

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



MFC
Facultad de Matemática
Física y Computación

Departamento de Inteligencia Artificial

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Decisión multicriterio mediante computación con palabras para un sistema de gestión de capital humano.

Autora: Amanda Beatriz Reyes Rodríguez

Tutores: MSc. Lázaro Jesús Pérez Lugo

MSc. Marilyn Bello García

Consultante: Dr. Rafael Bello Pérez

Santa Clara, Junio y 2019
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



MFC
Facultad de Matemática
Física y Computación

Academic Department of Artificial Intelligence

DIPLOMA THESIS

Title: Multicriteria decision through word computing for a human capital management system.

Author: Amanda Beatriz Reyes Rodríguez

Thesis Director: MSc. Lázaro Jesús Pérez Lugo

MSc. Marilyn Bello García

Consultant: Dr. Rafael Bello Pérez

Santa Clara, June, 2019
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Dedicatoria

A mi hermano Ernesto y mi mamá Vivian,
a mis abuelos maternos: Teresa y Anecio,
a mi esposo Ailier,
a mis amigos Carlitos y Yandito
a Yolo y Anova.

Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento a mi mamá por estar siempre para mí, ayudarme en todo y enseñarme que, siempre que se quiere, se puede; a mis abuelos maternos por apoyarme siempre y consentirme mucho; a mi hermanito que lo quiero con todo mi corazón y a mi esposo Ailier por estar a mi lado dándome aliento y a su familia por estar al tanto de mis estudios.

Muchísimas gracias mis tutores Lázaro y Marilincita por su apoyo incondicional en estos meses tan difíciles y de mucho sacrificio; al doctor Rafael Bello, por brindar su ayuda en todo momento; a mis profesores de la carrera, que gracias a ellos he adquiridos los conocimientos suficientes para poder desempeñar este trabajo de diploma y a mi decana Yanet por preocuparse por el estado de nuestras tesis en todo el curso.

A mis compañeros de aula, en especial a Carlos, Yandy, Yojacni, Dairo y Orelvis que gracias a ellos mi tránsito por la universidad se hizo mucho más fácil y agradable.

Muchas gracias a todos los que me ayudaron de una manera u otra y que no escriba porque sería inmensa la lista.

¡Gracias a todos!, sin su apoyo no hubiese podido culminar esta tarea.

Resumen

La siguiente investigación consiste en la implementación de un algoritmo para solucionar un problema de toma de decisiones multicriterio en el proceso de selección de personal en el sistema DISTRA de Gestión de Capital Humano de la empresa XETID. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica sobre los métodos utilizados para la toma de decisión multicriterio en la selección de personal, donde se seleccionó un método basado en Computación con Palabras utilizando el modelo simbólico 2-tupla. Para comprobar la eficiencia y eficacia del método se aplicó el mismo a varios estudios de caso, que consisten en problemas reales de selección de personal.

Abstract

The following research consists of the application of an algorithm to solve a multi-criteria decision-making problem in a personnel selection process in the DISTRA Human Capital Management system of the company XETID. To this end, a bibliographic review was carried out on the methods used for multi-criteria decision making in the selection of personnel, where a method based on computation with words using the symbolic model 2-tuple was selected. In order to verify the efficiency and effectiveness of the method, it was applied to several case studies, which consist of real problems of personnel selection.

Contenido

Introducción	6
Capítulo 1. La selección de personal como problema de toma de decisiones multicriterio	11
1.1 La problemática de la selección de personal y las competencias laborales.	11
1.2 Métodos que abordan la problemática de selección de personal	12
1.2.1 Métodos tradicionales	12
1.2.2 Modelos matemáticos	14
1.2.3 Técnicas de Inteligencia Artificial	16
1.3 Los métodos de toma de decisiones multicriterio	18
Conclusiones finales	34
Capítulo 2. Solución computacional basada en Computación con Palabras para el sistema de gestión de capital humano.....	35
2.1 Modelos lingüísticos computacionales basados en Computación con Palabras	35
2.1.1 Modelo semántico	35
2.1.2 Modelo simbólico	36
Modelo lingüístico basado en términos virtuales	36
Modelo lingüístico 2-tuplas Proporcional	37
Modelo lingüístico 2-tuplas.....	39
2.2 Sistema de Gestión de Capital Humano (Distra) de la empresa XETID.....	42
2.2.1 Componentes del Sistema de Gestión de Capital Humano Distra	43
2.3 Algoritmo basado en el modelo simbólico 2-tupla de Computación con Palabras para la toma de decisiones en el sistema Distra	45
2.3.1 Datos homogéneos y heterogéneos	46
2.3.2 Algoritmo	48
2.3.2.1 Pseudocódigo del método propuesto	49
2.3.2.2 Diagrama de actividades.....	50
2.3.2.3 Diagrama de componentes	52
Conclusiones finales	55
Capítulo 3. Experimentación realizada al método propuesto a partir de diferentes estudios de caso.....	56
3.1 Descripciones de los estudios de caso aplicados al algoritmo	56
3.2 Experimentación con los casos de estudio.....	58
3.2.1 Análisis de los casos de estudio	59
Conclusiones finales	71
Conclusiones	72
Recomendaciones	73
Bibliografía.....	74

Tabla de Figuras

Fig. 1: Estructura de la matriz A.....	20
Fig. 2: Matriz A normalizada.	21
Fig. 3: Matriz de decisión con los pesos de los criterios.	23
Fig. 4: Matriz de decisión normalizada.	24
Fig. 5: Matriz normalizada y ponderada.....	24
Fig. 6: Criterios generalizados. Imagen tomada de (<i>Bernal Romero, 2018</i>).	30
Fig. 7: Ejemplo de representación del modelo de términos lingüísticos virtuales.....	36
Fig. 8: Diagrama de componentes del módulo Sistema de Capital Humano del sistema Distra.	43
Fig. 9: Clasificación de los enfoques de la información heterogénea(tomado de (<i>Zulueta Véliz, 2014</i>)). 47	47
Fig. 10: Diagrama de actividades del algoritmo implementado.	50
Fig. 11: Diagrama de componentes del sistema de Capital Humano del Distra.	53
Fig. 12: Ejemplo de matriz de intervalos de capacidades.....	57
Fig. 13: Ejemplo de matriz de candidatos.	58
Fig. 14: Matriz de intervalos del primer caso de estudio.....	59
Fig. 15: Matriz de datos del primer caso de estudio.	60
Fig. 16: Matriz de intervalos del segundo caso de estudio.	61
Fig. 17: Fragmento de la matriz de datos del segundo caso de estudio.	62
Fig. 18: Matriz de intervalos del tercer caso de estudio.	64
Fig. 19: Fragmento de la matriz de datos del tercer caso de estudio.	65
Fig. 20: Matriz de intervalos de capacidades del cuarto caso de estudio.....	68
Fig. 21: Matriz de datos del cuarto caso de estudio.....	68
Fig. 22: Matriz de intervalos del quinto caso de estudio.	69
Fig. 23: Matriz de datos del quinto caso de estudio.....	70

Índice de tablas

Tabla 1: Resultado del algoritmo para el primer caso de estudio.....	60
Tabla 2: Resultado del algoritmo para el segundo caso de estudio.	62
Tabla 3: Resultado del algoritmo para el tercer caso de estudio.....	66
Tabla 4: Resultado del algoritmo para el cuarto caso de estudio.....	69
Tabla 5: Resultado del algoritmo para el quinto caso de estudio.	70

Introducción

La selección de personal es el proceso que elige a la persona más capacitada y mejor preparada para un puesto de trabajo determinado en un momento dado. Ésta se encuentra dentro de los problemas de decisión de la vida real, es un proceso complejo que se espera sea capaz de colocar al empleado correcto, en el puesto correcto y en el momento oportuno. (López Gumucio, 1963; Chiavenato, 2000; Camargo, 2014; Moreno Belmonte, 2016)

Entre los principales métodos y técnicas tradicionales que se han utilizado en el proceso de selección de personal se encuentran: el currículum, la entrevista, las referencias laborales, los *test* psicotécnicos y las pruebas de capacidad entre otros métodos o técnicas empleados para obtener información sobre una persona (Chiavenato, 2000; Gil Flores, 2013; Moreno Belmonte, 2016).

Estos métodos tradicionales de selección por lo general, llegan a una conclusión sobre la base de la apreciación subjetiva de los decisores, lo que hace que la exactitud de los resultados sea altamente cuestionable (Moreno Belmonte, 2016). Por tanto, se hace necesario utilizar métodos y procedimientos que faciliten con la mayor objetividad posible la solución de este problema, por lo que se está en presencia de un problema que requiere de métodos capaces de integrar una gran diversidad de información expresada en magnitudes y significados diferentes (Chiavenato, 2000).

El uso de múltiples criterios para medir la calidad de las soluciones son ampliamente utilizados en los procesos de selección de personal, cuando nos encontramos en presencia de un problema como este, se habla de un problema de toma de decisiones multicriterio (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) (Aznar Bellver y Guijarro Martínez, 2012; Ceballos, Lamata y Pelta, 2015; Cabello Herce, 2017). De esta forma, podemos considerar a la selección de personal como un problema de toma de decisiones multicriterio.

Los métodos MCDM han sido propuestos por varios autores (Roy, 1990; Bellver Aznar y Martínez Guijarro, 2012; Fontana Viñuales, 2015; Bernal Romero, 2018) y se consideran ideales para tratar problemas de selección de personal. Estos métodos poseen la característica de obtener la solución óptima a partir de la combinación de varios criterios de selección.

Dentro de los métodos multicriterio más conocidos se encuentran el método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) propuesto por (Yoon, 1980), otras alternativas de este método han sido propuestas en (Dejiang, 2009; Kelemenis y Askounis, 2009, 2010) incluyendo una variante difusa (García-Cascales y Lamata Jiménez, 2010). El método TOPSIS (Pérez Arza, Verdecia Martínez y Lavandero García, 2012; Jimenez Jarquin, 2013; Bernal Romero, 2018) es un método de ordenamiento que permite conformar un conjunto de *ranking* partiendo de dos conjuntos finitos, un conjunto de alternativas y conjunto de criterios, donde se calcula la cercanía a la distancia ideal (positiva) y su lejanía a la distancia anti-ideal (negativa) para cada alternativa. Por otra parte, el método TOPSIS difuso (Fernandez y Jesus, 2012; Ceballos, Lamata y Pelta, 2015) es una modificación del método TOPSIS que permite que la entrada de los datos al algoritmo sean lingüísticos, donde se procesa la información a través de etiquetas modeladas en números difusos triangulares y la salida de los datos también son lingüísticos a través del proceso de defuzzyficación (Fernandez y Jesus, 2012).

El método AHP (*Analytic Hierarchy Procces*) (Wind y Saaty, 1980), así como VIKOR (Multi-Criteria Optimization and Compromise Solution) (Opricovic, 1998) y PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations*) (J. P. Brans y Vincke, 1985) son también métodos representativos dentro de ésta área. El método VIKOR al igual que el método TOPSIS, se basa en la conformación de un conjunto de *ranking* teniendo en cuenta las alternativas y los criterios del experto, donde se utiliza la proximidad de la alternativa a la solución ideal y la lejanía a la solución anti-ideal, con la diferencia de que para medir la proximidad se utiliza un índice de jerarquización. A diferencia de este el método AHP encuentra la solución más apropiada a partir de la jerarquización de los criterios del experto, su relación con las distintas alternativas y teniendo en cuenta una ponderación de los mismos. Por su parte, PROMETHEE, se basa en jerarquizar las alternativas, a partir de un flujo neto, compuesto por un flujo entrante y saliente, los cuales representan el nivel de dominancia entre las alternativas.

Según (Güngör, Serhadlioğlu y Kesen, 2009; Kelemenis y Askounis, 2010; Boran, Genç y Akay, 2011; Krohling y Campanharo, 2011; El-Santawy y El-Dean, 2012; Jimenez Jarquin, 2013; Özdemir, 2013; Bernal Romero, 2018) estos métodos se han utilizado para resolver el problema de la selección de personal. Estos métodos tienen la desventaja de no tener en

cuenta valores lingüísticos, excepto en el caso de TOPSIS difuso, que sí posee esta característica. Aunque este último posee el inconveniente de que se debe definir de antemano una solución ideal negativa y otra positiva (Arza Pérez, Verdecia Martínez y Lavandero García, 2012).

Por otra parte, durante el proceso de selección de personal, un candidato es valorado por el criterio de un experto, y a su vez este criterio puede ser un valor lingüístico. Para procesar este tipo de información, un enfoque ideal es la Computación con Palabras (*Computing with Words*, CWW) (Zadeh, 1996), y por sus características es considerada una buena opción para resolver problemas de toma de decisiones multicriterio dentro selección de personal (Herrera Triguero *et al.*, 2001; Sun *et al.*, 2008; Tai y Chen, 2008). Su esquema básico expuesto en (Estrella, Espinilla y Martínez, 2014) comienza con una entrada lingüística, donde se cuenta con una fase de unificación de la información (primera fase o translación), posteriormente se manipula (segunda fase) y se retraslada (tercera fase), obteniéndose como resultado del proceso una salida lingüística.

Recientemente, en el Laboratorio de Inteligencia Artificial de la UCLV se han desarrollado investigaciones que abordan a partir de diferentes enfoques problemáticas relacionadas con la selección de personal (Bello *et al.*, 2016; Bello García, 2016; Pérez Lugo, 2018). Cada uno de estos enfoques soluciona problemáticas diferentes dentro de esta área, pero todos parten, para realizar el proceso de selección, de un *ranking*, que expresa las preferencias de cada tomador de decisión sobre cada candidato. Este *ranking* es elaborado a partir de un conjunto de expertos que auxilian a cada tomador de decisión en este proceso de selección. Por consiguiente, todos los métodos desarrollados tienen como impedimento para su uso práctico, la necesidad de tener un *ranking* que represente el orden de preferencia que tiene un experto sobre un conjunto de candidatos, según las capacidades que cada candidato tiene en un área determinada.

Estos métodos no se enfocan en desarrollar métodos o técnicas para establecer dicho *ranking*, sino que parten del hecho de tener este *ranking* ya elaborado. A partir del convenio establecido entre la UCLV y la Empresa de las Tecnologías de la Información para la Defensa (XETID), y como parte de la línea de investigación referente al manejo del capital humano, se hace necesario reorientar la investigación en dirección a esta problemática. Surge

entonces, la necesidad de implementar un método capaz de conformar *rankings* a partir de un conjunto de capacidades definidas dentro de un conjunto de candidatos que iniciarán un proceso de selección de personal. A partir de esto se define el siguiente **problema de investigación**: ¿Cómo lograr construir un *ranking* de candidatos a partir de la agregación de un conjunto de capacidades definidas para cada candidato en un proceso de selección?

A partir de esto se define el **objetivo general** de la investigación:

Implementar un método computacional basado en Computación con Palabras que sea capaz de construir *rankings* de candidatos a partir de la agregación de un conjunto de capacidades definidas sobre un conjunto de candidatos en el Sistema de Gestión de Capital Humano DISTRA de la empresa XETID.

Para lograr este objetivo se plantean los siguientes **objetivos específicos**:

1. Revisar la literatura de Computación con Palabras existente, específicamente los métodos y técnicas que abordan la problemática de la selección de personal.
2. Implementar un método basado en Computación con Palabras que permita, a partir de un *ranking* la obtención de un criterio de selección sobre un conjunto de candidatos.
3. Evaluar la calidad del método propuesto a partir de varios casos de estudio.

Se formula la siguiente **hipótesis** de investigación:

La Computación con Palabras es una buena técnica de Inteligencia Artificial que permite dar solución a los problemas de toma de decisión multicriterio en la selección de personal.

Preguntas de investigación:

¿Cuáles son los métodos y técnicas basados en Computación con Palabras que permiten obtener una agregación de criterios sobre un conjunto de candidatos?

¿Cómo obtener, a partir de un *ranking*, una agregación de criterios sobre un grupo de candidatos utilizando el enfoque de la Computación con Palabras?

¿Cómo evaluar la calidad del método implementado a partir de varios casos de estudio?

Justificación:

Esta investigación surge como resultado del proyecto de I+D+I establecido entre el Centro de Investigaciones en la Informática (CII) y la empresa XETID en el área de investigación correspondiente a la gestión del capital humano. La misma pretende dar solución al problema de toma de decisión sobre un candidato registrado en el sistema (DISTRÁ).

Con esta investigación se pretende dotar al Sistema de Gestión de Capital Humano desarrollado por la empresa XETID de un módulo basado Técnicas de Inteligencia Artificial que aumente el valor comercial del sistema para su mayor comercialización.

La tesis está estructurada en tres capítulos. El Capítulo 1 aborda la problemática de la selección de personal, y específicamente se analizan los métodos y técnicas multicriterio existentes para dar solución a la misma. En el Capítulo 2 se aborda la problemática de la selección de personal a partir de la Computación con Palabras, y se describe el algoritmo a ser implementado dentro de este enfoque para dar solución al problema de investigación, y en el Capítulo 3 se realiza una evaluación del método implementado a partir de varios casos de estudio. El documento culmina con las Conclusiones y Recomendaciones finales resultantes de la investigación realizada.

Capítulo 1. La selección de personal como problema de toma de decisiones multicriterio

En la actualidad, todas las empresas buscan a la persona más capacitada y preparada para desempeñar el puesto de trabajo que más se adecue según las características del trabajador y del puesto vacante, con el objetivo de lograr que aumenten o se mantengan las ganancias o beneficios de la empresa.

En este capítulo se describe el proceso de selección de personal orientado como un problema de toma de decisiones multicriterio y se aborda diversos métodos existentes en la literatura empleados para solucionar esta problemática. Estos métodos pueden ser tradicionales, matemáticos y basados en técnicas de Inteligencia Artificial, donde se hará mayor énfasis en los métodos de toma de decisiones multicriterio.

1.1 La problemática de la selección de personal y las competencias laborales.

Algunos autores definen la selección personal como:

- *“la escogencia del individuo adecuado para el cargo adecuado, o, en un sentido más amplio, escoger entre los candidatos reclutados a los más adecuados, para ocupar los cargos existentes en la Empresa, tratando de mantener o aumentar la eficiencia y el rendimiento del personal.”* (Chiavenato, 2000)
- *“El proceso mediante el cual, la organización aplica diversas técnicas para identificar en cada uno de los candidatos las competencias requeridas para ocupar el puesto de trabajo; permitiéndole tomar una decisión de aceptación o de rechazo en la contratación de sus empleados.”* (Guerrero Dávalos, 2012)
- *“... procedimiento de toma de decisiones en el que se debe evaluar la medida de ajuste de los candidatos a un puesto de trabajo determinado.”* (Moreno Belmonte, 2016)

Por otra parte, dentro de la selección de personal, también se define el concepto de competencias laborales, donde (Spencer y Spencer, 1993) plantea que *“competencia es una característica subyacente en el individuo que está causalmente relacionada con un estándar de efectividad y/o a una performance superior en un trabajo o situación”*, mientras que en (Fernández, 1999), la competencia se define como *“el conjunto de saberes (saber, saber*

hacer, saber estar y saber ser –conocimientos, procedimientos y actitudes respectivamente) combinados, coordinados e integrados en el ejercicio profesional”, y en (Ruiz de Vargas, Jaraba Barrios y Romero Santiago, 2005) se definen como “...*el conjunto de capacidades que posee un individuo para resolver o llevar a cabo una tarea específica, según los criterios de la entidad a la que pertenece*”. En (Novick *et al.*, 1998) se plantea que las competencias, a grosso modo, se clasifican en competencias: básicas, intelectuales, técnicas y comportamentales.

1.2 Métodos que abordan la problemática de selección de personal

Existen diversos métodos y técnicas que abordan esta problemática. Dentro de ellos se encuentran: los tradicionales (Ruiz de Vargas, Jaraba Barrios y Romero Santiago, 2005; Polanco Soto, 2006; Cojulún Cifuentes, 2011), los modelos matemáticos (Narro, 1996; Diaz Muñoz, 2005; Bellabdaoui y Teghem, 2006; Viveros E y Salazar H, 2010; Gonzalez, Sabando Vera y Barcia, 2018; Puente Riofrío y Gavilánez Álvarez, 2018) y el uso de técnicas de Inteligencia Artificial (Fernández, González y Cuervo, 1996; López González, Mendaña Cuervo y Rodríguez Fernández, 1996; Barro *et al.*, 2005; Canós y Liern, 2008; Kelemenis y Askounis, 2009; Flores Saavedra y Vera Zavaleta, 2010; Bello *et al.*, 2016).

1.2.1 Métodos tradicionales

Dentro de los métodos tradicionales para seleccionar a un candidato se encuentran: el currículum (Stenhouse, 1980), la entrevista (Alles, 1999), las referencias laborales (Lado, 2001), los *test* psicotécnicos (Mateo, 2000), el *assessment center* (Bray y Grant, 1966), ejercicios In-Basket (Gill, 1979), pruebas de conocimiento o capacidad (Gordillo, 2003) y dinámicas de grupo (Shaw y Antich, 1980).

En (Moreno Belmonte, 2016) se plantea que el currículum es “*uno de los discursos elaborados en el mercado del discurso sobre sí mismo, cuyo objeto es definir cómo debe ser la presentación pública de la vida académica y profesional de un individuo, identificado con su nombre y apellido*”. De esta forma el currículum es el documento que presenta el candidato, y plasma todos sus datos profesionales y académicos. Sin embargo, este documento no es muy confiable porque puede que no sea totalmente ciertos los datos que se encuentren escritos en él y para evitar falsificaciones (López Gumucio, 1963) plantea que a

la hora de revisar un currículum se debe tener en cuenta un conjunto de factores como: el tipo de escritura, la redundancia, los errores comunes, etc.

La entrevista de trabajo, según (Chiavenato, 2000) constituye el factor más importante para dar el veredicto final sobre la aprobación o no del candidato. En (López Gumucio, 1963) se expone que las preguntas de la entrevista se preparan con antelación y pueden ser cerradas, abiertas, de sondeo o provocadoras. Por otro lado, en (Moreno Belmonte, 2016) se explica que la entrevista no es más que el proceso de preguntas que el entrevistador le realiza al candidato con el objetivo de obtener la información necesaria sobre su vida laboral e incluso algunos datos psicológicos que sean importantes.

Las referencias laborales son la única vía que tiene el entrevistador para conocer si es totalmente cierta la información que obtuvo en la entrevista de trabajo y que se encuentra escrita en el currículum del candidato (Moreno Belmonte, 2016). Según (Cojulún Cifuentes, 2011) las referencias laborales son el proceso de investigación del desempeño laboral del candidato, a través de los antiguos jefes y compañeros de trabajo. El autor también asevera que las referencias laborales se consideran un buen indicador de las habilidades profesionales de un candidato, ya que existe la posibilidad de que si el candidato se postula para un puesto de trabajo similar al que tenía anteriormente tenga más experiencia y sienta más satisfacción en el desempeño del nuevo puesto.

