

# MÉTODO BASADO EN EL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN CUALITATIVA PARA LA EVALUACIÓN INDIVIDUAL Y GRUPAL DE COMPETENCIAS EDUCATIVAS



Fredy Mauricio Guerrero Córdoba

Paola Andrea Otero Cano

Trabajo de grado en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Director:

Diego Fabián Durán Dorado  
PhD(C). En Ingeniería Telemática

Co-Director:

José Luis Arciniegas Herrera  
PhD. En Ingeniería de Sistemas Telemáticos

Universidad Del Cauca  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Telemática  
Popayán, Julio de 2016



Fredy Mauricio Guerrero Córdoba  
Paola Andrea Otero Cano

Método basado en el procesamiento de información  
cualitativa para la evaluación individual y grupal de  
competencias educativas

Trabajo de grado presentado en la Facultad de Ingeniería  
Electrónica y Telecomunicaciones de la  
Universidad del Cauca para la obtención del  
Título de

Ingeniero en:  
Electrónica y Telecomunicaciones

Director:  
Diego Fabián Durán Dorado  
PhD(C). En Ingeniería Telemática

Co-Director:  
José Luis Arciniegas Herrera  
PhD. En Ingeniería de Sistemas Telemáticos

Popayán  
2016







## **Agradecimientos de Fredy Guerrero**

Agradezco principalmente a Dios por la maravillosa vida que ha puesto ante mis ojos, a mis padres Myriam y Mauricio por toda su dedicación, consejo y apoyo incondicionales, A mi hermana Viviana por guiar siempre mi camino y ser mi más fiel confidente y amiga, a Nataly por todo su amor, comprensión y apoyo en los momentos más difíciles de este trabajo y esta carrera, A toda mi familia, amigos y amigas, a mi compañera de Tesis Andrea, por su trabajo consagrado, a nuestro director Diego por todo su compromiso, paciencia y asesoría, a nuestro co-Director José Luis por todo su apoyo a nuestro trabajo, al departamento de Telemática, a todos los docentes que hicieron parte de mi formación, a la Decanatura de la facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, a sus administrativos y al grupo de expertos que colaboraron en las pruebas de desempeño para la consolidación de este invaluable trabajo de grado.

***Fredy M. Guerrero C.***

## **Agradecimientos de Andrea Otero**

Le agradezco principalmente a Dios por haberme acompañado a lo largo de este camino, por ser mi guía y fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de experiencias, aprendizajes y mucha felicidad.

Le doy gracias a mis padres Alida y Fredy por apoyarme en todo momento, por sus consejos, guía y por ser incondicionales en mi vida. A mi hermano Carlos Andres por todas las lecciones y alegrías que me ha brindado. A mi familia y amigos por estar siempre presentes en mi crecimiento como persona y profesional.

A mi compañero de Tesis y amigo, Fredy por ser un excelente compañero, por haberme tenido la paciencia necesaria, por motivarme a seguir adelante en momentos de dificultad. A nuestro director Diego y co-director Jose Luis por todo su apoyo, orientación y asesoría en el desarrollo de este trabajo. Al departamento de Telemática, a todos los docentes y administrativos de la facultad de ingeniería electrónica por contribuir en mi formación, y a el grupo de expertos, Myriam Córdoba, Cristina Sandoval, por su colaboración en las pruebas de este trabajo de grado.

A todos mil gracias.

***Andrea Otero C.***



## Resumen Estructurado

Frecuentemente en el sector educativo se evalúa a los estudiantes en términos de competencias; y aunque estas últimas tienen una naturaleza cualitativa, es decir se describen mediante adjetivos y adverbios, no se miden de la misma manera, por el contrario, se les da una valoración cuantitativa aproximada que produce pérdidas de información considerables en el contexto cualitativo.

En la práctica, los estudiantes son evaluados mediante la graduación de palabras extraídas del lenguaje natural, palabras que se reflejan en forma de variables lingüísticas que describen el desempeño en términos de conocimiento, habilidades y aptitudes, por lo que se hace necesario un procesamiento cualitativo de esta información; sin embargo, no se cuenta con el conocimiento suficiente, ni con herramientas software que permitan realizar su procesamiento.

Por lo anterior, este trabajo de grado tiene como objetivo construir un método computacional basado en el procesamiento de información cualitativa para la evaluación de competencias educativas, teniendo en cuenta su estructura de composición.

Para el cumplimiento del objetivo, se realiza la construcción de un método computacional que permite realizar el procesamiento de información cualitativa en evaluaciones individuales de estudiantes en términos de competencias. Su construcción se basó en la técnica de lógica difusa y computación con palabras (*Computing With Words*). Finalmente se diseña una estrategia computacional que adapta el método desarrollado para las evaluaciones individuales, permitiendo el procesamiento de información en la evaluación grupal de competencias educativas.

En su diseño se utiliza, además, un algoritmo de clústering para realizar el procesamiento grupal, *Fuzzy C-Means*. En consecuencia, se obtiene un método computacional completo que permite acceder a los resultados de evaluaciones tanto individuales como grupales.

Con el fin de evaluar el desempeño del método desarrollado, se realiza la implementación de un prototipo de servicio web, el cual incluye conexión a base de datos *cloud*. La evaluación se realiza con el apoyo de tres expertos en competencias educativas del área de pre-escolar y básica primaria, los cuales evaluaron el desempeño de un conjunto de estudiantes en diferentes competencias.

De los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo de grado se resalta que el método de procesamiento de información cualitativa propuesto, desplegado en un entorno real y con las consideraciones del caso, facilitaría en gran medida los procesos de evaluación de competencias educativas tanto a nivel individual como grupal, ya que demostró un buen desempeño mediante pruebas bajo las métricas de semejanza (llegando hasta 96% de semejanza a nivel individual y 90% a nivel grupal) y precisión (con 85% a nivel individual y 63% a nivel grupal).

**Palabras clave:** Procesamiento cualitativo, competencias educativas, lógica difusa, computación con palabras.

## Structured abstract

In the educational sector, the students are often evaluated in function of competences terms; and though the competences have a qualitative nature, that is to say they are described through adjectives and adverbs, these ones aren't measured in the same way, instead, they are measured through a quantitative approach assessment that produces considerable loss of information in the qualitative context.

To use linguistic variables is common to reflect the student performance in knowledge, skills and aptitudes; People are evaluated in surveys by a words ranking extracted from natural language. However, there are no enough knowledge, or software or TIC tools to realize the information gathered processing to obtain a result that makes harmony with the qualitative nature that was evaluated.

For these reasons, the aim of this undergraduate thesis is to build a computational method processing-based qualitative information for the educational competences assessment, taking into account its composition structure.

For the purpose, the computational method building that allows the qualitative information processing on individual assessments of students in competences terms is carried out. This one is based on the fuzzy logic technique and computing with words (CWW). Finally, a computational strategy that adapts the method developed for individual assessments, it allows the information processing in the educational competences group assessments is designed. In its design it also uses a clustering algorithm to perform group processing, Fuzzy C-Means. Consequently, a complete computational method that allows access to the results of both individual and group assessments is obtained.

In order to evaluate the performance of the method developed, the implementation of a prototype web service, which includes free cloud-based data is performed. The evaluation is carried out with the support of three experts in the area of educational competences preschool and basic primary, who evaluated the student's group performance in different competences.

From the results obtained in the development of this undergraduate thesis is highlighted that the qualitative information processing-method proposed, deployed in a real environment and the considerations of the case, would greatly facilitate the educational competences evaluation process at both individual and group, as it proved a good performance through testing under the metric of similarity (reaching 96% similarity at the individual level and 90% at group level) and accuracy (85% at the individual level and 63% at group level) .

**Keywords:** Qualitative processing, educational competences, fuzzy logic, computing with words.

# Contenido

<b>Agradecimientos de Fredy Guerrero .....</b>	<b>i</b>
<b>Agradecimientos de Andrea Otero .....</b>	<b>ii</b>
<b>Resumen Estructurado .....</b>	<b>iii</b>
<b>Structured abstract .....</b>	<b>v</b>
<b>Contenido.....</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de tablas.....</b>	<b>xv</b>
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación .....	1
1.2. Definición del problema .....	2
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. Aportes investigativos.....	5
1.4.1. Publicaciones.....	6
1.5. Contenido .....	6
<b>Capítulo 2.....</b>	<b>9</b>

<b>Proceso conceptual y matemático base para el desarrollo de un método computacional para el procesamiento cualitativo en la evaluación de competencias educativas .....</b>	<b>9</b>
2.1. Establecimiento de criterios del método propuesto .....	10
2.1.1. Metodologías en el desarrollo de sistemas basados en lógica difusa .....	12
2.2. Proceso conceptual y matemático base COMPIECCE-FL .....	13
2.2.1. Etapa 1: Establecimiento de la estructura de la información .....	16
2.2.2. Etapa 2: Establecimiento y construcción de los conjuntos difusos .....	24
2.2.3. Etapa 3: Selección del operador de agregación lingüística .....	41
<b>Resumen.....</b>	<b>46</b>
<b>Capítulo 3.....</b>	<b>49</b>
<b>Método computacional para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación individual de competencias educativas .....</b>	<b>49</b>
3.1. Estructura .....	49
3.2. Etapas del método computacional .....	50
3.2.1. Etapa 1: Interfaz de la información .....	51
3.2.2. Etapa 2: Recorrido del árbol de competencias .....	51
3.2.3. Etapa 3: Obtención de la información cualitativa disponible .....	51
3.2.4. Etapa 4: Fuzzyficación .....	52
3.2.5. Etapa 5: Operación .....	52
3.2.6. Etapa 6: Obtención de pertenencias .....	52
3.2.7. Etapa 7: Clústering Fuzzy C-Means .....	53
3.2.8. Etapa 8: Valores lingüísticos .....	53
3.2.9. Etapa 9: Datos de modelado de la función .....	53
3.2.10. Etapa 10: Defuzzyficación .....	53
3.2.11. Etapa 11: Reestructuración de la información cualitativa procesada .....	54
3.2.12. Reconstrucción del árbol de competencias .....	54
<b>Resumen.....</b>	<b>57</b>

<b>Capítulo 4</b> .....	<b>59</b>
<b>Estrategia computacional para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación grupal de competencias educativas</b> .....	<b>59</b>
4.1. El reto del procesamiento de árboles de competencias grupales .....	60
4.2. Finalidad de la estrategia computacional propuesta .....	61
4.3. Estructura de la estrategia computacional para la evaluación grupal .....	63
4.4. Modificaciones estratégicas realizadas .....	65
4.4.1. Modificaciones realizadas sobre las expresiones matemáticas de Fuzzy C-Means .....	66
4.4.2. Adición de una etapa de conformación de árboles grupales .....	68
4.4.3. Integración del método individual con la conformación de árboles grupales	73
<b>Resumen</b> .....	<b>78</b>
<b>Capítulo 5</b> .....	<b>81</b>
<b>Prototipo de servicio web para la evaluación del método computacional</b> .....	<b>81</b>
5.1. Construcción .....	81
5.1.1. Capa 1: Operaciones del servicio web .....	83
5.1.2. Capa 2: Lógica de acceso y control del servicio web .....	83
5.1.3. Capa 3: Base de datos .....	85
5.2. Arquitectura .....	85
5.2.1. Arquitectura computacional del sistema .....	86
5.2.2. Diagrama de componentes .....	88
a. Componentes módulo Servicios .....	89
b. Componentes módulo Composición de servicios .....	90
c. Componentes módulo Base de datos .....	97
5.2.3. Casos de uso .....	99
5.2.4. Despliegue del servicio .....	101
<b>Resumen</b> .....	<b>107</b>

<b>Capítulo 6.....</b>	<b>109</b>
<b>Evaluación de desempeño del método computacional.....</b>	<b>109</b>
6.1. Metodología de las pruebas.....	110
6.2. Desarrollo de las pruebas.....	110
6.2.1. Especificación de las pruebas .....	110
6.2.2. Estrategia de las pruebas .....	111
6.3. Gestión de planeación de las pruebas .....	112
6.3.1. Planeación de las pruebas.....	112
6.3.2. Control y seguimiento .....	112
6.3.3. Establecimiento de métricas de desempeño .....	113
6.4. Gestión de ejecución de las pruebas .....	118
6.4.1. Diseño de las pruebas.....	118
6.4.2. Ejecución de las pruebas .....	121
6.4.3. Gestión de los resultados.....	121
<b>Capítulo 7.....</b>	<b>141</b>
<b>Conclusiones y trabajos futuros .....</b>	<b>141</b>
7.1. Conclusiones .....	141
7.2. Lecciones Aprendidas.....	142
7.3. Trabajos futuros .....	144
<b>Referencias .....</b>	<b>147</b>



