiva. Para llevar a cabo este proceso de agregación, en este caso se utilizará el operador media aritmética extendida (se considerará que todos los expertos tienen la misma importancia):

$$\begin{aligned} \bar{x}^e(MB, M, A, A) &= (M, 0) \\ \bar{x}^e(M, B, MB, A) &= (M, -.5) \\ \bar{x}^e(M, MB, M, B) &= (L, .25) \\ \bar{x}^e(B, A, M, B) &= (M, -.25). \end{aligned}$$

El vector de preferencia colectiva obtenido es:

$$\left(\begin{array}{cccc} x1 & x2 & x3 & x4 \\ ((M, 0) & (M, -.5) & (L, .25) & (M, -.25)) \end{array} \right)$$

ANÁLISIS COMPARATIVO

Se ha resuelto el mismo problema de decisión usando tres modelos computacionales distintos, obteniendo los siguientes resultados:

	Grado de dominancia				Conj. solución
	x_1	x_2	x_3	x_4	
Método basado en el P.E	M	M	B	M	$\{x_1, x_2, x_4\}$
Método Simbólico	M	M	B	M	$\{x_1, x_2, x_4\}$
Representación 2 - tuplas	(M,o)	(M, -.5)	(B, -.25)	(M, -.25)	$\{x_1\}$

TABLA 5.4. RESULTADOS CON LOS TRES MÉTODOS.

Analizando la tabla, se puede observar que los resultados del enfoque de representación con 2-tuplas varían con respecto a los dos anteriores, siendo este mucho más preciso. Esto se debe a la utilización como operador de la media aritmética extendida, que entrega un resultado más exacto. Además, se puede observar que el resultado obtenido por medio del enfoque de representación con 2- tuplas constituye un subconjunto de los conjuntos solución obtenidos por los otros modelos operacionales. Esto se debe a que:

- En el método basado en la representación de 2-tuplas, en el vector de preferencias colectivas hay alternativas que tienen igual término lingüístico, pero distinto valor para la traslación simbólica. De esta manera se puede observar sin dificultad cuál es la mejor de las distintas alternativas.
- Los valores con los que trabajan el modelo computacional basado en la aritmética difusa y el modelo computacional simbólico son discretos. Por tanto, cuando distintas alternativas en su valor final tienen el mismo valor colectivo, resulta imposible decidir cuál de ellas es mejor sobre el resto.

PROCESO DE AGREGACIÓN DE INFORMACIÓN NUMÉRICA Y LINGÜÍSTICA BASADO EN EL MODELO DE REPRESENTACIÓN LINGÜÍSTICA CON 2-TUPLAS

De manera de prevenir los problemas, que son producto de la combinatoria de información, se realizará un proceso de agregación basado en el modelo de representación lingüístico con 2-tuplas descrito en los siguientes pasos:

1. Como primer paso, se dan a conocer las funciones de transformación entre la información numérica y lingüística (esta última en 2-tuplas), valoradas en un conjunto de etiquetas S. Luego, para garantizar que las funciones mencionadas sean biyectivas, se definirá un conjunto de condiciones.
2. Una vez definidas las funciones de transformación, se comienza el proceso de agregación, el cual se describe en el siguiente esquema:

Paso 1. Uniformar la información numérica y lingüística.

- Seleccionar el conjunto básico de términos lingüísticos (CBTL) sobre el que se unificará la información.
- Convertir los valores numéricos valorados en [0,1] en 2-tuplas lingüísticas valoradas en CBTL, ST.
- Convertir las etiquetas lingüísticas de entrada valoradas en S en 2-tuplas valoradas en ST.

Paso 2. Agregación de las 2-tuplas obtenidas en el paso anterior.

Paso 3. Vuelta Atrás.

Consiste en revertir los valores colectivos inscritos en las 2-tuplas (los cuales están valorados en el conjunto de etiquetas ST), en los dominios de expresión iniciales.