En (Moreno Belmonte, 2016) también se aborda como método tradicional los *test* psicotécnicos, el que se divide según su objeto de medición en: *test* de inteligencia, *test* de motivación y de interés, *test* de personalidad, *test* de aptitudes específicas. El autor plantea que estos *test* generalmente se aplican en grupos, pero la evaluación es individual para cada candidato y aportan la valoración y evaluación de las aptitudes del candidato, además de algunos factores psicológicos dependiendo del tipo de *test* que se aplique. A su vez, los ejercicios de bandeja de entrada o bandeja de gestión (*In-Basket*) consiste en un grupo de tareas que se pueden aplicar de forma individual o formar parte de los *assessment center* y son asignadas al candidato para que las solucione en un tiempo determinado, donde se evalúan la forma en que las jerarquiza y les da solución.

Los Centros de Desarrollo y de Evaluación (*assessment center*), según (Castro M., 2011), “*utilizan muestras de trabajo y ejercicios simulados para evaluar competencias difíciles de*

medir con pruebas convencionales”. Suelen estar compuestos de diferentes metodologías, dependiendo de la evaluación a los candidatos y del puesto de trabajo vacante (Moreno Belmonte, 2016). En (Cojulún Cifuentes, 2011) como una técnica que detecta de forma precisa y objetiva las competencias y el nivel de desarrollo que posee el candidato. Esta técnica se basa en reunir durante un período de uno o varios días a varios candidatos conformados en grupos de 5 o 6 personas para evaluar sus competencias desde diversos puntos de vista (Gil Flores, 2013). Mientras que otros autores como (López Gumucio, 1963) plantean que estas pruebas pueden ir acompañadas de otros tipos de pruebas, por ejemplo, las pruebas de conocimiento, los ejercicios de bandeja de entrada y las entrevistas.

Las pruebas de conocimiento o habilidades específicas se abordan en (López Gumucio, 1963) y se basan en evaluar las habilidades metodológicas y prácticas que posee el candidato en el momento de poner en práctica la experiencia que posee. Por otra parte, (Cojulún Cifuentes, 2011) comenta que las pruebas de conocimiento tienen como objetivo evaluar el conocimiento profesional y teórico que posee el candidato o las habilidades para resolver las tareas.

Las dinámicas de grupo son pruebas de discusión verbal que miden la personalidad de los candidatos e investigan cómo será su comportamiento en un entorno de trabajo similar (Moreno Belmonte, 2016). Mientras que, en (Aguado, 2016), se plantea que *“pueden ser de diversos tipos: grupos de discusión, entrevistas grupales, juegos de negocios, presentaciones, etcétera”* y *“son pruebas de selección que se emplean para conocer la personalidad de los candidatos y averiguar cómo actuarán en una situación similar en el entorno laboral”*.

1.2.2 Modelos matemáticos

Existen disímiles modelos matemáticos para la toma de decisiones. Los más utilizados por entidades y revisados en la bibliografía consultada son: el modelo de programación lineal, el modelo de programación entera, el modelo de programación no-lineal, el modelo de programación dinámica y el modelo de programación multiobjetivos.

El modelo de programación lineal se originó después de la Segunda Guerra Mundial, en 1947, donde Geoge Dantzing desarrolló investigaciones y aplicaciones para resolver problemas de programación lineal en situaciones de operación militar (Puente Riofrío y

Gavilánez Álvarez, 2018), mientras que el modelo de programación no lineal, según (Narro, 1996), se debe aplicar cuando, al menos, alguna de las relaciones existentes entre las variables es compleja y no pueda solucionarse con el modelo de programación lineal y el modelo de programación entera es un conjunto de técnicas que dan solución a los problemas de programación lineal, restringiendo a que las soluciones sean enteras. Este modelo presenta las restricciones del modelo lineal adicionando la restricción de integridad (que todas las variables sean enteras).

El modelo de programación dinámica es el único modelo que puede ser aplicado en situaciones que cambien con el tiempo, debido a la recursividad de su proceso de solución. En (Narro, 1996) se explica que este es el modelo con grandes (o mayores) dificultades para su construcción y solución, pero es el único que maneja situaciones que cambien con el tiempo, una condición necesaria para decidir en cada etapa. Por otra parte, la programación multiobjetivo u optimización vectorial, expone (Zunzunegui Suárez, 2017), constituye un enfoque multicriterio ventajoso cuando el problema de decisión está compuesto por un determinado número de objetivos a optimizar que deben satisfacer un conjunto de restricciones. Como no es posible optimizar todos los objetivos, por el grado de conflicto que existen entre ellos durante el proceso de toma de decisiones, este método trata de establecer un conjunto de soluciones eficientes en lugar de un óptimo único.

En la literatura algunos de estos modelos se han empleado para solucionar problemas de selección de personal, por ejemplo, en (Ware, Singh y Banwet, 2014) se desarrolla un programa no lineal de enteros mixtos para resolver problemas de la selección de proveedores, mientras que la programación dinámica se ha empleado en contextos como: la resolución de problemas de selección de recursos humanos multi-modo de una empresa (Chen, Zhu y Zhang, 2014) y un fabricante de textiles para el hogar (Özdemir, 2013), donde se busca la solución óptima para obtener qué método aplicar en un proceso de selección de personal. Por otro lado, en (Bravo Quintero, Aparicio Urbano y Fernández Lambert, 2016) se presenta una solución para el problema de selección de proveedores para una PYME (pequeñas y medianas empresas) dedicada a la venta de zapatos por catálogo.

Los modelos matemáticos son utilizados para resolver problemas a la hora de tomar decisiones en empresas. La principal desventaja de estos modelos es que no tienen en cuenta el criterio del decisor, además, algunos no permiten tener más de un criterio de selección.

1.2.3 Técnicas de Inteligencia Artificial

Dentro de la rama de la Inteligencia Artificial existen varias técnicas que han sido utilizados para el proceso de la toma de decisiones. Entre ellos se encuentran la Teoría de los Conjuntos Borrosos (Zadeh, 1965), las Metaheurísticas (Glover, 1986), las técnicas de *Soft Computing* (Zadeh, 1994) y los Métodos Multicriterio (Wind y Saaty, 1980; Yoon, 1980; J. P. Brans y Vincke, 1985; Opricovic, 1998).

Teoría de los conjuntos borrosos

El término conjuntos borrosos aparece por primer vez en (Zadeh, 1965). Estos permiten ubicar valores, que no siempre son totalmente ciertos o totalmente falsos, a través de una función de membresía en un universo. En (Guerrero Dávalos, 2012) se da solución a un problema de selección de personal utilizando los conjuntos borrosos donde utilizan en el algoritmo un coeficiente de adecuación como herramienta de selección de candidatos.

Metaheurísticas

Las metaheurísticas, introducidas por (Glover, 1986) en los años 60, combina diferentes métodos heurísticos para mejorar la eficiencia y efectividad de las búsquedas. En (Bello García, 2016) se propone dos métodos basados en Optimización basada en Colonias de Hormigas que permiten conformar equipos. Dándole continuidad al trabajo anterior, en (Pérez Lugo, 2018) proponen un método para la agregación de *rankings* en la selección de equipos de trabajo en un ambiente competitivo basado en Algoritmos Genéticos y un método para la conformación de equipos basado en Optimización de Colonias de Hormigas, donde parten de un conjunto de decisores, cada uno con un conjunto de *ranking* de candidatos, donde logra para cada decisor un *ranking* que luego le ayuda en el proceso de conformación de equipos.

Técnicas de Soft Computing

Las técnicas de Soft Computing se han aplicado en recursos humanos a través de métodos de agregación (Canós y Liern, 2008), mientras que en (Arza Pérez, Verdecia Martínez y

Lavandero García, 2012) se hace un análisis de las tendencias y métodos más utilizados para resolver problemas de selección de personal. Otras aplicaciones se ven en (Vahdani, Mousavi y Ebrahimnejad, 2014) donde se utiliza en el proceso de selección de expatriados desde el punto de vista de los gerentes de recursos humanos y en (Canós *et al.*, 2014) se utiliza como un método de selección de personal para buscar al candidato ideal de una empresa.

Lógica difusa

La lógica difusa o borrosa surge a través de la investigación del ingeniero Lofti A Zadeh en 1965 (Zadeh, 1965). Se basa en la utilización de valores que oscilan entre fronteras totalmente ciertas y totalmente falsas (Perez Pueyo, 2005). Según (D’Negri y De Vito, 2006), surge inicialmente para estudiar el problema de la vaguedad, donde luego se estudiaría también el problema de la incertidumbre. Un aspecto clave en la lógica difusa es que los conceptos son modelados mediante conjuntos difusos (Zulueta Véliz, 2014).

En (de Korvin y Kleyle, 2000) se diseña un algoritmo difuso para realizar el proceso de selección de personal a proyectos que tengan varias fases y tengan en cuenta las habilidades que posea el personal para cada fase, además de contar con consideraciones presupuestarias flexibles. Por otra parte, en (Esponda Estrada, 2018) se propone una aplicación web basada en la selección de personal a partir de intervalos difusos de evaluación con el objetivo de lograr el mejoramiento de los procesos de selección de personal en las empresas, mientras en (Canós *et al.*, 2011) se propone un método borroso basado en la gestión de competencias y teniendo en cuenta la valoración de la empresa sobre el candidato que encuentre más apropiado para el proceso de selección.

Redes neuronales

Según (Matich, 2002) el inicio de los fundamentos de la computación neuronal fue en 1943 protagonizado por los teóricos Warren McCulloch y Walter Pitts. En la selección de personal también han sido utilizadas las redes neuronales, por ejemplo, en (Sommer, Olbrich y Arendasy, 2004) son utilizadas en el campo de la psicología de la aviación para realizar el proceso de selección de candidatos para el entrenamiento de pilotos, donde evaluaron 4 capacidades a cada uno de los 82 candidatos que optaban por el entrenamiento, mientras (Gargano, Marose y von Kleeck, 1991) propone un clasificador de red neuronal a la cual se

le aplica un algoritmo genético para agilizar su proceso de aprendizaje, donde comprueban que dicha red neuronal mejora el proceso de selección de personal en la industria financiera.

1.3 Los métodos de toma de decisiones multicriterio

El autor (Fernandez y Jesus, 2012) argumenta que los MCDM son algoritmos matemáticos cuyos datos de entrada son criterios y alternativas y su resultado es un orden de prioridades de cada alternativa. En (Aznar Bellver y Guijarro Martínez, 2012) se explica que los métodos multicriterio se clasifican en métodos multicriterio discreto y método multicriterio continuo, donde los métodos multicriterio discreto son aquellos que el decisor tiene un conjunto de alternativas finitas y no muy grande para escoger; y los métodos multicriterio continuo son los que el decisor cuenta con un número infinito de alternativas para buscar las soluciones factibles.

Por otra parte, según (Fontana Viñuales, 2015), los métodos multicriterios se pueden clasificar en:

Programación multiobjetivo: se utiliza cuando existen varios objetivos a optimizar que compiten entre ellos y un grupo de restricciones que deben cumplir deseando encontrar un conjunto de soluciones factibles. El modelo no tiene en cuenta el criterio del experto y sus soluciones no son definidas a priori, sino que son obtenidas a partir de operaciones matemáticas.

Programación por metas: busca obtener un alto grado de satisfacción para cada criterio que sea considerado relevante en la decisión, ya que no es posible optimizar a todos. A cada criterio relevante se le asocia un atributo cuantificable y una meta, por lo que limita el modelo a problemas donde los objetivos estén asociados a atributos cuantificables y lo excluye de problemas que tengas criterios subjetivos.

Métodos basados en funciones de valor: puntúa cada alternativa para lograr un orden de preferencia equilibrado con el criterio de los expertos.

Métodos de sobreclasificación: realiza relaciones de sobreclasificación de alternativas en forma de pares. El tratamiento de la información de las relaciones de sobreclasificación para establecer el orden de las alternativas depende del método que se aplique posteriormente.

Métodos basados en jerarquías y redes analíticas: para describir la información de entrada y la relación que existe entre ellas utilizan una estructura jerárquica o una red a la que se le puede aplicar distintos métodos de ponderación, por ejemplo, AHP (Wind y Saaty, 1980), simula la forma natural el criterio de una persona en el proceso de toma de decisiones.

En (Cabello Herce, 2017) se expone que los métodos multicriterio discreto están formados por un conjunto de alternativas (E_1, E_2, \dots, E_m) , y un conjunto de criterios (A_1, A_2, \dots, A_n) , donde ambos conjuntos se combinan y se obtiene una matriz $m \times n$ R_{11}, \dots, R_{mn} que expresa el valor de cada alternativa evaluada en ese criterio. Los valores que contiene la matriz, explica (Bernal Romero, 2018), pueden ser intervalos, determinísticos o variables lingüísticas, es el punto de partida de la mayoría de los métodos multicriterio existentes.

1.3.1 AHP

El método AHP fue propuesto por (Wind y Saaty, 1980). Según (Fontana Viñuales, 2015), el método resulta ventajoso para resolver problemas complejos de toma de decisiones permitiendo al decisor encontrar la solución más adecuada de forma jerárquica, a través de una comparación por pares. En (Arza Pérez, Verdecia Martínez y Lavandero García, 2012) se expone que AHP es un método matemático creado con el propósito de evaluar las alternativas teniendo en cuenta varios criterios y está basado en el principio de que la experiencia de los actores o decisores es tan importante como los datos que son utilizados para resolver el problema. (Fernandez y Jesus, 2012) plantea que la característica principal que posee el método es que modela el problema de forma jerárquica, donde los nodos hojas son las alternativas, los intermedios representan los criterios (que internamente puede existir jerarquías entre ellos) y en el vértice superior se encuentra el objetivo principal del problema. En (Jimenez Jarquin, 2013) se expone los pasos a tener en cuenta para resolver problemas aplicando el método AHP:

1. **Definir el problema.**
2. **Construir la jerarquía:** en (Cabello Herce, 2017) plantea que resulta una condición a tener en cuenta que los atributos que conforman la jerarquía tengan un valor relevante y no incorporar en esta valores que no sean considerados relevantes.
3. **Construir las matrices de comparación por parejas:** en (Toskano Hurtado, 2005) se plantea que para lograr la jerarquización de las prioridades de las alternativas, el

decisor da una prioridad a cada alternativa en dependencia del criterio. Toda esta información es sintetizada por el método para obtener la jerarquización las preferencias de las alternativas. En (Cabello Herce, 2017) se explica que el decisor puede cuantificar su criterio con respecto a cada alternativa teniendo en cuenta la escala de Saaty (Wind y Saaty, 1980).

4. **Ponderar los criterios de cada nivel:** en (Jimenez Jarquin, 2013) se plantea que teniendo en cuenta las comparaciones realizadas en los pasos anteriores, en cada nivel de la jerarquía se pondera los criterios. La ponderación es calculada con la proporción que representa el total de valores de cada criterio con respecto al total de valores pertenecientes a todos los criterios.

En (Fontana Viñuales, 2015) se explica más específicamente el procedimiento para realizar el cálculo del vector de pesos de criterios partiendo de una matriz A (ver Fig. 1), real $m \times n$ donde m representa el número de criterios y cada valor a_{jk} de la matriz constituye la importancia del criterio j con respecto al k . Para conocer el nivel de importancia que poseen los criterios se compara a_{jk} con el valor numérico 1, si $a_{jk} > 1$, el criterio j tiene más importancia que el criterio k , si $a_{jk} < 1$ el criterio de j es menos importante que el k y si $a_{jk} = 1$, se dice que los criterios poseen la misma importancia, incluyendo los valores de la diagonal de la matriz $j = k$.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \vdots & 1 \end{pmatrix}$$

FIG. 1: ESTRUCTURA DE LA MATRIZ A.

Los valores de la matriz tienen que cumplir el axioma de reciprocidad definido en la Ecuación (1.1),

$$a_{jk} \cdot a_{kj} = 1 \tag{1.1}$$

La matriz se conformará a partir de los valores numéricos obtenidos de cada comparación realizada por los decisores. Estos valores forman parte de una escala numérica del 1 al 9, donde 1 representa que j y k son iguales de importantes, 3, que j es ligeramente más

importante que k , 5, que j es más importante que k , 7, j es considerablemente más importante que k y 9, que j es absolutamente más importante que k .

Después de conformada la matriz A , el paso próximo es normalizarla para lograr la síntesis de los datos, donde cada valor de la matriz normalizada A_{norm} (ver Fig. 2) se calcula a partir de la Ecuación (1.2):

$$\hat{a}_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{l=1}^m a_{lk}} \quad (1.2)$$

$$\begin{matrix} & C1 & C2 & \dots & Cm \\ \begin{pmatrix} 1/\sum C1 & a_{12}/\sum C2 & \dots & a_{1n}/\sum Cm \\ a_{21}/\sum C1 & 1/\sum C2 & \dots & a_{2m}/\sum Cm \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1}/\sum C1 & a_{m2}/\sum C2 & \dots & 1/\sum Cm \end{pmatrix} \end{matrix}$$

FIG. 2: MATRIZ A NORMALIZADA.

El siguiente paso sería la obtención del vector de pesos de criterio w mediante el valor medio de cada columna de la matriz normalizada, esto se define en la Ecuación (1.3).

$$w_j = \frac{\sum_{l=1}^m \hat{a}_{lj}}{m} \quad (1.3)$$

Luego de obtener el cálculo del vector de pesos de criterios se construyen las matrices de comparación a pares o matrices de puntuación de las alternativas. La cantidad de matrices de comparación por pares que se construyen es en dependencia de la cantidad de criterios que tenga el problema. Cada matriz de puntuación de las alternativas B , son matrices $b_{ih}^{(j)}$ de dimensión $n \times n$, donde n corresponde al número de alternativas. Cada término de la matriz $B^{(j)}$, se entiende como la evaluación de la alternativa i con respecto a la h para el criterio k . Posteriormente se realizan los pasos empleados en la conformación de la matriz A , donde se clasifican los valores de cada término entre el 1 y el 9 y a continuación se normaliza la matriz a partir de la Ecuación (1.4):

$$b'_{ih}^{(j)} = \frac{b_{ih}^{(j)}}{\sum_{l=1}^n b_{lh}^{(j)}} \quad (1.4)$$

Consecutivamente se calculan las evaluaciones de las m alternativas para cada criterio j a partir de la Ecuación (1.5):

$$s_i^{(j)} = \frac{\sum_{l=1}^n b'_{il}{}^{(j)}}{n} \quad (1.5)$$

Finalmente, se construye la matriz de puntuación de alternativas S al adicionar los vectores $s^{(j)}$ quedando de la forma de la Ecuación (1.6).

$$S = [s^{(1)}, \dots, s^{(i)}, \dots, s^{(n)}] \quad (1.6)$$

Por último, para realizar la clasificación de las alternativas se calcula el vector v de puntuaciones globales mediante la Ecuación (1.7):

$$v = S * w \quad (1.7)$$

El i -ésimo valor del vector simboliza la puntuación global asignada a la alternativa i . Finalmente, para obtener el *ranking* de alternativas, se organizan los valores obtenidos en orden decreciente.

Se expresa en (Arza Pérez, Verdecia Martínez y Lavandero García, 2012) que AHP es empleado para resolver problemas de selección de personal combinado con la teoría de conjuntos borrosos. Se presenta en (Güngör, Serhadlıog˘lu y Kesen, 2009) un sistema de selección de personal basado en este método difuso, mientras en (Büyüközkan, Arsenyan y Ruan, 2012) este método es combinado con TOPSIS para resolver un problema de selección de asistente personal digital de una empresa turca.

1.3.2 TOPSIS

La Técnica de Ordenamiento de Preferencias por Similitud a la Solución Ideal (TOPSIS, *Technique for Order Preference by Similary to Ideal Solution*) fue propuesto por (Yoon, 1980). (Jimenez Jarquin, 2013) plantea que el método considera a cada una de las alternativas como puntos del plano cartesiano (en casos que el problema tenga dos atributos) o en el espacio (casos donde sean problemas multiatributos). El autor explica que el método consiste en buscar una alternativa ideal y otra anti-ideal, donde se evalúan y calculan las distancias entre cada punto de las alternativas y el punto que le corresponde a la alternativa ideal. Se

concluye con la selección de la mejor alternativa que es la que más cerca se encuentre de la alternativa ideal y la que más lejana esté de la alternativa anti-ideal.

En (Bernal Romero, 2018) se exponen los siguientes pasos para resolver un problema multicriterio a través del método comentado:

1. Definir la matriz de decisión con los respectivos pesos de cada criterio.

El autor plantea que la matriz de decisión con los pesos de cada criterio debe tener una estructura como la de la Fig. 3:

$$\begin{array}{cccccc}
 & C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_n \\
 & w_1 & w_2 & \dots & w_j & \dots & w_n \\
 A_1 & \left[\begin{array}{cccccc}
 x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\
 x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn}
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

FIG. 3: MATRIZ DE DECISIÓN CON LOS PESOS DE LOS CRITERIOS.

donde, las filas representan las alternativas del problema y las columnas los criterios, cada valor X_{ij} representa el valor definido de cada criterio i con respecto a la alternativa j .

2. Normalizar la matriz de decisión de forma vectorial.

Luego de conformada la matriz de decisión con sus respectivos pesos se normaliza (ver Fig. 4) utilizando la Ecuación (1.8):

$$v_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2}} \text{ para todo } j= 1, \dots, n \tag{1.8}$$

5. Calcular las medidas de distancia.

Para calcular las medidas de distancia se aplica la distancia euclidiana para cada alternativa con respecto a su distancia ideal (Ecuación (1.10)) y anti-ideal (Ecuación (1.11)). Las ecuaciones empleadas para calcular dichas distancias son:

$$\bar{D}_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (P_{ij} - \bar{A}_j^+)^2} \quad (1.10)$$

$$\bar{D}_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (P_{ij} - \bar{A}_j^-)^2} \quad (1.11)$$

6. Determinar la proximidad relativa a la alternativa ideal.

La Ecuación (1.12) se emplea para obtener la proximidad relativa que existe entre cada alternativa de la matriz y la alternativa ideal:

$$\overline{RS}_i = \frac{\bar{D}_i^-}{\bar{D}_i^+ + \bar{D}_i^-} \quad (1.12)$$

7. Determinar el orden de preferencia de las alternativas.

El orden de preferencias de las alternativas se conforma a través de un *ranking* de valores, donde comienza con el mayor valor obtenido de la ecuación para calcular la proximidad relativa a la alternativa ideal y culmina con el menor valor.

En (Jimenez Jarquin, 2013) se explica la aplicación del método TOPSIS a un problema de selección de personal, de donde se parte de cuatro decisores, tres candidatos y ocho criterios para escoger el candidato adecuado para contratar como ingeniero industrial en una compañía manufacturera, mientras que, en (García-Cascales y Lamata Jiménez, 2010) se propone una modificación al método TOPSIS para que la salida del método sean lingüísticas, y en (Kelemenis y Askounis, 2010) incorporan el concepto de veto a la hora de clasificar las alternativas en el método, haciendo que el criterio de decisión final sea la distancia entre alternativas y el veto establecido por los tomadores de decisión aplicándolo a un proceso de selección de un miembro de un equipo directivo de una entidad. En (Dağdeviren, 2010) se propone un híbrido entre el Proceso de Red Analítica (*Analytic Network Process*, ANP) y TOPSIS aplicado en una empresa para realizar su proceso de selección de personal.

