



Implementation of computing with words in evaluating training program

Gerardo Felix-Benjamín ^a, Claudia Calero-Muela ^b, Renier Esquivel-García ^c & Rafael Bello-Pérez ^d

^a Centro de Estudios Informáticos, Universidad "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba. gerardfelix87@gmail.com

^b Empresa de Construcción y Montaje, Sancti Spiritus, Cuba. claudia@gecss.co.cu

^c Dirección de Capital Humano, Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez, Sancti Spiritus, Cuba. renieresquivel@yahoo.es

^d Director Centro de Estudios Informáticos, Universidad "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba. rbellop@uclv.edu.cu

Received: July 23th, 2014. Received in revised form: March 14th, 2015. Accepted: September 21th, 2015.

Abstract

The decision-making problems have attracted the attention of many researchers in a wide range of disciplines. The decision situations in which multiple individuals involved, each with their own knowledge about alternatives of the decision problem requires advanced to deal with this difficulty techniques. This work evaluates the impact of training received by a group of workers in the assessments are modeled using different kinds of information provided by different groups of experts to manage the uncertainty and subjectivity of such assessments for there to infer its relationship with the training received. Therefore, it is necessary and appropriate to establish a framework adapted to the heterogeneous nature of these criteria. Model and manage uncertainty has been successful and involves making computing processes with words hence the model 2-tuples linguistic representation is offered as a solution for their accuracy, ease of information management in complex frameworks, as to give greater interpretability of the resulting data.

Keywords: Computing with words; group decision making; decision analysis; impact of training.

Aplicación de la computación con palabras en la evaluación del impacto de la capacitación

Resumen

Los problemas de toma de decisiones han llamado la atención de muchos investigadores en una amplia gama de disciplinas. Las situaciones de decisión en las que participan múltiples individuos, cada uno con su propio conocimiento acerca de las alternativas del problema de decisión, requiere de técnicas avanzadas para lidiar con esta dificultad. Este trabajo pretende evaluar el impacto de la capacitación recibida por un grupo de trabajadores en el que las evaluaciones se modelan mediante información de distinta naturaleza proporcionada por diferentes grupos de expertos con el fin de gestionar la incertidumbre y subjetividad de tales valoraciones para de ahí poder inferir su relación con la capacitación recibida. Por lo tanto, se hace necesario y conveniente establecer un marco heterogéneo adaptado a la naturaleza de tales criterios. Modelar y gestionar la incertidumbre ha dado buenos resultados e implica la realización de procesos de computación con palabras de ahí que el modelo de representación lingüística 2-tuplas se ofrezca como solución por su precisión, facilidad en el manejo de la información en marcos complejos, así como por dar una mayor interpretabilidad a los datos resultantes.

Palabras clave: Computación con palabras; toma de decisiones grupales; análisis de decisión; impacto de la capacitación.

1. Introducción

El entorno empresarial actual se caracteriza por el desarrollo de la información y la gestión del conocimiento [1], donde los problemas de toma de decisiones con múltiples expertos o múltiples criterios como problemas de toma de

decisiones grupales (GDM), en el que cada experto expresa su/sus valoraciones dependiendo de la naturaleza de las alternativas y su propio conocimiento acerca de las mismas son una herramienta clave para que las empresas proporcionen información sobre el rendimiento de los trabajadores con el fin de realizar ajustes salariales,

promociones, identificar necesidades de capacitación y desarrollo [2]. Estos problemas representan un importante campo de investigación en las ciencias administrativas, ciencia de la decisión y en investigación operacional, ya que los expertos pueden provenir de diferentes áreas de conocimiento, con distinta experiencia y utilizar diferentes juicios y métodos de evaluación, donde la información proporcionada por los mismos puede ser no sólo vaga o con incertidumbre, sino que presente distinta naturaleza, incluyendo etiquetas lingüísticas con múltiple granularidad, números difusos, intervalos numéricos y números reales[3], llamados en la literatura como problemas heterogéneos.

Cuando las alternativas son medibles por su naturaleza cuantitativa son evaluadas por medio de valores numéricos precisos con la ayuda de la lógica difusa [4-6]. Sin embargo, cuando las alternativas están relacionadas con aspectos cualitativos puede ser difícil de calificar utilizando valores precisos porque usualmente, este conocimiento es no preciso y presenta incertidumbre [7], por lo que debido a tales situaciones, un enfoque lingüístico difuso se puede utilizar para obtener una mejor solución[5,8].

Sin embargo, la mayoría de las propuestas de resolución de problemas GDM con múltiples expertos se centran en los casos en que todos los expertos expresan sus opiniones por medio de valores del mismo tipo [7], ya sea valores reales, valores de intervalo o etiquetas lingüísticas en el mismo conjunto de términos lingüísticos, es decir, procesos de evaluación que se definen en un marco de evaluación estricta que sólo tiene en cuenta un único tipo de dominio de expresión, a pesar de que los criterios evaluados pueden tener distinta naturaleza y podrían adoptar diferentes tipos de dominios de expresión y como consecuencia, las evaluaciones recogidas no permitirían recoger la riqueza de la información expresada. Esto trae consigo que los resultados finales sean difíciles de interpretar de forma correcta. Las evaluaciones cuantitativas no siempre representan la información cualitativa de una manera precisa[2]. Por lo tanto, el uso de la información heterogénea en problemas de decisión con múltiples expertos no es una situación inusual [9-11], con propuestas que combinan diferentes tipos de información [12], lo que demuestra la aplicabilidad de esta teoría a problemas prácticos del mundo real. La lógica difusa y el enfoque lingüístico difuso proporcionan herramientas para modelar y gestionar la incertidumbre por medio de variables lingüísticas, proporcionando resultados confiables [13,14].

El principal problema para hacer frente a contextos heterogéneos es el de la fase de agregación y radica en como agregar este tipo de información, ya que no existen operadores estándar para combinar cualquier tipo de información heterogénea [7], por lo que [7] propuso un método llamado conjunto de términos lingüísticos básicos (BLTS), el cual unifica la información heterogénea de entrada en un único dominio, lo que es imprescindible para dar solución a problemas de este tipo porque permite manejar información lingüística, intervalos numéricos, información lingüística multi-granular, números reales, mediante un proceso de agregación que combina este tipo de información a un formato común. También se utilizará una extensión muy útil de los BLTS llamado modelo de representación

lingüística 2-tuplas [13,15] y su enfoque ampliado para hacer frente a la información heterogénea [7] para obtener resultados lingüísticos más completos y aún más cerca del modelo cognitivo humano, donde la escala ya no es puramente ordinal, pero aun así el procesamiento de la información lingüística se realiza directamente en las etiquetas, lo que ha mostrado ser una buena opción para gestionar la información heterogénea [16,17]. Con este modelo de representación lingüística se evita la distorsión, la pérdida de información en el procesamiento de la información lingüística [18] y ha sido examinado como aplicado en problemas de toma de decisiones [19-23].

Para llevar a cabo este análisis también se requiere de un proceso de computación con palabras (CWW) [24,25] ya que es común que varios problemas de decisión estén bajo ambientes de incertidumbre, vaguedad e imprecisión de la información y que usualmente sean modelados con información lingüística porque es habitual este uso del lenguaje por parte de los expertos involucrados, originando una toma de decisiones lingüística, de ahí que el proceso de toma de decisiones demande procesos de CWW para dar solución a problemas GDM [24].