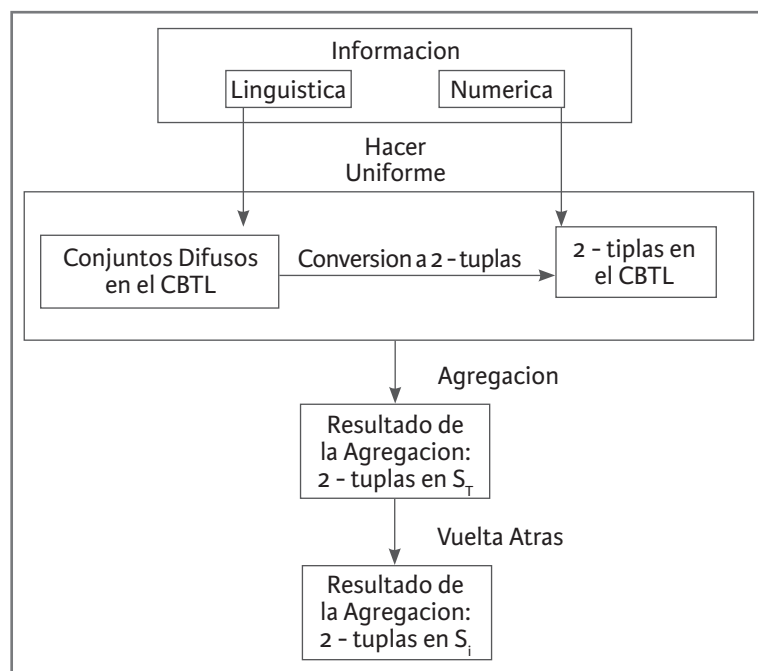


TABLA 5.4. PROCESO DE AGREGACIÓN DE INFORMACIÓN LINGÜÍSTICA Y NUMÉRICA.

ESTUDIO DE TDME SOBRE LA ADECUACIÓN DE LA INSTALACIÓN DE UN ERP

Los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP: Enterprise Resource Planning) son sistemas de gestión de información que automatizan muchas de las prácticas de negocio asociadas con los aspectos operativos o productivos de una empresa [28, 29]. El proceso de decisión sobre la conveniencia de instalar un sistema ERP en una empresa, consiste en considerar las opiniones proporcionadas por varios expertos sobre una serie de parámetros [30]. De esta forma, este problema puede ser modelado como un problema TDME.

En un problema de Toma de Decisión con Múltiples Expertos (TDME), se tiene un conjunto finito de alternativas $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ con $n \geq 2$, así como un conjunto finito de expertos $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ con $m \geq 2$ que tienen como objetivo alcanzar una solución al problema, teniendo en cuenta las opiniones de todos los expertos. Los expertos suministran, de acuerdo a su conocimiento, las preferencias para cada una de las alternativas utilizando algún modelo de representación disponible, como vectores de utilidad o relaciones de preferencia. En la mayoría de los problemas de Toma de Decisiones con múltiples fuentes de información que encontramos en la literatura, los expertos generalmente expresan sus preferencias en un único dominio de expresión, numérico, intervalar o lingüístico [18]. Así, si los atributos a valorar tienen una naturaleza cuantitativa, expresar las preferencias mediante valoraciones numéricas suele ser adecuado. Sin embargo, ocurre a veces que estas valoraciones no pueden ser expresadas de forma exacta, debido a su propia naturaleza, o bien por depender de factores desconocidos o no predecibles. En estos casos, se utiliza un modelo de preferencias de intervalos numéricos, ya que estos representan la incertidumbre asociada a

la preferencia mediante un rango de valores. Si se trabaja con atributos cualitativos, este modo de modelar las preferencias no es el más idóneo, debido a la propia naturaleza de los atributos a valorar, siendo el Enfoque Lingüístico Difuso más adecuado para estos casos, pues se adecua mejor para expresar el conocimiento sobre este tipo de atributos.

Ofrecer una mayor flexibilidad al experto que participa del problema de decisión a la hora de proveer sus preferencias, es una difícil tarea. Dependiendo del área del que proviene el experto, de su conocimiento sobre las alternativas a valorar y/o de la naturaleza de las mismas, puede expresar su conocimiento en el dominio de expresión que le resulte más cómodo para que sus valoraciones se ajusten lo máximo posible a su conocimiento real sobre las mismas.

Por lo tanto, el esquema de definición del problema es el siguiente:

Primero, se tiene un conjunto finito de alternativas:

$$X = \{x_1, \dots, x_n\} \text{ con } n \geq 2$$

Y un conjunto finito de expertos:

$$E = \{e_1, \dots, e_m\} \text{ con } m \geq 2$$

Luego, los expertos expresarán sus preferencias o bien mediante relaciones de preferencia:

$$P_{ek} = \begin{pmatrix} p_{11}^k & \dots & p_{1n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1}^k & \dots & p_{nm}^k \end{pmatrix}$$

En donde es el grado de preferencia de la alternativa i sobre la alternativa j dado por el experto k , o bien mediante vectores de utilidad:

$$P_{ek} = (p_{e_1}^k, p_{e_2}^k, \dots, p_n^k)$$

Donde P_i^k es la valoración de la alternativa i dada por el experto k .