1.3.3 TOPSIS difuso

El método TOPSIS tiene una variante difusa, que no es más que la combinación de este método con la teoría de los conjuntos borrosos (Arza Pérez, Verdecia Martínez y Lavandero García, 2012). El procedimiento de aplicación es prácticamente igual al TOPSIS con la característica de que los criterios pueden ser valores lingüísticos. Estos criterios evaluados en las alternativas son tratados como números difusos triangulares a través de etiquetas lingüísticas.

En (Kelemenis y Askounis, 2009) se propone una extensión del método TOPSIS difuso para su aplicación en problemas de selección de personal y en (Fathi *et al.*, 2011) lo utilizan para seleccionar el personal de una empresa iraní, mientras en (Boran, Genç y Akay, 2011) es utilizado una extensión de TOPSIS a entornos difusos intuicionistas para escoger al personal más adecuado para un puesto de gerente de ventas de una empresa, además en (Kelemenis, Ergazakis y Askounis, 2011) aplican una extensión difusa del TOPSIS para la selección de candidatos para el puesto de gerente de nivel medio de una empresa griega, donde tienen en cuenta tres conceptos: la importancia relativa de los tomadores de decisiones por criterios, la importancia relativa de los tomadores de decisiones y los umbrales de vetos. Un caso particular se emplea en (Kabak, Burmaoğlu y Kazançoğlu, 2012), donde se propone un enfoque multicriterio híbrido combinando ANP difuso, TOPSIS difuso y ELECTRE difuso para realizar el proceso de selección de francotiradores.

1.3.4 VIKOR

El método VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromiso Resenje (VIKOR) (Opricovic, 1998) es un método multicriterio utilizado para resolver problemas multiatributos donde los datos son difusos. En (Bernal Romero, 2018) se plantean los siguientes pasos para solventar problemas con este método:

- 1. Definición de la matriz de decisión con los respectivos pesos de cada criterio.**

La matriz se conforma con las mismas que los métodos anteriores.

- 2. Normalización lineal de la matriz de decisión y determinación de los mejores y peores valores en las evaluaciones de cada criterio.**

Según (Ceballos, Lamata y Pelta, 2015) para realizar este paso antes se deben buscar

las $\tilde{f}_j^* = (f_{j1}^*, f_{j2}^*, f_{j3}^*)$ y las $\tilde{f}_j^- = (f_{j1}^-, f_{j2}^-, f_{j3}^-)$, donde $\tilde{f}_j^* = \text{MAX}_i(\tilde{X}_{ij})$ y

$\tilde{f}_j^- = \text{MIN}_i(\tilde{X}_{ij})$ si el criterio es de ganancia o beneficio y $\tilde{f}_j^* = \text{MIN}_i(\tilde{X}_{ij})$ y $\tilde{f}_j^- = \text{MAX}_i(\tilde{X}_{ij})$ si el criterio es de pérdida o costo. Luego se deben aplicar las siguientes ecuaciones para $i = 1, 2, \dots, m$ (ver Ecuación (1.13)) y $j = 1, 2, \dots, n$ (ver Ecuación (1.14)):

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{(\tilde{f}_j^* \ominus \tilde{X}_{ij})}{(\mathbf{f}_{j3}^* - \mathbf{f}_{j1}^-)} \quad (1.13)$$

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{(\tilde{X}_{ij} \ominus \tilde{f}_j^*)}{(\mathbf{f}_{j3}^- - \mathbf{f}_{j1}^*)} \quad (1.14)$$

En la Ecuación (1.13) se utiliza si el j -ésimo criterio es de maximización (beneficio o ganancia) y en la Ecuación (1.14), de minimización (costo o pérdidas).

3. Cálculo de las medidas R , S y Q para cada alternativa y verificación de la condición de ventaja aceptable y la condición de estabilidad aceptable en la toma de decisiones.

(Ceballos, Lamata y Pelta, 2015) expone que para calcular los valores de \tilde{S} , \tilde{R} y \tilde{Q} se realiza a través del cálculo de la Ecuación (1.15), Ecuación (1.16) y la Ecuación (1.17) respectivamente:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n (w_j^* \tilde{d}_{ij}) \quad (1.15)$$

$$\tilde{R}_i = \text{MAX}_j(w_j^* \tilde{d}_{ij}) \quad (1.16)$$

donde w_j es el peso del j -ésimo criterio

$$\tilde{Q}_i = \frac{v(\tilde{S}_i \ominus \tilde{S}^*)}{(\mathbf{S}_3^- - \mathbf{s}_1^*)} \oplus \frac{(1-v)(\tilde{R}_i \ominus \tilde{R}^*)}{(\mathbf{R}_3^- - \mathbf{R}_1^*)} \quad (1.17)$$

donde

$$\tilde{S}^* = \text{MIN}_i(\tilde{S}_i), \mathbf{S}_3^- = \text{MAX}_i\{S_{i3}\}, \tilde{R}^* = \text{MIN}_i(\tilde{R}_i), \mathbf{R}_3^- = \text{MAX}_i\{R_{i3}^r\} \text{ y } v \in [0,1].$$

Cada uno de los vectores obtenidos genera un *ranking* si se organizan sus valores en orden ascendente. El valor v indica cuán importante es el índice S . El valor v proporciona la dependencia del *ranking* resultante del método de R o S , según su valor. Si $v = 0$ el *ranking* depende de R , y si $v = 1$ el *ranking* depende del S .

4. Definición de la(s) solución(es) compromiso.

El *ranking* final se obtiene a través del valor de \tilde{Q}_i para $i = 1, 2, \dots, m$, el mismo se calcula de la Ecuación (1.18):

$$Q_i = \frac{Q_{i1} + 2Q_{i2} + Q_{i3}}{4} \quad (1.18)$$

El *ranking* se obtiene ordenando de forma decreciente los valores resultantes de \tilde{Q}_i , donde mientras más pequeño sea su valor mejor es la alternativa.

El método VIKOR es muy bueno para resolver problemas donde el decisor no tiene claro o no sabe con exactitud su preferencia con respecto a las alternativas (Bernal Romero, 2018). En (Hu-Chen *et al.*, 2014) proponen un método VIKOR lingüístico de intervalo 2-tupla para demostrar la aplicabilidad y eficacia de este en el proceso de selección de personal en un hospital de atención terciaria, mientras en (Mayor, Botero y González-Ruiz, 2016) se propone un modelo multicriterio para la selección de contratistas para un proyecto de infraestructura de iniciativa pública en Colombia.

1.3.5 PROMETHEE

El Método de Organización de Clasificación de Preferencias para Evaluaciones de Enriquecimientos (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations*, PROMETHEE) (J. P. Brans y Vincke, 1985) es un método multicriterio discreto, lo que significa que el número de alternativas a tener en cuenta por los decisores es finito y no muy grande (Aznar Bellver y Guijarro Martínez, 2012). Según (Fontana Viñuales, 2015), el método se caracteriza por poseer técnicas de sobreclasificación que buscan que tan buena o mala es una alternativa, a través de una comparación por pares teniendo en cuenta los diferentes grados de relación entre ellas. Según (Bernal Romero, 2018), estos grados de relación entre alternativas se utilizan posteriormente para configurar una pre clasificación parcial (PROMETHEE I) y/o una pre clasificación completa (PROMETHEE II). Dicho autor expone los siguientes pasos para resolver un problema multicriterio utilizando el método PROMETHEE:

1. Definir la matriz de decisión con los respectivos pesos de cada criterio.

La matriz de decisión se conforma igual que los métodos multicriterio anteriores: las filas representan las alternativas y las columnas los criterios y en cada X_{ij} , se encuentra el valor que posee cada criterio i con respecto a la alternativa j .

2. Definir los criterios generalizados asociados a cada C_j y comparación pareada de las alternativas (cálculo de $P_j(a, b)$ y $P_j(b, a)$).

Los criterios generalizados se obtienen a través de los valores p , q y s , donde p es denominado umbral de preferencia estricta, q es un umbral de indiferencia y/o s es un valor intermedio entre ambos umbrales. En (Fontana Viñuales, 2015) se expone que, como el método PROMETHEE se basa en una comparación por pares, se tiene en cuenta el valor resultante de la comparación de la evaluación de dos alternativa para cada criterio, por lo que a cada criterio pertenece una función de preferencia (ver Ecuación (1.19)):

$$P_j(a, b) = F_j(a, b)\{d_j(a, b)\} \forall (a, b) \in A \quad (1.19)$$

donde $d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b)$ y $0 \leq P_j(a, b) \leq 1$.

Si el criterio se debe maximizar, se dice que la función da preferencia a a sobre b para los resultados de las diferencias con respecto al criterio g_j , por lo que si la diferencia es negativa el valor de P_j sería cero, haciéndose cumplir la siguiente propiedad (ver Ecuación (1.20)):

$$P_j(a, b) = 0 \Rightarrow P_j(b, a) = 1 \quad (1.20)$$

Por otra parte, la función de preferencia para criterios que se deban minimizar sería (ver Ecuación (1.21)):

$$P_j(a, b) = F_j\{-d_j(a, b)\} \quad (1.21)$$

El conjunto resultante $\{g_j(\cdot), P_j(a, b)\}$, definido para cada criterio, se interpreta como “el criterio generalizado asociado a g_j ”. En Fig. 6 se expresan los criterios generalizados más comunes:

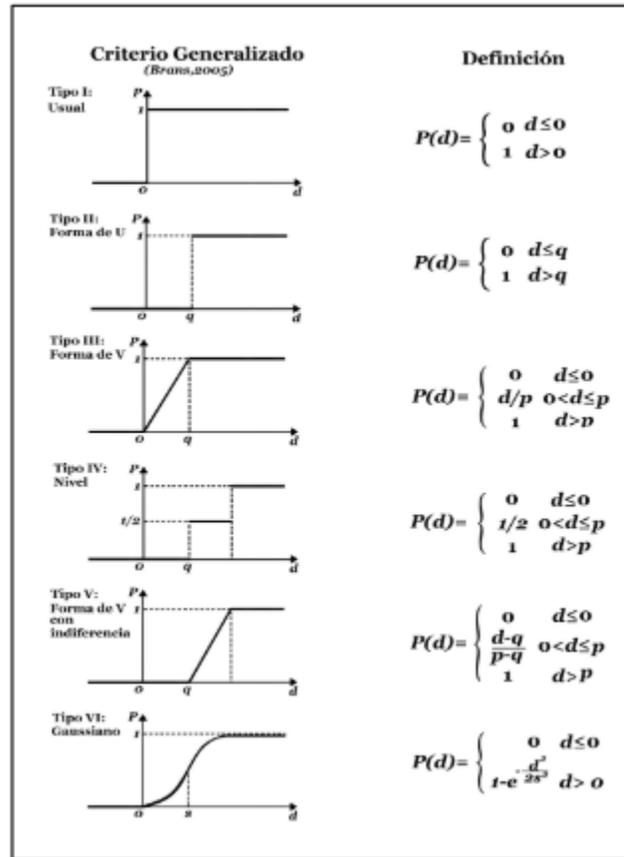


FIG. 6: CRITERIOS GENERALIZADOS. IMAGEN TOMADA DE (BERNAL ROMERO, 2018).

3. Cálculo de los índices de preferencia agregados $\pi(a, b)$ (ver Ecuación (1.22)), $\pi(b, a)$ (ver Ecuación (1.23)).

En (Fontana Viñuales, 2015) se explica que sea $a, b \in A$:

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b) w_j \quad (1.22)$$

$$\pi(b, a) = \sum_{j=1}^k P_j(b, a) w_j \quad (1.23)$$

donde, $\pi(a, b)$ significa el grado de preferencia que tiene a sobre b teniendo en cuenta todos los criterios y $\pi(b, a)$ expresa la preferencia de b sobre a . Ambos índices de preferencias deben cumplir las siguientes propiedades (ver Ecuación (1.24), Ecuación (1.25), Ecuación (1.26) y Ecuación (1.27)):

$$\pi(\mathbf{a}, \mathbf{a}) = \pi(\mathbf{b}, \mathbf{b}) = \mathbf{0} \quad (1.24)$$

$$\mathbf{0} \leq \pi(\mathbf{a}, \mathbf{b}) \leq \mathbf{1} \quad (1.25)$$

$$\mathbf{0} \leq \pi(\mathbf{b}, \mathbf{a}) \leq \mathbf{1} \quad (1.26)$$

$$\mathbf{0} \leq \pi(\mathbf{a}, \mathbf{b}) + \pi(\mathbf{b}, \mathbf{a}) \leq \mathbf{1} \quad (1.27)$$

El autor explica que un valor de $\pi(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ cercano a 1 significa que existe una “*preferencia global*” de \mathbf{a} con respecto a \mathbf{b} , mientras que un valor cercano a 0 representa una “*debilidad global*”. Un caso particular del par de índices, que se observa en la cuarta propiedad, se dice que una debilidad global de \mathbf{a} sobre \mathbf{b} no significa que exista una preferencia global de \mathbf{b} sobre \mathbf{a} .

4. Cálculo de los flujos de entrada (Φ^+), salida (Φ^-) y neto (Φ).

Para calcular el flujo de relevancia positivo (Φ^+) y el flujo de relevancia negativo (Φ^-) se utilizan las Ecuación (1.28) y Ecuación (1.29) respectivamente:

$$\Phi^+(\mathbf{a}) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(\mathbf{a}, \mathbf{x}) \quad (1.28)$$

$$\Phi^-(\mathbf{a}) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(\mathbf{x}, \mathbf{a}) \quad (1.29)$$

La primera ecuación representa la relevancia que tiene la alternativa \mathbf{a} con respecto al resto y, mientras mayor sea su relevancia mejor es la alternativa. El flujo de relevancia negativo representa la debilidad de \mathbf{a} que, mientras menor sea mejor es la alternativa.

El flujo neto se calcula de la Ecuación (1.30):

$$\Phi(\mathbf{a}) = \Phi^+(\mathbf{a}) - \Phi^-(\mathbf{a}) \quad (1.30)$$

donde, las clasificaciones de incomparabilidad se eliminan prudentemente quedando que todas las alternativas sean comparables, lo que significa que la información demanda de mucho estudio ya que existe la posibilidad de perder información al resolver la ecuación.

5. Obtención del *ranking* de alternativas en función de Φ .

Para obtener el *ranking* se necesita tener un “*perfil*” de las alternativas que es conformado a partir del conjunto de los flujos netos para cada criterio. Cuando se tienen los perfiles de las alternativas se puede ver la “*calidad*” de la alternativa y así conformar el *ranking*.

En (Krishankumar, KS y Saeid, 2017) proponen una extensión del método en un entorno difuso intuicionista para resolver un problema de selección de proveedores para una fábrica de automóviles. En (Bogdanovic y Miletic, 2014) se propone una combinación de los métodos AHP (utilizado para analizar la estructura del problema y determinar los procesos de ponderación) y PROMETHEE (empleado para obtener la clasificación final) para seleccionar a la persona más apropiada de la mano de obra de una empresa en Serbia que se encuentra bajo un proceso de reorganización y reducción de personal, mientras que en (Kazan, Özçelik y Hobikoğlu, 2015) se utiliza esta misma combinación para realizar el proceso de selección de candidatos para las nominaciones de un partido político en Turquía. Por otro lado, (BEDİR, 2015) utiliza este método para seleccionar al candidato más adecuado para el puesto de consultor de ventas de una empresa minorista.

1.3.6 Computación con Palabras

En la vida real se presentan problemas que poseen atributos que tienen naturaleza cuantitativa, sin embargo, hay otros que poseen naturaleza cualitativa. Los problemas cuantitativos pueden ser representados de forma precisa a través de valores numéricos, mientras que los atributos de carácter cualitativo no pueden ser representados con un modelo de preferencia preciso, ya que la información que aporta es vaga e imprecisa. Para resolver estos problemas resulta adecuado utilizar un modelado lingüístico, donde ha sido demostrado que tiene características sobresalientes para mejorar en flexibilidad y fiabilidad (Martínez *et al.*, 2009).

Según (Rodríguez, 2010), los problemas que tengan un contexto vago e impreciso, además de que las valoraciones realizadas por los expertos a través de la información lingüística se denomina “*problema de toma de decisiones lingüísticos difusos*”, mientras en (Herrera y Herrera-Viedma, 2000) se plantea que el esquema general de solución de un problema con estas características tiene los siguientes pasos:

- 1. Elección del conjunto del término lingüístico con su semántica:** se caracteriza por definir el dominio de expresión lingüística utilizado para facilitar los valores lingüísticos sobre las alternativas teniendo en cuenta los diversos criterios. Para ello se debe escoger la granularidad del conjunto de términos lingüísticos, sus etiquetas y su semántica.

2. **Elección del operador de agregación de información lingüística:** se basa en establecer un operador de agregación de información lingüística que permita agregar y combinar los valores lingüísticos.
3. **Elección de las mejores alternativas:** permite escoger las mejores alternativas teniendo en cuenta los valores lingüísticos proporcionados. Para ello se debe considerar las siguientes fases:
 1. **Fase de agregación de información lingüística:** consiste en buscar un valor lingüístico colectivo sobre las alternativas, que luego son agregados a través del operador de agregación lingüístico seleccionado.
 2. **Fase de explotación:** se caracteriza por establecer o conformar un orden de clasificación entre las alternativas teniendo en cuenta el valor lingüístico colectivo.

La Computación con Palabras, propuesta por (Zadeh, 1996), resulta adecuada para resolver situaciones con estas características. Esta está compuesta por dos modelos generales: el Modelo Simbólico y el Modelo Semántico o Modelo basado en el Principio de la Extensión. En (Zadeh, 1996) se explica que es bueno utilizar el modelado lingüístico y la Computación con Palabras cuando: *“la información disponible es demasiado imprecisa para justificar el uso de valores numéricos o cuando la imprecisión de la información puede ser aprovechada para alcanzar robustez, solución a bajo coste y una buena interpretación de la realidad”*.

En la literatura se encuentran varios trabajos donde se resuelven problemas utilizando la Computación con Palabras, por ejemplo, en (Baležentis, Baležentis y Brauers, 2012) se propone la aplicación de la Computación con Palabras junto a una extensión difusa del método MULTIMOORA para elegir el mejor candidato de una empresa, mientras que en (Tai y Chen, 2008) proponen la combinación del modelo 2-tuplas y los métodos multicriterios para manipular procesos de integración de evaluación y evitar pérdida de información en la evaluación del desempeño del capital intelectual de una compañía tecnológica ubicada en Taiwán. Por otra parte, en (Sun *et al.*, 2008) se presenta un enfoque que utiliza una combinación de AHP, el método de puntuación y el procesamiento lingüístico difuso para el ayudar a la decisión de grupo en la evaluación de expertos para la selección de proyectos I+D; además (Herrera Triguero *et al.*, 2001) propone una solución para un

problema real de administración de personal con información lingüística que presenta un modelo de decisión lingüística, utilizando un algoritmo genético con una función de aptitud lingüística biobjetivo. Teniendo en cuenta todos estos aspectos explicados se puede decir que la Computación con Palabras es una buena opción para resolver problemas de toma de decisión multicriterio donde los valores sean imprecisos o lingüísticos.

Conclusiones finales

En este capítulo se definió la selección de personal y las competencias laborales en el marco de la toma de decisiones multicriterio. Se profundizó en las técnicas o métodos tradicionales, matemáticos y basados en Inteligencia Artificial.

Las técnicas de Inteligencia Artificial han demostrado tener buenos resultados en la solución de problemas de selección de personal, pero en algunos casos de manera ineficiente, además, al tratar con información lingüística no aseguran la precisión de los datos tratados.

Se presentó el enfoque de Computación con Palabras, donde se pudo concluir que este método dadas las características de la problemática a resolver en esta investigación es la más adecuada ya que manipula la información lingüística en ambientes donde exista vaguedad, incertidumbre e imprecisión de la información.

Capítulo 2. Solución computacional basada en Computación con Palabras para el sistema de gestión de capital humano

En este capítulo se abordará con más detalle los temas relacionados con Computación con Palabras. Se explicarán sus modelos semántico y simbólico. Se explicará con ayuda de un diagrama de componentes las características principales del Sistema de gestión de Capital Humano (Distra) y se expondrá con apoyo de un pseudocódigo y un diagrama de actividades el algoritmo implementado para dar solución al problema de investigación.

2.1 Modelos lingüísticos computacionales basados en Computación con Palabras

Según lo planteado en (Rodríguez y Martínez, 2013), para realizar cálculos lingüísticos basados en el enfoque lingüístico difuso se desarrollaron dos modelos computacionales (Lotfi A. Zadeh y Jose, 1975; Lotfi A. Zadeh y Jose, 1975; Zadeh, 1975): el modelo semántico y el modelo simbólico.

2.1.1 Modelo semántico

El Modelo Semántico o también conocido como Modelo basado en el Principio de la Extensión (Bonissone y Decker, 1986) es un concepto perteneciente a la teoría de conjuntos difusos con el fin de generalizar conceptos matemáticos no difusos en conjuntos difusos (Martinez, 1999). Según (Wedding, 2002), se define como:

“Sea X el producto cartesiano de los universos X_1, \dots, X_r y sean $\tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_r$ conjuntos difusos en X_1, \dots, X_r respectivamente. Sea f una función definida desde el universo $X, (X = X_1 \times \dots \times X_r)$, al universo $Y, y = f(x_1, \dots, x_r)$. El Principio de Extensión nos permite definir un conjunto difuso \tilde{B} en Y , a partir de los conjuntos difusos $\tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_r$ representando su imagen a partir de la función f , de acuerdo a la siguiente expresión,

$$\tilde{B} = \{(y, \mu_{\tilde{B}}(y)) / y = f(x_1, \dots, x_r), (x_1, \dots, x_r) \in X\} \quad (2.1)$$

donde

$$\mu_{\tilde{B}}(y) = \begin{cases} \sup_{(x_1, \dots, x_r) \in f^{-1}(y)} \min\{\mu_{\tilde{A}_1}(x_1), \dots, \mu_{\tilde{A}_r}(x_r)\}, & \text{si } f^{-1}(y) \neq \emptyset \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2.2)$$

Este modelo, explica (Martinez y Herrera, 2002), que se introdujo con el objetivo de realizar operaciones matemáticas precisas para conjuntos borrosos. Los resultados que obtiene de la

aritmética difusa (Delgado, Duarte y Requena, 2006) aplicada generalmente no coinciden con ningún término lingüístico del conjunto de términos originales, por lo que se le tiene que hacer un proceso de aproximación lingüística (Degani y Bortolan, 1988; Yager, 2004; Martinez, Liu y Yang, 2006) para expresar el resultado en el dominio de expresión original, perdiéndose así precisión de los datos resultantes y, por tanto, información.

2.1.2 Modelo simbólico

El Modelo Simbólico (Yager, 1981), plantea (Rodríguez, 2010), está compuesto por tres modelos computacionales lingüísticos llamados: modelo basado en términos virtuales o modelo lingüístico virtual, modelo basado en 2-tuplas-proporcional y modelo basado en 2-tuplas. En (Rodríguez, 2010) se explica que estos modelos fueron creados, principalmente, con el objetivo de facilitar los procesos de la Computación con Palabras y mejorar la precisión de los datos, por lo que era necesario modificar el modelo de representación de la información lingüística. Este modelo ha sido aplicado por muchos autores como: (Martínez, 2007; Chiclana, Herrera y Herrera-Viedma, 2008; Martinez *et al.*, 2008; Yejun y Huang, 2008).