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la capacitación, pues las exigencias del mundo globalizado actual, ha hecho que las personas dentro de las organizaciones deban poseer diversas habilidades, las cuales les permitan desarrollar variadas actividades y adaptarse a distintas necesidades que el mismo entorno laboral y organizacional les exija[1]. Como todo proceso, la preparación y superación de los directivos requiere ser evaluada sistemáticamente para valorar su efectividad. Dicha evaluación involucra múltiples criterios, muchos de los cuales tienen un carácter subjetivo, resultando muy difícil realizar una medición exacta de los mismos[1]. De ahí que hablar sobre el impacto de la capacitación y su estudio no sea algo novedoso. Se han presentado trabajos sobre la evaluación del impacto de la capacitación en [1] y en la misma se presenta una forma de evaluarla utilizando la lógica difusa a través del sistema de inferencia borroso Mandami [26]. El sistema presentado en el artículo dificulta de cierta manera tomar decisiones ya que se están usando grados de pertenencia asociados a conjuntos difusos y además por el hecho de que los equipos de gestión de la información no suelen ser expertos en lógica difusa, lo que entorpece de cierto modo que se haga una correcta toma de decisiones por parte de los expertos, aunque no deja de ser una excelente propuesta. De ahí que se proponga la CWW sobre la base de la lógica difusa por ser un marco conceptual para calcular y razonar con palabras en lugar de números[27] ya que tiene como objetivo primordial el de dotar de un medio adecuado a los sistemas difusos basados en lógica difusa. Zadeh en su ensayo[28], apunta a dos requisitos por los cuales se debía computar por palabras y no por números:

- Cuando la información disponible es demasiado imprecisa para justificar el uso de los números.
- Cuando hay una tolerancia a la imprecisión que puede ser explotada para conseguir robustez y dar un mayor acercamiento a la realidad.

Por lo tanto, se adaptarán los problemas GDM al problema de evaluar el impacto de la capacitación ya que el uso de

variables lingüísticas implica procesos de CWW[28]. También la propuesta presentará un caso de estudio real para ilustrar la utilidad y eficacia de que los expertos proporcionen sus opiniones en diferentes dominios, de acuerdo con la incertidumbre y la naturaleza diversa (cuantitativa y cualitativa) de sus criterios, teniendo en cuenta un marco de evaluación heterogénea [3,7] para evaluar el impacto de la capacitación de un grupo de trabajadores y así tomar decisiones lingüísticas sobre los mismos. El método que se utilizó no unifica la información heterogénea en etiquetas lingüísticas directamente, pero si en conjuntos difusos sobre los BLTS mencionados anteriormente siguiendo el esquema propuesto en [16], unificación, agregación y transformación en 2-tuplas. Para luego utilizar diferentes funciones de transformación y operadores de agregación, que nos permitirán arribar a conclusiones [29] modelando la incertidumbre de la información dada de una manera precisa y así lograr una correcta toma de decisiones más acorde a la realidad.

2. Materiales y métodos

2.1. Computación con palabras en un marco heterogéneo

La CWW es una metodología en la que los objetos de la computación son palabras o frases definidas en un lenguaje natural en lugar de números. La metodología se basa en un procedimiento que incluye una fase de traducción y una fase re-traducción [24,25,30], emulando los procesos cognitivos humanos para mejorar la resolución de los procesos de los problemas relacionados con la incertidumbre, es decir, para hacer procesos y decisiones de razonamiento en entornos de incertidumbre y de imprecisión [31] (ver Fig.1). La misma se ha convertido recientemente en un importante tema de investigación en el que se han propuesto diferentes metodologías y varios enfoques [15,24].

Un enfoque común para modelar la información lingüística es el enfoque lingüístico difuso [32] que utiliza la teoría de conjuntos difusos [33] para gestionar la incertidumbre y el modelo de información, con el uso de variables lingüísticas [32]. Con el fin de hacer frente a estas variables lingüísticas se hace necesario escoger los descriptores lingüísticos apropiados para el conjunto de términos y su semántica, en [32,34] se muestran diferentes maneras para llevar a cabo estas selecciones.

La CWW se ha utilizado en disímiles áreas según señala [24]. En la evaluación y selección de proveedores, administración de recursos humanos, gestión del conocimiento, selección y evaluación de proyectos, entre otras. Lo que demuestra la estrecha relación que tiene con los problemas cargados de imprecisión e incertidumbre y a áreas del saber donde se necesitan procesos de evaluación. De ahí que la propuesta de evaluación del impacto de la capacitación, implemente procesos de CWW [24,35] usando multi-etapas en los procesos de agregación de la información y que considere además un marco heterogéneo ya que la valoración de la información proveniente de las personas responsables de adoptar las decisiones puede ser no solo *crisp*, vaga o con incertidumbre, también se pueden ver de varias formas, incluyendo etiquetas lingüísticas multi-granulares, números difusos, intervalos numéricos y números reales [2,3].

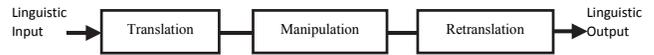


Figura 1. Esquema de CWW.
Fuente: Tomado de [13].

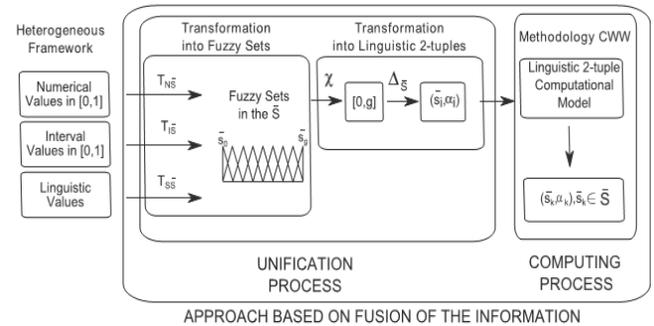


Figura 2. Enfoque basado en la fusión de la información en valores lingüísticos.
Fuente: Tomado de [2,12].

2.2. Problemas de toma de decisiones grupales (GDM)

Los problemas GDM, de manera general consisten en situaciones de decisión en el que dos o más expertos expresan sus valoraciones sobre un conjunto de alternativas para obtener una solución (sobre una alternativa o un conjunto de alternativas), para ello se supone que hay un conjunto finito de alternativas:

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

Así como un conjunto finito de expertos:

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

Dependiendo ya sea de la naturaleza de las alternativas o sobre el conocimiento que tengan los expertos acerca de las mismas[7]. De manera general la solución a los problemas GDM está dada por una fase de agregación y explotación [24, 36], fases que serán enriquecidas con la teoría de la CWW y el modelo lingüístico 2-tuplas, para generar resultados lingüísticos (ver Fig.2).

El modelo de representación lingüística 2-tuplas ha sido presentado en [15]. El cual se muestra como el más adecuado para resolver problemas GDM [13], ya que ha sido utilizado como base para diferentes modelos de problemas basados en análisis de decisiones y toma de decisiones. En trabajos sobre evaluación de riesgos, en modelos de evaluación, toma de decisiones grupales y multi-criterio, evaluación sensorial, recursos humanos, por solo mencionar unos pocos ejemplos. Lo que demuestra la amplia aplicabilidad de este modelo lingüístico a problemas de evaluación de manera general y a situaciones donde está presente la vaguedad e incertidumbre de la información, de ahí su amplia aplicabilidad en la actualidad [13]. A través de [13] se ha demostrado que este modelo lingüístico es una buena opción para modelar y gestionar este tipo de información, sino que también implica

la realización de procesos de CWW ya que es una herramienta que ha mejorado significativamente los procesos de resolución de problemas con base en la CWW, con respecto a la exactitud y la comprensión de los resultados de tales procesos. También porque es un enfoque para tratar y dar solución a problemas con la información heterogénea presentada en [7]. Sin embargo, esto no significa que cada problema se pueda modelar y sea resuelto con éxito por este modelo, por el contrario, aún existen diferentes retos que el modelo de representación lingüística 2-tupla deba enfrentar para satisfacer las necesidades más importantes que se requieran en problemas relacionados con la información lingüística [13].