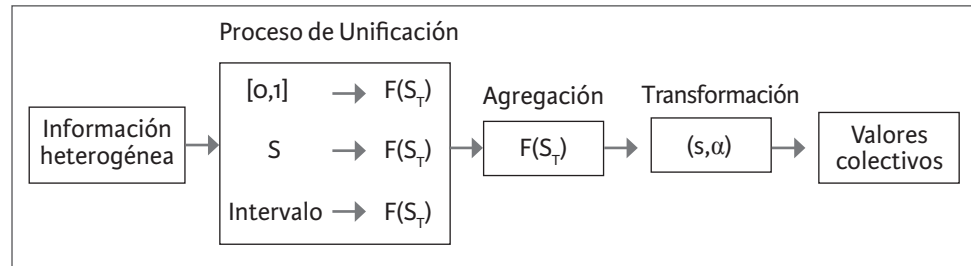


FIGURA 6.3. PROCESO DE AGREGACIÓN DE INFORMACIÓN HETEROGÉNEA.

Se utilizará un modelo de decisión para una empresa que está estudiando y considerando la posibilidad de instalar un ERP, buscando mejorar los procesos y la planificación dentro de su organización. En este caso, se tendrán en cuenta nueve parámetros de la empresa, valorados en diferentes dominios para la evaluación de la conveniencia de la instalación del sistema ERP [34]:

X_1 : Inversión en TI	Valor intervalar	Valor máximo: 6000
X_2 : Costo de implementación	Valor numérico	Valor máximo: 240000
X_3 : Urgencia de implementación	Conjunto T.L	A
X_4 : Grado de abstracción	Conjunto T.L	C
X_5 : Integración con otros subsistemas	Valor numérico	Entre [0,1]
X_6 : Grado de adaptabilidad	Conjunto T.L	C
X_7 : Cambio de requerimientos por el usuario	Conjunto T.L	B
X_8 : Disponibilidad del personal	Conjunto T.L	B
X_9 : Calidad y la visibilidad de la Información	Conjunto T.L	D

Conjunto A		Conjunto B		Conjunto C		Conjunto D	
A_0	(0, 0, .12)	B_0	(0, 0, .16)	C_0	(0, 0, .25)	D_0	(0, 0, 0, 0)
A_1	(0, .12, .15)	B_1	(0, .16, .33)	C_1	(0, .25, .5)	D_1	(0, .01, .02, .07)
A_2	(.12, .25, .37)	B_2	(.16, .33, .5)	C_2	(.25, .5, .75)	D_2	(.4, .1, .18, .23)
A_3	(.25, .37, .5)	B_3	(.33, .5, .66)	C_3	(.5, .75, 1)	D_3	(.17, .41, .58, .65)
A_4	(.37, .5, .62)	B_4	(.5, .66, .83)	C_4	(.75, 1, 1)	D_4	(.32, .42, .58, .65)
A_5	(.5, .62, .75)	B_5	(.66, .83, 1)			D_5	(.58, .63, .80, .86)
A_6	(.62, .75, .87)	B_6	(.83, 1, 1)			D_6	(.72, .78, .92, .97)
A_7	(.75, .87, 1)					D_7	(.93, .98, .99, 1)
A_8	(.87, 1, 1)					D_8	(1, 1, 1, 1)

FIGURA 6.2. SEMÁNTICA DE LOS CONJUNTOS DE TÉRMINOS LINGÜÍSTICOS.

En este caso, cuatro expertos evalúan la conveniencia del ERP proporcionando sus preferencias en los parámetros por medio de vectores de utilidad. Estas preferencias se muestran en la tabla 6.3:

	E_1	E_2	E_3	E_4
X_1	[3500, 4000]	[2000, 2500]	[3100, 3800]	[4500, 5000]
X_2	12000	18000	10000	16000
X_3	A_5	A_6	A_5	A_4
X_4	C_2	C_2	C_3	C_1
X_5	.2	.35	.75	.3
X_6	C_1	C_1	C_2	C_3
X_7	B_3	B_4	B_3	B_4
X_8	B_4	B_5	B_5	B_3
X_9	D_1	D_6	D_5	D_5

TABLA 6.3. VECTORES DE UTILIDAD DE LOS EXPERTOS.