Modelo lingüístico basado en términos virtuales

Este modelo fue propuesto en (Xu, 2004) y, según (Rodríguez, 2010), se creó para mejorar la precisión con respecto al modelo simbólico clásico y aumentar el número de leyes operacionales que se pueden aplicar a los valores lingüísticos, por lo que Xu definió la representación de la información lingüística como un conjunto de valores continuos $\bar{S} = \{s_\alpha | s_0 < s_\alpha \leq s_q, \alpha \in [-q, q]\}$ en vez de discretos, donde q representa un número entero suficientemente grande, tal que si $s_\alpha \in S$, s_α se nombra término lingüístico original, mientras que si $s_\alpha \in \bar{S}$ o $s_\alpha \notin S$ recibe el nombre de término lingüístico virtual (ver Fig. 7). En (Xu, 2004) se expresa que los términos virtuales aparecen cuando se realizan operaciones con los originales.

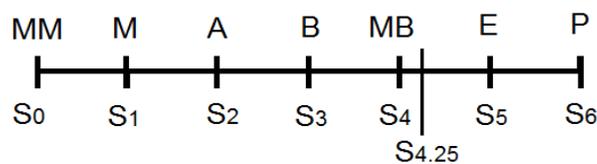


FIG. 7: EJEMPLO DE REPRESENTACIÓN DEL MODELO DE TÉRMINOS LINGÜÍSTICOS VIRTUALES.

En (Xu, 2006b) y (Xu, 2006a), se define el siguiente conjunto de operaciones:

Sea $s_\alpha, s_\beta \in \bar{S}$, dos términos lingüísticos y $\mu, \mu_1, \mu_2 \in [0,1]$:

1. $(s_\alpha)^\mu = s_{\alpha^\mu}$
2. $(s_\alpha)^{\mu_1} \otimes (s_\alpha)^{\mu_2} = (s_\alpha)^{\mu_1 + \mu_2}$
3. $(s_\alpha \otimes s_\beta)^\mu = (s_\alpha)^\mu \otimes (s_\beta)^\mu$
4. $s_\alpha \otimes s_\beta = s_\beta \otimes s_\alpha = s_{\alpha\beta}$
5. $s_\alpha \oplus s_\beta = s_{\alpha+\beta}$
6. $s_\alpha \oplus s_\beta = s_\beta \oplus s_\alpha$
7. $\mu s_\alpha = s_{\mu\alpha}$
8. $(\mu_1 + \mu_2)s_\alpha = \mu_1 s_\alpha \oplus \mu_2 s_\alpha$
9. $\mu(s_\alpha \oplus s_\beta) = \mu s_\alpha \oplus \mu s_\beta$

Este modelo se ha aplicado a problemas relacionados con la toma de decisiones jurídicas (Merigó, Palacios-Marqués y Zeng, 2016). En (Xu, 2005) se expone un ejemplo hipotético donde se da solución a un problema donde es necesario realizar una inversión de una suma cuantiosa de dinero.

Modelo lingüístico 2-tuplas Proporcional

Este método fue propuesto por (Jin-Hsien Wang y Jongyun Hao, 2006) con el propósito de extender y generalizar el modelo 2-tuplas. En (Rodríguez Domínguez, 2013) se explica que este modelo representa la información lingüística mediante 2-tuplas proporcional basándose en el concepto de *proporción directa* (Jin-Hsien Wang y Jongyun Hao, 2006):

Sea $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos ordinales, $I = [0, 1]$ y

$$IS \equiv I \times S = \{(\alpha, s_i) : \alpha \in [0,1] \text{ y } i = 0,1, \dots, g\} \quad (2.3)$$

donde S es el conjunto ordenado de $g + 1$ términos ordinales $\{s_0, s_1, \dots, s_g\}$. Dado un par (s_i, s_{i+1}) de dos términos ordinales sucesivos de S , cualquiera dos elementos de (α, s_i) , (β, s_{i+1}) de IS es denominado par de proporción simbólica y α, β son denominados pares de proporción simbólico del par (s_i, s_{i+1}) siendo $\alpha + \beta = 1$. Un par de proporción simbólica (α, s_i) , $(1 - \alpha, s_{i+1})$ es representado por $(\alpha s_i, (1 - \alpha) s_{i+1})$ y el conjunto de todos los pares de proporciones simbólicas es representado mediante \bar{S} , tal que,

$$\bar{S} = \{(\alpha s_i, (1 - \alpha)s_{i+1}) : \alpha \in [0,1], i = 0,1, \dots, g - 1\}.$$

donde \bar{S} es denominado conjunto ordinal 2-tupla proporcional que se genera a partir de S y los miembros de \bar{S} , el cual es usado para representar la información ordinal.

Este modelo tiene una representación computacional lingüística presentada también por (Jin-Hsien Wang y Jongyun Hao, 2006) que tiene definido varios operadores. El operador de comparación, expone (Rodríguez Domínguez, 2013), expresa que, para cualquier $(\alpha s_i, (1 - \alpha)s_{i+1}), (\beta s_j, (1 - \beta)s_{j+1}) \in \bar{S}$, se define

$$(\alpha s_i, (1 - \alpha)s_{i+1}) < (\beta s_j, (1 - \beta)s_{j+1}) \Leftrightarrow \alpha i + (1 - \alpha)(i + 1) < \beta j + (1 - \beta)(j + 1) \Leftrightarrow i + (1 - \alpha) < j + (1 - \beta).$$

De esta manera, para cualquier $(\alpha s_i, (1 - \alpha)s_{i+1}), (\beta s_j, (1 - \beta)s_{j+1})$:

- Si $i < j$:
 - $(\alpha s_i, (1 - \alpha)s_{i+1}), (\beta s_j, (1 - \beta)s_{j+1})$ son iguales cuando $i = j - 1$ y $\alpha = 0, \beta = 1$.
 - $(\alpha s_i, (1 - \alpha)s_{i+1}) < (\beta s_j, (1 - \beta)s_{j+1})$ en otro caso
- Si $i = j$:
 - Si $\alpha = \beta$ entonces $(\alpha s_i, (1 - \alpha)s_{i+1}), (\beta s_j, (1 - \beta)s_{j+1})$ representa la misma información
 - Si $\alpha < \beta$ entonces $(\alpha s_i, (1 - \alpha)s_{i+1}) < (\beta s_j, (1 - \beta)s_{j+1})$
 - Si $\alpha > \beta$ entonces $(\alpha s_i, (1 - \alpha)s_{i+1}) > (\beta s_j, (1 - \beta)s_{j+1})$

El modelo 2-tuplas proporcional también tiene un operador de negación (ver Ecuación (2.4)):

$$Neg((\alpha s_i, (1 - \alpha)s_{i+1})) = ((1 - \alpha)s_{g-i-1}, \alpha s_{g-i}) \quad (2.4)$$

donde $g + 1$ es la cardinalidad de S . Por otra parte, la agregación en 2-tuplas proporcional se realiza a partir de los operadores de agregación basados en valores característicos de las etiquetas lingüísticas.

Este modelo se aplicó a una empresa de bicicletas (Xu *et al.*, 2013) para resolver un problema de toma de decisiones, mientras que en (Li y Dong, 2014) se ilustra un ejemplo ficticio a través de ponderaciones de 2-tupla proporcional para toma de decisiones.

Modelo lingüístico 2-tuplas

Este modelo lingüístico fue presentado por (Martinez y Herrera, 2002) con el objetivo de mejorar la precisión de los datos y facilitar los procesos de Computación con Palabras. El modelo 2-tuplas representa simbólicamente los datos en un universo de discurso continuo, donde los resultados que se obtienen son valores lingüísticos llamados 2-tupla, compuesto por un término lingüístico y un número. Su modelo de representación lingüística se basa en el concepto de traslación simbólica, donde:

Sea $S = \{S_0, \dots, S_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos, y $\beta \in [0, g]$ un valor en el intervalo de granularidad de S , se puede decir que:

La traslación simbólica de un término lingüístico $s_i \in S = \{s_0, \dots, s_g\}$ es un valor numérico definido en $[-0.5, 0.5)$ que representa la “diferencia de información” entre una cantidad de información $\beta \in [0, g]$ obtenida de una operación simbólica y el índice del término lingüístico más cercano (Rodríguez, 2010).

El modelo representa la información a través de un vector llamados 2-tupla, representado de la siguiente forma: (s_i, α) , donde $s_i \in S$, es la etiqueta o término lingüístico y $\alpha \in [-0.5, 0.5)$, representa la traslación simbólica de la etiqueta correspondiente. Según (Estrella, Espinilla y Martínez, 2014), sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y $\beta \in [0, g]$ un valor que representa el resultado de una operación simbólica. El conjunto de 2-tupla asociado a S es definido como $\langle S \rangle = S \times [-0.5, 0.5)$ y la función $\Delta_s: [0, g] \rightarrow \langle S \rangle$ es dada por:

$$\Delta_s(\beta) = (s_i, \alpha) \text{ con } \begin{cases} i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i \end{cases} \quad (2.5)$$

donde, *round* es el operador de redondeo, s_i es la etiqueta lingüística con índice más cercano a β y α es la traslación simbólica.

En (Rodríguez, 2010) se plantea que se debe considerar que Δ es biyectiva y $\Delta^{-1}: \langle S \rangle \rightarrow [0, g]$ se define mediante $\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha$, lo que significa que la 2-tupla de $\langle S \rangle$ se identifica con un valor numérico que oscila en el intervalo $[0, g]$.

Además del modelo de representación lingüística, (Martinez y Herrera, 2002) plantea un modelo computacional lingüístico que se basa en las funciones de transformación Δ y Δ^{-1} ,

donde, además, se define los operadores de negación, comparación y agregación para el modelo de 2-tuplas.

Según (Herrera y Martínez, 2001b), la comparación en 2-tuplas se realiza teniendo en cuenta un orden lexicográfico. Sea (s_k, α_1) y (s_l, α_2) dos tuplas, donde cada una representa una cantidad de información, se puede decir que:

- Si $k < l$: $(s_k, \alpha_1) < (s_l, \alpha_2)$
- Si $k = l$:
 - $\alpha_1 > \alpha_2$: $(s_k, \alpha_1) > (s_l, \alpha_2)$
 - $\alpha_1 < \alpha_2$: $(s_k, \alpha_1) < (s_l, \alpha_2)$
 - $\alpha_1 = \alpha_2$: $(s_k, \alpha_1) = (s_l, \alpha_2)$ (representan la misma información)

Este modelo según (Estrella, Espinilla y Martínez, 2014; Martínez, Rodríguez y Herrera, 2015), define un modelo computacional que tiene asociado operadores de agregación y negación de valores lingüísticos 2-tuplas y ha tenido varias extensiones que facilita los procesos de Computación con Palabras para diferentes marcos complejos. Ellos son: marco heterogéneo (Herrera y Martínez, 2000; Herrera, Martínez y Sánchez, 2005); marco lingüístico multigranular (Herrera, Herrera-Viedma y Martínez, 2000; Herrera y Martínez, 2001a; Herrera-Viedma, Mata y Chiclana, 2005; Huynh y Nakamori, 2005; Huynh, Nguyen y Nakamori, 2005; Chang, Wang y Wang, 2006; Chen y Ben-Arieh, 2006; Chuu, 2007; Jiang, Fan y Ma, 2008; Xu, 2009) y marco lingüístico no balanceado (Herrera, Herrera-Viedma y Martínez, 2008).

Una solución para manipular la información heterogénea multigranular se plantea en (Espinilla, Liu y Martínez, 2011). Los autores proponen una extensión del método de Jerarquía Lingüística (Jerarquía Lingüística Extendida, JLE) que se basa en el modelo de representación lingüística de 2-tupla y se rige por las siguientes reglas jerárquicas extendidas:

1. *Para construir una JLE, primero, debe incluir un número finito de los niveles $I(l, n(t))$ con $t = 1, \dots, m$ que define el marco lingüístico multigranular F_{MS} , requerido por los expertos para expresar sus conocimientos. No es necesario mantener los puntos modales anteriores entre sí, podría ser uno.*

2. Para obtener una JLE, se debe agregar un nuevo nivel $I(t^*, n(t^*))$ con $t^* = m + 1$ para mantener todos los puntos modales anteriores de todos los niveles previos $I(l, n(t))$ con $t = 1, \dots, m$ dentro de este nuevo nivel.

Dentro de los operadores de agregación que se le han definido se encuentran: la Media Aritmética de 2-tuplas (ver Ecuación (2.6)), el Promedio Ponderado de 2-tuplas (*the 2-tuple weighted average*, WA) (ver Ecuación (2.7)), el Promedio Ordenado Ponderado de 2-tuplas Lingüísticas (*Linguistic 2-Tuple Ordered Weighted Averaging*, L2TOWA) (ver Ecuación (2.8)), el Promedio Aritmético Ponderado Híbrido de 2-tuplas (*the 2-tuple hybrid weighted arithmetic average*, T2HWA) (ver Ecuación (2.9)) y el promedio geométrico de 2-Tuplas (*the 2-tuple geometric averaging*, TGA) (ver Ecuación (2.10)).

$$\bar{x}((s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)) = \Delta \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i) \right) = \Delta \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i \right) \quad (2.6)$$

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

$$L2TOWA((s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)) = \Delta \left(\sum_{j=1}^n w_j \cdot \beta_j \right) \quad (2.8)$$

$$T2HWA((s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)) = \Delta \left(\sum_{j=1}^n (w_j \beta'_j) \right) \quad (2.9)$$

$$TGA((s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)) = \Delta \left(\left(\prod_{i=1}^n \beta_i \right)^{1/n} \right), \beta_i = \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i) \quad (2.10)$$

En (Xu *et al.*, 2013) se aplica el operador ampliado de la media aritmética ponderada híbrida lingüística de 2-tuplas (ET-HLWA) en la selección de personal de una compañía de software de China, donde el autor comenta que todos los datos se encontraban en 2-tuplas y al aplicar este operador de agregación se demostró la universalidad y flexibilidad del método, mientras que (Dursun y Karsak, 2010) emplea una mezcla de los principios de la fusión de la información difusa, el modelo 2-tuplas y TOPSIS para resolver un problema de selección de un ingeniero industrial para una compañía manufacturera. Por otra parte, (Cervantes Rodón y Zulueta Véliz, 2016) definen el modelo 2-tuplas como método de evaluación para

identificar los atributos que se deben tener en cuenta para evaluar la composición de los equipos de desarrollo de software libre; y en (de Andrés y García-Lapresta, 2010) proponen un método que convierte cada etiqueta lingüística en un dominio común, donde clasifican a los candidatos a partir de diferentes operadores de agregación para facilitar el proceso de selección de un equipo operativo.

Se escoge el modelo 2-tuplas porque utiliza un dominio de expresión lingüístico, pero lo trata como un universo continuo, permitiendo así una mayor interpretabilidad en los datos y precisión sin perder información y facilitar los procesos de Computación con Palabras, además de que el método mantiene una sintaxis y semántica difusa al representar y manipular información lingüística.

2.2 Sistema de Gestión de Capital Humano (Distra) de la empresa XETID

El Sistema de Gestión de Capital Humano es una plataforma desarrollada por la empresa XETID. Este sistema posee como características principales ofrecer información a las instituciones sobre sus empleados, ofrecer una representación general sobre toda la organización, además de ofrecer herramientas estratégicas para la representación y gestión del capital humano. La plataforma posee una filosofía de “*información única*”, lo que quiere decir que los datos que se entran son almacenados en una base de datos con el objetivo de que se puedan acceder a ellos desde en cualquier momento, evitando así errores en informes generados debido a la redundancia o duplicidad en la entrada de datos.

2.2.1 Componentes del Sistema de Gestión de Capital Humano Distra

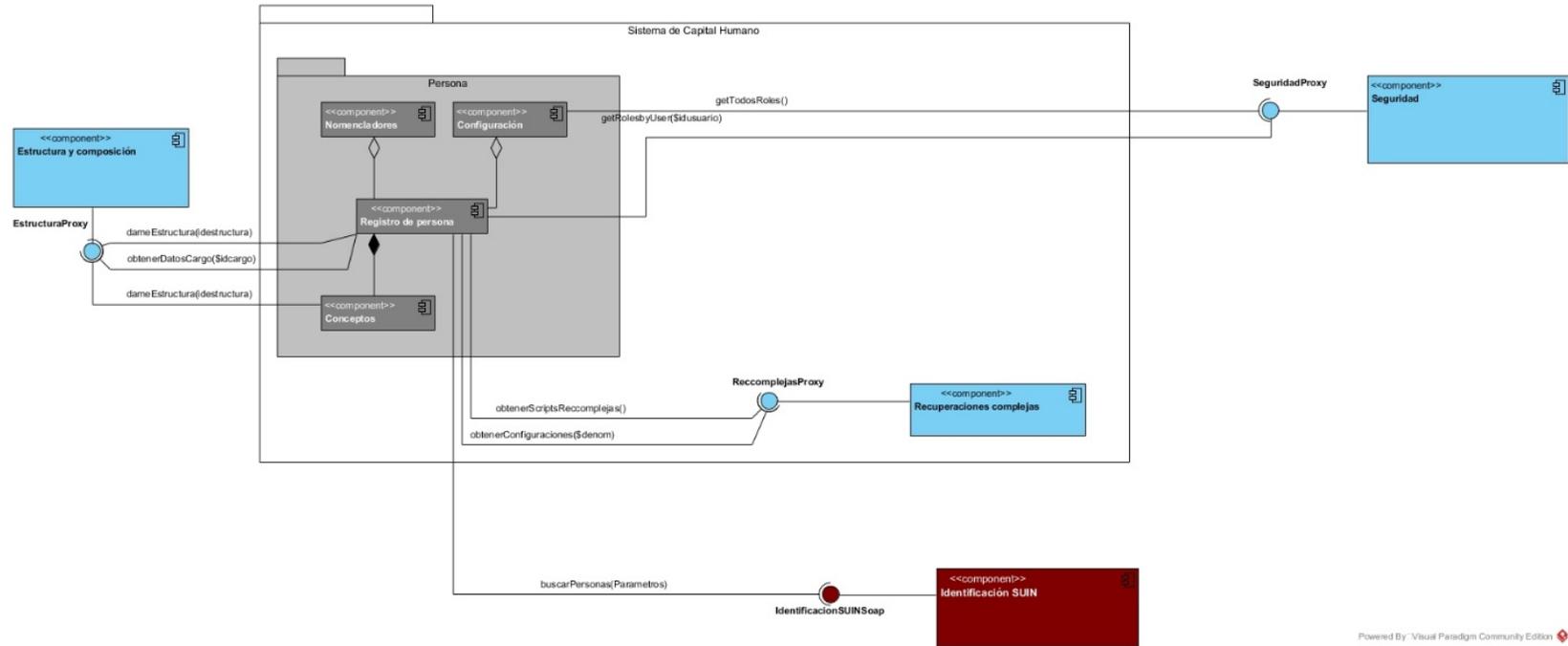


FIG. 8: DIAGRAMA DE COMPONENTES DEL MÓDULO SISTEMA DE CAPITAL HUMANO DEL SISTEMA DISTRA.

Distra está compuesto de los siguientes módulos:

Control de personal:

Ofrece al usuario la posibilidad de registrar y controlar la gestión de los datos de las personas de una entidad. Estos datos se pueden actualizar a partir de la base de datos del MINIT.

Movimiento de la fuerza de trabajo:

Asocia a las personas de la entidad a un cargo específico a través de actas. También brinda las opciones de mover a la persona de cargo o darles baja de la entidad, declararlas interruptos o disponibles definiendo la causa. El módulo, además, permite generar contratos.

Registro y control de asistencia del personal:

Este módulo permite establecer los regímenes y turnos de trabajo de la entidad y los grupos de personas que se encuentran en ellos, configura las posibles causas por las que puede ausentarse un trabajador y decide cual influye en el salario. También planifica la cantidad de horas que se deben laborar en el día, así como los días de descanso y posee una estructura donde se decide cuál cargo va a registrar la asistencia de sus subordinados. A partir de esta planificación, la entidad, puede gestionar la información de la asistencia de sus trabajadores de forma manual o a través de una actualización de la base de datos de un sistema de control de acceso, además, podrá generar reportes relacionados con el comportamiento de la asistencia de los trabajadores a la entidad.

Selección:

Este módulo tiene la capacidad de gestionar los Comités de Ingreso (grupo encargado de llevar a cabo el proceso de selección) de la entidad; gestiona las técnicas, vías e indicadores de selección y las planillas evaluativas. Configura y gestiona los procesos de selección que se realizan por períodos en la entidad. Aplica una preselección a partir del resultado de las técnicas de selección aplicadas y permite una selección por usuario de las personas que aprobaron el proceso de preselección. Permite obtener información del proceso a partir de gráficas y reportes generados.

Evaluación de desempeño:

Las características que presenta este componente permiten configurar los procesos evaluativos a partir de planillas, modelos matemáticos, indicadores de evaluación, evaluadores y evaluados; evalúa el desempeño de los trabajadores en etapas determinadas teniendo en cuenta la

configuración del proceso evaluativo. También ofrece la posibilidad de importar evaluaciones de un fichero Excel de etapas anteriores y realiza gráficas y reportes para apreciar los resultados de las evaluaciones. Este módulo tiene una integración con el módulo de Nóminas, donde se brinda la posibilidad de obtener información de los reportes de las evaluaciones para establecer el pago de los trabajadores de la entidad.

Retribución salarial (Nóminas):

Este subsistema configura los conceptos que se tienen en cuenta para el salario de los trabajadores; las formas y sistemas de pagos, lo que permite que se pueda ajustar a las necesidades de cualquier entidad; los elementos salariales del trabajador que influyen directamente en el salario como: el cargo que ejerce, la escala salarial y si tiene o no situación de servicio. El módulo conforma una estructura de las plantillas nominales donde la visualización se encuentra muy detallada, centralizada y fácil de entender para el usuario, también elabora los pagos y gestiona los cargos ocupados; calcula pago por resultado y gestiona y actualiza el submayor de vacaciones y retenciones de cada empleado, así como el registro de salarios y tiempo de servicio del trabajador. Genera pre-nóminas y nóminas, configura conceptos contables, gestiona reportes y certificaciones y realiza la contabilización de comprobantes de cancelación (en el caso de pagos indebidos) y del comprobante de operaciones según el modelo de contabilización creado en Datos Maestros. Deposita salarios y acredita cuentas bancarias.

2.3 Algoritmo basado en el modelo simbólico 2-tupla de Computación con Palabras para la toma de decisiones en el sistema Distra

Dado N candidatos $\{C_1, C_2, C_3, \dots, C_N\}$ y M capacidades $\{D_1, D_2, D_3, \dots, D_M\}$, a cada capacidad D_i le corresponde un dominio que puede estar definido por un intervalo de valores reales o un conjunto de términos lingüísticos, obteniéndose una matriz O donde la fila i se corresponde con el dominio de la capacidad D_i , cada candidato es evaluado en cada capacidad, formándose la matriz $H_{N \times M}$ de candidatos y capacidades. El objetivo es obtener un *ranking* de candidatos a partir de los criterios establecidos en cada capacidad sobre cada candidato.