Diferentes ventajas de esta representación para gestionar la información lingüística sobre los modelos semánticos y simbólicos se muestran en [37], ya que de forma general el dominio lingüístico puede ser tratado como continuo y en el modelo simbólico se tratan los valores como discretos mientras que el modelo computacional lingüístico basado en 2-tuplas y sus diferentes extensiones permiten llevar a cabo los procesos de CWW fácilmente y sin pérdida de información. Los diferentes puntos de vista que existen sobre la CWW [25,38] abren muchas puertas a problemas que pueden ser modelados y resueltos mediante este modelado lingüístico y procesos CWW. Debido a estas ventajas, vamos a utilizar este modelo de representación lingüística para construir el proceso de agregación de la información heterogénea.

Este modelo lingüístico toma como base el modelo de agregación simbólica[39] y además define el concepto de traslación simbólica. La cual es utilizada para representar la información lingüística por medio de un par de valores denominados lingüística de 2-tuplas, (s, α) , donde s es un término lingüístico y α es un valor numérico que representa la traslación simbólica, donde α pertenece a $[-.5, .5]$, es decir, la traslación simbólica tiene que estar establecida en ese rango. Gráficamente, se puede ver como más detalle como muestra la Fig.3 y 4

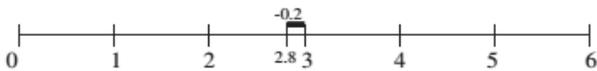


Figura 3. Ejemplo de una traslación simbólica.
Fuente Tomado de [7].

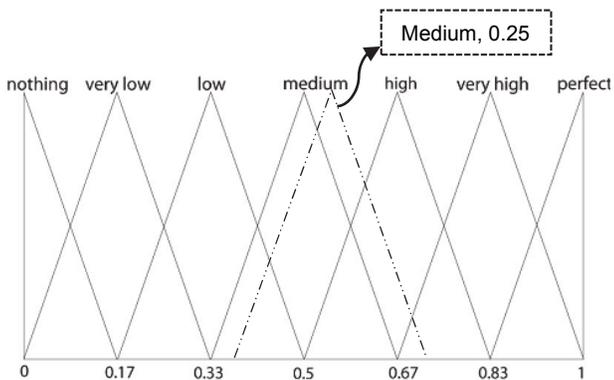


Figura 4. Representación lingüística 2-tuplas.
Fuente: Tomado de [13,24].

En la mayoría de las ocasiones, los problemas GDM se encuentran definidos en marcos complejos. Por lo que es importante dejar de manifiesto que en estos problemas que están bajo incertidumbre es común que la información se presente de las siguientes maneras[13]:

-*Información lingüística multi-granular:* En problemas con múltiples expertos o varios criterios en la que aparece la información lingüística evaluada en varios conjuntos de términos lingüísticos con diferente granularidad [17,40,41].

-*Información no homogénea o heterogénea:* Problemas cuya información pueden ser de distinta naturaleza (lingüística, numérica, con intervalos de valores)[7].

-*Información lingüística no uniformemente distribuida:* Problemas cuya información lingüística están representadas en una escala lingüística no uniforme ni simétricamente distribuida[42].

Esto no son más que los marcos complejos que pueden ser abordados empleando las extensiones del modelo lingüístico 2-tuplas [29].

2.3. Análisis de decisión para un proceso evaluación

El análisis de decisiones [43] es una disciplina que pertenece a la teoría de decisión, que se ha aplicado con éxito para resolver problemas de evaluación en el campo de la energía sostenible y otras áreas, tales como la evaluación sensorial, calidad de servicio, la evaluación del desempeño, inteligencia de negocios, evaluación de sistemas, herramientas de promoción, selección de proveedores, bibliotecas digitales y desarrollo de nuevos productos [2,12].

Los objetivos de un proceso de evaluación consisten en calcular un conjunto de evaluaciones generales que resume la información recogida y proporcione información útil sobre el conjunto de los elementos evaluados. Para ello, es necesario establecer un marco de evaluación para evaluar tales elementos, recopilar la información y finalmente calcular una evaluación final para cada elemento[2]. Por lo tanto, es evidente que el análisis de decisión es una excelente herramienta para la evaluación [12], ya que incluye una amplia variedad de métodos para la evaluación de un conjunto de alternativas, teniendo en cuenta todos los criterios pertinentes en un problema de decisión y la participación de expertos [44]. Los métodos de análisis de decisión proporcionan un criterio racional de una manera sencilla y rápida, ya que la evaluación final más alta hace corresponder normalmente al mejor elemento evaluado [45], de aquí que un proceso de evaluación se pueda modelar como un problema de análisis de decisión [12]. Un esquema clásico de análisis de decisión se resume como indica la Fig.5.

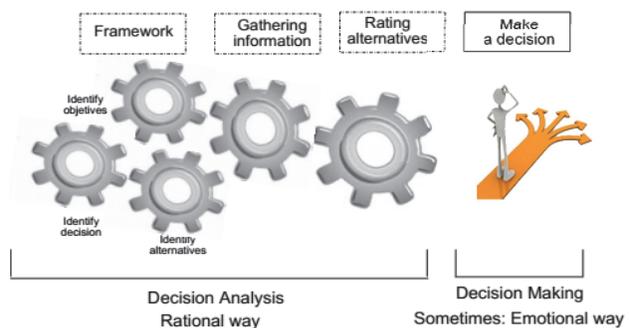


Figura 5. Esquema de toma de decisiones.
Fuente: Tomado de [2,12].

-*Marco*: define la estructura del problema y de los dominios de expresión en el que las preferencias pueden ser evaluadas.

-*Recopilación de información*: los tomadores de decisiones proporcionan su información. Se almacena el conocimiento.

-*Alternativas*: se obtiene una apreciación colectiva de cada alternativa.

Es de destacar que un proceso de evaluación no implica necesariamente la última fase.

2.4. Proceso para evaluar el impacto de la capacitación

Este proceso no es más que un marco de evaluación heterogéneo en el que cada colectivo de expertos pueda utilizar distintos dominios, según sea la naturaleza de los criterios, el grado de conocimiento, percepciones y sentimientos acerca de la problemática en cuestión para evaluar un conjunto de alternativas [2,29]. Tal tipo de problema, con varios formatos de información es muy complejo e interesante en aplicaciones prácticas en la teoría de toma de decisiones [3]. Especialmente, en situaciones donde modelos matemáticos precisos no están disponibles y la participación humana es necesaria.