Se puede observar que la interpretación de los parámetros evaluados es distinta, dependiendo de la semántica de cada parámetro. De este modo, X_2 , X_5 , X_6 , X_7 y X_8 son parámetros que, si tienen un valor alto, indican un grado bajo de aceptación (interpretación decreciente), mientras que el resto de los parámetros tiene una interpretación creciente, es decir: a mayor valor, mayor aceptación. Para facilitar las operaciones

de agregación, debemos homogeneizar las interpretaciones de los parámetros y tratarlas todas de forma decreciente o creciente. Para ello, transformaremos los parámetros X_2 , X_5 , X_6 , X_7 y X_8 de forma que sus valoraciones y su interpretación sean crecientes y similares al del resto de los parámetros. De esta manera, los parámetros siempre tendrán una interpretación creciente y podremos operar fácilmente sobre ellos.

En la tabla 6.4., podemos ver los vectores de utilidad proporcionados por los expertos después de normalizar la información numérica y de haber transformado los parámetros a una interpretación creciente.

	E_1	E_2	E_3	E_4
X_1	[.58, .67]	[.33, .42]	[.52, .63]	[.75, .83]
X_2	.5	.25	.58	.33
X_3	A_5	A_6	A_5	A_4
X_4	C_2	C_2	C_3	C_1
X_5	.8	.65	.25	.7
X_6	C_3	C_3	C_2	C_1
X_7	B_3	B_2	B_3	B_2
X_8	B_2	B_1	B_1	B_3
X_9	D_1	D_6	D_5	D_5

TABLA 6.4. INTERPRETACIÓN NORMALIZADA Y CRECIENTE. VECTORES DE UTILIDAD DE LOS EXPERTOS.

Aplicando el modelo de decisión presentado anteriormente, realizaremos los siguientes pasos:

1. Fase de agregación.

Esta fase tiene como objeto obtener un valor colectivo para cada una de las alternativas valoradas por los distintos expertos en los diferentes dominios (numérico, intervalar y lingüístico). Para ello, es necesario efectuar los siguientes pasos debido a que manejamos información no homogénea:

Antes de agregar la información heterogénea, necesitamos expresarla en un marco común para poder operar sobre la misma. Este proceso consiste en unificar la información de entrada (heterogénea) en un único dominio de expresión. Entre los distintos dominios que podemos seleccionar, hemos decidido unificar sobre el dominio lingüístico. Esta decisión se debe principalmente a que gracias al uso de este tipo información facilitaremos la comprensión de los resultados por parte de todos los expertos que participan en el proceso.

a) Unificación de información:

Para realizar la unificación de la información se selecciona un conjunto de etiquetas, que se denomina Conjunto Básico de Términos Lingüísticos (CBTL) y se simboliza como por ST. En este proceso de unificación cada valor de preferencia numérico, intervalar y lingüístico suministrado por un experto debe ser expresado en el CBTL. Para realizar este proceso, se propone convertir cada valor de entrada en un conjunto difuso sobre el CBTL, F (ST). Para llevar a cabo esta unificación se realizarán los siguientes pasos:

- Seleccionar el CBTL. En este caso, se escogerá como ST un conjunto de términos distribuido simétricamente y de forma uniforme con 15 etiquetas [4].
- Transformar los valores numéricos del intervalo $[0; 1]$ al F (ST).
- Transformar los intervalos al F (ST).
- Transformar los términos lingüísticos al F (ST).

b) Agregación de los vectores de utilidad individuales:

Una vez unificada la información mediante F (ST), se pretende obtener para cada alternativa un valor colectivo. Para ello, agregaremos los conjuntos difusos valorados en el CBTL que representan la valoración individual que cada experto ha asignado a esa alternativa, por medio de un operador de agregación. Por lo tanto, cada valor de preferencia colectiva será un conjunto difuso en el dominio lingüístico CBTL. En un proceso de decisión durante la fase de explotación, las preferencias colectivas serán ordenadas para construir una solución. Para facilitar este proceso de ordenación, transformaremos estos conjuntos difusos colectivos en 2-tuplas lingüísticas que se han demostrado útiles para esta fase de la decisión.

En este caso, se utilizará como operador de agregación la media aritmética, pero es posible usar otros operadores, dependiendo de si es que se consideran todos los parámetros como igualmente importantes. En la Tabla 6.9 se muestra el resultado del proceso de agregación:

conjunto difuso valorado en el CBTL, se transformará en una 2-tupla lingüística valorada en el CBTL para facilitar procesos de ordenación de las alternativas en función de dicha valoración, y construir la solución del problema de forma fácil y directa.

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
$(s_8, 0)$	$(s_6, -.2)$	$(s_9, -.2)$	$(s_7, -.1)$	$(s_9, -.3)$	$(s_8, -.2)$	$(s_6, -.2)$	$(s_4, -.1)$	$(s_{11}, 0)$

TABLA 6.9. VECTOR DE UTILIDAD COLECTIVO EXPRESADO POR MEDIO DE UNA 2-TUPLA LINGÜÍSTICA.