El algoritmo implementado tiene como parámetros de entrada dos matrices. Una contiene los nombres de las capacidades de los candidatos y los intervalos o dominios en que se encuentran cada una de ellas, la otra matriz está compuesta por los nombres de los candidatos que optan por el cargo o puesto de trabajo y los criterios o evaluaciones que les otorgaron los expertos para cada

una de las capacidades a evaluar. La información de estas dos matrices puede ser homogéneas o heterogéneas.

2.3.1 Datos homogéneos y heterogéneos

Los datos homogéneos son aquellos que están valorados en un mismo dominio de expresión y poseen la misma función de pertenencia (Martínez, Rodríguez y Herrera, 2015). En (Herrera y Herrera-Viedma, 2000; Herrera-Viedma *et al.*, 2004; Herrera-Viedma, Mata y Chiclana, 2005; Li, 2007) se pueden encontrar soluciones a problemas de toma de decisiones utilizando este tipo de datos. En (Herrera y Herrera-Viedma, 2000) se aplica a un problema donde una compañía de inversiones quiere invertir una gran suma de dinero por la mejor alternativa, mientras en (Herrera-Viedma *et al.*, 2004) exponen un modelo multiagente lingüístico difuso con el objetivo de mejorar las posibilidades de filtrado de información del sistema multiagente de la web. Por otro lado, (Herrera-Viedma, Mata y Chiclana, 2005) parten de un estudio donde asumen que existen expertos con diferentes antecedentes y conocimientos, lo que significa que la información además de homogénea es multigranular por lo que proponen un sistema para llegar a un consenso de los problemas de toma de decisiones grupales a partir de información homogénea y multigranular. Otro ejemplo de este tipo de información se tiene en (Li, 2007) desarrolla un método de aproximación difusa para la toma de decisiones multiatributos y lo aplica a un proceso de selección de ingenieros industriales de una empresa.

Los datos heterogéneos consisten en tener valores de distintos dominios de expresión, por lo que no tienen la misma función de pertenencia para cada tipo de datos. Estos datos pueden ser numéricos, intervalares o lingüísticos. En la literatura existen varias formas de tratar la información heterogénea (Zhang y Lu, 2003; Herrera, Martínez y Sánchez, 2005; Li *et al.*, 2008; Deng-feng, Zhi-gang y Guo-hong, 2010; Carrasco y Villar, 2012). Atendiendo a la Fig. 9 la información heterogénea tiene varios enfoques:

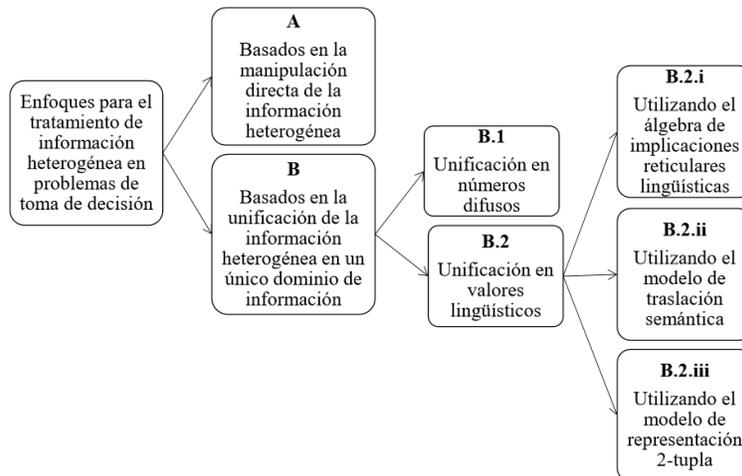


FIG. 9: CLASIFICACIÓN DE LOS ENFOQUES DE LA INFORMACIÓN HETEROGÉNEA(TOMADO DE (Zulueta Véliz, 2014)).

Según (Zulueta Véliz, 2014), la información heterogénea se clasifica en dos grupos grandes, el primero está basado en la manipulación directa de la información, donde no se unifica la información para manipularla y el otro grupo, basado en la unificación de la información heterogénea en un dominio único de información, donde la información es unificada en un mismo dominio para luego ser tratada. Esta unificación de la información puede ser en números difusos o en valores lingüísticos utilizando 3 vías de unificación: el álgebra de implicaciones reticulares lingüísticas, el modelo de traslación semántica y el modelo de representación 2-tupla.

El enfoque basado en la manipulación directa de la información, según (Zulueta Véliz, 2014), fue propuesto por (Deng-feng, Zhi-gang y Guo-hong, 2010) y se basa en calcular las distancias existentes (a través de la distancia de Minkowski) entre los criterios expresados en el mismo dominio para luego agregarlas donde se obtiene un coeficiente de cercanía de cada alternativa a la solución ideal por cada experto y, por último, estos coeficientes se agregan para obtener un coeficiente colectivo empleado para conformar el *ranking* final.

Continuando con lo escrito por (Zulueta Véliz, 2014), el enfoque basado en la unificación de la información heterogénea en un único dominio de expresión se basa en la unificación de los datos heterogéneos en un marco común para luego ser procesados en la fase de agregación. Existen dos vías para unificar la información: unificación en números difusos (Zhang y Lu, 2003), donde se unifica la información en números difusos triangulares que al ser agregados se obtiene un índice por cada alternativa; y unificación en valores lingüísticos, que consiste en la unificación de la

información, a partir de funciones de transformación, en valores lingüísticos, que luego son manipulados para obtener el *ranking* final. Tres maneras de unificar la información en valores lingüísticos son: utilizando el álgebra de implicaciones reticulares lingüísticas (Li *et al.*, 2008), donde los términos lingüísticos no tienen semántica ni sintaxis, sino que el modelo de representación está basado en implicaciones algebraicas reticulares; otra vía de unificación es a través de la fusión lingüística a través de la representación de la traslación semántica (Carrasco y Villar, 2012), donde se representa a cada valor a través de funciones trapezoidales y luego se emplean operaciones de aritmética difusa sobre ellos para posteriormente ser agregados; por último, la fusión lingüística a través del modelo de representación 2-tupla (Herrera, Martínez y Sánchez, 2005), se basa en definir un conjunto de funciones que permiten transformar la información heterogénea en valores lingüísticos expresados en 2-tuplas.

Dentro de la bibliografía se puede encontrar (Herrera, Herrera-Viedma y Verdegay, 1998; Herrera, Martínez y Sánchez, 2005; Martínez *et al.*, 2007), donde utilizan la información heterogénea para resolver problemas de toma de decisiones multicriterio. En (Herrera, Herrera-Viedma y Verdegay, 1998) se explican varios procesos de elección de alternativas para problemas multicriterios no homogéneos, mientras en (Herrera, Martínez y Sánchez, 2005) desarrollan un proceso para tratar información heterogénea basado en el modelo 2-tuplas aplicándolo a un problema de renovación de carros de una empresa. Por último, en (Martínez *et al.*, 2007) propone un marco de trabajo que puede ser utilizado por diferentes dominios y escalas y maneja la información heterogénea en los procesos de evaluación de ingeniería.

2.3.2 Algoritmo

El método implementado tiene como entrada dos matrices, una con la información de las capacidades a evaluar en los candidatos y el intervalo que están comprendidas, y la otra contiene los nombres de los candidatos que optan por el puesto vacante y el criterio que les da el experto en cada capacidad.

Esta información se manipula a través de la Computación con Palabras, aplicando el modelo lingüístico basado en 2-tuplas para manejarla obteniéndose como resultado un *ranking* de candidatos organizados de mayor a menor.

2.3.2.1 Pseudocódigo del método propuesto

RankCWW
Entrada: matriz $H_{N \times M}$, matriz O .
Salida: <i>Ranking</i> de candidatos organizado de mayor a menor.
<p>INICIO</p> <p>P1: Cargar datos de matriz $H_{N \times M}$ y matriz O desde dos ficheros</p> <p>P2: Buscar el conjunto base de términos lingüísticos (CBTL).</p> <p style="padding-left: 40px;">P2.1: SI ((los intervalos son valores numéricos AND valores lingüísticos) OR (los intervalos son valores lingüísticos))</p> <p style="padding-left: 80px;">P2.1.1: SI (misma granularidad AND misma semántica)</p> <p style="padding-left: 120px;">P2.1.1.1: Se escoge cualquiera de ellos</p> <p style="padding-left: 80px;">FIN</p> <p style="padding-left: 40px;">P2.1.2: SI (diferente granularidad OR diferente semántica)</p> <p style="padding-left: 80px;">P2.1.2.1: $n(t') = \text{LCM}(n(t) - 1) + 1, t = \{1, \dots, m\}$ /*aplica LCM*/</p> <p style="padding-left: 40px;">FIN</p> <p style="padding-left: 20px;">FIN</p> <p style="padding-left: 20px;">P2.2: SI (los intervalos son numéricos)</p> <p style="padding-left: 40px;">P2.2.1: crear CBTL de 7 etiquetas lingüísticas</p> <p style="padding-left: 20px;">FIN</p> <p>P3: SI (los datos son homogéneos)</p> <p style="padding-left: 40px;">P3.1: $\text{TF}_{t'}^t(s_j^{n(t)}, \alpha_j) = \Delta_s \left(\frac{\Delta_s^{-1}(s_j^{n(t)}, \alpha_j^{n(t)}) \cdot (n(t') - 1)}{n(t) - 1} \right) = (s_k^{n(t')}, \alpha_k)$ /*JLE*/</p> <p style="padding-left: 40px;">P3.2: $\bar{x}(x_1, \dots, x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$</p> <p style="padding-left: 40px;">P3.3: comparación 2-tupla $((s_k, \alpha_1), (s_l, \alpha_2))$</p> <p>FIN</p> <p>P4: SI (si los datos son heterogéneos)</p> <p style="padding-left: 40px;">P4.1: Se normalizan</p> <p style="padding-left: 80px;">P4.1.2: PARA (cada valor de la matriz) HACER</p> <p style="padding-left: 120px;">P4.1.2.1: SI (el dato es un término lingüístico)</p> <p style="padding-left: 160px;">P4.1.2.1.1: Aplicar JLE</p> <p style="padding-left: 120px;">FIN</p> <p style="padding-left: 80px;">P4.1.2.2: SI (el dato es un valor numérico)</p> <p style="padding-left: 120px;">P4.1.2.2.1: $\gamma_i = \mu_{s_i}(x) = \begin{cases} 0, & x < a \text{ o } x > c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b \leq x \leq d \\ \frac{c-x}{c-d}, & d < x < c \end{cases}$</p> <p style="padding-left: 120px;">P4.1.2.2.2: $x(F(s_T)) = \Delta \left(\frac{\sum_{j=0}^g j \gamma_j}{\sum_{j=0}^g \gamma_j} \right) = \Delta(\beta) = (s_l, \alpha)$</p> <p style="padding-left: 80px;">FIN</p> <p>FIN</p> <p>P5: hacer del P3 al P3.3</p> <p>RETURN ranking</p> <p>FIN</p>

2.3.2.2 Diagrama de actividades

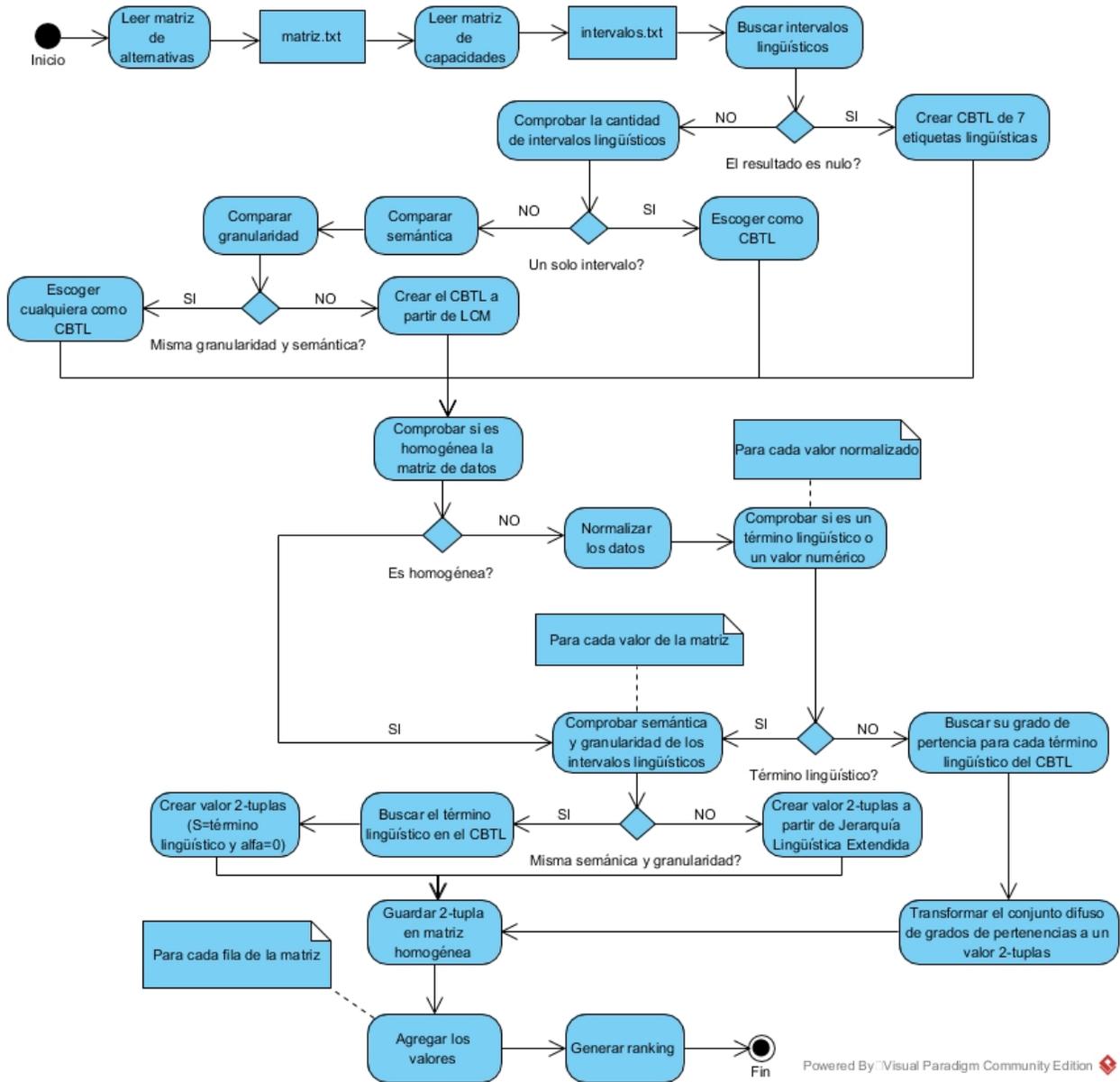


FIG. 10: DIAGRAMA DE ACTIVIDADES DEL ALGORITMO IMPLEMENTADO.

El algoritmo comienza con la lectura de las dos matrices de entrada (la matriz de intervalos o dominio de las capacidades y la matriz de datos de candidatos). Posteriormente se procede a conformar el conjunto básico de términos lingüísticos (CBTL), donde buscan todos los intervalos lingüísticos que tenga la matriz de intervalos, en caso de no encontrar ninguno, se crea un CBTL de 7 etiquetas lingüísticas (este es considerado por (Herrera, Martínez y Sánchez, 2005) como el número mágico, ya que es el número de etiquetas lingüísticas por encima de las que puede discriminar una persona), y en caso contrario, se cuentan cuántos intervalos fueron encontrados, si

el resultado es igual a uno se escoge ese intervalo como CBTL, en caso de que existan más de un intervalo lingüístico, se compara si tiene la misma granularidad y semántica, es decir, que sean iguales, en ese caso se escoge cualquiera como CBTL y, en caso contrario, se aplica el Mínimo Común Múltiplo (*least common multiple*, LCM) (Espinilla, Liu y Martinez, 2011; Martínez, Rodriguez y Herrera, 2015).

LCM no es más que una ecuación (ver Ecuación (1.31)) que ofrece la información de la cantidad de etiquetas lingüística que debe tener el CBTL. Lo que hace es sumar la cantidad de etiquetas lingüísticas menos uno que tienen todos los intervalos encontrados y sumarles 1 a ese resultado. Cuando se tiene el CBTL se procede a analizar los datos de la matriz de candidatos, donde lo primero que se hace es comprobar si es homogénea la información.

$$n(t') = \text{LCM}(n(t) - 1) + 1, t = \{1, \dots, m\} \quad (1.31)$$

En caso de que la matriz sea heterogénea se normalizan los datos y se comprueba para cada valor normalizado de la matriz si es un término lingüístico o un valor numérico. En caso de que sea numérico se busca su grado de pertenencia, a partir de una función de transformación (ver Ecuación (1.32)) para cada término lingüístico del CBTL, obteniéndose un conjunto difuso que luego es transformado en un valor 2-tupla a partir de la Ecuación (1.33).

$$\gamma_i = \mu_{s_i}(x) = \begin{cases} 0, & x < a \text{ o } x > c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b \leq x \leq d \\ \frac{c-x}{c-d}, & d < x < c \end{cases} \quad (1.32)$$

$$x(F(s_T)) = \Delta \left(\frac{\sum_{j=0}^g j \gamma_j}{\sum_{j=0}^g \gamma_j} \right) = \Delta(\beta) = (s_l, \alpha) \quad (1.33)$$

Por otra parte, si la matriz es homogénea, se comprueba si tiene la misma granularidad y semántica el CBTL y el intervalo al que pertenece el valor que se está analizando de la matriz. En caso de que sea cierto, se busca el término lingüístico en el CBTL y se guarda como dos tuplas. Por otra parte, si no tiene la misma granularidad y semántica se crea el valor de dos tuplas a partir de la Jerarquía Lingüística Extendida (JLE) (Espinilla, Liu y Martinez, 2011) (ver Ecuación (1.34)).

Cada valor 2-tupla se va añadiendo a la matriz de datos en el lugar que le corresponde al valor que se está analizando en el momento.

$$TF_{t^*}^t(s_j^{n(t)}, \alpha_j) = \Delta_s \left(\frac{\Delta_s^{-1}(s_j^{n(t)}, \alpha_j^{n(t)}) \cdot (n(t^*) - 1)}{n(t) - 1} \right) = (s_k^{n(t^*)}, \alpha_k) \quad (1.34)$$

Cuando se han analizado todos los valores de la matriz de datos, es decir, todos los valores de la matriz de datos actual son 2-tupla, para cada fila de la matriz se procede a agregar esos datos. La agregación se realiza con el operador de la media aritmética (ver Ecuación (1.35)). El resultado obtenido (es un valor 2-tuplas) se organizan de mayor a menor primero teniendo en cuenta las etiquetas (S) y en caso de que existan etiquetas con el mismo valor, se comparan sus alfas (α), obteniéndose como resultado del proceso el *ranking* de candidatos.

$$\bar{x}(x_1, \dots, x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.35)$$

2.3.2.3 Diagrama de componentes

Al diagrama de componentes del sub-epígrafe 2.2.1 se le adicionó el método implementado quedando de la siguiente manera:

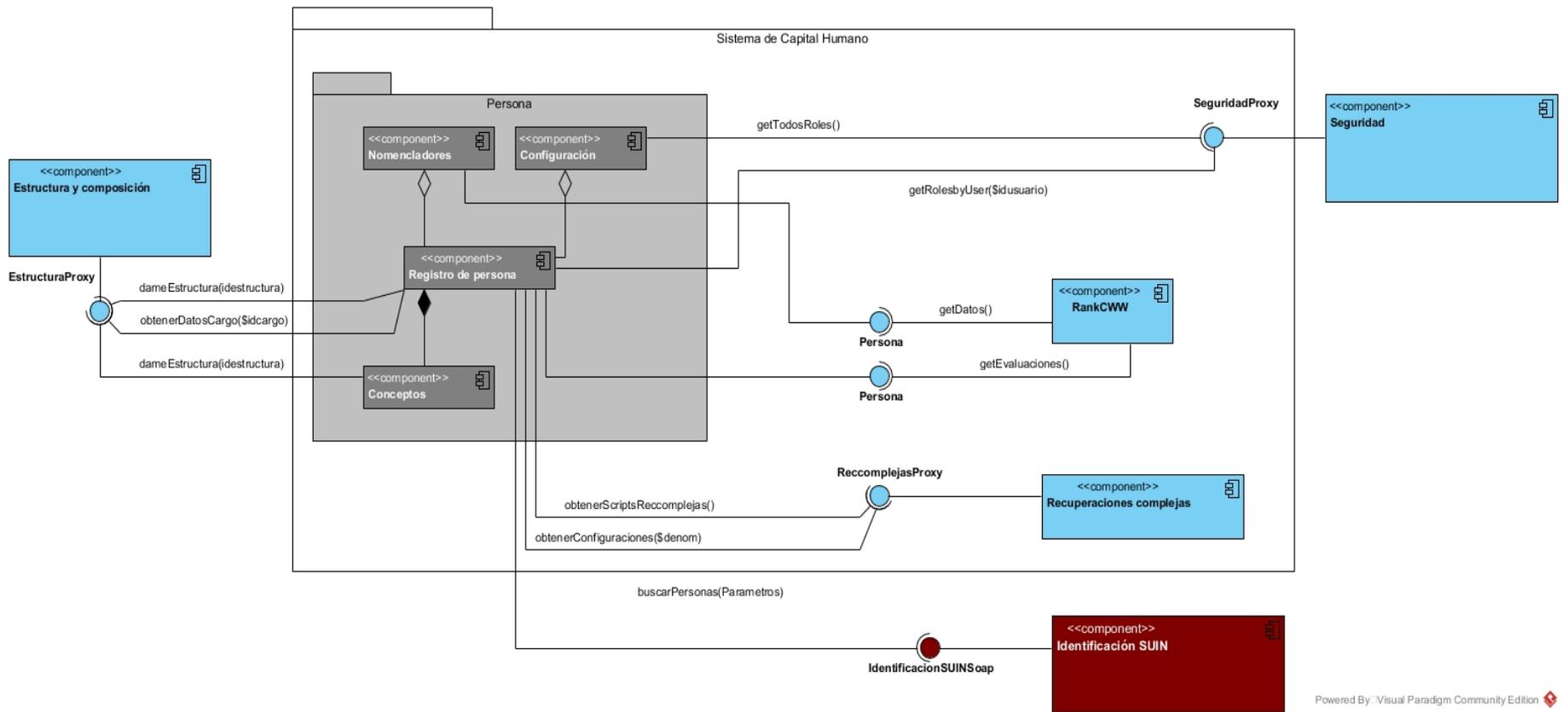


FIG. 11: DIAGRAMA DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE CAPITAL HUMANO DEL DISTRA.