Primero que todo se establece el marco de evaluación del problema. Es donde se definen las principales características y la terminología del proceso, se definen las alternativas, los atributos que caracterizan a las alternativas y los criterios a utilizar, es decir, las dimensiones en el que los expertos evalúan sus diferentes puntos de vista, mediante el uso de múltiples dominios de expresión. Por ejemplo: Un conjunto de trabajadores $X = \{X_1, \dots, X_n\}$ para ser evaluado por tres colectivos: un conjunto de supervisores $A = \{a_1, \dots, a_r\}$, un conjunto de colaboradores $B = \{b_1, \dots, b_s\}$ y un conjunto de clientes $C = \{c_1, \dots, c_t\}$ mediante un conjunto de criterios $Y = \{Y_1, \dots, Y_p\}$. Las evaluaciones serán proporcionadas por los miembros de los colectivos $a_i \in A$, $b_i \in B$ y $c_i \in C$, sobre el trabajador X_j y de acuerdo con los criterios Y_k , son denotados por a^{ik}_j , b^{ik}_j y c^{ik}_j , respectivamente.

- *Recopilación y unificación de información*. Definido este marco se pasa a la siguiente fase, la recopilación de la información, en la que cada experto proporciona sus valoraciones para cada una de las alternativas valorando para ello los diferentes atributos definidos anteriormente. Esto no es más que llenar una base de conocimiento para el problema en cuestión. Luego todas las valoraciones son unificadas en un mismo dominio lingüístico como valoraciones lingüísticas 2-tupla de modo que posteriormente pueda ser llevado a cabo el proceso de agregación multi-etapa:

1-Transformación de la información en conjuntos borrosos en \underline{S} , donde la información heterogénea va a ser unificada en un único dominio lingüístico específico llamado BLTS [7], que se selecciona con el objetivo de mantener el mayor conocimiento posible. Cada número real, valor de intervalo y valor lingüístico se transforma entonces en un conjunto difuso sobre $\underline{S} = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_n\}$, $F(\underline{S})$ utilizando la función de transformación correspondiente (ver Fig.6).

2-Transformación de los conjuntos borrosos, $F(\underline{S})$, en 2-tuplas lingüísticas en \underline{S} . Los conjuntos difusos anteriores se llevan a cabo en 2-tuplas lingüísticas que facilitan los

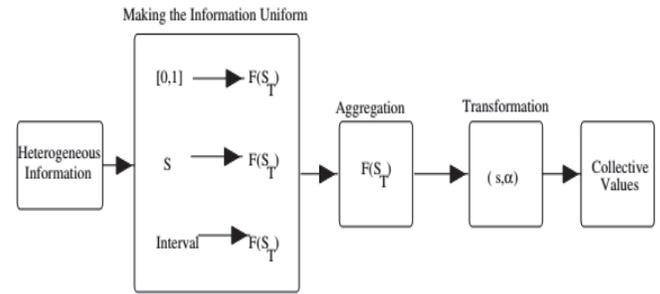


Figura 6. Proceso de agregación de información heterogénea en BLTS. Fuente: Tomado de [7, 13].

procesos de CWW y producen resultados interpretables. De ese modo, siendo $\beta \in [0, g]$, el valor generado por una operación de agregación simbólica, que puede asignar una 2-tupla (s, α) que expresa la información equivalente a la dada por β . Esto facilita un proceso de ranking en la fase de explotación para la toma de decisiones.

- *Cálculo y evaluación del proceso*. El modelo de representación lingüística 2-tuplas tiene un modelo de evaluación lingüística asociado que lleva a cabo los procesos de CWW de una manera precisa y para ello se han propuesto diferentes operadores de agregación para el mismo [15,46,47], los cuales cubren las necesidades más frecuentes de los diferentes problemas que se pueden presentar. La elección del operador de agregación apropiado depende en cada problema de la decisión individual. Seleccionados los operadores de agregación a emplear, son calculadas de forma automatizada las valoraciones colectivas de cada alternativa a partir de las valoraciones unificadas obtenidas en el proceso de unificación para luego obtener una evaluación global lingüística ordenada, fácil de entender y de interpretar. Las valoraciones globales son expresadas de tal forma que puedan ser fácilmente interpretadas después del proceso de agregación y así tomar las decisiones.

2.5. Modelación del problema

Para llevar a cabo un proceso de evaluación del impacto de la capacitación con éxito es utilizado el esquema de análisis de decisión y funcionamiento que se muestra en la Fig.5, cubriendo lo esencial de las fases de análisis de decisión [43]. Siguiendo la metodología que se observa en la Fig.7 y el enfoque de la Fig.2, las cuales se explican en [2] con más detalle, para manejar información heterogénea [7].

En la sección, se muestra un caso de estudio real que visualiza la ventaja y validez del modelo integrado propuesto, el cual permite gestionar los datos en un marco de evaluación heterogéneo y que proporciona evaluaciones lingüísticas en cada etapa del proceso con el fin de estar cerca del modelo cognitivo humano, teniendo en cuenta la interacción entre los criterios y las alternativas. Para ello, es utilizado el software FLINTSTONES, que no es más que una novedosa suite para resolver problemas de toma de decisiones lingüísticas basadas en el modelo lingüístico 2-tupla y sus extensiones, con el fin de hacer frente a marcos lingüísticos y complejos [29].

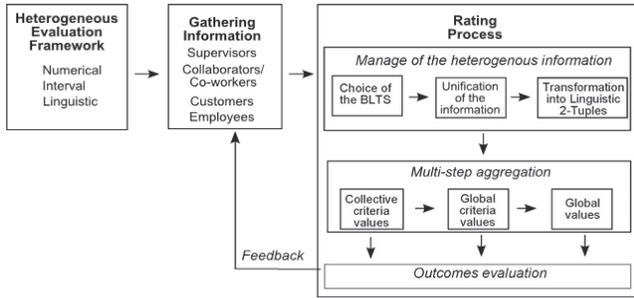


Figura 7. Modelo de evaluación.
Fuente: Tomado de [2,48].

Dado un grupo de trabajadores, los cuales se capacitan para elevar sus competencias en la dirección de sus empresas se necesita de forma general conocer cuáles son los que han tenido un alto, medio y bajo impacto con la capacitación recibida, teniendo en cuenta que repercusiones ha tenido dicha capacitación en sus respectivas organizaciones. Esta evaluación se realiza después de haber concluido el curso de dirección y que haya transcurrido el tiempo suficiente como para que su efecto se pueda manifestar en la gestión empresarial. Ver con ello, el nivel de preparación frente a sus organizaciones. El problema en cuestión es presentado en [1] así como las variables o indicadores que se utilizarán para valorar a los mismos:

-Y₁: Satisfacción del personal: expresa el grado de concordancia entre las expectativas que cada persona genera y las compensaciones que el curso le provee.

-Y₂: Aprendizaje: es el proceso por el que las personas adquieren conocimientos, técnicas y actitudes a través de la experiencia, la reflexión, el estudio o la instrucción, así como el resultado deseado tras la realización de un programa formativo.

-Y₃: Desempeño en el puesto: son las actividades que realiza el dirigente para cumplir con los objetivos establecidos. Cada empresa define los indicadores que considere para evaluar a sus dirigentes, los cuales pueden ser: cumplimiento de los objetivos de trabajo, responsabilidad, preocupación por sus subordinados, superación, intercambio con todos los trabajadores de la empresa, entre otros.

-Y₄: Clima organizacional: es la forma en que el dirigente percibe su trabajo, su rendimiento, su productividad y satisfacción en la labor que desempeña. Se evalúa de acuerdo al liderazgo, comunicación, trabajo en equipo, condiciones de trabajo, estimulación, motivación y nivel de capacitación.

-Y₅: Disciplina laboral: cumplimiento de los objetivos del puesto de trabajo en correspondencia con los objetivos de la empresa, lo cual exige tiempo de trabajo dedicado a los mismos.