## Lista de figuras

Figura 1. Estructura general de COMPIECCE-FL.....	14
Figura 2. Sub-etapas del establecimiento de la estructura de la información. ....	16
Figura 3. Estructura con importancias.....	18
Figura 4. Estructura conceptual de la información propuesta en los procesos de evaluación de competencias educativas.....	19
Figura 5. Representación lógica-matemática propuesta. ....	22
Figura 6. Algoritmo para el recorrido y operación de la estructura de la información.	24
Figura 7. Sub-etapas del establecimiento y construcción de los conjuntos difusos. ..	25
Figura 8. Universo del discurso. ....	27
Figura 9. Etapas de tratamiento de la información.....	30
Figura 10. Modelado de la función de pertenencia con $m=1.5$ . ....	33
Figura 11. Modelado de la función de pertenencia con $m=2.5$ . ....	33
Figura 12. Modelado de la función de pertenencia con $m=2$ .....	34
Figura 13. Modelado de la función de pertenencia al valor lingüístico “MEDIO”. ....	34
Figura 14. Funciones de pertenencia $\text{sinc}(x)$ para todos los valores lingüísticos. ....	37
Figura 15. Función de pertenencia $\text{sinc}(x)$ para el valor lingüístico “BAJO”. ....	37
Figura 16. Curva de semejanza variando $k$ . ....	39
Figura 17. Funciones de pertenencia $\text{sinc}(x)$ para todos los valores lingüísticos. ....	40
Figura 18. Función de pertenencia $\text{sinc}(x)$ ajustada para el valor lingüístico “BAJO”. ....	40
Figura 19. Sub-etapas de la selección del operador de agregación lingüísticas. ....	41
Figura 20. Diagrama general del método de procesamiento propuesto. ....	50
Figura 21 parte A. Flujo de las etapas del método computacional.....	55
Figura 22. Agrupamiento de la información.....	61
Figura 23. Papel de la estrategia computacional.....	62

Figura 24. Diagrama general de la estrategia para la evaluación grupal de competencias educativas. ....	64
Figura 25. Sub-etapas de la conformación de árboles grupales. ....	69
Figura 26. Conformación de la matriz de componentes. ....	70
Figura 27. Matriz de agrupamiento. ....	71
Figura 28. Transformación de la matriz de componentes al vector de agrupamiento. ....	71
Figura 29. Transformación del vector de agrupamiento. ....	72
Figura 30. Inserción de la información procesada en el árbol grupal. ....	72
Figura 31. Procesamiento final del árbol grupal. ....	73
Figura 32. Extracción del vector cualitativo de importancias. ....	75
Figura 33. Agregación y asignación de importancias al árbol de competencias grupal. ....	75
Figura 34. Niveles del árbol de competencias. ....	76
Figura 35. Proceso de filtrado de los árboles de competencias individuales. ....	77
Figura 36. Diseño preliminar de la arquitectura del sistema. ....	82
Figura 37. Módulos de la capa 1, operaciones del servicio web. ....	83
Figura 38. Módulos de la capa2, lógica de acceso y control del servicio web. ....	84
Figura 39. Módulo de la capa 3, base de datos. ....	85
Figura 40. Arquitectura computacional del sistema. ....	88
Figura 41. Diagrama de componentes del sistema. ....	89
Figura 42 parte A. Diagrama de clases. ....	91
Figura 43. Casos de uso esenciales del sistema. ....	100
Figura 44. Diagrama de casos de uso extendidos. ....	101
Figura 45. Test servicio web OperacionesCRUDWS. ....	102
Figura 46. Test servicio web OperacionesProcesamientoCualitativoWS. ....	102
Figura 47. Información de los grupos en el servidor MLab. ....	103
Figura 48. Árbol de competencias grupal, Grupo 1. ....	104
Figura 49. WSDL OperacionesCRUDWS. ....	105
Figura 50. WSDL OperacionesProcesamientoCualitativoWS. ....	106
Figura 51. Proceso de cálculo de semejanza entre dos árboles de competencias. ....	116
Figura 52. Proceso para calcular el índice de precisión. ....	117
Figura 53. Fases comunes de las pruebas de desempeño. ....	118
Figura 54. Gráfico de precisión para todos los estudiantes implicados en la prueba. ....	128

Figura 55. Gráfico del índice de semejanza. ....	129
Figura 56. Comparativo entre semejanza y precisión. ....	129
Figura 57. Desviación estándar de los resultados obtenidos. ....	130
Figura 58. Desviación estándar para los resultados obtenidos a través del grupo del experto 1. ....	130
Figura 59. Precisión y semejanza por niveles para el grupo asignado al experto 1. ....	131
Figura 60. Comparativo de Desviación para el experto 2. ....	132
Figura 61. Comparativo de precisión y semejanza para el experto 2. ....	133
Figura 62. Comparativo de la desviación estándar para los resultados del experto 3. ....	134
Figura 63. Comparativo de métricas por niveles para el experto 3. ....	134
Figura 64. Estabilidad de $S(x)$ y semejanza en función del número de elementos del árbol. ....	135
Figura 65. Estabilidad de $P(x)$ y precisión en función del número de elementos del árbol. ....	136
Figura 66. Gráfico comparativo de precisión y semejanza en los resultados grupales. ....	137
Figura 67. Desviación estándar de las métricas de semejanza y precisión a nivel grupal. ....	137
Figura 68. Semejanza y estabilidad de $S(x)$ vs. Número de elementos del árbol. ....	138
Figura 69. Precisión y estabilidad de $P(x)$ vs. Número de elementos del árbol. ....	139



## Lista de tablas

Tabla 1. Resumen de etapas y sub-etapas de COMPIECCE-FL.....	15
Tabla 2. Puntuación de bases de datos. ....	28
Tabla 3. Índices de los valores lingüísticos. ....	32
Tabla 4. Funciones de pertenencia sinc(x) ajustadas. ....	39
Tabla 5. Relación de propiedades. ....	43
Tabla 6. Comparativa entre los resultados cualitativos obtenidos por los operadores preseleccionados. ....	44
Tabla 7. Cercanía entre los resultados obtenidos por el experto con los obtenidos a partir de las operaciones de agregación. ....	45
Tabla 8. Etapas de la estrategia computacional para la evaluación grupal de competencias.....	65
Tabla 9. Relación entre los componentes del sistema y las fases de la estrategia computacional. ....	99
Tabla 10. Personal de las pruebas. ....	111
Tabla 11. Pruebas individuales.....	120
Tabla 12. Pruebas grupales. ....	120
Tabla 13. Especificación de casos de estudio. ....	121
Tabla 14. Resultados de desempeño a nivel individual. ....	122
Tabla 15. Desviación estándar para las métricas de semejanza y precisión por experto. ....	123
Tabla 16. Resultados de semejanza y precisión para el experto 1 por niveles. ....	124
Tabla 17. Resultados de semejanza y precisión para el experto 2 por niveles.....	124
Tabla 18. Resultados de semejanza y precisión para el experto 3 por niveles. ....	125

Tabla 19. Relación de precisión, semejanza y estabilidad con número de elementos del árbol. ....	126
Tabla 20. Resultados globales de desempeño para el método grupal. ....	127
Tabla 21. Resultados de desempeño para el método grupal en todos los niveles. .	127

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Motivación

La evaluación de competencias es un tema frecuentemente abordado en ámbitos como el educativo [1], [2], [3], [4], laboral [5], empresarial [6], [7], en donde se resalta la importancia de conocer atributos cualitativos de las personas que se ven a través de éstas [6]. En el ámbito empresarial, la clasificación de las competencias en una empresa, permite ubicar adecuadamente a sus integrantes en función de sus capacidades para aprovechar al máximo sus cualidades [6]. Desde una perspectiva educativa, la evaluación de un estudiante representa una tarea compleja y que involucra muchas dimensiones para el profesor, incluyendo la cualitativa [8].

De acuerdo con [9] y [10] las competencias son capacidades expresadas en un conjunto de conocimientos, habilidades y aptitudes necesarias para llevar a cabo una actividad de manera inteligente en un determinado entorno. En ese sentido, se hace evidente que su naturaleza es de carácter cualitativo. Para citar un ejemplo, en [11] se menciona la competencia “trabajar en equipo”; si se quisiera evaluar, en ella se podría clasificar el desempeño de una persona como malo, regular o bueno. Sería más difícil clasificarla dentro de una escala numérica, es decir, es más intuitivo decir: “una persona es buena trabajando en equipo”, que “una persona tiene un 10 trabajando en equipo”.

De acuerdo al ejemplo, las competencias se representan mediante un “lenguaje natural”, [3], [12], que hacen referencia al desempeño de las capacidades en términos cualitativos y por lo tanto es inapropiado evaluarlas a partir de escalas numéricas; es más conveniente hacerlo a partir de atributos cualitativos. Estos últimos, para [13], son ambiguos, no específicos y pueden ser juzgados mediante adverbios o adjetivos, por esta razón la evaluación puede variar dependiendo de los criterios de cada evaluador y de las palabras que se usen para evaluar.

En consecuencia, para poder cuantificar de alguna manera una evaluación cualitativa generalmente se opta por aproximar los conceptos de los evaluadores a unos niveles numéricos predeterminados, un ejemplo de ello son las escalas de Likert [13]. Estas aproximaciones producen pérdidas de información considerables en el contexto cualitativo y ser despreciadas en el cuantitativo. Frecuentemente, en un test las personas son evaluadas a partir de una graduación con letras o palabras extraídas intuitivamente del lenguaje natural [4], que pretenden reflejar un concepto cualitativo; esto indica que es muy común usar variables lingüísticas para representar el desempeño de una persona en conocimientos y principalmente en competencias. Todo esto refiere que aplicar metodologías como la escala de Likert, puede traer como resultado la pérdida de información lingüística valiosa en una evaluación de carácter cualitativo.

## 1.2. Definición del problema

En los países de Europa y Latinoamérica, la mayoría de los sistemas educativos están basados en competencias [14], [15]. Según la OCDE, las competencias educativas son *“capacidades, habilidades y aptitudes que, en conjunto, permiten a la persona resolver problemas y situaciones de la vida”* [14], [5], [9], [10]. En esta dinámica, generalmente se fija una estructura que va de competencias generales, establecidas por las entidades gubernamentales competentes, a competencias específicas, definidas por cada docente, formando una composición en árbol. De esta forma, la consecución de las competencias específicas conlleva a la adquisición de las competencias generales [14], [16].

En los sistemas educativos basados en competencias, la evaluación de las mismas es un pilar fundamental dentro de los procesos de enseñanza y aprendizaje [14]. Ésta



permite medir el desempeño de los estudiantes, posibilitando al docente tomar medidas que incidan positivamente en la formación individual y grupal. Dicha evaluación presenta dos características importantes, las cuales se mencionan a continuación:

1. En la práctica, el docente diseña actividades de evaluación (e. g. talleres, mesas redondas, cuestionarios, entre otros) que le permitan conocer el nivel de las competencias en los estudiantes [7].
2. Las competencias obedecen a una naturaleza cualitativa [2] porque generalmente se representan mediante un “lenguaje natural” [1] y su valoración se debe hacer a partir de adverbios, adjetivos u oraciones [3], [12], [13], por esta razón el foco de una evaluación de competencias es de carácter cualitativo, ya que un número no es realmente significativo [3].

En este proceso de evaluación, se ha podido identificar un problema: aunque los docentes evalúan las actividades de evaluación de forma cualitativa, deben enfrentarse a diferentes dificultades para la obtención de resultados tanto individuales como grupales. Estas dificultades se exponen a continuación:

1. La estructura de composición en árbol de las competencias, mencionada en el primer párrafo, dificulta aún más el procesamiento de los resultados cualitativos de las actividades de evaluación. Esto porque al momento de obtener la valoración cualitativa de una competencia general a partir de operar las valoraciones cualitativas de las sub-competencias que la componen se presentan tres inconvenientes: 1) Hacerlo sin una herramienta tecnológica implicaría grandes cantidades de tiempo debido a la complejidad de su estructura [17]; 2) los docentes pueden no estar capacitados para operar información cualitativa; 3) Promediar diferentes evaluaciones cuantitativas impide identificar falencias específicas dentro de la estructura de composición de competencias [8], [6]. Esto último debido a que los promedios numéricos dan una visión general del desempeño del estudiante imposibilitando al docente el conocimiento de los aspectos puntuales que se deben trabajar más a fondo para mejorar dicho desempeño [8], [11].
2. Comúnmente, la evaluación se enfoca en el desempeño individual del estudiante, dejando de lado la orientación grupal. Los docentes realizan varias evaluaciones de competencias para tener un diagnóstico de cómo evoluciona un grupo de estudiantes en el tiempo, para lo cual se necesita ponderar los resultados cualitativos de las mismas. En el ejercicio de obtener un diagnóstico grupal, el

docente encuentra dificultades para obtener resultados grupales cuantitativos, por lo que opta por calcular promedios individuales cuantitativos y de ellos un promedio general, llegando a la conclusión del desempeño del grupo.