Este diagrama cuenta con los componentes Seguridad, que es el que brinda las funcionalidades para los registros de los subsistemas, funcionalidades, recursos y acciones. Los subsistemas son aquellas agrupaciones de funcionalidades que abordan una temática específica, las funcionalidades son definidas por la empresa como las acciones sobre una o varias entidades relacionadas, mientras que los recursos son definidos como el conjunto de acciones con las que se puede compartimentar los recursos de un sistema y las acciones constituyen métodos que realizan funcionalidades como modificar, eliminar, agregar, etc. Dentro de este componente también se encuentran las gestiones de roles y usuarios y gestión de dominios, donde se tramita toda la información relacionada con los usuarios y roles, además de los dominios, que no son más que una clasificación a la que pertenece el usuario.

Otro componente es Estructura y composición que consiste en un sistema que permite modelar la organización de cualquier entidad teniendo en cuenta varios tipos de conceptos (órganos, agrupaciones, entidades, etc.) que deben ser predefinidos de antemano. Por otra parte, se tiene el paquete Persona que contiene los componentes: Nomencladores, Conceptos, Configuración y Registro de persona. El componente Nomencladores que consiste en tener registrados todos los conceptos relacionados con las personas, por ejemplo, color de pelo, categoría docente, sexo, etc, mientras que el componente Conceptos contiene la información del nomenclador que se prefiera utilizar, llevado a un ejemplo un concepto sería la agrupación de color de pelo, categoría científica, color de ojos y tez.

Configuración es otro componente que permite realizar asociaciones de conceptos. Puede realizar acciones como personalizar los documentos que se gestionan en el sistema. El componente Registro de persona, basado en los conceptos aprobados, facilita el registro de la persona en el sistema, mientras que, el componente Recuperaciones complejas consiste en una configuración que puede predefinir el usuario a partir de consultas que se pueden generar a la base de datos a partir de la interfaz visual.

Por último, el componente Identificación SUIN (Sistema Único de Identificación Nacional) es un servicio que brinda un sistema externo donde se puede verificar información que es consultada al sistema, mientras que el algoritmo RankCWW implementado para resolver el problema de la empresa constituiría un nuevo módulo dentro del sistema.

Conclusiones finales

En este capítulo se aborda con mayor profundidad la temática de la Computación con Palabras. Para ello, se trataron sus modelos generales, específicamente las características del modelo semántico o modelo basado en el principio de la extensión y del modelo simbólico, el cual está compuesto por el modelo lingüístico de términos virtuales, modelo lingüístico 2-tuplas proporcional y modelo lingüístico 2-tuplas.

Por otra parte, se presentó el pseudocódigo y varios diagramas (diagrama de actividades y diagrama de componentes) con el objetivo de esclarecer el algoritmo implementado para dar solución a la problemática en cuestión.

Capítulo 3. Experimentación realizada al método propuesto a partir de diferentes estudios de caso

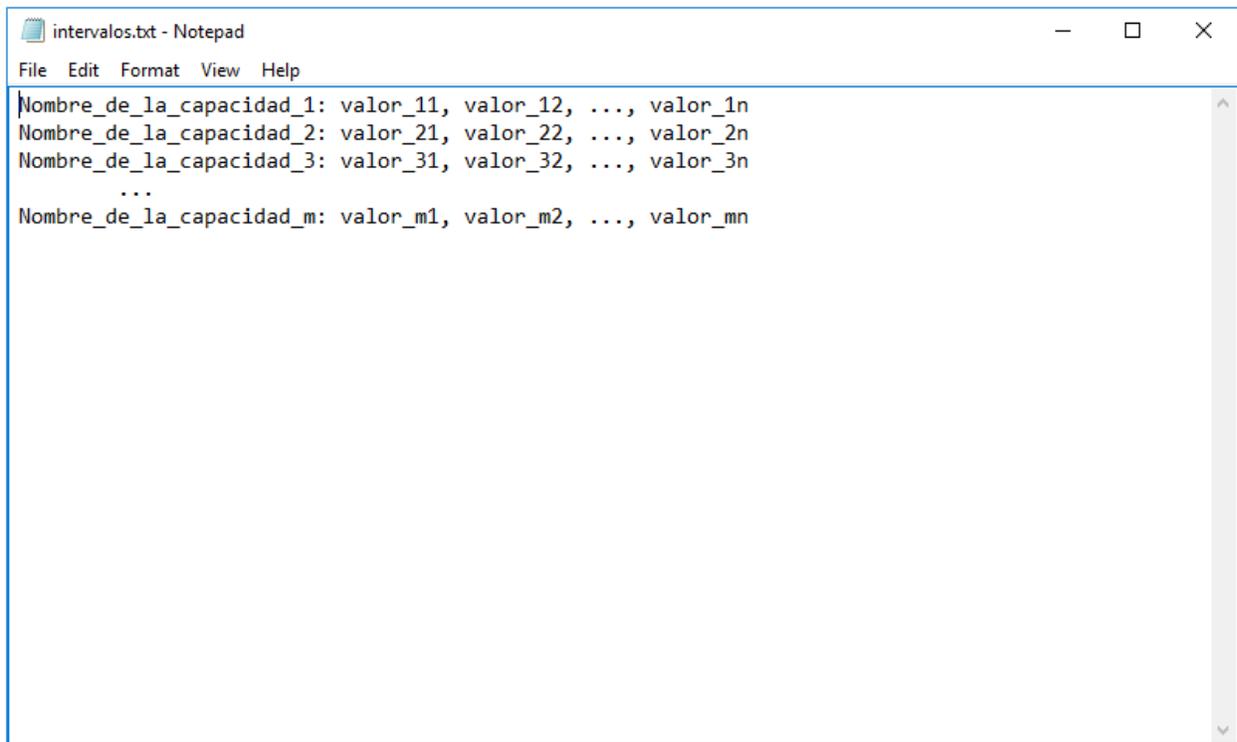
En este capítulo se realiza la experimentación del algoritmo implementado a partir de varios estudios de caso. Para esta experimentación se utilizaron 5 grupos con diferentes dimensiones, permitiendo probar la eficacia y eficiencia del método que se propone. Al finalizar del capítulo se arriban a conclusiones sobre los resultados obtenidos.

3.1 Descripciones de los estudios de caso aplicados al algoritmo

Para realizar la experimentación se conformaron 5 casos de estudio. Cada uno está compuesto por dos matrices. Una matriz está compuesta por los intervalos de las capacidades que caracterizan el cargo por el que optan los candidatos. Cada intervalo define el rango de valores entre los que se encuentran los criterios que puede emitir los expertos, estos criterios pueden ser: términos lingüísticos o valores numéricos y están organizados de menor a mayor en el caso de ser numérico, para la capacidad que está comprendida en un intervalo lingüístico, el intervalo se encuentra del menor valor lingüístico al mayor, es decir, del peor criterio que se pueda emitir hasta el mejor. En la segunda matriz se encuentra registrado el nombre de cada candidato y la opinión emitida por los expertos sobre cada capacidad que se encuentra sometido al proceso de selección.

Matriz de intervalos

La matriz de intervalos (ver Fig. 12 Fig. 12: Ejemplo de matriz de intervalos de capacidades.) ofrece la información sobre los rangos o intervalos que se encuentran las capacidades que caracterizan el cargo o puesto de trabajo vacante. Esta matriz es cargada desde un fichero cuya extensión es “.txt”. El formato de cada capacidad en el documento es: nombre_de_la_capacidad: intervalo_o_rango_que_está_comprendida. El rango o intervalo se encuentra dividido por comas y se organizan de menor a mayor.



```
intervalos.txt - Notepad
File Edit Format View Help
Nombre_de_la_capacidad_1: valor_11, valor_12, ..., valor_1n
Nombre_de_la_capacidad_2: valor_21, valor_22, ..., valor_2n
Nombre_de_la_capacidad_3: valor_31, valor_32, ..., valor_3n
...
Nombre_de_la_capacidad_m: valor_m1, valor_m2, ..., valor_mn
```

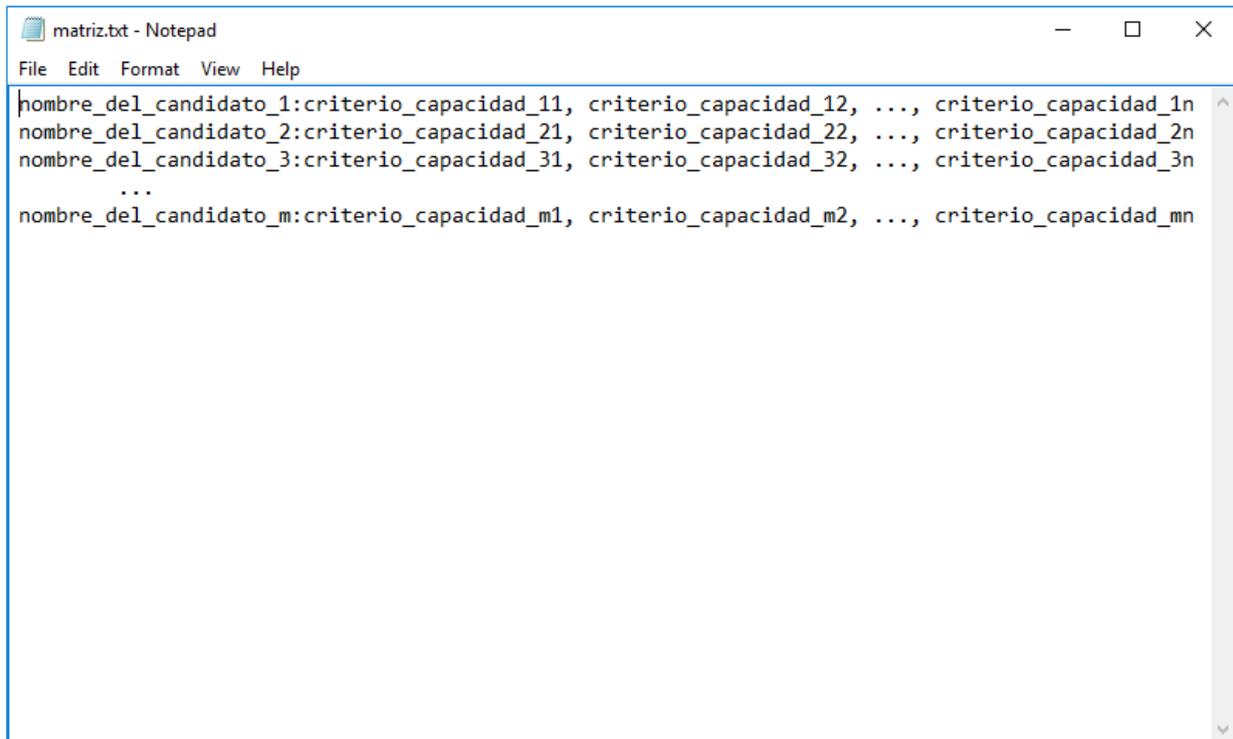
FIG. 12: EJEMPLO DE MATRIZ DE INTERVALOS DE CAPACIDADES.

Cada intervalo de la matriz puede ser numérico o lingüístico, aunque se puede dar los casos particulares en que todos los intervalos que conforman la matriz sean numéricos o todos sean lingüísticos (como es el caso del cuarto y quinto caso de estudio). Cada intervalo puede tener la misma o diferente granularidad, por ejemplo, dos intervalos lingüísticos tienen la misma granularidad si poseen la misma cantidad de valores lingüísticos y diferente granularidad en caso contrario. La semántica es otra característica de los intervalos: cuando dos o más intervalos tienen la misma semántica significa que ambos contienen los mismos valores lingüísticos, por lo que se puede decir que tienen la misma granularidad y, por tanto, son iguales.

Matriz de datos de los candidatos

La matriz de datos de los candidatos (ver Fig. 13) brinda la información relacionada con los candidatos y sus evaluaciones con respecto a cada capacidad. Igual que la matriz de intervalos, esta también es cargada desde un archivo “.txt”, donde el formato que tiene cada alternativa o candidato en la matriz es: nombre_del_candidato: evaluación_capacidad_1, evaluación_capacidad_2, ..., evaluación_capacidad_n. Cada uno de los criterios se divide por

comas y el nombre del candidato se divide de su evaluación a través de dos puntos y sin espacio después de estos.



```
matriz.txt - Notepad
File Edit Format View Help
nombre_del_candidato_1:criterio_capacidad_11, criterio_capacidad_12, ..., criterio_capacidad_1n
nombre_del_candidato_2:criterio_capacidad_21, criterio_capacidad_22, ..., criterio_capacidad_2n
nombre_del_candidato_3:criterio_capacidad_31, criterio_capacidad_32, ..., criterio_capacidad_3n
...
nombre_del_candidato_m:criterio_capacidad_m1, criterio_capacidad_m2, ..., criterio_capacidad_mn
```

FIG. 13: EJEMPLO DE MATRIZ DE CANDIDATOS.

Los valores o criterios de la matriz pueden ser homogéneos o heterogéneos. Los datos son homogéneos cuando los intervalos de la matriz de capacidades se encuentran en el mismo dominio de expresión (lingüístico o numérico), es decir, todos los rangos en la matriz de intervalos de capacidades son numéricos o lingüísticos, por lo que se tendría la misma función de pertenencia. La matriz es heterogénea cuando los criterios son numéricos y lingüísticos, es decir, en la matriz de intervalos de capacidades algunos rangos son numéricos y otros valores lingüísticos, estos pertenecen a distintos dominios de expresión y, por consecuente, cada tipo de valor (numérico o lingüístico) posee una función de membresía diferente.

3.2 Experimentación con los casos de estudio

Para la experimentación se crearon 5 casos de estudio. La matriz de datos de 3 de ellos está compuesta por información heterogénea, mientras que el resto de los casos de estudio sus matrices están conformadas por datos homogéneos. Para los casos de estudios heterogéneos se tuvo en

cuenta los casos que la información fuese multigranular y que tuviera diferente semántica, además se creó distintas cantidades de intervalos (5, 10 y 15) y candidatos en las matrices (20, 40 y 60).

3.2.1 Análisis de los casos de estudio

Primer caso de estudio

El primer caso de estudio, la matriz de intervalos de capacidades (ver Fig. 14) se encuentra conformada por 5 intervalos de capacidades características de un puesto de trabajo vacante. La primera capacidad se nombra “*Habilidades de programación*” y está comprendida en un intervalo de 0 a 5 por lo que se considera un valor numérico que, en la matriz de datos, el experto en el momento de emitir su criterio puede tomar uno de esos 6 valores para evaluar al candidato en esa capacidad, mientras que “*Comportamiento ante el estrés*” solo puede tomar los valores “M”, “R” y “B”, lo que significa que es un intervalo de términos lingüísticos y el experto tiene como opción para escoger uno de esos tres valores cuando va a emitir su opinión sobre esta capacidad.

```
intervalos.txt
Habilidades de programación: 0, 5
Comportamiento ante el estrés: m, R, b
Compañerismo: B, A
Trabajo en equipo: M, R, B, E
Habilidades de liderazgo: 0, 10
```

FIG. 14: MATRIZ DE INTERVALOS DEL PRIMER CASO DE ESTUDIO

La matriz de datos para este caso de estudio (ver Fig. 15) registra los nombres de 20 candidatos y los criterios de los expertos con respecto a las 5 capacidades a ser evaluadas de cada uno de ellos. Luego del nombre del candidato se tiene el criterio según la capacidad a ser evaluada, por ejemplo: el candidato Edith Vera fue evaluada de “3” en la capacidad de “*Habilidades de programación*”, “R” en “*Comportamiento ante el estrés*”, “A” en “*Compañerismo*”, “M” en “*Trabajo en equipo*” y “4” en “*Habilidades de liderazgo*”. El primer y último criterio emitido por los expertos para este candidato son valores numéricos, el primero corresponde al intervalo de 0 a 5; y el segundo se encuentra entre 0 y 10, mientras que el resto de los valores o criterios del candidato son términos lingüísticos que se encuentran en el rango de sus respectivos intervalos lingüísticos.

```

matriz.txt
Angela_Barroso:5 B B B 5
Edith_Vera:3 R A M 4
Amarilis_Martinez:4 B A B 3
Carlos_Alonso:2 B A B 8
Ania_Hernandez:5 B B R 1
Diego_Machado:5 R B B 7
Ramon_Tamayo:4 M B E 6
Araceli_Moreno:5 B A B 4
Gladys_Milian:2 B B R 1
Armando_Lopez:5 R B B 6
Gilberto_Perez:4 B A E 6
Edelsa_Rodriguez:3 B B R 4
Dianelis_Prieto:2 B A M 7
Anibal_Jimenez:1 B A R 9
Ana_Espinosa:5 B A R 2
Pablo_Fonseca:3 B A R 6
Norys_Aragon:2 B A E 8
Leonor_Gallardo:1 B A E 5
Elba_Gamboa:4 B B E 6
Ernesto_Gil:2 R B E 5

```

FIG. 15: MATRIZ DE DATOS DEL PRIMER CASO DE ESTUDIO.

Al ejecutar el algoritmo se obtuvo un ranking (ver Tabla 1) donde se organizaron los 20 candidatos teniendo en cuenta los criterios emitidos por los expertos para cada una de las 5 capacidades, la heterogeneidad de la matriz de datos y la multigranularidad de los intervalos.

TABLA 1: RESULTADO DEL ALGORITMO PARA EL PRIMER CASO DE ESTUDIO.

Características del caso de estudio	Resultado (<i>ranking</i>)
Caso de estudio 1: <ul style="list-style-type: none"> • Información: Heterogénea. • Intervalos de capacidades: 5. • Candidatos: 20 	(Gilberto_Perez)
	(Norys_Aragon)
	(Leonor_Gallardo)
	(Amarilis_Martinez) , (Carlos_Alonso)
	(Ana_Espinosa)
	(Araceli_Moreno)
	(Anibal_Jimenez)
	(Pablo_Fonseca)
	(Elba_Gamboa)

	(Dianelis_Prieto)
	(Edith_Vera)
	(Ramon_Tamayo)
	(Ernesto_Gil)
	(Ania_Hernandez)
	(Angela_Barroso)
	(Edelsa_Rodriguez)
	(Diego_Machado) , (Armando_Lopez)
	(Gladys_Milian)

Segundo caso de estudio

La matriz de intervalos de este caso de estudio (ver Fig. 16) está compuesta por 10 capacidades, donde hay valores comprendidos en intervalos numéricos y otros en valores lingüísticos.

```

intervalos.txt
-----
Habilidades de programación: 0, 5
Comportamiento ante el estrés: m, R, b
Compañerismo: B, A
Trabajo en equipo: M, R, B, E
Habilidades de liderazgo: 0, 10
Comportamiento Social: M, B
Motivación: B, M, A
Disciplina: M, A, B, MB, E
Aspiraciones de superación profesional: S, N
Experiencia laboral: P, m, a

```

FIG. 16: MATRIZ DE INTERVALOS DEL SEGUNDO CASO DE ESTUDIO.

En el caso de la matriz de datos se analizaron 40 candidatos. En la figura Fig. 17 se expone una muestra de 23 de los 40 candidatos.

matriz.txt

```
Armando_Lopez:5 R B B 6 B A M N P
Gilberto_Perez:4 B A E 6 B B M S M
Edelsa_Rodriguez:3 B B R 4 B M E S P
Dianelis_Prieto:2 B A M 7 B M E S A
Anibal_Jimenez:1 B A R 9 B M E S M
Ana_Espinosa:5 B A R 2 B M E S P
Pablo_Fonseca:3 B A R 6 B M E S A
Norys_Aragon:2 B A E 8 B M E S P
Leonor_Gallardo:1 B A E 5 B A E S P
Elba_Gamboa:4 B B E 6 B M M B S A
Ernesto_Gil:2 R B E 5 B M B S A
Michel_Girol:1 M B E 4 B M B S A
Raul_Garriga:4 B A E 8 B B B S A
Omaira_Lanza:3 R A R 8 B M B S A
Mariela_Infantes:5 M B R 9 B A M N M
Alina_Ibarra:2 R B R 10 B A E S M
Ines_Leal:4 R A R 5 B M M B S M
Lucian_Lebrato:5 B B M 6 B A B N M
Angelina_Lavo:3 B B B 7 B M B S M
Lorenzo_Lazo:2 R B B 9 B A B S M
Francisco_Trigo:4 M B B 4 B A B N M
Antonio_Leiva:5 M A R 5 B M B S M
Edgar_Llanes:3 B A B 6 B B B S M
```

FIG. 17: FRAGMENTO DE LA MATRIZ DE DATOS DEL SEGUNDO CASO DE ESTUDIO.

Al ejecutar el algoritmo se obtuvo un ranking (ver Tabla 2) donde se organizaron los 40 candidatos teniendo en cuenta los criterios emitidos por los expertos para cada una de las 10 capacidades, la heterogeneidad de la matriz de datos y la multigranularidad de los intervalos.

TABLA 2: RESULTADO DEL ALGORITMO PARA EL SEGUNDO CASO DE ESTUDIO.

Características del caso de estudio	Resultado (<i>ranking</i>)
Caso de estudio 2:	(Leonor_Gallardo)
• Información: Heterogénea.	(Carlos_Alonso)
• Intervalos de capacidades: 10.	(Araceli_Moreno)
• Candidatos: 40	(Norys_Aragon)
	(Amarilis_Martinez), (Irma_Muro)
	(Armando_Lopez)
	(Carmen_Blanco)
	(Ana_Espinosa)

	(Edith_Vera)
	(Aleida_Morejon)
	(Juan_Gonzalez)
	(Edelsa_Rodriguez)
	(Gladys_Milian)
	(Raul_Garriga)
	(Elba_Gamboa)
	(Pablo_Fonseca)
	(Jorge_Nordelo)
	(Dianelis_Prieto)
	(Omaira_Lanza)
	(Ines_Leal)
	(Lucian_Lebrato)
	(Rafael_Rodriguez)
	(Gilberto_Perez)
	(Ernesto_Gil)
	(Alina_Ibarra), (Adolfo_Rey)
	(Angela_Barroso)
	(Edgar_Llanes)
	(Anibal_Jimenez), (Michel_Girol)
	(Francisco_Trigo)
	(Lorenzo_Lazo)
	(Evelio_Nogues)
	(Mariela_Infantes)
	(Ramon_Tamayo)
	(Antonio_Leiva)
	(Ania_Hernandez)
	(Angelina_Lavo)
	(Diego_Machado)

Tercer caso de estudio

La matriz de intervalos (ver Fig. 18) del tercer caso de estudio está conformada por 15 capacidades, que similar a los casos anteriores los valores de los intervalos son numéricos y lingüísticos.

```
intervalos.txt
-----
Habilidades de programación: 0, 5
Comportamiento ante el estrés: m, R, b
Compañerismo: B, A
Trabajo en equipo: M, R, B, E
Habilidades de liderazgo: 0, 10
Comportamiento Social: M, B
Motivación: B, M, A
Disciplina: M, A, B, MB, E
Aspiraciones de superación profesional: S, N
Experiencia laboral: P, m, a
Análisis numérico: 1, 5
Creatividad: 1, 3
Compromiso: 1, 20
Delegación: 1, 7
Decisión: 1, 5
```

FIG. 18: MATRIZ DE INTERVALOS DEL TERCER CASO DE ESTUDIO.