-Y₆: Resultados económicos: es el cumplimiento de los objetivos de la empresa en términos económicos, reflejando los beneficios y pérdidas de la misma. Es el aporte social de la institución.

En [1] fueron tratados todos los indicadores como variables lingüísticas, pero en este trabajo por la propia naturaleza de algunas de ellas y la concepción que tienen algunos expertos sobre las mismas, se tratarán varias de ellas numéricamente. Como se describió anteriormente en

secciones anteriores, la información heterogénea puede conducir a dominios lingüísticos y numéricos de acuerdo con la incertidumbre y la naturaleza de los criterios, por lo que cada experto expresará su opinión mediante varios dominios de expresión, los cuales pueden ser numérico, intervalo o lingüístico. En el problema, los expertos expresan sus valoraciones en dominios lingüísticos y numéricos, denotados por S₁ y S₂, para los lingüísticos y S₃ y S₄ para los numéricos.

Los expertos utilizarán:

1. El dominio lingüístico S₁ para evaluar el criterio satisfacción del personal.
2. De ellos 4, hacen uso del dominio lingüístico S₂ y 3 del dominio numérico S₃ para evaluar el aprendizaje.
3. El dominio lingüístico S₂ para evaluar el desempeño en el puesto de trabajo.
4. El dominio lingüístico S₁ para evaluar el clima organizacional.
5. De ellos 6, hacen uso del dominio numérico S₄ y 1 del dominio lingüístico S₁ para evaluar la disciplina laboral.
6. De ellos 5 de los 7 expertos, del dominio lingüístico S₂, para evaluar los resultados económicos ya que son los únicos con la experiencia necesaria y el conocimiento suficiente para dar una valoración precisa acerca de la misma.

Los dominios para representar el conocimiento experto van a estar conformados de la siguiente manera:

S₁ = {Null (N), Low (L), Medium (M), High (H), Excellent (E)} y S₂ = {Low (L), Medium (M), High (H)}.

S₃ = [2, 5] y S₄ = [1, 4]. Estos últimos pueden darse como un único número real o un rango de valores definidos en sus respectivos intervalos.

-Base de evaluación heterogénea. La base de evaluación heterogénea va a estar conformada por un grupo de variables o criterios con los cuales se va a evaluar el impacto de la capacitación recibida por los directivos, llamados trabajadores; a partir de la opinión de un conjunto de evaluadores

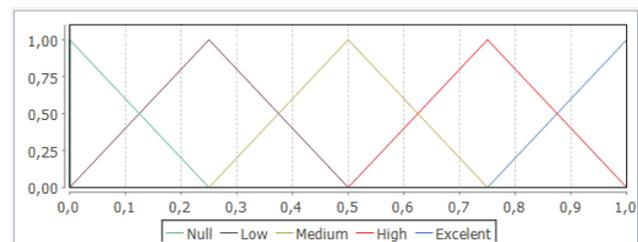


Figura 7. Dominio lingüístico S₁.

Fuente: Elaboración propia.

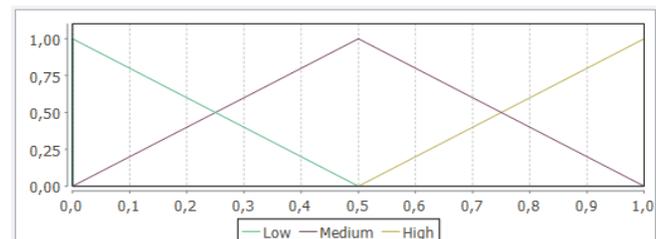


Figura 8. Dominio lingüístico S₂.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.
Base de conocimiento del sistema.

#	Alternativa	Criterio	Dominio	Evaluación
1	Trabajador-01	Aprendizaje	S ₃	3
2	Trabajador-02	Aprendizaje	S ₂	Medium
3	Trabajador-03	Satisfacción	S ₁	High
4	Trabajador-04	Disciplina laboral	S ₄	[3,4]
5	Trabajador-05	Clima organizac.	S ₁	Medium

Fuente: Elaboración propia.

o expertos y los dominios antes mencionados. Los expertos no son más que un conjunto de especialistas, en su mayoría académicos conocedores de las políticas generales de la organización con alta experiencia laboral o simplemente trabajadores con una vasta experiencia. Para ello, se trabajó con un grupo de 15 trabajadores, $X = \{X_1, \dots, X_{15}\}$, de los cuales se necesita saber cuál de ellos alcanza los mejores resultados después de la capacitación reciba y así sucesivamente. Los mismos no son más que las alternativas del problema, de acuerdo a los 6 criterios antes mencionados, $Y = \{Y_1, \dots, Y_6\}$, para ser evaluados por 7 expertos. Destacar que no necesariamente los expertos tengan que evaluar todas las alternativas debido a que no cuentan con la suficiente información para dar una valoración precisa o puedan tener alguna relación de favoritismo con algún trabajador, lo que demeritaría la veracidad de la evaluación.

2.5.1. Recopilación de la información

Una vez que el marco de evaluación haya sido fijado y que todos los datos hayan sido puestos en esta etapa (Base), que no es más que definir la fase inicial del proceso donde se especifican todos los dominios lingüísticos así como los criterios y alternativas del caso de estudio, es decir, donde se definirán todos los valores del problema, se procederá a la evaluación que darán los expertos sobre los trabajadores que pasaron el curso. En la Tabla 1 se muestra a modo de ejemplo una parte de la base de conocimiento por la que está conformado el sistema.

En la Tabla 1, se muestra que el experto 1 evalúa al trabajador 1 utilizando el criterio aprendizaje y el dominio numérico S₃ y le da una evaluación de 3, la cual es un valor definido dentro de ese dominio numérico. Lo mismo ocurre para los demás casos que se muestran, por lo que de esa manera sucesivamente se definirán las opiniones de los expertos sobre todos los demás casos del sistema, que no son más que los trabajadores y criterios.

2.5.2. Proceso de evaluación

De acuerdo con el modelo propuesto integrado en la Sección 2, se llevan a cabo las tres etapas del proceso de evaluación.

-*Unificación de la información heterogénea.* La información lingüística y numérica será agregada en múltiples etapas, obteniendo las valoraciones intermedias y globales del rendimiento de cada trabajador. La información

heterogénea va a ser unificada por un único dominio lingüístico llamado BLTS, llamado S_i y así llevar a cabo el proceso de CWW para proveer los resultados lingüísticos. S_i está compuesto por 5 términos lingüísticos, con el objetivo de guardar la mayor cantidad de conocimiento posible. Este dominio es clave porque las evaluaciones globales se expresarán a partir de ellas con el fin de ofrecer resultados fáciles de interpretar a raíz de la metodología de CWW. Su sintaxis es la siguiente:

$$S_i = \{Null (N), Low (L), Medium (M), High (H), Excellent (E)\}.$$

De manera general el proceso primeramente transforma los valores numéricos en el intervalo [0,1], luego los términos lingüísticos en S_i y el valor de los intervalos en S_1 . Después de obtener un conjunto difuso en el dominio BLTS agregando los valores de preferencia individuales se transforma la información lingüística en 2-tuplas, por lo que calcular el BLTS, no es más que calcular los puntos de cruce de las etiquetas lingüísticas S_1 y S_2 así como los dominios S_3 y S_4 con los del dominio BLTS [7], como se ha mencionado anteriormente.