3. No se cuenta con herramientas TIC que faciliten el procesamiento y acceso a las evaluaciones de competencias en términos cualitativos [18], [8]. Debido a esta carencia, los docentes comúnmente asignan números a las palabras que usaron en la evaluación (e. g. excelente corresponde a 5, Deficiente corresponde a 1) para llegar a una aproximación cuantitativa de cómo está el estudiante o el grupo [19], [4]. Además, apoyándose en el estado del arte, se puede decir que no se encontraron trabajos que integren los conceptos matemáticos del procesamiento de información cualitativa con la estructura de una herramienta TIC, por lo que es importante contar con una descripción de cómo interactúan los componentes de un sistema basado en TIC para soportar la lógica matemática alrededor del procesamiento de información cualitativa.

Apoyándose en lo anteriormente expuesto, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo facilitar los procesos de evaluación cualitativa individual y grupal de competencias educativas?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Construir un método computacional<sup>1</sup> basado en el procesamiento de información cualitativa para la evaluación de competencias educativas, teniendo en cuenta su estructura de composición.

---

<sup>1</sup> Entiéndase método computacional como el modo sistemático de proceder para obtener un resultado a partir de un conjunto de datos de entrada ayudándose de la capacidad de procesamiento de una estructura de computación.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Adaptar una técnica de procesamiento de información cualitativa teniendo en cuenta la estructura de composición en árbol de las competencias educativas, para la evaluación individual de las mismas.
2. Diseñar una estrategia desde el punto de vista computacional, para la evaluación grupal de competencias, teniendo en cuenta la adaptación de la técnica para el procesamiento de información cualitativa.
3. Evaluar el desempeño del método computacional desarrollado a través de la implementación de un prototipo.

## **1.4. Aportes investigativos**

Los aportes investigativos del presente proyecto son los siguientes:

Un método computacional para el procesamiento de información cualitativa adaptado para la evaluación individual y grupal de competencias educativas considerando su estructura de composición en árbol.

Un prototipo que permita validar el desempeño del método computacional para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación de competencias educativas individuales y grupales.

La evaluación de desempeño del método computacional desarrollado.

Por otro lado, este proyecto está enmarcado en la contribución al desarrollo del trabajo de doctorado de PhD(C) Diego Fabián Durán Dorado, el cual está dirigido al desarrollo de un método que está acorde con metamodelo que describe relaciones padre-hijo entre competencias, además entrega resultados que pueden ser modelados en los perfiles de usuario, permitiendo obtener datos significativos sobre el rendimiento de los estudiantes. La contribución del presente trabajo con respecto al del PhD(C) es la selección de todas las variables de la lógica difusa, la matemática y los resultados obtenidos.

### 1.4.1. Publicaciones

Junto con el presente trabajo de grado, los siguientes artículos fueron aceptados para su publicación:

- “Método Computacional para el Descubrimiento de Funciones de Pertenencia en Entornos de Lógica Difusa” presentado en el 11 Congreso Colombiano de Computación realizado en la ciudad de Popayán, Colombia los días 27 y 30 de septiembre de 2016. Este artículo detalla la propuesta de un proceso de descubrimiento de una función de pertenencia teniendo en cuenta el comportamiento de un conjunto de datos reales.

## 1.5. Contenido

La estructura del presente trabajo de grado se describe a continuación:

**Capítulo 1:** Se exponen las bases del presente trabajo de grado. Se presenta la motivación del tema del trabajo, el planteamiento detallado del problema y se definen los objetivos, aportes investigativos y todas las contribuciones del trabajo, como sus publicaciones.

**Capítulo 2:** Se describe detalladamente el desarrollo de una propuesta de un proceso de referencia para la obtención del método computacional para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación de competencias educativas. En este se describen los criterios a tener en cuenta para la construcción del método computacional y las técnicas y metodologías a utilizar.

**Capítulo 3:** Se presenta la estructuración del método computacional para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación individual de competencias educativas. En este capítulo se describe cada etapa del método computacional.

**Capítulo 4:** Se presenta la estructuración del método computacional para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación grupal de competencias educativas. En este capítulo se describe las etapas del método acoplando lo desarrollado en la parte individual a lo grupal.

**Capítulo 5:** Se presenta la arquitectura del prototipo de un servicio web para articular el método desarrollado. Se describen los requerimientos para la construcción de la arquitectura y finalmente, se detallan los componentes de esta.

**Capítulo 6:** En este capítulo se describen las pruebas realizadas para la evaluación del trabajo desarrollado. Se realiza la evaluación del desempeño del método computacional articulado en el prototipo de servicio web. Se muestra el análisis de los resultados de dichas pruebas.

**Capítulo 7:** Se entregan las conclusiones obtenidas en el desarrollo del presente trabajo; Adicionalmente, se presentan trabajos futuros.



## Capítulo 2

# Proceso conceptual y matemático base para el desarrollo de un método computacional para el procesamiento cualitativo en la evaluación de competencias educativas

En este capítulo se desarrolla conceptual y matemáticamente un proceso para la obtención de un método para el procesamiento de información cualitativa basado en la lógica difusa planteada por Lofti Zadeh [20]. El proceso relaciona términos lingüísticos usados en los conceptos de evaluación de competencias educativas con una función de pertenencia que establece la cercanía del estudiante a cada nivel de desempeño<sup>2</sup>.

En primer lugar se establecen unos criterios de diseño basados en las características de los sistemas difusos, los procesos de evaluación cualitativa de competencias y las características especiales de las competencias educativas.

Posterior al establecimiento de los criterios de diseño se aborda una exploración de metodologías para el diseño de sistemas difusos concluye que la técnica más idónea es lógica difusa pero no se dejan de lado las demás técnicas ya que cada una tiene

---

<sup>2</sup> Los niveles de desempeño son la calificación del estudiante dentro del rango de los valores lingüísticos (e.g. Nivel de desempeño Bajo).

etapas que pueden ayudar a pailar la problemática del mismo; por lo que se propone un nuevo proceso base para el diseño y construcción de sistemas difusos basándose en varias etapas tomadas de diversas metodologías y además agregándoles etapas propuestas por otros trabajos, que se referenciarán y describirán más adelante. Este nuevo proceso, denominado **COMPIECCE-FL**, es uno de los aportes de este capítulo.

Cabe mencionar que, para llegar al método computacional, fue necesario desarrollar previamente el proceso base presentado en este capítulo; en ese orden de ideas, en el presente trabajo de grado se presenta el método computacional para el procesamiento de información cualitativa en el capítulo continuo a este (Capítulo 3)

## 2.1. Establecimiento de criterios del método propuesto

Teniendo en cuenta todo lo plasmado en el planteamiento del problema (ver 1.2) y luego de haber explorado a profundidad lo expuesto por [21], [14] y [16] en cuanto a los procesos de evaluación de las competencias educativas y sus características especiales (ver Anexo A) se determinan los criterios de diseño iniciales que van a dirigir el desarrollo del método de procesamiento de información propuesto.

- **Debe incluir la estructura de composición en árbol de las competencias:** Como se ha venido insistiendo desde los objetivos del trabajo, la consideración de la estructura en árbol de las competencias es muy importante dentro de los procesos de evaluación de las mismas; además la idea de estructura de las competencias está sustentada por los esquemas de metadatos para la descripción de competencias IEEE RCD (*Reusable Competency Definition*) y SRCM (*Simple Reusable Competency Mapping*), los cuales señalan la necesidad de construir jerarquías de competencias a través de la teoría de grafos. Por esta razón es indispensable que el método contemple dentro de su planteamiento conceptual, lógico y matemático dicha estructura (ver Anexo A).
- **Debe ser modular para permitir el re-uso de sus recursos en los procesos de evaluación grupal:** El método estará pensado para adaptarse a los procesos de evaluación tanto individual como grupal permitiendo ser útil a la hora de desarrollar la estrategia de evaluación de competencias por grupos. La modularidad permitirá



disponer individualmente de los recursos con que cuenta el método para acomodarlos de acuerdo a las necesidades de cada evaluación.

- **Deberá ser enteramente cualitativo:** Como se dijo anteriormente, las competencias se evalúan siempre con adjetivos por su naturaleza cualitativa. El método computacional debe ser capaz de procesar evaluaciones realizadas con palabras y relacionar al estudiante de forma cualitativa con los diferentes niveles de desempeño.
- **Deberá ser capaz de procesar un conjunto de datos con estructuras variadas:** Debido a que los árboles de competencias no siempre tienen la misma forma, el módulo encargado de procesarlos debe ser capaz de acomodarse a ellos, extraer la información de su estructura, operarla y reconstruirlos a su forma original incluyendo las evaluaciones cualitativas que derivaron de su procesamiento
- **Deberá ser capaz de asociar al estudiante con todos los niveles de desempeño:** Debido a que se ha establecido la Lógica Difusa como técnica para desarrollar el método, el mismo debe estar en capacidad de proporcionar información de la relación entre un estudiante y los diferentes niveles de desempeño en cada uno de los componentes del árbol de competencias del mismo.
- **Deberá ser capaz de reajustarse a diferentes vectores de evaluación:** Las palabras con las que se va a evaluar las competencias no siempre son las mismas y varían dependiendo del criterio de cada evaluador. El método debe ser capaz de adaptarse a estos cambios, esto quiere decir que deben poder modificarse sus parámetros.

De acuerdo a los criterios de diseño y a la evaluación de las técnicas de Soft Computing realizada en el Anexo A, se selecciona la técnica **lógica difusa**, como la más idónea para el desarrollo del presente trabajo.

Una vez definidos los criterios de diseño del método se procede a establecer la metodología de desarrollo más adecuada para el mismo. A continuación, se desarrollará un nuevo proceso base adaptado a partir de diferentes metodologías y recomendaciones de trabajos relacionados con *Computing with Words* y Lógica Difusa, que se describirán y referenciarán a continuación.

### 2.1.1. Metodologías en el desarrollo de sistemas basados en lógica difusa

Al evaluar las metodologías disponibles en el desarrollo de sistemas basados en Lógica Difusa (FL) fue posible notar que ninguna de ellas se adapta a los objetivos de este trabajo, por esta razón fue necesario construir un proceso base propio adaptado a partir de las etapas de varias de las metodologías exploradas y de las recomendaciones de trabajos basados en FL. Este proceso será desarrollado más adelante en este mismo capítulo.

A continuación, se presentan las razones por las cuales las metodologías exploradas son inadecuadas a los objetivos del trabajo y el contexto de la problemática. La reseña de estas metodologías puede encontrarse en el Anexo A.

- **Metodología para el diseño de sistemas de control difuso** [22]: Esta metodología no es adecuada para el desarrollo del sistema difuso planteado en este trabajo porque está enfocada al diseño de sistemas de control e incluye etapas para el tratamiento de señales corruptas y el procesamiento de señales con cierto nivel de vaguedad o aproximación. Además, incluye la medida del desempeño del sistema de control y otras etapas que no se ajustan a lo que se busca con este trabajo y están fuera del contexto de la problemática que se pretende solucionar. En sentido, esta metodología no cumple con los criterios 1, 4 y 6, definidos en la sección anterior.
- **Metodología para el desarrollo de modelos de inferencias en minería de datos** [23]: Esta metodología no es adecuada para el desarrollo de este proyecto porque se concentra en el descubrimiento de una base de conocimiento que parte de un conjunto de reglas y el reentrenamiento de estas reglas. En contraste, el sistema difuso de este proyecto está enfocado en la construcción de un modelo que permita describir adecuadamente la transición entre diferentes niveles cualitativos que reflejen el desempeño de un estudiante en determinadas competencias. En sentido, esta metodología no cumple con los criterios 1 y 5, definidos en la sección anterior.
- **Metodología para la construcción de reglas difusas integrando el conocimiento de expertos** [24]: Esta es una metodología para el desarrollo de sistemas difusos basados en reglas capaces de integrar el conocimiento de expertos para la conformación de reglas de decisión y que se ajustan mediante un algoritmo genético. Esta metodología no se considera adecuada para desarrollar el sistema planteado por este trabajo de investigación porque da más importancia a la

obtención de reglas de decisión y al perfeccionamiento de las mismas con algoritmos genéticos; Lo cual indica que es una metodología orientada a procesos de minería de datos y no está enfocada hacia los procesos de computación con palabras (CWW), al que apunta el presente trabajo. En ese sentido, esta metodología no cumple con los criterios 1, 3 y 5, definidos en la sección anterior.