La matriz de datos está formada por 60 candidatos evaluados para las 15 capacidades. En Fig. 19 se muestran 37 de los 60 candidatos.

matriz.txt

```
Mariela_Infantes:5 M B R 9 B A M N M 5 2 17 7 5
Alina_Ibarra:2 R B R 10 B A E S M 3 2 1 3 2
Ines_Leal:4 R A R 5 B M MB S M 2 3 3 2 1
Lucian_Lebrato:5 B B M 6 B A B N M 5 3 15 2 5
Angelina_Lavo:3 B B B 7 B M B S M 3 3 13 3 5
Lorenzo_Lazo:2 R B B 9 B A B S M 4 3 19 7 5
Francisco_Trigo:4 M B B 4 B A B N M 4 2 19 6 4
Antonio_Leiva:5 M A R 5 B M B S M 3 1 18 5 3
Edgar_Llanes:3 B A B 6 B B B S M 2 1 17 4 2
Rafael_Rodriguez:5 M A E 7 B M B N M 5 3 16 7 5
Juan_Gonzalez:4 M A E 6 B A B S A 2 3 14 7 1
Jorge_Nordelo:1 B A E 6 B M B S A 3 3 16 7 1
Evelio_Nogues:3 R B E 4 B B E S M 5 3 20 1 1
Irma_Muro:4 M B B 3 B A MB S P 4 2 20 7 3
Aleida_Morejon:5 B B R 7 B B E N P 5 3 20 7 5
Adolfo_Rey:3 R A R 6 B B E S M 1 1 1 1 1
Carmen_Blanco:4 M A M 7 B M E N P 3 3 20 1 5
Edelmi_Francia:2 M B R 10 B M E S P 5 3 16 4 5
Bertha_Fonseca:5 R B E 10 M B E S P 5 2 15 5 3
Clara_Perez:4 R A B 7 B M E S M 3 2 15 5 3
Bruno_Gomez:3 B A E 6 B A MB N A 2 3 19 7 5
Anabel_Ramirez:4 R A R 5 B A A S P 3 3 14 6 3
Elena_Arango:2 M A E 9 B M B S P 3 3 13 5 2
Carlos_Leon:5 M A E 7 M A E S P 2 1 8 3 4
Pedro_Aguila:4 B A M 3 B B E S A 3 2 18 4 5
Felicia_Bravo:2 R A B 9 B B A S P 4 2 15 5 3
Josefa_Morales:5 B B R 4 M M MB N A 3 3 14 7 5
Arelis_Torres:4 B A R 9 B B A S A 3 1 7 4 3
Orlando_Franco:2 M A E 10 B B E N A 1 2 7 5 1
Ramiro_Sanchez:1 M B B 9 B A MB N P 5 2 12 5 2
Antonio_Guzman:2 R B R 4 B A E S P 2 2 20 7 5
Yante_Rivero:3 B A E 5 B M MB S M 3 1 10 4 4
Freddy_Medina:5 R B R 8 B M E N A 3 2 16 3 5
Leonardo_Rivalta:2 B B R 10 M A E N A 2 3 7 6 2
Odalis_Fleites:3 M A R 6 B M E S P 1 3 19 5 5
Oscar_Pedraza:2 M A M 10 B B E S A 5 2 11 4 5
Mercedes_Fuentes:5 R B E 5 B M MB S P 3 3 10 4 4
```

FIG. 19: FRAGMENTO DE LA MATRIZ DE DATOS DEL TERCER CASO DE ESTUDIO.

Al ejecutar el algoritmo se obtuvo un ranking (ver Tabla 3) donde se organizaron los 60 candidatos teniendo en cuenta los criterios emitidos por los expertos para cada una de las 15 capacidades, la heterogeneidad de la matriz de datos y la multigranularidad de los intervalos.

TABLA 3: RESULTADO DEL ALGORITMO PARA EL TERCER CASO DE ESTUDIO.

Características del caso de estudio	Resultado (<i>ranking</i>)
<p>Caso de estudio 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Información: Heterogénea. • Intervalos de capacidades: 15. • Candidatos: 60 	(Leonor_Gallardo)
	(Anabel_Ramirez)
	(Carlos_Alonso)
	(Bruno_Gomez)
	(Carlos_Leon)
	(Ramiro_Sanchez)
	(Araceli_Moreno)
	(Irma_Muro) , (Felicia_Bravo)
	(Amarilis_Martinez)
	(Norys_Aragon)
	(Armando_Lopez)
	(Aleida_Morejon) , (Antonio_Guzman)
	(Mercedes_Fuentes)
	(Edith_Vera)
	(Carmen_Blanco)
	(Ana_Espinosa)
	(Bertha_Fonseca)
	(Odalis_Fleites)
	(Elena_Arango)
	(Juan_Gonzalez)
	(Edelmi_Francia)
	(Raul_Garriga)
	(Gladys_Milian)
	(Orlando_Franco)
	(Arelis_Torres)
	(Elba_Gamboa)
	(Leonardo_Rivalta)
	(Pedro_Aguila)

	(Dianelis_Prieto)
	(Jorge_Nordelo)
	(Pablo_Fonseca)
	(Oscar_Pedraza)
	(Josefa_Morales)
	(Yante_Rivero)
	(Omaira_Lanza)
	(Freddy_Medina)
	(Rafael_Rodriguez)
	(Lucian_Lebrato) , (Lorenzo_Lazo)
	(Francisco_Trigo)
	(Gilberto_Perez)
	(Ernesto_Gil)
	(Michel_Girol)
	(Alina_Ibarra)
	(Clara_Perez)
	(Ines_Leal)
	(Mariela_Infantes)
	(Angela_Barroso)
	(Anibal_Jimenez)
	(Evelio_Nogues)
	(Edgar_Llanes)
	(Ramon_Tamayo)
	(Adolfo_Rey)
	(Antonio_Leiva)
	(Ania_Hernandez)
	(Angelina_Lavo)
	(Diego_Machado)

Cuarto caso de estudio

La matriz de intervalos (ver Fig. 20) está formada por 5 intervalos de capacidades, con la característica de que todos son valores numéricos, lo que significa que tienen la misma función de pertenencia por lo que se encuentran ubicados en el mismo dominio de expresión, por tanto, este es un caso donde los datos son homogéneos.

```
intervalos.txt
Habilidades de programación: 0, 5
Comportamiento ante el estrés: 4, 10
Compañerismo: 0, 7
Trabajo en equipo: 5, 10
Habilidades de liderazgo: 0, 10
```

FIG. 20: MATRIZ DE INTERVALOS DE CAPACIDADES DEL CUARTO CASO DE ESTUDIO

Como que este es un caso de estudio particular, los valores de la matriz datos (ver Fig. 21) también son valores numéricos. Esta matriz se compuso de 20 candidatos donde todos los valores emitidos por los expertos son evaluaciones numéricas.

```
matriz.txt
Angela_Barroso:5 4 6 7 5
Edith_Vera:3 5 6 8 4
Amarilis_Martinez:4 8 4 5 3
Carlos_Alonso:2 6 1 6 8
Ania_Hernandez:5 7 2 8 1
Diego_Machado:5 5 3 9 7
Ramon_Tamayo:4 8 3 6 6
Araceli_Moreno:5 6 7 7 4
Gladys_Milian:2 5 5 10 1
Armando_Lopez:5 8 3 9 6
Gilberto_Perez:4 7 6 8 6
Edelsa_Rodriguez:3 9 3 6 4
Dianelis_Prieto:2 4 6 7 7
Anibal_Jimenez:1 5 4 9 9
Ana_Espinosa:5 8 2 5 2
Pablo_Fonseca:3 6 7 10 6
Norys_Aragon:2 9 5 8 8
Leonor_Gallardo:1 4 6 5 5
Elba_Gamboa:4 10 5 7 6
Ernesto_Gil:2 6 7 9 5
```

FIG. 21: MATRIZ DE DATOS DEL CUARTO CASO DE ESTUDIO.

Al ejecutar el algoritmo se obtuvo un ranking (ver Tabla 4) donde se organizaron los 20 candidatos teniendo en cuenta los criterios emitidos por los expertos para cada una de las 5 capacidades, la homogeneidad de la matriz de datos y la multigranularidad de los intervalos.

TABLA 4: RESULTADO DEL ALGORITMO PARA EL CUARTO CASO DE ESTUDIO.

Características del caso de estudio	Resultado (<i>ranking</i>)
Caso de estudio 4:	(Gilberto_Perez)
<ul style="list-style-type: none"> • Información: Homogénea. (todos los intervalos son numéricos) • Intervalos de capacidades: 5. • Candidatos: 20 	(Angela_Barroso), (Amarilis_Martinez) , (Dianelis_Prieto), (Ernesto_Gil)
	(Ramon_Tamayo), (Armando_Lopez), (Norys_Aragon), (Elba_Gamboa)
	(Edith_Vera), (Diego_Machado), (Araceli_Moreno), (Edelsa_Rodriguez)
	(Pablo_Fonseca)
	(Carlos_Alonso), (Ania_Hernandez), (Anibal_Jimenez)
	(Leonor_Gallardo)
	(Ana_Espinosa)
	(Gladys_Milian)

Quinto caso de estudio

La matriz de intervalos (ver Fig. 22), igual que el caso de estudio anterior, está compuesta de 5 intervalos de capacidades lingüísticas que se encuentran ubicados en el mismo dominio de expresión, teniendo una misma función de membresía por lo que significa que sus datos son homogéneos.

```

intervalos.txt
Habilidades de programación: M, R, B, E
Comportamiento ante el estrés: m, R, b
Compañerismo: B, A
Trabajo en equipo: M, R, B, E
Habilidades de liderazgo: M, B

```

FIG. 22: MATRIZ DE INTERVALOS DEL QUINTO CASO DE ESTUDIO.

La matriz de datos (ver Fig. 23) está compuesta de 20 candidatos donde todos los criterios con los que son evaluados son lingüísticos.

```

matriz.txt
Angela_Barroso:B B B B M
Edith_Vera:R R A M B
Amarilis_Martinez:E B A B M
Carlos_Alonso:R B A B B
Ania_Hernandez:M B B R M
Diego_Machado:E R B B B
Ramon_Tamayo:R M B E B
Araceli_Moreno:R B A B B
Gladys_Milian:E B B R M
Armando_Lopez:B R B B B
Gilberto_Perez:R B A E B
Edelsa_Rodriguez:M B B R M
Dianelis_Prieto:E B A M M
Anibal_Jimenez:M B A R B
Ana_Espinosa:B B A R B
Pablo_Fonseca:M B A R B
Norys_Aragon:E B A E M
Leonor_Gallardo:B B A E M
Elba_Gamboa:R B B E B
Ernesto_Gil:E R B E M

```

FIG. 23: MATRIZ DE DATOS DEL QUINTO CASO DE ESTUDIO.

Al ejecutar el algoritmo se obtuvo un ranking (ver Tabla 5) donde se organizaron los 20 candidatos teniendo en cuenta los criterios emitidos por los expertos para cada una de las 5 capacidades, la homogeneidad de la matriz de datos y la multigranularidad de los intervalos.

TABLA 5: RESULTADO DEL ALGORITMO PARA EL QUINTO CASO DE ESTUDIO.

Características del caso de estudio	Resultado (<i>ranking</i>)
Caso de estudio 5: <ul style="list-style-type: none"> • Información: Homogénea. (todos los intervalos son lingüísticos) • Intervalos de capacidades: 5. • Candidatos: 20 	(Gilberto_Perez) , (Norys_Aragon) <hr/> (Amarilis_Martinez) , (Carlos_Alonso) , (Araceli_Moreno) , (Ana_Espinosa) , (Leonor_Gallardo) <hr/> (Dianelis_Prieto) , (Anibal_Jimenez) , (Pablo_Fonseca) <hr/> (Edith_Vera)

	(Diego_Machado) , (Elba_Gamboa)
	(Ramon_Tamayo) , (Gladys_Milian)
	(Angela_Barroso)
	(Armando_Lopez)
	(Ernesto_Gil)
	(Ania_Hernandez) , (Edelsa_Rodriguez)

Conclusiones finales

A partir de la experimentación realizada aplicando el algoritmo a los estudios de caso descritos, se pudo concluir que, para cada uno de ellos, se obtiene un *ranking* diferente, por ejemplo, en los tres primeros casos, cuyos datos son heterogéneos, al incrementar el número de candidatos y de intervalos, aumentan los detalles, es decir, las capacidades a tener en cuenta en las evaluaciones, por lo que pueden influir en el orden de los candidatos.

En los casos de estudio 4 y 5, aunque la información es homogénea y tiene la misma cantidad de intervalos y de candidatos, no comparte ni el mismo tipo de datos (numérico en el cuarto caso de estudio y lingüísticos en el quinto) ni la misma granularidad, lo que provoca que los resultados varíen.

Para cada caso de estudio se comprueba que los resultados son satisfactorios, ya que se logra mostrar un *ranking* de candidatos organizados desde el más idóneo hasta el menos teniendo en cuenta si los criterios de los expertos son homogéneos o heterogéneos.

Conclusiones

A partir de la revisión de la bibliografía existente sobre Computación con Palabras aplicado a la solución de problemas de toma de decisiones multicriterio en la selección de personal, se pudieron extraer las siguientes conclusiones:

- El problema de toma de decisiones multicriterio resulta relevante en diferentes e importantes áreas de aplicación, específicamente en lo relativo a la selección de personal.
- El enfoque de Computación con Palabras resulta interesante cuando se tienen un conjunto de criterios o capacidades de diferentes dominios.
- El modelo simbólico 2-tupla de Computación con Palabras ofrece una mayor exactitud y claridad a la hora de llegar a la solución final de un proceso de toma de decisiones multicriterio.

De la investigación realizada se pudieron extraer además las siguientes conclusiones:

- El método implementado utilizando Computación con Palabras posibilitó obtener un *ranking* de candidatos que facilitó la obtención de un criterio de selección sobre un conjunto de candidatos.
- La experimentación realizada al método propuesto a partir de varios casos de estudio, evidenció la eficacia del mismo al obtener *rankings* acordes a las preferencias cualitativas establecidas sobre los candidatos sin haber utilizado el método que se propone.

Recomendaciones

1. Adicionar el algoritmo implementado a la plataforma de gestión de capital humano, DISTRA de la empresa XETID.

Bibliografía

- Aguado, D. (2016) «Testing informatizado para selección de personal: innovación, controversia y reto».
- Alles, M. A. (1999) *La Entrevista laboral: 287 buenas respuestas a todas las preguntas laborales*. Ediciones Granica SA.
- de Andrés, R. y García-Lapresta, J. L. (2010) «An endogenous human resources selection model based on linguistic assessments», pp. 1-21.
- Arza Pérez, L., Verdecia Martínez, E. Y. y Lavandero García, J. (2012) «El empleo de métodos de toma de decisión y técnicas de soft computing en la selección de personal The use of decision making methods and techniques of soft computing in personnel selection», *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, Cuba, 6(3), pp. 1-15.
- Aznar Bellver, J. y Guijarro Martínez, F. (2012) *Nuevos métodos de valoración : modelos multicriterio*. 2da ed, *Vasa*. 2da ed. Disponible en: <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>.
- Baležentis, A., Baležentis, T. y Brauers, W. K. M. (2012) «Personnel selection based on computing with words and fuzzy MULTIMOORA», *Expert Systems with Applications*, 39(9), pp. 7961-7967. doi: 10.1016/j.eswa.2012.01.100.
- Barro, S. et al. (2005) «Aplicaciones de la teoría de conjuntos borrosos», *ÁGORA - Papeles de Filosofía*, 24(2), pp. 101-116.
- BEDİR, N. (2015) «AHP-PROMETHEE Yöntemleri Entegrasyonu ile Personel Seçim Problemi : Perakende Sektöründe Bir Uygulama», *Social Sciences Research Journal*, 4(4), pp. 46-58.
- Bellabdaoui, A. y Teghem, J. (2006) «A mixed-integer linear programming model for the continuous casting planning», *International Journal of Production Economics*, 104(2), pp. 260-270. doi: 10.1016/j.ijpe.2004.10.016.
- Bello García, M. (2016) *Métodos inteligentes para la selección de equipos por dos decisores en un ambiente competitivo, Computer*.
- Bello, M. et al. (2016) «Un método para la generación de rankings en la selección de equipos de trabajo en ambiente competitivo basado en algoritmos genéticos / A method for the generation of rankings in the teamwork selection in competitive environment based on genetic algorithm», *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 10(2), p. 196. Disponible en: <http://ezproxy.eafit.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edssci&AN=edssci.S2227.18992016000200013&lang=es&site=eds-live&scope=site>.
- Bernal Romero, S. (2018) «Modelo Multicriterio Aplicado a la Toma de Decisiones representables en Diagramas de Ishikawa».
- Bogdanovic, D. y Miletic, S. (2014) «Personnel evaluation and selection by multicriteria decision making method», *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 48(3).
- Bonissone, P. P. y Decker, K. S. (1986) «Selecting uncertainty calculi and granularity: An experiment in trading-off precision and complexity», en *Machine intelligence and pattern recognition*. Elsevier, pp. 217-247.
- Boran, F. E., Genç, S. y Akay, D. (2011) «Personnel selection based on intuitionistic fuzzy sets», *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 21(5), pp. 493-503.
- Bravo Quintero, H. A., Aparicio Urbano, J. y Fernández Lambert, G. (2016) «Aplicación de programación binaria entera: caso de estudio en una distribuidora de zapatos por catálogo», *Congreso Interdisciplinario de Ingenierías*. Misatlanta, Veracruz, México, pp. 44-49. Disponible en:

<http://pmii.itsm.edu.mx>.

Bray, D. W. y Grant, D. L. (1966) «The assessment center in the measurement of potential for business management.», *Psychological Monographs: General and Applied*. American Psychological Association, 80(17), p. 1.

Büyükoçkan, G., Arsenyan, J. y Ruan, D. (2012) «Logistics tool selection with two-phase fuzzy multi criteria decision making: A case study for personal digital assistant selection», *Expert Systems with Applications*, 39(1), pp. 142-153. doi: 10.1016/j.eswa.2011.06.017.

Cabello Herce, A. (2017) «Métodos de decisión multicriterio y sus aplicaciones», *Universidad de la rioja*, p. 45.

Camargo, V. (2014) *La importancia del proceso de selección de personal y su vinculación en empresas*. Universidad militar Nueva Granada. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12447/TRABAJO DE tesis.pdf?sequence=1>.

Canós, L. et al. (2011) «Personnel Selection based on Fuzzy Methods», *Revista De Matemática: Teoría Y Aplicaciones*, 18(1), pp. 177-192.

Canós, L. et al. (2014) «Soft Computing Methods for Personnel Selection Based on the Valuation of Competences», *International Journal of Information and Management Sciences*, 29, pp. 1079-1099. doi: 10.1002/int.21684.

Canós, L. y Liern, V. (2008) «Soft computing-based aggregation methods for human resource management», *European Journal of Operational Research*, 189(3), pp. 669-681.

Carrasco, R. A. y Villar, P. (2012) «A new model for linguistic summarization of heterogeneous data: An application to tourism web data sources», *Soft Computing*, 16(1), pp. 135-151. doi: 10.1007/s00500-011-0740-1.

Castro M., M. (2011) «¿ QUÉ SABEMOS DE LA MEDIDA DE LAS COMPETENCIAS? CARACTERÍSTICAS Y PROBLEMAS PSICOMÉTRICOS EN LA EVALUACIÓN DE COMPETENCIAS», *Bordón*, 63(1), pp. 109-123. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/ejemplar?codigo=275199>.

Ceballos, B., Lamata, M. T. y Pelta, D. (2015) «Una Comparativa de Modelos de Decisión Multi-Criterio Difusos», en *Actas de la XVI Conferencia CAEPIA*, pp. 459-469.

Cervantes Rodón, D. y Zulueta Véliz, Y. (2016) «La evaluación de la composición de equipos de desarrollo de software libre y los modelos de computación por palabras.», *Revista Angolana de Ciências e Tecnologias de Informação e Comunicação*, 1(1), pp. 81-96.

Chang, S. L., Wang, R. C. y Wang, S. Y. (2006) «Applying a direct multi-granularity linguistic and strategy-oriented aggregation approach on the assessment of supply performance», *European Journal of Operational Research*, 177(2), pp. 1013-1025. doi: 10.1016/j.ejor.2006.01.032.

Chen, J. J., Zhu, J. L. y Zhang, D. N. (2014) «Multi-project scheduling problem with human resources based on dynamic programming and staff time coefficient», *International Conference on Management Science and Engineering - Annual Conference Proceedings*, (70702026), pp. 1012-1018. doi: 10.1109/ICMSE.2014.6930339.

Chen, Z. y Ben-Arieh, D. (2006) «On the fusion of multi-granularity linguistic label sets in group decision making», *Computers and Industrial Engineering*, 51(3), pp. 526-541. doi: 10.1016/j.cie.2006.08.012.

Chiavenato, I. (2000) «Administración de personal», en *Administración de recursos humanos*. 5ta ed, pp. 1-11.

- Chiclana, F., Herrera, F. y Herrera-Viedma, E. (2008) «A consensus model for multiperson decision making with different preference structures.», *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part A Systems and Humans*, 32(3), pp. 394-402. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2086/188>.
- Chuu, S. J. (2007) «Evaluating the flexibility in a manufacturing system using fuzzy multi-attribute group decision-making with multi-granularity linguistic information», *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(3-4), pp. 409-421. doi: 10.1007/s00170-005-0342-0.
- Cojulún Cifuentes, M. de los Á. (2011) “ *COMPETENCIAS LABORALES COMO BASE PARA LA SELECCIÓN DE PERSONAL* ” (*ESTUDIO REALIZADO EN LA EMPRESA PIOLINDO DE RETALHULEU*) “ *COMPETENCIAS LABORALES COMO BASE PARA LA SELECCIÓN DE PERSONAL* ” (*ESTUDIO REALIZADO EN LA EMPRESA PIOLINDO DE RETALHULEU*). Universidad Rafael Landívar.
- D’Negri, C. E. y De Vito, E. L. (2006) «Introducción al razonamiento aproximado : lógica difusa», *Revista Argentina de Medicina Respiratoria*, pp. 126-136.
- Dağdeviren, M. (2010) «A hybrid multi-criteria decision-making model for personnel selection in manufacturing systems», *J Intell Manuf*, 21, pp. 451-460. doi: 10.1007/s10845-008-0200-7.
- «Decisión multicriterio Problemas económicos» (2018).
- Degani, R. y Bortolan, G. (1988) «The problem of linguistic approximation in clinical decision making», *International Journal of Approximate Reasoning*, 2(2), pp. 143-162. doi: 10.1016/0888-613X(88)90105-3.
- Dejiang, W. (2009) «Extension of TOPSIS method for R&D personnel selection problem with interval grey number», en *Proceedings - International Conference on Management and Service Science, MASS 2009*. doi: 10.1109/ICMSS.2009.5304586.
- Delgado, M., Duarte, O. y Requena, I. (2006) «An arithmetic approach for the computing with words paradigm», *International Journal of Intelligent Systems*, 21(2), pp. 121-142. doi: 10.1002/int.20123.
- Deng-feng, L., Zhi-gang, H. y Guo-hong, C. (2010) «A systematic approach to heterogeneous multiattribute group decision making», *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 59(4), pp. 561-572. doi: 10.1016/j.cie.2010.06.015.
- Díaz Muñoz, G. M. (2005) «Programación lineal como herramienta para la toma de decisiones financieras», pp. 60-67.
- Dursun, M. y Karsak, E. E. (2010) «A fuzzy MCDM approach for personnel selection», *Expert Systems with Applications*. Elsevier Ltd, 37(6), pp. 4324-4330. doi: 10.1016/j.eswa.2009.11.067.
- El-Santawy, M. F. y El-Dean, R. A. Z. (2012) «On using VIKOR for ranking personnel problem», *Life Science Journal*, 9(4), pp. 1534-1536.
- Espinilla, M., Liu, J. y Martínez, L. (2011) «An Extended Hierarchical Linguistic Model for decision-making problems», *Computational Intelligence*, 27(3).
- Esponda Estrada, R. D. (2018) «Aplicación Web para la selección de personal por medio de intervalos difusos de evaluación Web application for staff selection through diffuse evaluations intervals», *Scientia et Technica Año XXIII*, 23(02), pp. 214-221.
- Estrella, F. J., Espinilla, M. y Martínez, L. (2014) «FLINTSTONES : UNA SUITE PARA LA TOMA DE DECISIONES LINGÜÍSTICAS BASADA EN 2-TUPLA LINGÜÍSTICAS Y EXTENSIONES», *ESTYLF 2014 XVII CONGRESO ESPAÑOL SOBRE TECNOLOGÍAS Y LÓGICA FUZZY*, pp. 187-192.
- Fathi, M. R. et al. (2011) «The Application of Fuzzy TOPSIS Approach to Personnel Selection for Padir Company, Iran», *Journal of Management Research*, 3(2), pp. 1-14. doi: 10.5296/jmr.v3i2.663.