- *Proceso de agregación multi-etapa.* Después que se pasa de la valoración en el dominio original a una valoración en el dominio BLTS, es decir, de una valoración lingüística a una valoración unificada, pasamos al proceso de agregación. En la etapa, se calculan las evaluaciones globales e intermedias para cada trabajador a través de un proceso de agregación de varios pasos, considerando un conjunto adecuado de operadores, con el fin de satisfacer las necesidades de evaluación de los resultados de acuerdo con la interacción entre los criterios y peso de los expertos. En la primera etapa del proceso, es aplicado el operador media aritmética 2-tuplas lingüística atendiendo al colectivo de expertos, por su sencillez y fácil aplicabilidad. En la segunda etapa del proceso son agregados los criterios, aplicando el operador OWA 2-tuplas lingüística porque es anónimo y no distingue el origen de las evaluaciones. El peso no está asociado a un usuario concreto, sino a la magnitud de la evaluación [2].

Yager [49], propone el uso de los cuantificadores que facilitan expresar el concepto de mayoría difusa, los cuantificadores lingüísticos no decrecientes [50], en concreto, el cuantificador lingüístico "Most". Concluido esto, se han obtenido los resultados lingüísticos para cada trabajador en cada etapa del proceso de agregación multi-etapa, siguiendo la metodología de CWW, logrando resultados que están cerca del modelo cognitivo humano ya que proporcionan una buena interpretabilidad y comprensibilidad en lenguaje natural.

3. Fase de Evaluación: evaluación de los resultados

Finalmente, se ponen en orden todos los valores calculados en el proceso con el propósito de identificar el trabajador de mayor impacto en su capacitación entre todos los trabajadores, usando las evaluaciones finales apoyadas en el proceso de CWW y su extensión 2-tuplas, lo cual es fundamental a la hora de hacer un ranking ordenado de las evaluaciones (ver Tabla 2). La traslación simbólica permitirá

Tabla 2.
Resumen de los resultados al evaluar el impacto de la capacitación.

RESULTADOS GENERALES		RESULTADOS DISCRIMINANDO LAS VARIABLES SIGUIENTES:					
No.	RANKING	Satisfacción del personal	Desempeño en el puesto	Aprendizaje	Clima organizacional	Disciplina laboral	Resultados económicos
1	X ₁ -High	X ₁	X ₂	X ₁	X ₄	X ₁	X ₁
2	X ₄ -High	X ₁₀	X ₄	X ₄	X ₁	X ₂	X ₁₂
3	X ₂ -High	X ₄	X ₁₂	X ₁	X ₁₂	X ₄	X ₂
4	X ₃ -High	X ₁₂	X ₁₀	X ₁₀	X ₃	X ₁₀	X ₄
5	X ₁₂ -Medium	X ₆	X ₁	X ₁₂	X ₁₁	X ₃	X ₁₀
6	X ₁₁ -Medium	X ₁₁	X ₃	X ₃	X ₁₀	X ₁₂	X ₁₁
7	X ₁₀ -Medium	X ₂	X ₁₁	X ₄	X ₈	X ₁₁	X ₃
8	X ₈ -Medium	X ₃	X ₈	X ₉	X ₂	X ₆	X ₁₄
9	X ₆ -Medium	X ₁₄	X ₁₃	X ₂	X ₁₅	X ₈	X ₉
10	X ₉ -Medium	X ₅	X ₉	X ₈	X ₆	X ₉	X ₈
11	X ₁₄ -Medium	X ₁₅	X ₆	X ₁₃	X ₉	X ₁₄	X ₆
12	X ₁₅ -Medium	X ₈	X ₅	X ₁₄	X ₁₃	X ₅	X ₁₅
13	X ₅ -Medium	X ₉	X ₇	X ₁₁	X ₁₄	X ₁₅	X ₅
14	X ₁₃ -Medium	X ₁₃	X ₁₄	X ₅	X ₅	X ₇	X ₁₃
15	X ₇ -Medium	X ₇	X ₁₅	X ₇	X ₇	X ₁₃	X ₇

Fuente: Elaboración propia.

conocer cuan cerca está del valor real que representa, recordar figuras 3 y 4, es el X_i . Por ejemplo, en el caso de estudio el valor global más alto alcanzado entre todos los trabajadores se corresponde con (High,-0.30) y pertenece al trabajador X_i . Por lo tanto X_i es dentro del grupo de 15 el que alcanza mejores resultados. Pero existe otro trabajador, por ejemplo X_4 con evaluación (High, 0.38) y a pesar de que los dos tienen un alto impacto de la capacitación “High”, el mejor sería X_i ya que está más cerca de (High, 0.0), es decir, cuando más cerca este de 0, más “High” será. Se puede decir entonces que el trabajador X_4 es menos “High” que X_i , y así sucesivamente hasta tener todas las evaluaciones para los demás trabajadores.

Además, si se requiere de una evaluación global de los trabajadores discriminando uno o más criterios (ver Tabla 2), se puede observar que cambia el orden de las evaluaciones, lo que es bueno si se desea realizar un análisis más minucioso por parte del panel de expertos, así como si se requiere desechar la opinión de 1 o varios expertos. Esto demostraría que indicador o que experto tiene más peso en las evaluaciones finales y cual no, lo que sería de vital importancia a la hora de hacer un correcto análisis de los resultados y a la hora de determinar qué factores se deben mejorar con un nuevo curso de capacitación, entre otras cosas.

4. Discusión

Dando cumplimiento a los objetivos perseguidos en este trabajo, para el procesamiento de los datos y validar la robustez con que el sistema responde a las distintas interrogantes a partir de los datos de entrada se utilizó el paquete estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) el cual es muy usado en las ciencias sociales. Para ello se emplearon varias pruebas estadísticas para ver el nivel de concordancia y la certeza de los datos que resultan de evaluar con el software FLINTSTONES con las dadas por un panel de expertos. Comparando los datos analizados se observa que el experimento arrojó una alta coincidencia de los valores de salida con los criterios generados por los especialistas. Al aplicarse las tablas de contingencia el experimento alcanzó un 80% de concordancia entre los expertos

y el sistema, ya que la concordancia exacta entre los mismos se logra en 12 de 15 casos (ver Tabla 3 y 4). Luego se aplicó la prueba Wilcoxon para comparar grupos y ver si las dos muestras están relacionadas, lo cual dio una significación de 0.564 por lo que no existen diferencias significativas entre los datos resultantes, lo que da una medida de fiabilidad de los resultados dados por el software.

Tabla 3.
Datos dados por el software y el panel de expertos.

RANKING	SOFTWARE	SISTEMA EXPERTO
1	X ₁ -High	X ₁ -High
2	X ₄ -High	X ₂ -High
3	X ₂ -High	X ₄ -High
4	X ₃ -High	X ₃ -High
5	X ₁₂ -Medium	X ₁₂ High
6	X ₁₁ -Medium	X ₁₀ High
7	X ₁₀ -Medium	X ₁₁ -Medium
8	X ₈ -Medium	X ₈ -Medium
9	X ₆ -Medium	X ₆ -Medium
10	X ₉ -Medium	X ₉ -Medium
11	X ₁₄ -Medium	X ₁₄ -Medium
12	X ₁₅ -Medium	X ₅ -Medium
13	X ₅ -Medium	X ₁₅ -Medium
14	X ₁₃ -Medium	X ₁₃ -Medium
15	X ₇ -Medium	X ₇ -Low

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.
Indicadores de validación de las tablas de contingencia con el uso del SPSS.