2. Fase de explotación.

En la fase de explotación, una vez que se tienen los valores de preferencias colectivas de cada una de las alternativas, podemos obtener la mejor alternativa o el mejor conjunto de alternativas. Se busca obtener una valoración global de todas las alternativas, lo que proporcionará un grado de adecuación. Este grado de adecuación se compara con los valores de una tabla de recomendación (Tabla 6.11). Esta tabla de recomendación ha sido obtenida de forma experimental y expresa una recomendación a partir del grado de adecuación obtenido en

X_1	(0, 0, 0, 0, .10, .25, .21, .39, .5, .32, .10, .25, .17, 0, 0)
X_2	(0, 0, 0, .14, .21, .14, 0, .25, .21, .03, 0, 0, 0, 0, 0)
X_3	(0, 0, 0, 0, 0, .07, .16, .43, .54, .62, .47, .31, .11, .02, 0)
X_4	(.05, .16, .17, .28, .38, .44, .49, .60, .49, .44, .38, .28, .17, .11, .05)
X_5	(0, 0, 0, 0, .14, .10, 0, 0, 0, .25, .25, .17, .07, 0, 0)
X_6	(.05, .16, .17, .25, .30, .30, .30, .40, .41, .46, .52, .48, .34, .22, .10)
X_7	(0, 0, .12, .27, .47, .64, .64, .64, .34, .19, .04, 0, 0, 0, 0)
X_8	(.15, .48, .53, .51, .46, .4, .32, .32, .17, .09, .02, 0, 0, 0, 0)
X_9	(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .25, .5, .58, .69, .55, .41, .3)

TABLA 6.8. INFORMACIÓN AGREGADA.

c) Transformar el vector de utilidad colectivo a 2-tupla:

El valor colectivo obtenido para cada una de las alternativas, expresado por medio de un

esta fase. Se utilizará como operador la media aritmética para 2-tuplas [1], suponiendo de esta forma que todas las alternativas son igualmente importantes en la instalación del sistema ERP.

Grado de adecuación	Recomendación
$\leq s_4$	No instalar
$> s_4 \text{ y } \leq s_6$	La instalación no es conveniente
$> s_6 \text{ y } \leq s_9$	La instalación es factible
$> s_9 \text{ y } \leq s_{11}$	La instalación es conveniente
$> s_{11}$	La instalación es muy conveniente

TABLA 6.10. EJEMPLO DE TABLA DE RECOMENDACIÓN.

Por lo tanto, si consultamos Tabla 6.10 para ese grado de adecuación, la instalación del ERP es factible, pero es posible inferir que no es totalmente conveniente.

CONCLUSIONES

Al tratarse de un contexto de una situación aplicable al modelo de la Toma de Decisiones, podemos concluir que las 2 fases fundamentales que procesan la información, y que por ende determinaran la resolución de los problemas, son: el proceso de agregación y el proceso de explotación. A lo largo de la investigación, hemos comprobado que la pérdida de información, la operatividad de la información lingüística multigranular y el manejo de los pares de información numérica y lingüística son aspectos clásicos de los modelos comúnmente utilizados para resolver problemas de esta índole.

En esta investigación hemos presentado el estudio de la conveniencia de la implementación de un ERP en una empresa u organización, cuyo proceso evalúa varios parámetros de las condiciones actuales de la empresa, de acuerdo a las opiniones de los expertos. Estos parámetros se evalúan en diferentes dominios de información y combinan la información heterogénea proporcionada por los expertos para la obtención de una medición general de la conveniencia o idoneidad de la instalación del sistema ERP. Este proceso proporciona una

mayor flexibilidad que otros, que obligan a los expertos a ofrecer sus opiniones en un dominio de expresión único.

En la actualidad las tecnologías de información juegan un papel muy importante en las estrategias de negocios, ya que están cambiando la forma en que las empresas realizan sus procesos. Los sistemas de información, permiten a las compañías lograr ventajas competitivas de diferentes maneras: coordinando actividades de valor en localidades que se encuentran alejadas de centros urbanos, o también mediante la creación de nuevas interrelaciones entre los negocios, ampliando el alcance de las industrias. Asimismo, le sirve a las empresas para soportar sus estrategias competitivas, ya sea para ir un paso adelante de la competencia o reducir las ventajas que la misma pueda presentar.