- **Metodología para construir sistemas de clasificación basados en reglas difusas** [25]: La metodología planteada en [25] se basa en dos etapas fundamentales: 1) La construcción de una base de reglas de decisión y 2) La optimización de las etiquetas lingüísticas, que son la salida de las reglas difusas, mediante el uso de un algoritmo genético. Por estas razones, esta metodología no es adecuada para el desarrollo del sistema difuso planteado en el presente trabajo ya que las etapas no están centradas en construir modelos para operar palabras sino en el descubrimiento de reglas de decisión y en el perfeccionamiento de estas reglas mediante algoritmos genéticos. El sistema que se plantea en el presente trabajo no se centra en ninguno de estos conceptos, por lo cual esta metodología no resulta conveniente para abordar el desarrollo de dicho sistema. Así, esta metodología no cumple con los criterios 1, 4 y 5, definidos en la sección anterior.

## **2.2. Proceso conceptual y matemático base COMPIECCE-FL**

De acuerdo con la sección anterior, se decidió plantear una serie de pasos esenciales orientados hacia la construcción del método computacional para el procesamiento de información cualitativa pensado para ser usado en los procesos de evaluación de competencias educativas. Lo planteado está basado en las etapas propuestas por las metodologías para la construcción de sistemas difusos mencionadas anteriormente y se ha enriquecido con lo contenido en [26], [20] y [27]. La Figura 1 muestra el procedimiento planteado para llegar hasta el método computacional basado en el procesamiento de información cualitativa, que es uno de los objetivos de este trabajo. En adelante, este procedimiento será conocido como “Criterios para la Obtención de un Método de Procesamiento de Información en la Evaluación Cualitativa de Competencias Educativas basado en *Fuzzy Logic*”, de ahora en adelante llamado **COMPIECCE-FL**.

Como se puede observar en la Figura 1, COMPIECCE-FL se conforma por tres etapas como son: El establecimiento de la estructura de la información, la conformación de conjuntos difusos y la selección de un operador de agregación. El cumplimiento de estas tres etapas permite establecer con claridad un Método Computacional basado en el Procesamiento de Información Cualitativa para la Evaluación de Competencias Educativas.

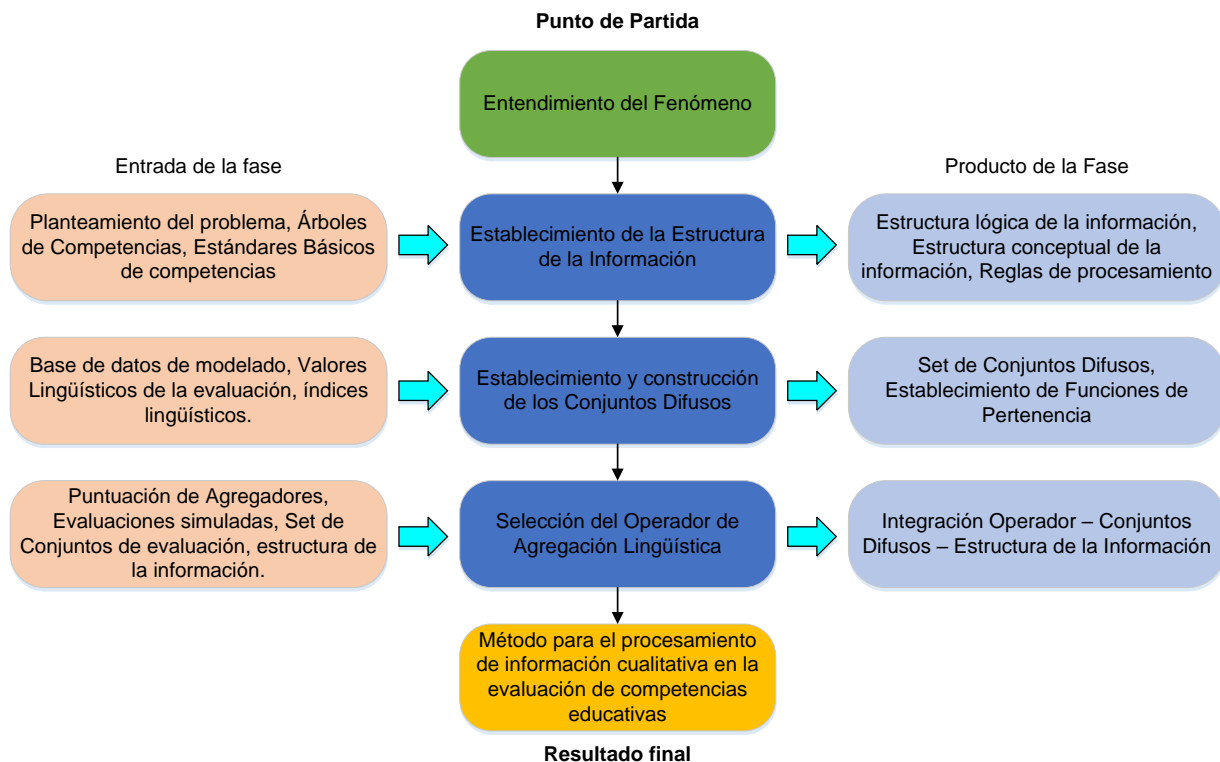


Figura 1. Estructura general de COMPIECCE-FL<sup>3</sup>.

A continuación, la Tabla 1 muestra las etapas y sub-etapas de COMPIECCE-FL.

Etapa	Sub-Etapa	Fuente
<b>Establecimiento de la estructura de la información</b>	Establecimiento de la estructura conceptual de la información.	Sugerida por este trabajo basándose en lo expuesto por [16], [14] y [21].
	Establecimiento de la estructura de representación lógica-matemática.	Sugerida por este trabajo basándose en lo expuesto por [28] y [27].
	Construcción de un conjunto de reglas para operar la información.	Sugerida por este trabajo basándose en lo expuesto por [23] y [29].

<sup>3</sup> Sugerida en este trabajo basándose en lo expuesto por [21], [14] y [16].

	Algoritmo para el recorrido y operación de la estructura de la información.	Sugerida por este trabajo para facilitar la implementación del método
<b>Establecimiento y construcción de los conjuntos difusos</b>	Definición de la variable lingüística, los valores lingüísticos y el universo del discurso	Tomado de [24] y [23].
	Recolección de datos de modelado	Tomado de [24] y [23].
	Pre-procesamiento de los datos	Tomado de [25].
	Establecimiento de la posición de los valores lingüísticos en el universo del discurso	Tomado de [29].
	Modelado de las funciones de pertenencia	Tomado de [23], [30] y [31].
	Establecimiento de la función de pertenencia continua e integrable	Tomado de [31] y [32].
	Minimización del error	Propuesta por este trabajo con el fin de incrementar la semejanza de las funciones.
<b>Selección del operador de agregación lingüística</b>	Selección de las propiedades del operador	Sugerido por este trabajo basado en lo expuesto por [33].
	Filtrado de operadores por propiedades	Sugerido por este trabajo para simplificar el proceso de selección del operador basado en lo expuesto por [33].
	Evaluación en caso simulado de los operadores	Sugerido por este trabajo fundamentado en lo expuesto por [34].

Tabla 1. Resumen de etapas y sub-etapas de COMPIECCE-FL.

COMPIECCE-FL está basado en el entendimiento del fenómeno, con lo que se pretende ajustar el método obtenido al contexto de la problemática. Para el entendimiento del fenómeno es necesaria la recopilación de información acerca del problema que se pretende abordar. Esta etapa se consolidó a partir del planteamiento del problema y una exploración sistemática contextualizada en los procesos de evaluación de competencias. Para ello se tuvo en cuenta lo contenido en el estándar básico de competencias educativas del MEN [16], lo contenido en el programa PISA de la OCDE [14] y el documento de competencias básicas en el sistema educativo vasco [21]. Adicionalmente, para perfeccionar dicha estructura se recolectaron

opiniones de expertos en la educación básica y media, quienes describieron en detalle los procesos de evaluación cualitativa de las competencias educativas. El método propuesto por este trabajo está orientado específicamente a esta estructura, pero el uso de la metodología propuesta permite construir métodos adaptados a cualquier estructura. Completado el entendimiento del fenómeno se procede a realizar las siguientes etapas del proceso.

### 2.2.1. Etapa 1: Establecimiento de la estructura de la información

Esta etapa tiene como objetivo conocer cómo se distribuye la información en la evaluación de competencias, la jerarquía de esta información y el diseño de un algoritmo que permita recorrer y operar la información, teniendo en cuenta esta estructura. Para lograr esto, la primera etapa de COMPIECCE-FL se divide en cuatro sub-etapas como son: el establecimiento de la estructura conceptual, el establecimiento de la estructura de representación lógica-matemática, el establecimiento de un conjunto de reglas para operar la información y el diseño de un algoritmo para el recorrido y operación de la información. El orden en el que se llevan a cabo estas sub-etapas se muestra la Figura 2.

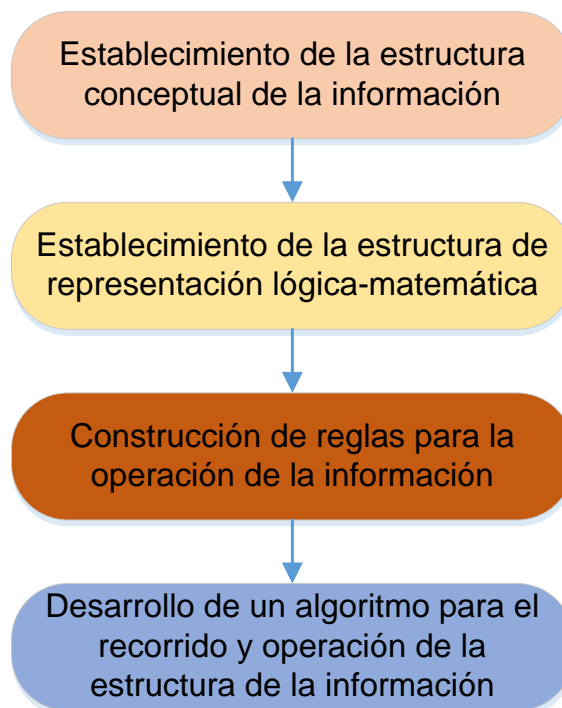


Figura 2. Sub-etapas del establecimiento de la estructura de la información.

### **a. Establecimiento de la estructura conceptual de la información**

Se debe definir con claridad la estructura conceptual con la que se distribuye la información, las relaciones a través de las cuales se recorre la información y se realizan las operaciones cualitativas. Para establecer una estructura conceptual pertinente se acudió a dos estándares de competencias. Se revisaron tanto el estándar del MEN [16] como el estándar de competencias definidas en el gobierno del país Vasco [21]. Dentro de esta revisión se encontraron muchas similitudes entre ambos estándares de competencias. Ambos describen una estructura de composición en árbol basada en competencias educativas (ver Anexo A).

Dado que la estructura de composición de competencias propuesta por el sistema del país Vasco está descrita de mejor manera y se adapta perfectamente a lo propuesto por el MEN, como se puede evidenciar en el estándar de competencias de dicho ministerio [16], por lo que se determinó usarla como línea base en la definición de la estructura conceptual de la información en la evaluación cualitativa de competencias educativas.

Adicional a lo propuesto por el centro vasco de innovación educativa, dentro del manual de la OCDE [14] se menciona que la importancia de los componentes de una competencia puede variar dependiendo de las necesidades de cada estudiante, lo que se respalda en el manual del MEN. Esto permite concentrar los esfuerzos del docente directamente en los aspectos en los que el estudiante presenta más debilidad, sin dejar de lado los componentes en donde se concentran sus fortalezas con el fin de preservarlas. Teniendo en cuenta esto, cada relación de composición debería contener un componente cualitativo que refleje la importancia de cada elemento dentro de la composición del árbol de competencias. La Figura 3 muestra el componente cualitativo propuesto por este trabajo dentro de la relación de componentes del árbol de competencias.