- Fernández, J. T. (1999) «ACERCA DE LAS COMPETENCIAS PROFESIONALES* Una visión conceptual». Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/259997250>.
- Fernández, M. A. R., González, E. L. y Cuervo, C. M. (1996) «La selección del personal con un algoritmo genético borroso», *Investigaciones europeas de dirección y economía de la empresa*, 2(2), pp. 61-76.
- Fernandez, M. y Jesus, M. (2012) «Análisis comparativo de técnicas de generación eléctrica; AHP y tophis tuzificado».
- Flores Saavedra, D. M. y Vera Zavaleta, L. H. (2010) *Navegación Autónoma de un Móvil Terrestre en Ambientes Reales Aplicando Lógica Difusa*.
- Fontana Viñuales, M. (2015) «Métodos de decisión multicriterio AHP y PROMETHEE aplicados a la elección de un dispositivo móvil».
- García-Cascales, M. S. y Lamata Jiménez, M. T. (2010) «Nueva aproximación al método TOPSIS difuso con etiquetas lingüísticas», en *XV Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy*, pp. 619-624.
- Gargano, M. L., Marose, R. A. y von Kleeck, L. (1991) «An application of artificial neural networks and genetic algorithms to personnel selection in the financial industry», en *Proceedings First International Conference on Artificial Intelligence Applications on Wall Street*, pp. 257-262. doi: 10.1109/aiaws.1991.236592.
- Gil Flores, J. (2013) «LA EVALUACIÓN DE COMPETENCIAS LABORALES», *Educación XXI*, 10, pp. 83-106. doi: 10.5944/educxx1.1.10.298.
- Gill, R. W. T. (1979) «The in-tray (in-basket) exercise as a measure of management potential», *Journal of Occupational Psychology*. Wiley Online Library, 52(3), pp. 185-197.
- Glover, F. (1986) «Future paths for integer programming and links to artificial intelligence», *Computers and Operations Research*, 13(5), pp. 533-549. doi: 10.1016/0305-0548(86)90048-1.
- Gonzalez, V.-H., Sabando Vera, D. y Barcia, K. (2018) «Modelo de Programación Lineal Aplicado a una Empresa PYME de Calzado», (January), pp. 0-9. doi: 10.18687/laccei2018.1.1.291.
- Gordillo, H. (2003) «Evaluación de competencias laborales», *Extrado el*, 8.
- Guerrero Dávalos, C. (2012) «La selección por competencias en los recursos humanos utilizando los subconjuntos borrosos». México.
- Güngör, Z., Serhadlıođlu, G. y Kesen, S. E. (2009) «A fuzzy AHP approach to personnel selection problem», *Applied Soft Computing*. Elsevier, 9(2), pp. 641-646.
- Güngör, Z., Serhadlıođlu, G. y Kesen, S. E. (2009) «A fuzzy AHP approach to personnel selection problem», *Applied Soft Computing*, 9(2), pp. 641-646.
- Herrera-Viedma, E. *et al.* (2004) «Incorporating filtering techniques in a fuzzy linguistic multi-agent model for information gathering on the web», *Fuzzy Sets and Systems*, 148(1), pp. 61-83. doi: 10.1016/j.fss.2004.03.006.
- Herrera-Viedma, E., Mata, F. y Chiclana, F. (2005) «A Consensus Support System Model for Group Decision-Making Problems With Multigranular Linguistic Preference Relations», *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 13(5), pp. 644-658. doi: 10.1109/tfuzz.2005.856561.
- Herrera, F. y Herrera-Viedma, E. (2000) «Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problems under linguistic information», *Fuzzy Sets and Systems*, 115(1), pp. 67-82. doi: 10.1016/S0165-0114(99)00024-X.
- Herrera, F., Herrera-Viedma, E. y Martínez, L. (2000) «A fusion approach for managing multi-granularity

linguistic term sets in decision making», *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), pp. 43-58. doi: 10.1016/S0165-0114(98)00093-1.

Herrera, F., Herrera-Viedma, E. y Martínez, L. (2008) «A fuzzy linguistic methodology to deal with unbalanced linguistic term sets», *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 16(2), pp. 354-370. doi: 10.1109/TFUZZ.2007.896353.

Herrera, F., Herrera-Viedma, E. y Verdegay, J. L. (1998) «Choice processes for non-homogeneous group decision making in linguistic setting», *Fuzzy Sets and System*, 94, pp. 287-308. doi: 10.1016/s0165-0114(96)00251-5.

Herrera, F. y Martínez, L. (2000) «An Approach for Combining Linguistic and Numerical Information Based on the 2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation Model in Decision-Making», *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 08(05), pp. 539-562. doi: 10.1142/s0218488500000381.

Herrera, F. y Martínez, L. (2001a) «A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making», *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 31(2), pp. 227-234. doi: 10.1109/3477.915345.

Herrera, F. y Martínez, L. (2001b) «The 2-tuple linguistic computational model. Advantages of its linguistic description, accuracy and consistency.», pp. 33-48.

Herrera, F., Martínez, L. y Sánchez, P. J. (2005) «Managing non-homogeneous information in group decision making», *European Journal of Operational Research*, 166(1 SPEC. ISS.), pp. 115-132. doi: 10.1016/j.ejor.2003.11.031.

Herrera Triguero, F. *et al.* (2001) «A linguistic decision model for personnel management solved with a linguistic biobjective genetic algorithm», *Fuzzy Sets and Systems*, 118(1), pp. 47-64. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016501149800373X>.

Hu-Chen, L. *et al.* (2014) «Personnel Selection Using Interval 2-Tuple Linguistic VIKOR Method», *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, (0), pp. 1-15. doi: 10.1002/hfm.20553.

Huynh, V. N. y Nakamori, Y. (2005) «A satisfactory-oriented approach to multiexpert decision-making with linguistic assessments», *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 35(2), pp. 184-196. doi: 10.1109/TSMCB.2004.842248.

Huynh, V. N., Nguyen, C. H. y Nakamori, Y. (2005) «in General Multi-granular Hierarchical Linguistic Contexts Based on The 2-Tuples».

J. P. Brans y Vincke, P. (1985) «A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)», *Management Science*, 31(6), pp. 647-656. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Jiang, Y. P., Fan, Z. P. y Ma, J. (2008) «A method for group decision making with multi-granularity linguistic assessment information», *Information Sciences*, 178(4), pp. 1098-1109. doi: 10.1016/j.ins.2007.09.007.

Jimenez Jarquin, V. (2013) «Un modelo multiatributo para la selección de personal en una empresa de servicio: caso de estudio». Disponible en: <http://148.204.210.201/tesis/1377533631886valentinjimene.PDF>.

Jin-Hsien Wang y Jongyun Hao (2006) «A new version of 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words», *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 14(3), pp. 435-445. doi: 10.1109/tfuzz.2006.876337.

Kabak, M., Burmaoğlu, S. y Kazançoğlu, Y. (2012) «A fuzzy hybrid MCDM approach for professional selection», *Expert Systems with Applications*, 39(3), pp. 3516-3525. doi: 10.1016/j.eswa.2011.09.042.

- Kazan, H., Özçelik, S. y Hobikoğlu, E. H. (2015) «Election of Deputy Candidates for Nomination with AHP-Promethee Methods», *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, pp. 603-613. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.06.141.
- Kelemenis, A. y Askounis, D. (2010) «A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection», *Expert Systems with Applications*. Elsevier Ltd, 37(7), pp. 4999-5008. doi: 10.1016/j.eswa.2009.12.013.
- Kelemenis, A., Ergazakis, K. y Askounis, D. (2011) «Support managers' selection using an extension of fuzzy TOPSIS», *Expert Systems with Applications*. Elsevier Ltd, 38(3), pp. 2774-2782. doi: 10.1016/j.eswa.2010.08.068.
- Kelemenis, A. M. y Askounis, D. (2009) «An extension of fuzzy TOPSIS for personnel selection», *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, San Antonio, TX, USA - October 2009*. IEEE, pp. 4704-4709.
- de Korvin, A. y Kleyde, R. (2000) «A fuzzy set approach to resource procurement for multi-phase projects subject to flexible budgetary constraints», *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 9(3-4), pp. 225-233.
- Krishankumar, R., KS, R. y Saeid, A. B. (2017) «A new extension to PROMETHEE under intuitionistic fuzzy environment for solving supplier selection problem with linguistic preferences», *Applied Soft Computing Journal*. Elsevier B.V., 60, pp. 564-576. doi: 10.1016/j.asoc.2017.07.028.
- Krohling, R. A. y Campanharo, V. C. (2011) «Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea», *Expert Systems with Applications*. Elsevier Ltd, 38(4), pp. 4190-4197. doi: 10.1016/j.eswa.2010.09.081.
- Lado, M. (2001) «Validez de constructo y de criterio de las referencias personales», *Unpublished doctoral dissertation. Universidad de Santiago de Compostela. Departamento de Psicología Social y Básica*.
- Li, C. C. y Dong, Y. (2014) «Multi-attribute group decision making methods with proportional 2-tuple linguistic assessments and weights», *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 7(4), pp. 758-770. doi: 10.1080/18756891.2014.960232.
- Li, D. F. (2007) «A fuzzy closeness approach to fuzzy multi-attribute decision making», *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 6(3), pp. 237-254. doi: 10.1007/s10700-007-9010-1.
- Li, X. *et al.* (2008) «A LINGUISTIC-VALUED WEIGHTED AGGREGATION OPERATOR TO MULTIPLE ATTRIBUTE GROUP DECISION MAKING WITH QUANTITATIVE AND QUALITATIVE INFORMATION», *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1(3), pp. 274-284.
- López González, E., Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez Fernández, M. A. (1996) «LA SELECCIÓN DEL PERSONAL CON UN ALGORITMO GENÉTICO BORROSO», 2, pp. 61-76.
- López Gumucio, J. R. (1963) «La selección de personal basada en competencias y su relación con la eficacia organizacional», *The Journal of Physiology*, 166(3), pp. 514-529. doi: 10.1113/jphysiol.1963.sp007120.
- Martinez, L. (1999) *Un nuevo modelo de representación de información lingüística basado en 2-tuplas para la agregación de preferencias lingüísticas*. Universidad de Granada. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/258997054%0AUN>.
- Martinez, L. *et al.* (2008) «A Knowledge Based Recommender System with Multigranular Linguistic Information», *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1(3), p. 225. doi: 10.2991/ijcis.2008.1.3.4.
- Martínez, L. *et al.* (2007) «Dealing with heterogeneous information in engineering evaluation processes»,

- Information Sciences*, 177(7), pp. 1533-1542. doi: 10.1016/j.ins.2006.07.005.
- Martínez, L. (2007) «Sensory evaluation based on linguistic decision analysis», *International Journal of Approximate Reasoning*, 44(2), pp. 148-164. doi: 10.1016/j.ijar.2006.07.006.
- Martínez, L. et al. (2009) «Linguistic decision making: Tools and applications», *Information Sciences*, 179(14), pp. 2297-2298. doi: 10.1016/j.ins.2008.12.017.
- Martínez, L. y Herrera, F. (2002) «A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words», *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6), pp. 746-752. doi: 10.1109/91.890332.
- Martínez, L., Liu, J. y Yang, J.-B. (2006) «A FUZZY MODEL FOR DESIGN EVALUATION BASED ON MULTIPLE CRITERIA ANALYSIS IN ENGINEERING SYSTEMS», *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 14(03), pp. 317-336. doi: 10.1142/s0218488506004035.
- Martínez, L., Rodríguez, R. M. y Herrera, F. (2015) *The 2-tuple Linguistic Model: Computing with Words in Decision Making*. Springer International Publishing Switzerland. doi: 10.1007/978-3-319-24714-4.
- Mateo, V. G. (2000) *Test psicotécnicos*. Master Distancia.
- Matich, D. J. (2002) *Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones*. Universidad Tecnológica Nacional. Disponible en:
https://www.firro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/orientadora1/monograias/matich-redesneuronales.pdf.
- Mayor, J., Botero, S. y González-Ruiz, J. D. (2016) «Modelo de decisión multicriterio difuso para la selección de contratistas en proyectos de infraestructura: caso Colombia», *Obras y proyectos*, (20), pp. 56-74. doi: 10.4067/s0718-28132016000200005.
- Merigó, J. M., Palacios-Marqués, D. y Zeng, S. (2016) «Subjective and objective information in linguistic multi-criteria group decision making», *European Journal of Operational Research*. Elsevier Ltd., 248(2), pp. 522-531. doi: 10.1016/j.ejor.2015.06.063.
- Moreno Belmonte, L. (2016) «Técnicas alternativas de selección de recursos humanos», pp. 0-68.
- Narro, R. A. E. (1996) «Aplicación de algunos modelos matemáticos a la toma de decisiones», *Política y Cultura*, pp. 183-198. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/267/26700614.pdf>.
- Novick, M. et al. (1998) *Nuevos puestos de trabajo y competencias laborales. Un análisis cualitativo en el sector metalmeccánico argentino*, *Organización Internacional del Trabajo, [OIT]*. Disponible en: http://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/novick.pdf.
- Opricovic, S. (1998) «Multicriteria optimization of civil engineering systems», *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1), pp. 5-21.
- Özdemir, A. (2013) «A two-phase multi criteria dynamic programming approach for personnel selection process», *Problems and Perspectives in Management*, 11(2), pp. 98-108.
- Pérez Arza, L., Verdecia Martínez, E. Y. y Lavandero García, J. (2012) «Propuesta de Método para la Evaluación de Candidatos en un Proceso de Selección de Personal», en.
- Pérez Lugo, L. J. (2018) *Extensiones al Método de Conformación de Equipos en Ambiente Competitivo*. Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas.
- Perez Pueyo, R. (2005) «Conceptos Fundamentales de la Lógica difusa», en *Libro Electrónico sobre Lógica Difusa*, pp. 35-59. Disponible en:
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo3.pdf.
- Polanco Soto, N. V. (2006) «“ SELECCIÓN DE PERSONAL BASADA EN COMPETENCIAS

LABORALES CASO: ALMACENES MAGNO MERCANTIL, S.A.»

Puente Riofrío, M. I. y Gaviláñez Álvarez, Ó. D. (2018) *Programación lineal para la toma de decisiones*. Riobamba, Ecuador.

Rodríguez Domínguez, R. M. (2013) *USO DE PREFERENCIAS LINGÜÍSTICAS COMPARATIVAS EN TOMA DE DECISIONES BAJO INCERTIDUMBRE*.

Rodríguez, R. M. (2010) *Un nuevo modelo para procesos de computación con palabras en toma de decisión lingüística*. Universidad de Jaén.

Rodríguez, R. M. y Martínez, L. (2013) «An analysis of symbolic linguistic computing models in decision making», *International Journal of General Systems*, 42(1), pp. 121-136. doi: 10.1080/03081079.2012.710442.

Roy, B. (1990) «Decision-aid and decision-making», *European Journal of Operational Research*, 45(2-3), pp. 324-331.

Ruiz de Vargas, M., Jaraba Barrios, B. y Romero Santiago, L. (2005) «Competencias laborales y la formación universitaria», *Psicología desde el Caribe. Universidad del Norte.*, 16, pp. 64-91. Disponible en: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/psicologia/article/viewFile/1996/9370>.

Shaw, M. E. y Antich, I. (1980) *Dinámica de grupo: psicología de la conducta de los pequeños grupos*. Herder.

Sommer, M., Olbrich, A. y Arendasy, M. (2004) «Improvements in Personnel Selection With Neural Networks: A Pilot Study in the Field of Aviation Psychology», *The International Journal of Aviation Psychology*, 14(1), pp. 103-115. doi: 10.1207/s15327108ijap1401.

Spencer, L. M. J. y Spencer, S. M. (1993) «COMPETENCE AT WORK».

Stenhouse, L. (1980) «Curriculum research and the art of the teacher», *Study of Society*, 11(1), pp. 14-15.

Sun, Y. H. et al. (2008) «A group decision support approach to evaluate experts for R&D project selection», *IEEE Transactions on Engineering Management*, 55(1), pp. 158-170. doi: 10.1109/TEM.2007.912934.

Tai, W. y Chen, C. (2008) «A new evaluation model for intellectual capital based on computing with linguistic variable», *Expert Systems with Applications*, xxx(xxx), pp. xxx-xxx. doi: 10.1016/j.eswa.2008.02.017.

Toskano Hurtado, G. B. (2005) «El Proceso De Análisis Jerárquico (Ahp) Como Herramienta Para La Toma Decisiones En La Selección De Proveedores», *Tesis Digitales UNMSM*, p. 100. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Vahdani, B., Mousavi, S. M. y Ebrahimnejad, S. (2014) «Soft computing-based preference selection index method for human resource management», *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 26(1), pp. 393-403. doi: 10.3233/IFS-120748.

Viveros E, R. y Salazar H, E. (2010) «Modelo de Planificación de Producción para un Sistema Multiproducto con múltiples líneas de Producción», *Revista Ingeniera de Sistemas Volumen XXIV*, pp. 89-102.

Ware, N. R., Singh, S. P. y Banwet, D. K. (2014) «A mixed-integer non-linear program to model dynamic supplier selection problem», *Expert Systems with Applications*. Elsevier Ltd, 41(2), pp. 671-678. doi: 10.1016/j.eswa.2013.07.092.

Wedding, D. K. (2002) «Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications», *Neurocomputing*, 14(3), pp. 302-303. doi: 10.1016/s0925-2312(97)88327-0.

- Wind, Y. y Saaty, T. L. (1980) «Marketing applications of the analytic hierarchy process», *Management science*, 26(7), pp. 641-658.
- Xu, Y. *et al.* (2013) «Some proportional 2-tuple geometric aggregation operators for linguistic decision making», *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 25(3), pp. 833-843. doi: 10.3233/IFS-130774.
- Xu, Z. (2004) «A method based on linguistic aggregation operators for group decision making with linguistic preference relations», *Information Sciences*, 166(1-4), pp. 19-30. doi: 10.1016/j.ins.2003.10.006.
- Xu, Z. (2005) «Deviation measures of linguistic preference relations in group decision making», *Omega*, 33(3), pp. 249-254. doi: 10.1016/j.omega.2004.04.008.
- Xu, Z. (2006a) «A direct approach to group decision making with uncertain additive linguistic preference relations», *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 5(1), pp. 21-32. doi: 10.1007/s10700-005-4913-1.
- Xu, Z. (2006b) «An approach based on the uncertain LOWG and induced uncertain LOWG operators to group decision making with uncertain multiplicative linguistic preference relations», *Decision Support Systems*, 41(2), pp. 488-499. doi: 10.1016/j.dss.2004.08.011.
- Xu, Z. (2009) «An interactive approach to multiple attribute group decision making with multigranular uncertain linguistic information», *Group Decision and Negotiation*, 18(2), pp. 119-145. doi: 10.1007/s10726-008-9131-0.
- Yager, R. R. (1981) «Concepts, theory, and techniques a new methodology for ordinal multiobjective decisions based on fuzzy sets», *Decision Sciences*. Wiley Online Library, 12(4), pp. 589-600.
- Yager, R. R. (2004) «On the Retranslation Process in Zadeh's Paradigm of Computing With Words», *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 34(2), pp. 1184-1195. doi: 10.1109/TSMCB.2003.821866.
- Yejun, X. y Huang, L. (2008) «An approach to group decision making problems based on 2-tuple linguistic aggregation operators», en *Proceedings - ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, CCCM 2008*, pp. 73-77. doi: 10.1109/CCCM.2008.40.
- Yoon, K. (1980) «Systems selection by multiple attribute decision making [Ph. D. thesis]», *Manhattan (KS): Kansas State University*.
- Zadeh, L. A. (1965) «Fuzzy sets», *Information and Control*. Academic Press, 8, pp. 338-353. doi: 10.1007/978-3-540-76290-4_2.
- Zadeh, L. A. (1975) «The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-III*», *Information Sciences*, 80(9), pp. 43-80.
- Zadeh, L. A. (1994) «Soft computing and fuzzy logic», *IEEE software*, 11(6), pp. 48-56.
- Zadeh, L. A. (1996) «Fuzzy logic = computing with words», *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4(2), pp. 103-111. doi: 10.1109/991.493904.
- Zadeh, L. A. y Jose, S. (1975) «on the values of μ imposed by X. [As in the case of nonfuzzy variables, $R(X;\mu)$ will usually be abbreviated to]», *Electrical Engineering*, 357, pp. 301-357. doi: 10.1038/s41366-018-0105-2.
- Zadeh, L. A. y Jose, S. (1975) «The Concept of a Linguistic Variable II», *Electrical Engineering*, 357, pp. 301-357. doi: 10.1038/s41366-018-0105-2.
- Zhang, G. y Lu, J. (2003) «An integrated group decision-making method dealing with fuzzy preferences for alternatives and individual judgments for selection criteria», *Group Decision and Negotiation*, 12(6), pp. 501-515. doi: 10.1023/B:GRUP.0000004197.04668.cf.

Zulueta Véliz, Y. (2014) *Modelos de evaluación de la importancia del impacto ambiental en contextos complejos bajo incertidumbre*. Disponible en:
<https://sinbad2.ujaen.es/sites/default/files/publications/TesisYeleny.pdf>.

Zunzunegui Suárez, Á. (2017) *LA TEORÍA DE DECISIÓN MULTICRITERIO*.