El ERP es un sistema integral de gestión empresarial que está diseñado para modelar y automatizar la mayoría de procesos en la empresa (área de finanzas, comercial, logística, producción, etc.). Su misión es facilitar la planificación de todos los recursos de la empresa. Una empresa que no cuente con un sistema ERP, en función de sus requisitos, puede encontrarse con muchas aplicaciones de software cerradas, que no se pueden adaptar a su negocio. Un sistema ERP ofrece diseño de ingeniería para mejorar el producto, seguimiento del cliente desde la aceptación hasta la satisfacción completa, una compleja administración de interdepen-

dencias de los recibos de materiales, de los productos estructurados en el mundo real, de los cambios de la ingeniería y de la revisión y la mejora, la necesidad de elaborar materiales sustitutos, etc.

La seguridad está incluida dentro del ERP para proteger a la empresa u organización en contra de los piratas informáticos, tal como el espionaje industrial y la malversación de cuentas. Una falsificación en el escenario de los datos puede alterar el recibo de materiales, como por ejemplo: calibración de controles relacionados con parámetros de seguridad de la aplicación, password, user id, intentos fallidos y autenticación, entre otros.

Hay conceptos de planificación y ventas (los que incluyen CRM o la relación administrativa con los consumidores, back end o el trabajo interno de la compañía para gestionar y satisfacer las necesidades de los consumidores) que incluye control de calidad en los productos finales y cadena de abastecimiento (interacción con los proveedores y la infraestructura). Todo esto puede ser integrado a través de la ERP.

La resolución de problemas a través del modelado lingüístico de preferencias, el cual se aplica a diversas áreas, destacándose en este trabajo el área de la toma de decisiones, se compone principalmente de dos fases:

- Proceso de Agregación
- Proceso de Explotación

Estos procesos se encargan de manejar las valoraciones lingüísticas mediante modelos computacionales que representan la información, utilizando aproximaciones tales como El Modelo basado en el Principio de Extensión y El Modelo Simbólico para enfrentar los siguientes problemas:

- La pérdida de información.
- Dificultad para operar en contextos con in-

formación lingüística multigranular.

- Dificultad para operar en contextos con información lingüística y numérica.

Tomando en cuenta estas limitaciones, los resultados de esta investigación pueden resumirse de la siguiente forma: el Modelo de Representación de Información Lingüística con 2-tuplas efectivamente sí soluciona el problema de pérdida de información, destacándose las siguientes cualidades:

- Es un modelo de representación continuo, es decir, puede representar cualquier información de un contexto en discusión (en este caso un contexto organizacional), haciendo uso de las 2-tuplas lingüísticas.

- Incorpora un modelo computacional que permite operar con 2-tuplas lingüísticas, superando la problemática de la pérdida de información. El problema de agregar información lingüística valorada en conjuntos de términos lingüísticos con distinta granularidad representa una problemática desde el punto de vista de las herramientas disponibles para normalizar esta información, y de operadores de agregación sobre esta. El Modelo de Representación de Información Lingüística con 2-tuplas, con información multigranular, realiza su aporte con las siguientes cualidades:

- Posee funciones que permiten normalizar la información lingüística multigranular en un único conjunto de términos lingüísticos.
- Se enmarca en un proceso de agregación sobre la información expresada de forma uniforme (bajo un dominio único).

Con estas herramientas, la agregación de información lingüística multigranular resulta ser un proceso menos complejo.

El Modelo de Representación de Información Lingüística con 2-tuplas aporta:

- Funciones de transformación biyectivas entre valores numéricos y 2-tuplas lingüísticas.
- Un proceso de agregación sobre la información de entrada una vez que ha sido transformada. Finalmente, se ha corroborado que la operación de información lingüística y numérica es posible operarse con un menor grado de dificultad. Esto se debe a que si la información se encuentra normalizada (en un único dominio), resulta ser más manipulable, otorgando una mayor facilidad.

En este trabajo se planteó un caso organizacional sujeto a una evaluación, desde el punto de vista de las variantes que actúan sobre el problema en una empresa determinada. El rol de la toma de decisiones en este caso consistiría en procesar la información pertinente a cada área de trabajo, y clasificarla de la misma manera que los expertos (encargados de áreas) vislumbren la situación.

Teniendo en cuenta esto, y que además los datos obtenidos no se encontrarán expresados de manera uniforme, se procede a acudir a un lenguaje natural que exprese las valoraciones de los ejecutivos respecto a los eventos en discusión. En este punto surgen las variantes de los pesos que se encuentran adheridos a cada variable, las repercusiones en otras áreas y las pérdidas a largo y corto plazo, que en conjunto desarrollan la granularidad de la situación.