		Software		Total High	
		High	Medium		
Experto	High	Recuento	4	2	6
		% de Experto	66,7%	33,3%	100,0%
	Medium	Recuento	0	8	8
		% de Experto	,0%	100,0%	100,0%
	Low	Recuento	0	1	1
		% de Experto	,0%	100,0%	100,0%
Total		Recuento	4	11	15
		% de Experto	26,7%	73,3%	100,0%

Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

Con el uso de la metodología de CWW se alcanza un conjunto de resultados que están más próximos al modelo cognitivo humano, lo que hace que los resultados alcanzados puedan ser entendibles e interpretables por los diferentes expertos ya que se expresan de forma lingüística. Por otra parte, el modelo que se maneja permite obtener una evaluación global del impacto de la capacitación para cada trabajador de acuerdo a las opiniones de cada grupo de expertos y los criterios dados por los mismos, demostrando la utilidad y eficacia de la metodología usada. La utilización de la *suite* FLINTSTONES en esta contribución como una herramienta basada en el modelo lingüístico 2-tupla y sus extensiones destinada a la resolución de problemas de toma de decisiones definidos en marcos lingüísticos y complejos ha logrado dar una mayor organización de trabajo y ha permitido tomar decisiones en un marco de evaluación flexible en el que los expertos pueden expresar su evaluación de acuerdo con la incertidumbre y la naturaleza heterogénea de los criterios. La evaluación del impacto de la capacitación demuestra la utilidad y eficacia del modelo manejado.

Bibliografía

- [1] Esquivel-García, R., Felix-Benjamín G., and Bello-Pérez, R., Evaluación del impacto de la capacitación con lógica difusa. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 22 (1), pp. 41-52, 2014. DOI: 10.4067/S0718-33052014000100005
- [2] Espinilla, M. et al., A 360-degree performance appraisal model dealing with heterogeneous information and dependent criteria. *Information Sciences*, 222, pp. 459-471, 2013. DOI: 10.1016/j.ins.2012.08.015
- [3] Li, D.-F., Huang, Z.-G. and Chen, G.-H., A systematic approach to heterogeneous multiattribute group decision making. *Computers & Industrial Engineering*, 59, pp. 561-572, 2010. DOI: 10.1016/j.cie.2010.06.015
- [4] Alonso, S. et al., Individual and social strategies to deal with ignorance situations in multi-person decision making. *International Journal of Information Technology Decisions Making*, 8 (2), pp. 313-333, 2009. DOI: 10.1142/S0219622009003417
- [5] Alonso, S. et al., A web based consensus support system for group decision making problems and incomplete preferences. *Information Science*, 180 (23), pp. 4477-4495, 2010. DOI: 10.1016/j.ins.2010.08.005
- [6] García, J.M.T. et al., A consensus model for group decision making problems with linguistic interval fuzzy preference relations. *Expert Systems with Applications*, 39, pp. 10022-10030, 2012. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.02.008. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.02.008
- [7] Herrera, F., Martínez, L. and Sánchez, P.J., Managing non-homogeneous information in group decision making. *European Journal of Operational Research*, 166 (1), pp. 115-132, 2005. DOI: 10.1016/j.ejor.2003.11.031
- [8] Cabrerizo, F.J. et al., A model based on fuzzy linguistic information to evaluate the quality of digital libraries. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 9 (3), pp. 455-472, 2010. DOI: 10.1142/S0219622010003907
- [9] Chiclana, F., Herrera, F. and Herrera-Viedma, E., Integrating three representation models in fuzzy multipurpose decision making based on fuzzy preference relations. *Fuzzy Sets and Systems*, 97, pp. 33-48, 1998. DOI: 10.1016/S0165-0114(96)00339-9
- [10] Fan, Z.-P. Ma, J. and Zhang, Q., An approach to multiple attribute decision making based on fuzzy preference information alternatives. *Fuzzy Sets and Systems*, 131 (1), pp. 101-106, 2002. DOI: 10.1016/S0165-0114(01)00258-5
- [11] Tian, Q., Ma, J. and Liu, O., A hybrid knowledge and model system for R&D project selection. *Expert systems with applications*, 23 (3), pp. 121-152, 2002. DOI: 10.1016/S0957-4174(02)00046-5
- [12] Espinilla, M., Palomares, I. and Martínez, L., A comparative study of heterogeneous decision analysis approaches applied to sustainable energy evaluation. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems*, 20 (1), pp. 159-174, 2012. DOI: 10.1142/S0218488512400120.
- [13] Martínez, L. and Herrera, F., An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges. *Information Science*, 207, pp. 1-18, 2012. DOI: 10.1016/j.ins.2012.04.025
- [14] Arango-Serna, M.D., Vergara-Rodríguez, C. and Gaviria-Montoya, H., Modelización difusa para la planificación agregada de la producción en ambientes de incertidumbre *DYNA*, 77 (162), pp. 397-409, 2010.
- [15] Herrera, F. and Martínez, L., A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions On Fuzzy Systems*, 8 (6), pp. 746-752, 2000. DOI: 10.1109/91.890332.
- [16] Herrera, F. and Martínez, L., 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), pp. 539-562, 2000. DOI: 10.1142/S0218488500000381
- [17] Herrera, F. and Martínez, L., A model based on linguistic 2-tuple for dealing with multi-granular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Part B: Cybernetics*, 31 (2), pp. 227-234, 2001. DOI: 10.1109/3477.915345
- [18] Yang, W. and Chen, Z., New aggregation operators based on the Choquet integral and 2-tuple linguistic information. *Expert Systems with Applications*, 39, pp. 2662-2668, 2012. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.08.121
- [19] Chang, T.H. and Wang, T.C., A novel efficient approach for DFMEA combining 2-tuple and the OWA operator. *Expert Systems with Applications*, 37 (3), pp. 2362-2370, 2010. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.07.026
- [20] Dong, Y.C., Xu, Y.F. and Yu, S., Linguistic multiperson decision making based on the use of multiple preference relations. *Fuzzy Sets and Systems*, 160, pp. 603-623, 2009. DOI: 10.1016/j.fss.2008.08.011
- [21] Dong, Y.C., Xu, Y.F. and Yu, S., Computing the numerical scale of the linguistic term set for the 2-tuple fuzzy linguistic representation model. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 17 (6), pp. 1366-1378, 2009. DOI: 10.1109/TFUZZ.2009.2032172
- [22] Dong, Y.C. et al., The OWA-based consensus operator under linguistic representation models using position indexes. *European Journal of Operational Research*, 203, pp. 455-463, 2010. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.08.013
- [23] Dursun, M. and Karsak, E.E., A fuzzy MCDM approach for personnel selection. *Expert Systems with Applications*, 175 (1), pp. 247-286, 2010. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.11.067
- [24] Martínez, L., Ruan, D. and Herrera, F., Computing with words in decision support systems: An overview on models and applications. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 3 (4), pp. 382-395, 2010. DOI: 10.2991/ijcis.2010.3.4.1. DOI: 10.1080/18756891.2010.9727709
- [25] Mendel, J.M. et al., What computing with words means to me: discussion forum. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 5 (1), pp. 20-26, 2010. DOI: 10.1109/MCI.2009.934561
- [26] Hurtado, S.M. y Gómez, G.P., Modelo de inferencia difusa para estudio de crédito. *DYNA*, 75 (154), pp. 215-229, 2008
- [27] Zadeh, L.A., Nacimiento y evolución de la lógica borrosa, el soft computing y la computación con palabras: un punto de vista personal. *Psicothema*, 8 (2), pp. 421-429, 1996.
- [28] Zadeh, L.A., Fuzzy logic = computing with words. *IEEE Transactions On Fuzzy Systems*, 4 (2), pp. 103-111, 1996. DOI: 10.1109/91.493904.
- [29] Estrella, F.J., Espinilla, M. and Martínez, L., FLINTSTONES: Una suite para la toma de decisiones lingüísticas basada en 2-tupla lingüísticas y extensiones. *XVII Congreso español sobre tecnologías y lógica fuzzy*, 2014.