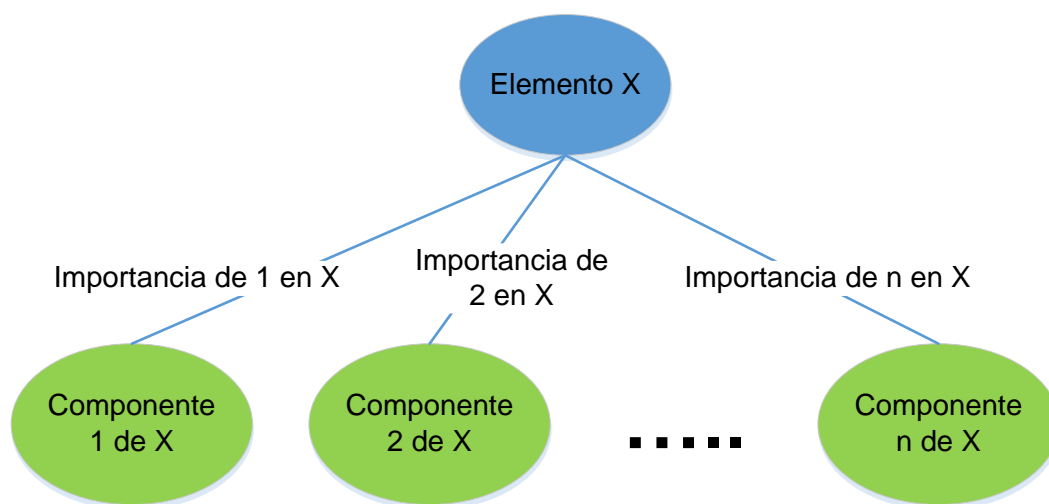


Figura 3. Estructura con importancias.

La importancia de un componente  $n$  dentro de un elemento compuesto  $x$  estará dada por un adjetivo cualitativo (excelente, bueno, malo, etc.) ubicado en la relación que une al elemento  $x$  con el componente  $n$ . Este modelo se replica en todos los niveles del árbol.

Al consultar con un con el experto 3 (Ver Personal de las pruebas) en la evaluación de competencias educativas, se encuentra que, además, pueden existir competencias más importantes que otras para un estudiante en específico. Por esta razón, es importante considerar al estudiante dentro del árbol de evaluación de competencias. Adicional a esto, los indicadores, que están en la base del árbol de competencias, se determinan a través de la realización de varias actividades de evaluación de competencias que se efectúan a lo largo de un periodo académico y además representan componentes de evaluación cualitativos aún más específicos. Por estas razones, las actividades de evaluación también deben considerarse dentro de la estructura de composición.

Luego de tener en cuenta lo mencionado anteriormente, la estructura conceptual de la información propuesta por este trabajo en la evaluación cualitativa de competencias educativas es la que se observa en la Figura 4. En esta figura se ve reflejado la forma real de cómo se evalúa en la práctica, por ejemplo, para obtener el resultado de la evaluación de la **Dimensión 1**, se realizan las respectivas evaluaciones para las **sub-competencias 1, 2** hasta la **n** que la componen; para el docente algunas sub-competencias son más relevantes que otras, por eso es necesario que cada una tenga una importancia, de esta manera el resultado es más preciso y coherente.



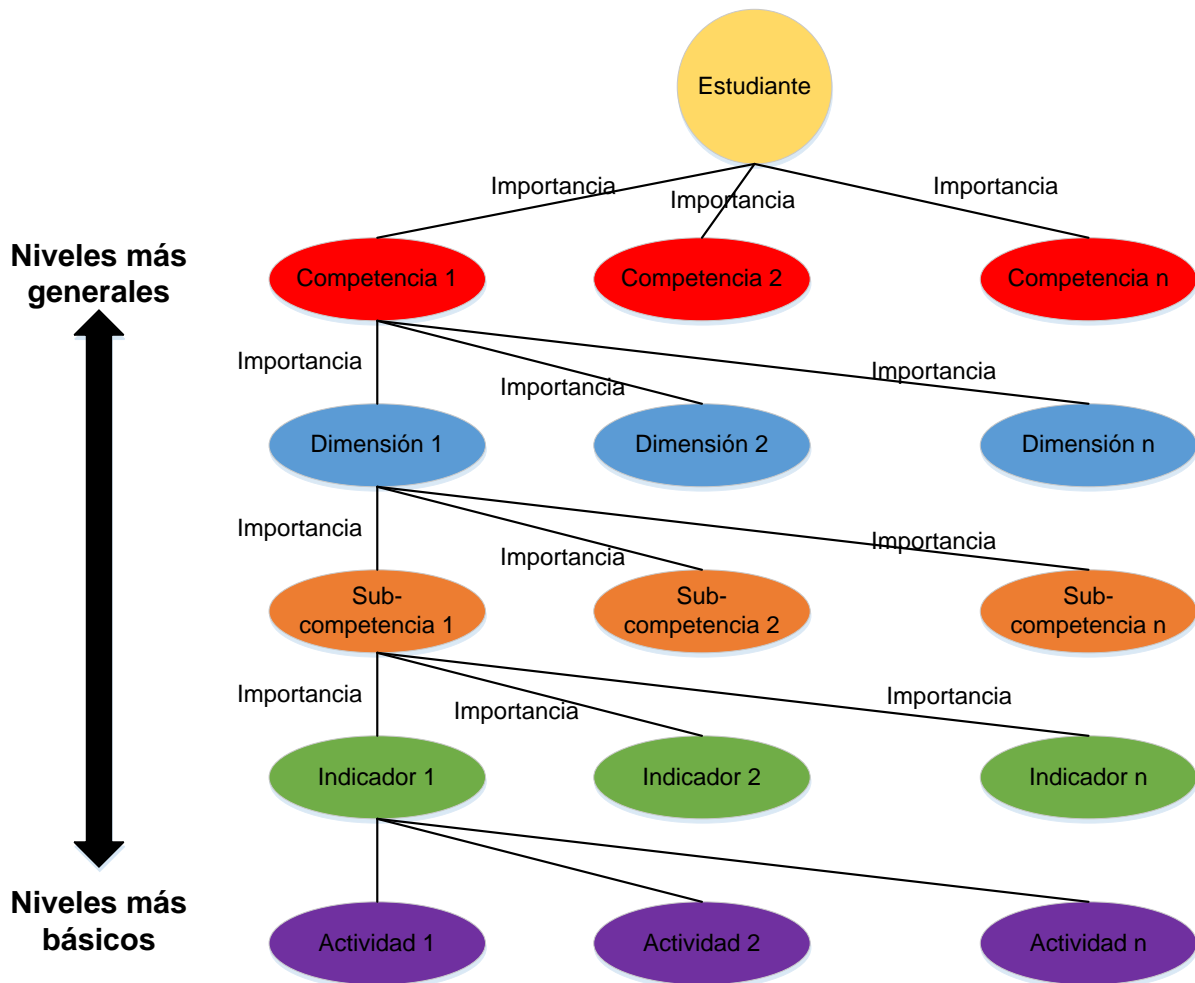


Figura 4. Estructura conceptual de la información propuesta en los procesos de evaluación de competencias educativas.

El establecimiento de una estructura conceptual de la información aclara el panorama en la construcción de los algoritmos que permitan operarla. Adicionalmente es una herramienta muy útil en la etapa de diseño y modelado de objetos del sistema dentro de la implementación computacional. Para construir el algoritmo también se debe tener en cuenta la estructura lógica-matemática en la que se va a representar la información. En el siguiente apartado se desarrolla esta estructura.

**b. Establecimiento de la estructura de representación lógica-matemática**

De acuerdo con el estado del arte (ver Anexo B), las técnicas usadas para representar la información dentro de las operaciones con la lógica difusa, se determinó que las 2-tuplas lingüísticas difusas (ver Anexo A), son la representación más usada debido a su versatilidad en la inclusión de conceptos cualitativos asociados a pertenencias

expresadas numéricamente. Esto permite fuzzificar<sup>4</sup> y defuzzificar<sup>5</sup> con mayor facilidad que usando otros métodos de representación lingüística.

El concepto de 2-tupla lingüística difusa se ha rescatado de lo expuesto en [28] y [27] en donde es usado para computación con palabras. El papel que juega la 2-tupla lingüística en el contexto de este trabajo se concentra en asociar cada uno de los componentes de un árbol de competencias de un estudiante, con determinados niveles cualitativos de desempeño que permitan reflejar las falencias o fortalezas del estudiante. Como se puede ver en [27] y [28], la representación de la 2-tupla lingüística se basa en un concepto cualitativo acompañado de un grado de pertenencia del elemento  $x$  a ese concepto. Para ilustrarlo de mejor manera véase el siguiente ejemplo.

Sea  $X$  un elemento del árbol de evaluación de competencias al que se pretende evaluar relacionándolo con diferentes niveles cualitativos de desempeño. Sea  $V_q$ , el vector de niveles cualitativos para la evaluación, en (1) se ilustra el vector.

$$V_q = \{Bueno; Regular; Malo\} \quad (1)$$

La representación de la evaluación difusa del elemento  $X$  del árbol de evaluación de competencias, usando 2-tuplas lingüísticas se muestra en (2).

$$X = \{Bueno : P_b, \quad Regular : P_r, \quad Malo : P_m\} \quad (2)$$

Donde:

**$P_b$**  es la pertenencia del elemento  $X$  al nivel de desempeño “Bueno”,

**$P_r$**  es la pertenencia del elemento  $X$  al nivel de desempeño “Regular”,

**$P_m$**  es la pertenencia del elemento  $X$  al nivel de desempeño “Malo”.

De esta manera, la estructura de la 2-tupla lingüística que representa la pertenencia de un elemento  $Y$  a un nivel cualitativo  $Q_n$  está dada en (3).

$$Y_{q_n} = \{Q_n : P_n\} \quad (3)$$

Donde:

**$Y_{q_n}$**  es la 2-tupla lingüística que representa la pertenencia de  $Y$  a  $Q_n$ ,

**$Q_n$**  es el nivel cualitativo  $n$ -ésimo denotado por un adjetivo (bueno, malo; alto, bajo, etc.),

---

<sup>4</sup> El proceso de fuzzificación permite realizar un mapeo de la información de lo cualitativo a lo cuantitativo.

<sup>5</sup> La defuzzificación realiza el proceso contrario a la fuzzificación, realiza un mapeo de lo cuantitativo a lo cualitativo.

$P_n$  es un número real entre 0 y 1 que representa el grado de pertenencia de la relación. Un 1 representa pertenencia total, mientras que un 0 representa NO pertenencia.

De acuerdo con lo anterior e introduciendo el concepto de 2-tupla lingüística difusa dentro de los procesos de evaluación cualitativa de competencias educativas, la evaluación de un elemento del árbol de evaluación de competencias estaría representada por un conjunto de n-tuplas. Pero dada su estructura de composición, la representación de un árbol de evaluación de competencias desde la perspectiva matemática serían n arreglos de 2-tuplas lingüísticas distribuidos en n-1 dimensiones; donde n es el número de niveles que tiene el árbol de competencias, en este caso 6, tal como se puede observar en la Figura 5. De acuerdo con esto, la composición matemática de un árbol de evaluación de competencias de un estudiante x está dada en (4).

Adicionalmente, cada elemento X del árbol de evaluación de competencias tiene asociado un conjunto de 2-tuplas que representan su evaluación difusa y la matriz que representa esta información se reduce a partir de un método de agregación (ver Anexo A) que permita mapear de  $R^n$  a  $R^{n-1}$ . La agregación permite obtener el concepto cualitativo de un elemento X del árbol de evaluación de competencias a partir de los conceptos cualitativos de sus componentes.

$$\begin{aligned}
 E_y &= \{C_1, C_2, \dots, C_n\} \\
 C_n &= \{D_1, D_2, \dots, D_m\} \\
 D_m &= \{SC_1, SC_2, \dots, SC_j\} \\
 SC_j &= \{I_1, I_2, \dots, I_k\} \\
 I_k &= \{A_1, A_2, \dots, A_i\}
 \end{aligned} \quad (4)$$

Donde:

$E_y$  es el árbol de evaluación de competencias del estudiante Y,

$C_n$  es la competencia n-ésima del árbol  $E_y$ ,

$D_m$  es la dimensión m-ésima de la competencia  $C_n$ ,

$SC_j$  es la sub-competencia j-ésima de la dimensión  $D_m$ ,

$I_k$  es el indicador k-ésimo de la sub-competencia  $SC_j$ ,

$A_i$  es la actividad i-ésima del indicador  $I_k$ .