TRABAJOS FUTUROS

Luego de describir los ámbitos que abarca la Teoría de Toma de Decisiones, y teniendo en cuenta que existe un software capaz de asistir a la mayoría de los usuarios promedio y permitirles tratar situaciones de esta índole, se puede asegurar su aplicación en las áreas tales como:

- Deportes. Con base en los antecedentes de [41], teniendo en cuenta los conocimientos

específicos en algún deporte, además de las percepciones cognitivas (atención, memoria y anticipación), emocionales (interpretación, confianza, entre otras), y la táctica que se debe aplicar durante las horas de entrenamiento para conseguir el máximo rendimiento, se puede diseñar un modelo que permita anticiparse a los resultados y elaborar una respuesta a tiempo ante estos escenarios.

- Medicina. La labor asistencial del médico se realiza, desde el punto de vista técnico, mediante la constante toma de decisiones. Por ello, el proceso de solución de los problemas de salud de individuos enfermos puede ser considerado como un proceso de Toma de Decisiones, en este caso, decisiones médicas. La relevancia de este aspecto es reconocida por importantes textos de Medicina [42]. Un trabajo en conjunto entre expertos en el área de la medicina junto con la Teoría de la Toma de Decisiones podría contribuir a agilizar el proceso de diagnóstico y entregar respuestas a corto plazo, permitiendo re-invertir el recurso tiempo en otras tareas.

- Con respecto al Modelo 2-Tuplas analizado, es ideal que un próximo trabajo se enfoque netamente en explotar el conocimiento disponible en otras áreas a través de este software, ya que en el presente trabajo tuvimos que contextualizar la mayor parte de la teoría para poder explicar el caso de ERP y ejemplificarlo con un software. El ideal sería que investigaciones futuras se basaran más en la facilidad que otorga el software con la operación matemática que hace algunos años atrás era manual.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 F. Herrera and L. Martínez.** “Un nuevo modelo de representación de información lingüística basado en 2-tuplas para la agregación de preferencias lingüística”. 1999.
- 2 R. Degani and G. Bortolan.** The problem of linguistic approximation in clinical decision making. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2:143–162, 1988.
- 3 M. Delgado, J.L. Verdegay, and M.A. Vila.** Linguistic decision making models. *International Journal of Intelligent Systems*, 7:479–492, 1993.
- 4 F. Herrera, E. Herrera-Viedma, L. Martínez, F. Mata, and P.J. Sanchez.** A Multi-Granular Linguistic Decision Model for Evaluating the Quality of Network Services. *Intelligent Sensory Evaluation: Methodologies and Applications*. Springer, Ruan Da, ZengXianyi (Eds.), 2004.
- 5 C. Carlsson and R. Fuller.** Fuzzy Reasoning in Decision Making and Optimization, volume 82 of *Studies in Fuzziness and Soft Computing*. *Studies in Fuzziness and Soft Computing Series*, 2001.
- 6 S.J. Chen and C.L. Hwang.** Fuzzy multiple attribute decision-making methods and applications. Springer-Verlag, 1992.
- 7 L.A. Zadeh.** The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. *Information Sciences*, 1975.
- 8 D. Dubois and H. Prade.** *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. Kluwer Academic, New York, 1980.
- 9 S. Zadrozny and J. Kacprzyk.** Computing with words for text processing: An approach to the text categorization. *Information Sciences*, 176(4):415–437, 2006.
- 10 R. Duncan and H. Raiffa.** *Games and decision. Introduction and critical survey*. Dover Publications, New York, 1985.
- 11 E. Triantaphyllou.** *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 2000.
- 12 P. Fortemps and R. Slowinski.** A graded quadrivalent logic for ordinal preference modelling: Loyola-like approach. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 1:93–111, 2002.
- 13 M. Oztürk, A. Tsoukiàs, and Ph. Vincke.** Preference Modelling, pages 27–72. In: *State of the Art in Multiple Criteria Decision Analysis*, M. Ehrgott, S. Greco and J. Figueira (Ed.). *Wiley Series on Intelligent Systems*. Springer-Verlag, 2005.
- 14 M. Roubens and Ph. Vincke.** *Preference modelling*. Springer-Verlag, 1985.
- 15 E. Herrera-Viedma, F. Herrera, and F. Chiclana.** A consensus model for multipersonal decision making with different preference structures. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-A*, 32(3):394–402, 2002.
- 16 H. Nurmi.** Assumptions of Individual Preferences in the Theory of Voting Procedures, pages 142–155. In: J. Kacprzyk and M. Roubens, Eds., *Nonconventional Preference Relations in Decision Making*. Springer-Verlag, 1988.
- 17 S.J. Chen and C.L. Hwang.** Fuzzy multiple attribute decision-making methods and applications. Springer-Verlag, 1992.
- 18 F. Herrera, L. Martínez, and P.J. Sánchez.** Managing non-homogeneous information in group decision making. *European Journal of Operational Research*, 166(1):115–132, 2005.