- [30] Yager, R.R., On the retranslation process in zadeh's paradigm of computing with words. IEEE Transactions on systems, man and cybernetics, Part B: Cybernetics, 34 (2), pp. 1184-1195, 2004. DOI: 10.1109/TSMCB.2003.821866.
- [31] Zadeh, L.A., From computing with numbers to computing with words, from manipulation of measurements to manipulation of perceptions. IEEE Transactions on circuits and systems I: fundamental theory and applications, 46 (1), pp. 105-119, 1999. DOI: 10.1109/81.739259
- [32] Zadeh, L.A., The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-Part I. Information sciences, 8 (3), pp. 199-249, 1975. DOI: 10.1016/0020-0255(75)90036-5.
- [33] Zadeh, L.A., Fuzzy sets. Information and Control, 8 (3), pp. 338-353, 1965. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- [34] Yager, R.R., An approach to ordinal decision making. International Journal of Approximate Reasoning, 12 (3), pp. 237-261, 1995. DOI: 10.1016/0888-613X(94)00035-2
- [35] Mendel, J.M. et al., What computing with words means to me: Discussion forum. IEEE Computational Intelligence Magazine., 5 (1), pp. 20-26, 2010. DOI: 10.1109/MCI.2009.934561
- [36] Roubens, M., Fuzzy sets and decision analysis. Fuzzy Sets and Systems 90, pp. 199-206, 1997. DOI: 10.1016/S0165-0114(97)00087-0.
- [37] Herrera, F. and Martínez, L., The 2-tuple linguistic computational model. Advantages of its linguistic description, accuracy and consistency. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems., 9, pp. 33-49, 2001. DOI: 10.1142/S0218488501000971
- [38] Mendel, J.M. and Wu, D., Perceptual computing: Aiding people in making subjective judgments. IEEE-Wiley, 2010. DOI: 10.1002/9780470599655
- [39] Delgado, M., Verdegay, J.L. and Vila, M.A., On aggregation operations of linguistic labels. International Journal of Intelligent Systems, 8, pp. 351-370, 1993. DOI: 10.1002/int.4550080303.
- [40] Espinilla, M., Liu, J. and Martínez, L., An extended hierarchical linguistic model for decision-making problems. Computational Intelligence, 27 (3), pp. 489-512, 2011. DOI: 10.1111/j.1467-8640.2011.00385.x
- [41] Herrera, F., Herrera-Viedma, E. and Martínez, L., A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making. Fuzzy Sets and Systems, 114 (1), pp. 43-58, 2000. DOI: 10.1016/S0165-0114(98)00093-1
- [42] Herrera, F., Herrera-Viedma, E. and Martínez, L., A fuzzy linguistic methodology to deal with unbalanced linguistic term sets. IEEE Transactions On Fuzzy Systems, 16 (2), pp. 354-370, 2008. DOI: 10.1109/TFUZZ.2007.896353.
- [43] Clemen, R.T., Making hard decisions. An introduction to decision analysis, Duxbury Press, 1995.
- [44] Marcomini, A., Suter, G.W. and Critto, A., Decision support systems for risk based management of contaminated sites, Springer-Verlag, Editor, New York, 2009. DOI: 10.1007/978-0-387-09722-0
- [45] Keeney, R.L. and Raiffa, H., Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs, Sons, J.W., Ed., New York, 1976.
- [46] Wei, G.W., Some harmonic aggregation operators with 2-tuple linguistic assessment information and their application to multiple attribute group decision making. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 19 (6), pp. 977-998, 2011. DOI: 10.1142/S0218488511007428
- [47] Xu, Y. and Wang, H., Approaches based on 2-tuple linguistic power aggregation operators for multiple attribute group decision making under linguistic environment, Applied Soft Computing Journal, 11 (5), pp. 3988-3997, 2011. DOI: 10.1016/j.asoc.2011.02.027
- [48] Andrés, R.D., García-Lapresta, J.L. and Martínez, L., A multi-granular linguistic model for management decision-making in performance appraisal. Soft Computing, 14 (1), pp. 21-34, 2010. DOI: 10.1007/s00500-008-0387-8.
- [49] Yager, R.R., Connectives and quantifiers in fuzzy sets. IEEE Transactions on systems man and cybernetics, 40, pp. 39-76, 1991. DOI: 10.1016/0165-0114(91)90046-s
- [50] Yager, R.R., On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making. IEEE Transactions on systems, man and cybernetics, 18, pp. 183-190, 1988. DOI: 10.1109/21.87068

G. Felix-Benjamín, graduado de Lic. Ciencia de la computación en 2011 en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), Santa Clara, Cuba. Msc. en Ciencia de la Computación en el 2014 y pertenece al Centro de Estudios Informáticos de la institución. Sus intereses investigativos son en la disciplina de inteligencia artificial particularmente softcomputing, lógica difusa, toma de decisiones, metaheurísticas y machine learning. Ha participado en diferentes eventos tanto nacionales como internacionales y ha publicado diferentes artículos, por ejemplo en Ingeniare, revista chilena de ingeniería.

ORCID: 0000-0001-5342-8674

C. Calero-Muela, graduada de Ing. Industrial en 2011 en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), Santa Clara, Cuba. Pertenece a la Empresa de Construcción y Montaje de Sancti Spiritus. Sus intereses investigativos son sobre la gestión del capital humanos y sus procesos. Actualmente se encuentra cursando la Maestría en Ingeniería Industrial.

ORCID: 0000-0002-4574-9889

R. Esquivel-García, graduado de Ing. Industrial en el 2004 en la UCLV, Santa Clara, Cuba. Director de capital humano de la Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez". MSc. en Dirección y graduado de Dr. en Ciencias Técnicas en el 2014. Consultor del Centro Internacional de La Habana (CIH SA). Auditor interno de calidad para la Educación Superior.

ORCID: 0000-0002-6170-9625

R. Bello-Pérez, recibió su título de Licenciado en Cibernética y Matemáticas en la UCLV, Santa Clara, Cuba, en 1982, y Dr. en 1987, su interés científico radica en la disciplina de Inteligencia artificial, particularmente en metaheurísticas, softcomputing, machine learning y toma de decisiones. Ha publicado alrededor de 200 trabajos científicos. Es miembro de la Academia de Ciencias de Cuba y es el Director del Centro de Estudios en Informática de la UCLV.

ORCID: 0000-0001-5567-2638



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN

FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Ingeniería
de Sistemas e Informática

Oferta de Posgrados

Especialización en Sistemas
Especialización en Mercados de Energía
Maestría en Ingeniería - Ingeniería de Sistemas
Doctorado en Ingeniería- Sistema e Informática

Mayor información:

E-mail: acsei_med@unal.edu.co
Teléfono: (57-4) 425 5365