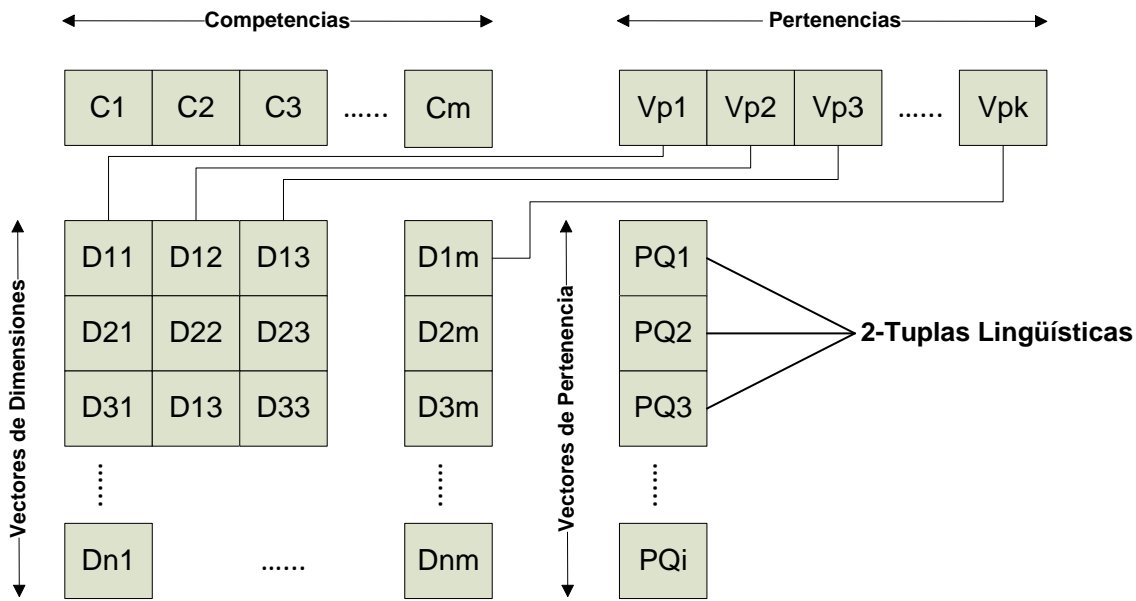


Figura 5. Representación lógico-matemática propuesta.

Donde:

$C_m$  es la competencia  $m$ -ésima,

$D_{nm}$  representa la dimensión  $n$ -ésima de la competencia  $m$ -ésima,

$V_{pk}$  es el vector de pertenencias  $k$ -ésimo,

$PQ_i$  es la 2-tupla de pertenencia al nivel cualitativo  $i$ -ésimo.

La Figura 5 muestra un ejemplo de la estructura de representación lógica y matemática de la información, propuesta por este trabajo. Para establecer esta estructura se tuvieron en cuenta las recomendaciones de [1], [5], [13], [30] en cuanto a la estructura lógica de la información. Siguiendo principalmente los lineamientos de [35] y [3]. Estos trabajos describen en detalle las estructuras lógicas de la información en procesos que tienen que ver con evaluación de competencias teniendo en cuenta las características de composición de las mismas. De acuerdo con todo esto se ha planteado que la distribución de la información para un árbol de competencias, esté representada en una **Matriz de Competencias** como se muestra en la Figura 5. En la estructura lógico-matemática propuesta, cada elemento en la matriz de competencias tiene asociado un vector de pertenencias, que pertenece a una matriz de pertenencias, asignada a cada árbol de competencias.

Luego de establecer una estructura lógico-matemática de la información que pueda representarla adecuadamente, es necesario plantar las condiciones bajo las cuales se deben operar las matrices de competencias y la matriz de pertenencia. Adicionalmente

se deben establecer las condiciones para recorrer las matrices computacionalmente. En el siguiente apartado se va a establecer un conjunto de reglas para cubrir estas necesidades.

### **c. Construcción de reglas para la operación de la información**

Obedeciendo a lo contenido en [23] y [29] se construye un conjunto de reglas que permita establecer aspectos esenciales en la operación de la información para poder ser plasmadas en un algoritmo computacional que permita implementarlas. Para construir el conjunto de reglas en la operación de la información es necesario tener en cuenta tanto la estructura lógica-matemática como la estructura conceptual de la misma. Adicionalmente se tuvieron en cuenta recomendaciones de [29], [36] y principalmente [23], con el fin de optimizar la velocidad con que se ejecutan las operaciones y evitar aquellas operaciones que puedan llevar a obtener resultados erróneos o poco confiables. Teniendo en cuenta lo anterior, las reglas para operar un árbol de competencias, representado en una matriz de competencias asociada a un matriz de pertenencias son:

- Únicamente pueden operarse los componentes de un mismo elemento, no se deben operar componentes que no estén relacionados en el nivel inmediatamente superior.
- Se debe asegurar que todos los elementos del árbol de competencias tengan un concepto cualitativo de evaluación.
- Cuando no se encuentre un concepto cualitativo en un elemento del árbol, éste debe ser obtenido a través de la agregación de los conceptos cualitativos de sus componentes.
- En Todos los casos se debe tener en cuenta la importancia de cada elemento dentro de los procesos de agregación de conceptos cualitativos. Para ello se deben relacionar las matrices de pertenencias y se deberán computar mediante el operador de agregación pertinente.

Cuando se han establecido las reglas que gobiernan las operaciones de la información se procede a plasmarlas en un algoritmo que permita implementarlas computacionalmente. En el siguiente apartado se muestra el algoritmo para la operación de la información construido a partir de las reglas anteriormente descritas.

#### d. Desarrollo de un algoritmo para el recorrido y operación de la estructura de la información

La Figura 6 muestra el algoritmo, propuesto por el presente trabajo, que se debe seguir para recorrer y procesar los árboles de competencias siguiendo las reglas establecidas y ajustándose a la estructura conceptual y lógica-matemática establecida anteriormente. El algoritmo permitirá facilitar la implementación del método cualitativo de evaluación de competencias educativas.

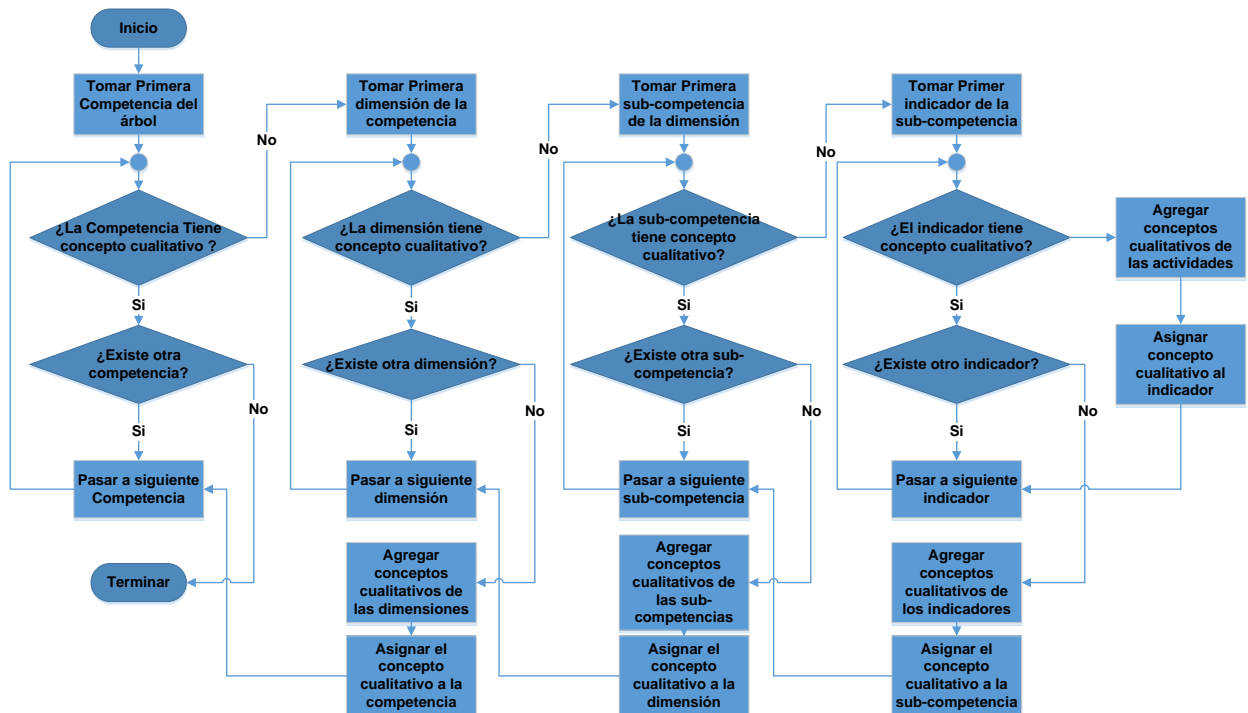


Figura 6. Algoritmo para el recorrido y operación de la estructura de la información.

#### 2.2.2. Etapa 2: Establecimiento y construcción de los conjuntos difusos

Esta segunda etapa de COMPIECCE-FL se subdivide en siete sub-etapas y tiene como objetivo principal el modelado adecuado del comportamiento de los datos para construir conjuntos que sean capaces de representar adecuadamente (de acuerdo con la naturaleza de los datos) las características de la información mediante una clasificación cualitativa difusa. Para construir este modelo, se hicieron abstracciones de algunas etapas contempladas en las metodologías expuestas en [25], [24], [23] y se agregó la última sub-etapa de minimización del error considerada conveniente en el contexto del problema. La Figura 7 muestra las sub-etapas mencionadas.

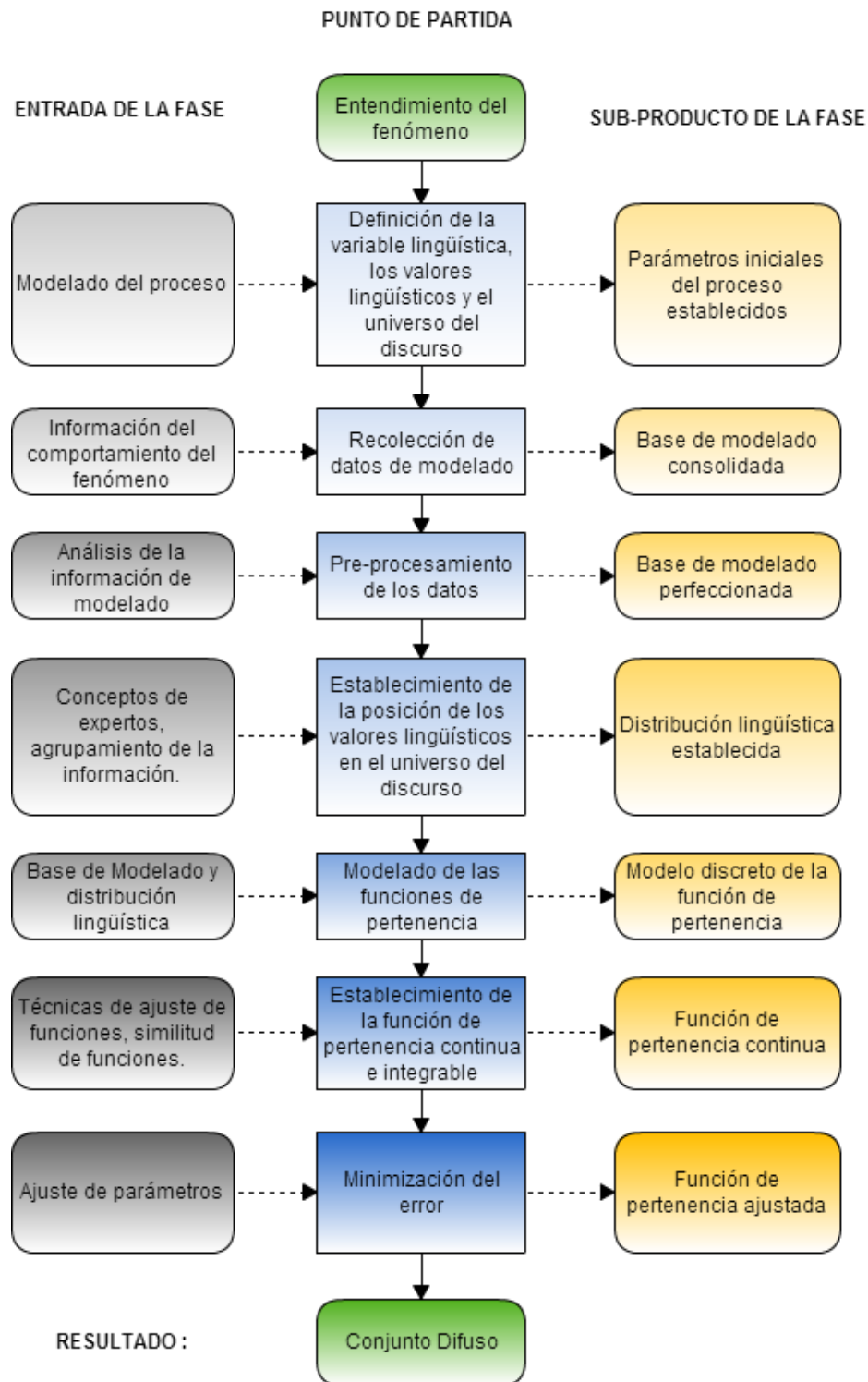


Figura 7. Sub-etapas del establecimiento y construcción de los conjuntos difusos.