- 19 G.J. Klir and B. Yuan.** Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and Applications. Prentice-Hall PTR, 1995.
- 20 L.A. Zadeh.** The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. *Information Sciences*, Part I, II, III, 8,8,9:199–249,301–357,43–80, 1975.
- 21 P.P. Bonissone.** A fuzzy sets based linguistic approach: Theory and applications, pages 329–339. *Approximate Reasoning in Decision Analysis*, North-Holland, 1982.
- 22 G. Bordogna, M. Fedrizzi, and G. Pasi.** A linguistic modeling of consensus in group decision making based on OWA operators. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, Part A: Systems and Humans, 27:126–132, 1997.
- 23 M. Tong and P.P. Bonissone.** A linguistic approach to decision making with fuzzy sets. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 10:716–723, 1980.
- 24 F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and L. Martínez.** A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making. *Fuzzy Sets and Systems*. 114 43–58, 114:43–58, 2000.
- 25 F. Herrera and L. Martínez.** A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multi-granularity hierarchical linguistic contexts in multiexpert decision-making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. Part B: Cybernetics, 31(2):227–234, 2001.
- 26 F. Herrera, J.L. Verdegay,** Linguistic Assessments in group Decision, *Proc. of the First European Congress on Fuzzy and Intelligent Technologies*, Aachen, 941–948 (1993).
- 27 M. Delgado, J.L. Verdegay, and M.A. Vila.** Linguistic decision making models. *International Journal of Intelligent Systems*, 1993
- 28 [15] G. Norris, J.R. Hurley, and et al.** *E-Business and ERP*. Transforming the Enterprise. John Wiley & Sons Inc., 2000.
- 29 M.G. Shields.** *E-Business and ERP. Rapid Implementation and Project Planning*. John Wiley & Sons Inc., 2001.
- 30 P. Maestre.** Business intelligence: delerp y kim, al asp y crm. In *I Observatorio Dintel*, Madrid, 2002.
- 31 L. B. Investigación y comunicación, en C. Fernández-Collado y Danhke G. L.,** La comunicación humana: ciencia social, México, McGraw-Hill, 1989.
- 32 1000Minds, when good decisions matter. [En línea].** Disponible en: <http://www.1000minds.com>.
- 33 P. Korhonen & R. Tainio & J. Wallenius.** "Value Efficiency Analysis of Academic Research" Working Papers ir98032, International Institute for Applied Systems Analysis., 1998.
- 34 F. Herrera, E. Herrera-Viedma, L. Martínez, and P.J. Sánchez.** A linguistic decision process for evaluating the installation of an ERP system. In *9th International Conference on Fuzzy Theory and Technology*, pages 164–167, Cary (North Carolina) USA, 2003.
- 35 Caballero, Rafael, y Carlos Romero.** «Teoría de la Decisión Multicriterio: Un Ejemplo de Revolución Científica Kuhniana.» *Artículos de Investigación Operativa*.
- 36 Fernández Barberis, Gabriela, y M^a del Carmen Escribano Ródenas.** «La Ayuda a la Decisión Multicriterio: orígenes, evolución y situación actual.» Madrid.
- 37 Barba-Romero, Sergio, y Jean-Charles Pomerol.** «Decisiones Multicriterio. Fundamen-

tos Teóricos y Utilización Práctica”. Madrid: Servicio de publicaciones de la U.A.H., 1997.

38 International Society on Multiple Criteria Decision Making. [En línea]. Disponible en: <http://www.mcdmsociety.org/>.

39 F. Estrella, M. Espinilla, L. Martinez. “Flintstones: Una Suite Para La Toma De Decisiones Lingüísticas Basada En 2-Tupla Lingüísticas Y Extensiones. 2014.

40 FuzzyLINGuisTicDeciSionTOolseNhace- mEnt Suite – FLINTSTONES. [En línea]. Disponible en: <http://serezade.ujaen.es/flintstones/>

41 Fundamentos Teóricos y Aplicación Práctica de la Toma de Decisiones en el Deporte, Federación Extremeña de Balonmano, España. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86514954004>

42 Revista Científica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos, Luis Alberto Corona Martinez, Mercedes Fonseca Hernández. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1727-897X2009000500004&script=sci_arttext#author1