Este modelo para la construcción de conjuntos difusos inicia con el entendimiento claro del fenómeno, partiendo de una base de información de contexto acerca de las variables de entrada y su naturaleza. A partir de este punto la metodología se compone de las siguientes etapas, su explicación se dará junto con un caso simulado para obtener la función de pertenencia del trabajo.

#### **a. Definición de la variable lingüística, los valores lingüísticos y el universo del discurso**

En esta etapa se debe establecer con claridad las variables de entrada a las que se les va a aplicar la fuzzyficación (e. g. El clima de una ciudad, la altura de una persona, etc.). Una vez se ha definido la(s) variable(s) lingüística(s) se procede a determinar los valores lingüísticos que van a determinar los subconjuntos en los que se va a dividir el conjunto difuso delimitado por cada variable. Generalmente se usan adjetivos que puedan describir alguna característica de la variable lingüística (e. g. Bueno, Malo, Regular) [13]. Para definir estos valores es necesario considerar dos aspectos: 1) las propiedades y atributos de la información que usa el sistema para discriminar las variables independientes (entradas del sistema) y las variables dependientes (salidas del sistema); 2) El universo del discurso de la variable lingüística, que estará inevitablemente ligado al contexto del fenómeno. Estas consideraciones deberán consolidarse en el “modelado del proceso”, que es información vital para el entendimiento del fenómeno y lo que alimenta la primera etapa de este modelo. Como información vital para esta etapa se tiene a la estructura conceptual de la información.

Al terminar esta etapa, se tendrá un subproducto llamado “Parámetros iniciales del proceso” que son el establecimiento claro de las variables lingüísticas a medir, los valores lingüísticos con los que se va a medir y el universo del discurso, que será la agrupación de los valores lingüísticos.

Dentro del caso simulado se parte de que se tiene claro el entendimiento del fenómeno, el ámbito de aplicación y la problemática a desarrollar en este trabajo: método computacional basado en el procesamiento de información cualitativa para la evaluación de competencias educativas. En ese sentido, se procede a definir las variables y valores lingüísticos y el universo del discurso.

- **Variable lingüística:** Para realizar la evaluación cualitativa de competencias, el docente inicialmente define una estructura de competencias en árbol a partir de la cual planifica las actividades de enseñanza y evaluación en un grupo de estudiantes. La estructura va de competencias generales a competencias específicas formando



una estructura en árbol. Por esta razón, en el momento de evaluación se busca medir las competencias específicas y a partir de ellas conocer el desempeño de un estudiante en las competencias más generales. En ese sentido, la variable lingüística en este caso serán las **competencias educativas**.

- **Valores lingüísticos:** En una evaluación cualitativa, generalmente se usan adjetivos que describan un nivel de desempeño. Luego de revisar varios trabajos en donde se usaron adjetivos para evaluar cualitativamente una persona, se encontró que los valores lingüísticos más comúnmente usados en la evaluación cualitativa son: **muy bajo (MB)**, **bajo (B)**, **medio (M)**, **alto (A)**, **muy alto (MA)**, mostrando buenos resultados como se puede ver en [27], [28], [1] y [37]. Como el establecimiento de los valores lingüísticos no es un aspecto tan crucial para este trabajo, se decidió usar los mismos valores mencionados anteriormente, teniendo en cuenta que ha sido probada su eficacia dentro de los procesos de evaluación cualitativa.

**Universo del discurso:** Los valores lingüísticos estarán distribuidos con índices de 0 a 1 para simplificar el manejo de los datos y ejecutar menos operaciones de normalización. La Figura 8 muestra el universo del discurso para la evaluación cualitativa de competencias educativas.

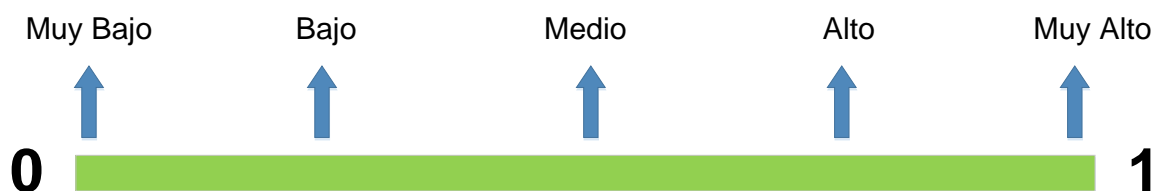


Figura 8. Universo del discurso.

### b. Recolección de datos del modelado

En esta etapa se realiza una búsqueda de información que permita establecer algún modelo matemático del comportamiento del fenómeno. Aquí es viable incluir el conocimiento de expertos que permita cumplir con este propósito [29]. Generalmente esta información surge de conjuntos de datos acerca de la observación del fenómeno que se pueden encontrar a través de diferentes maneras (Internet, registros históricos, información de fuentes oficiales). Una vez se encuentran las posibles bases de datos que puedan ser de utilidad en el modelado matemático del fenómeno se comienza a filtrar la información para dar con la que aporte más valor al propósito de esta etapa.

Dentro de este proceso es de vital importancia tener en cuenta el modelado del proceso y si es posible, el concepto de expertos en el contexto del problema [23].

El subproducto surgido del cumplimiento de esta etapa es una base de datos nutrida que proporciona información de alto valor para el modelado matemático del fenómeno.

De acuerdo con [23], para modelar el comportamiento de un fenómeno y poder mapear su función de pertenencia es necesario tener acceso a un conjunto de datos numeroso y que provenga de una fuente confiable. Para obtener el conjunto de datos de modelado se revisaron bancos de datos en línea, bases de datos de un colegio en Piendamó (Municipio del Cauca), bases de datos del gobierno y bases de datos de entidades de fomento a la educación. De todo este proceso se seleccionaron 4 principales fuentes de datos confiables y que podían brindar la cantidad necesaria de registros. Las fuentes preseleccionadas fueron: PISA, PIRLS y TIMS, una base de datos del gobierno de los Estados Unidos que mide el desempeño de los estudiantes norteamericanos en diferentes áreas del conocimiento [38]; SERCE, una base de datos de la OCDE que mide el desempeño de los estudiantes en logros específicos [39]; PISA, una base de datos del programa con el mismo nombre, también de la OCDE en las áreas de lectura y matemáticas [40]; ICFES una base de datos histórica de los resultados del desempeño de los estudiantes en las pruebas ICFES y SABER [41]. La Tabla 2 muestra el comparativo entre las 4 bases de datos preseleccionadas.

Descripción de la base de datos	CRITERIOS						Fuente
	C1	C2	C3	C4	C5	PONDERACIÓN	
PISA, PIRLS y TIMSS	ND	ND	10	8	ND	ND	[38]
Base de Datos SERCE	177000000	373091	5	7	1161	0,868	[39]
Base de Datos PISA	19600000	169035	5	9	657	0,132	[40]
Base de Datos ICFES	ND	ND	10	ND	ND	ND	[41]

Tabla 2. Puntuación de bases de datos.

Donde:

**C1:** Tamaño en Bytes.

**C2:** Número de registros.

**C3:** Complejidad de lectura.

**C4:** Complejidad de la información.

**C5:** Registros únicos.

**ND:** No disponible.

La ponderación se calculó a partir de (5)

$$Ponderación = \frac{Ci}{SUMA C1 + SUMA C2 + \dots SUMACn} \quad (5)$$

Donde:

i: Criterio a evaluar.

n: Número de criterios

Para la ponderación del puntaje, los criterios 1, 2, y 5 sumaban y los criterios 3 y 4 restaban puntaje. Las bases de datos 1 y 4 no eran descargables y el acceso a los datos era de alta complejidad. La base de datos 4 se encontraba almacenada en un servidor con problemas de comunicación y generalmente se encontraba fuera de alcance.

Por lo tanto, de la Tabla 2 se concluyó que la mejor opción para constituir el conjunto de datos de modelado es la **base de datos SERCE de la OCDE**.

### **c. Pre-procesamiento de los datos**

El propósito de esta etapa es adaptar la información para que pueda ser procesada y caracterizada para hacer el descubrimiento de la función de pertenencia y la distribución de los valores lingüísticos, esto implica realizar operaciones para la eliminación de datos anómalos, la corrección de errores semánticos, la organización de la información, la normalización de la misma o la eliminación de información redundante (duplicada) que no aportaría en la búsqueda de la función de pertenencia y que demoraría el procesamiento [25].

Al finalizar esta etapa se obtiene una base de modelado perfeccionada que optimizará los resultados de las etapas posteriores.

Siguiendo las directrices de [23] y [29] se realizó un pre-procesamiento de los datos, que consistió en remover registros redundantes, remover registros que no

representaban interés a la investigación, remover registros errados, organizar los registros, normalizar los datos y finalmente convertirlos a un formato reconocible por el programa de clústering. La Figura 9 muestra la secuencia de tratamiento que se dio a los datos de SERCE.

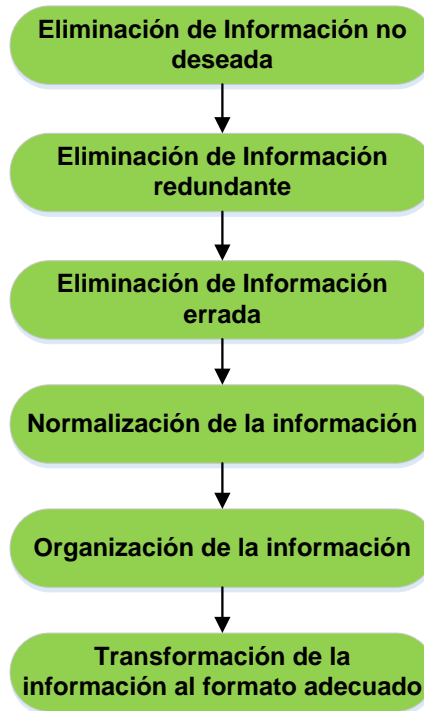


Figura 9. Etapas de tratamiento de la información.

A continuación, se explica cada uno de sus pasos.

- **Eliminación de información no deseada:** El proceso consistió en eliminar variables que no se iban a analizar y cuya presencia demoraría el proceso de lectura de los registros. La base de datos SERCE contiene, además de la información de desempeño, variables etnográficas, demográficas, geográficas, entre otras. Este tipo de información fue removida de los registros.
- **Eliminación de información redundante:** Es importante eliminar información repetida ya que esto no contribuye en nada al mapeo de las funciones de pertenencia y por el contrario, ralentiza el procesamiento de los registros.
- **Eliminación de la información errada:** La base de datos de SERCE contenía algunos registros errados. Se consideraron registros errados aquellos que incluían caracteres no numéricos o más de una coma. Estos registros fueron eliminados porque no podían ser interpretados por el algoritmo de clústering.

- **Normalización de la información:** Debido a que el universo del discurso se definió entre 0 y 1, se debe garantizar que ese sea el rango en el que estén los registros para la base de datos de modelado. La normalización se realizó en base a (6).

$$ain = \frac{ai}{MAX\{A\}} \quad (6)$$

Donde:

A: Conjunto de datos de modelado.

ain: Registro iésimo normalizado.

ai: Registro iésimo.

- **Organización de la información:** Para agilizar el proceso de clústering es necesario organizar en orden ascendente los registros. Esto se verá igualmente reflejado en la coherencia y la correlación de las pertenencias.

- **Transformación de la información al formato adecuado:** El algoritmo de clústering usado leía la información a partir de un formato csv (*comma-separated values*) por esta razón fue necesario cambiar el formato de presentación de los datos desde .sav en SPSS a .csv.

#### **d. Establecimiento de la posición de los valores lingüísticos en el universo del discurso**

En esta etapa se va a establecer la distribución de los valores lingüísticos dentro del universo del discurso, esta distribución se hace mediante un índice que indica la posición del valor lingüístico en una recta numérica [29]. Generalmente la recta numérica está delimitada entre 0 y 1 para facilitar el entendimiento de la distribución, pero no es una condición estricta por lo que el universo del discurso puede estar distribuido a lo largo de cualquier pareja de límites numéricos. Existen dos formas para establecer la distribución de los valores lingüísticos: 1) mediante el dictamen de expertos que determinen la posición más adecuada de cada valor lingüístico en el universo del discurso; 2) a partir de técnicas de agrupamiento de datos (clústering) que permitan establecer puntos representativos de la información como *K-Means*, *K-NN* o *Fuzzy C-Means* [29].

El cumplimiento de esta etapa tiene como sub-producto las 2-tuplas lingüísticas que relacionan a cada valor lingüístico con su posición en el universo del discurso. Con esto queda establecida la distribución de los valores lingüísticos.

Debido a que al hacer un barrido de clústering no fue claro el resultado obtenido en torno a la distribución de los valores lingüísticos, fue necesario acudir a conceptos de un experto, quien determinó que la distribución más adecuada de tales valores debía hacerse en intervalos uniformes. Los índices de los valores lingüísticos se relacionan en la Tabla 3.

Valores lingüísticos	Índice
Muy Alto (MA)	1
Alto(A)	0,75
Medio(M)	0,5
Bajo(B)	0,25
Muy Bajo(MB)	0

Tabla 3. Índices de los valores lingüísticos.

#### e. Modelado de las funciones de pertenencia

El propósito de esta etapa es establecer las funciones de pertenencia asociadas a cada valor lingüístico a partir de la base de modelado perfeccionada y la distribución de los valores lingüísticos. Existen varias maneras de establecer la función de pertenencia en un subconjunto difuso, tal como lo describen en [42], [43], [44] y [45]. Usualmente se utiliza a los expertos en el contexto para determinar la pertenencia de puntos que servirán de referencia y generalmente se opta por formas triangulares, trapezoidales o gaussianas. Existe otra manera de descubrir la función de pertenencia y es mediante el clústering de la información a un punto específico del universo del discurso. Es decir, el grado de cercanía, asociación, pertenencia de la información de la base de modelado con cada uno de los valores lingüísticos.

El subproducto de esta etapa son los subconjuntos difusos. Que se componen por un valor lingüístico y una función de pertenencia que asocia la información cualitativa con el índice del valor lingüístico en el universo del discurso.

Siguiendo las recomendaciones de [23], [31] y [29], el modelado de las funciones de pertenencia se realizó usando un algoritmo de clústering. Se utilizó el algoritmo Fuzzy C-Means (ver Anexo A), uno de los algoritmos más usados por su eficiencia agrupando datos [46], [47]. La información se agrupó en el universo del discurso y fue evaluada la pertenencia a cada uno de los valores lingüísticos.

De acuerdo con [48], los rangos más usados de  $m$  van de 1,5 hasta 2,5. En la Figura 10 y Figura 11 se muestran las funciones de pertenencias para estos valores de  $m$ , respectivamente.

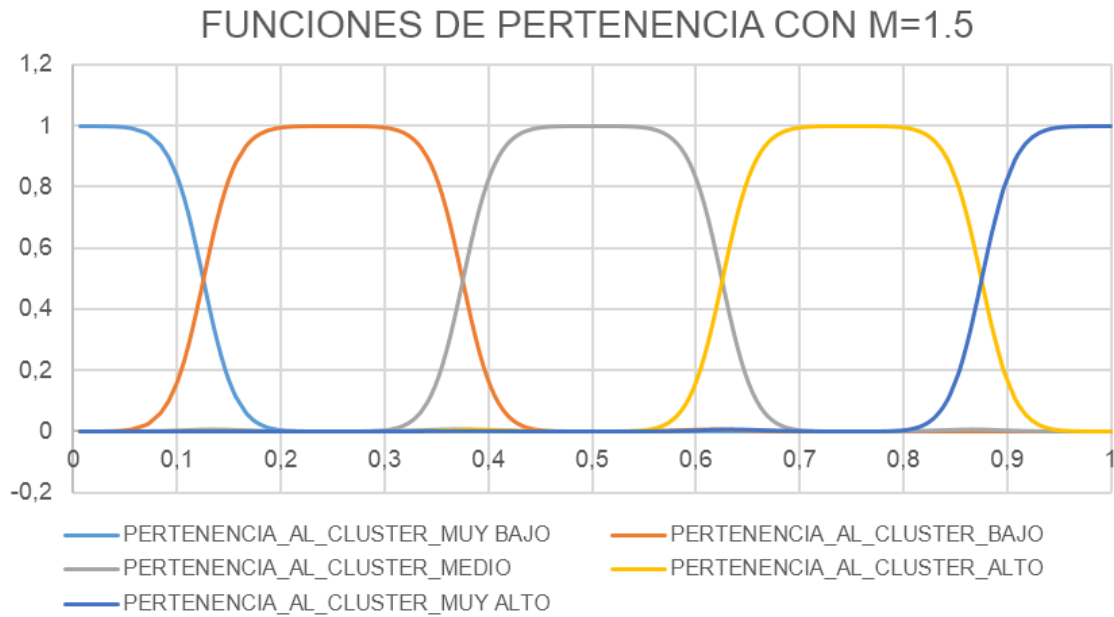


Figura 10. Modelado de la función de pertenencia con  $m=1.5$ .

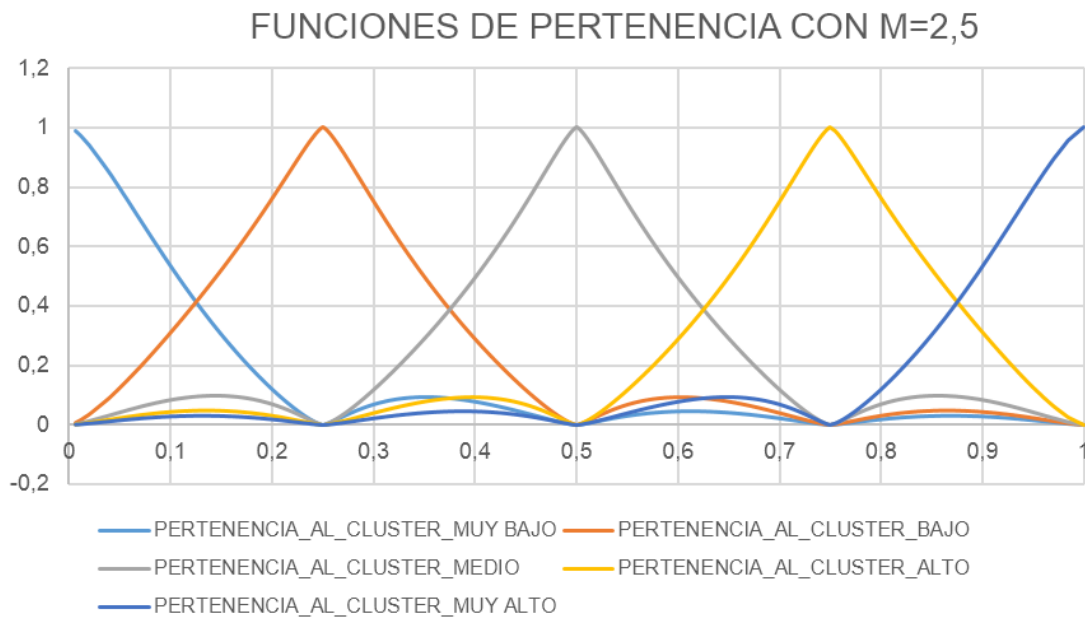


Figura 11. Modelado de la función de pertenencia con  $m=2.5$ .

Pero en ese mismo trabajo [48], se demostró que usar un coeficiente de fuzzyficación  $m=2$  produce mejores resultados. Por esta razón el procesamiento de los datos se hizo con un coeficiente  $m = 2$ . La Figura 12 y Figura 13 muestran las funciones de pertenencia obtenidas para  $m = 2$ .

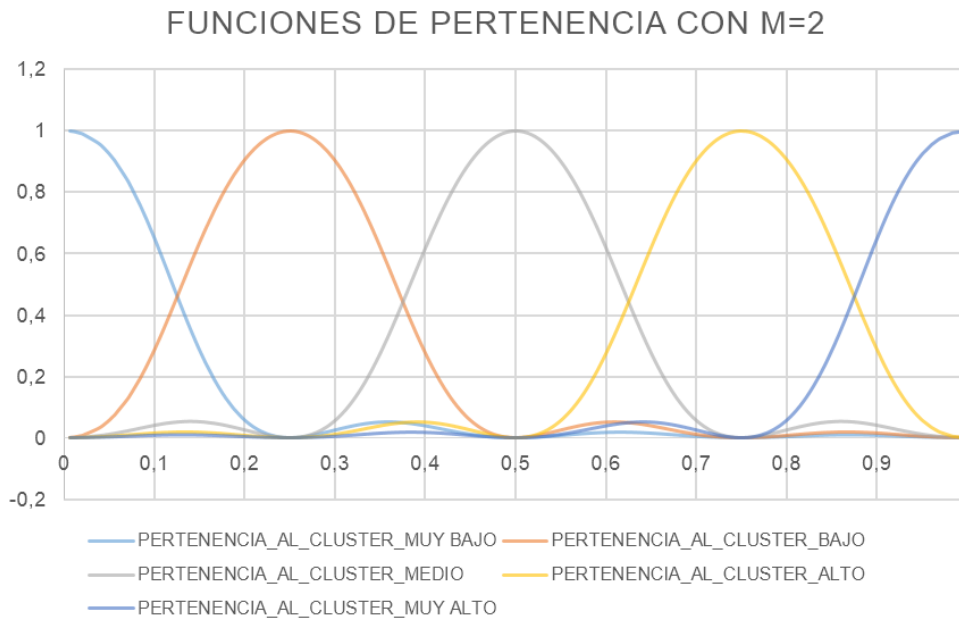


Figura 12. Modelado de la función de pertenencia con  $m=2$ .

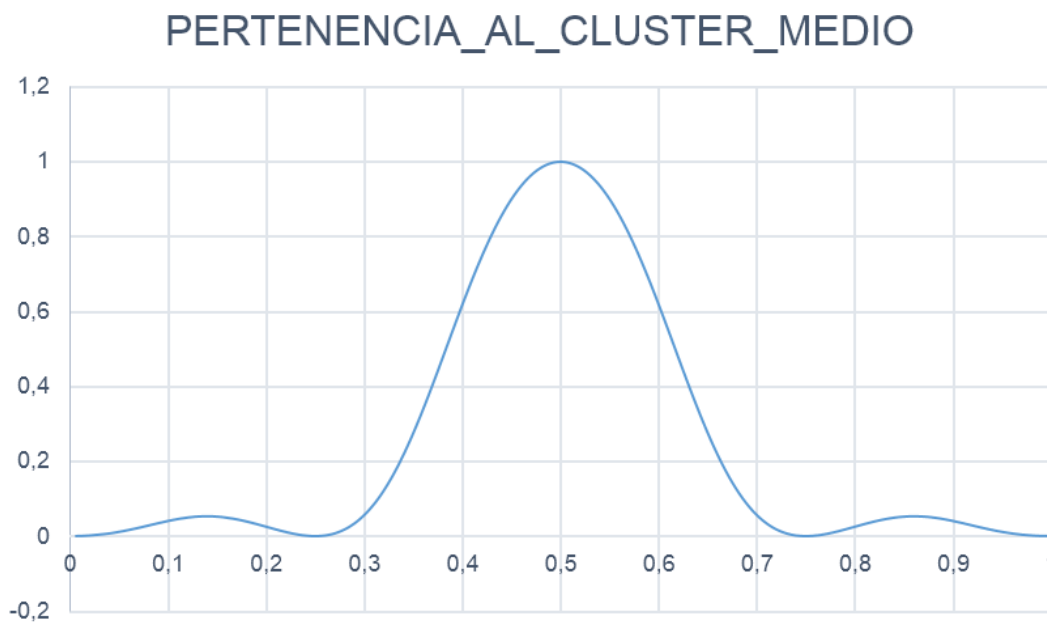


Figura 13. Modelado de la función de pertenencia al valor lingüístico "MEDIO".



De lo anterior se puede concluir que las curvas de pertenencia son más suaves entre 1,5 y 2,5 asemejándose a curvas de distribución gaussiana desplazadas. Adicionalmente se evidencia que entre más cercano esté  $m$  a 1 la zona de traslape o difusa disminuye. Lo opuesto ocurre cuando  $m$  es mayor que 1. Esto indica que la partición es más difusa cuando  $m$  es mayor a 1 en una relación directamente proporcional [32]. Para poder calcular el área de traslape de las funciones de pertenencia, es necesario que éstas sean continuas e integrables en el intervalo de 0 a 1.

#### f. Establecimiento de la función de pertenencia continua e integrable

Para poder relacionar directamente determinada información de entrada con un valor lingüístico es necesario hacer la comparación entre el traslape de la función de pertenencia de cada valor lingüístico con la función de pertenencia genérica asociada a la información de entrada. Para poder hacer esto, toda función de pertenencia debe ser continua e integrable en el intervalo bajo el universo del discurso [29], [27]. El propósito de esta etapa es establecer esa función de pertenencia continua e integrable. Este proceso se puede llevar a cabo de dos maneras: 1) Mediante el uso de técnicas de ajuste (exponencial, lineal, polinomial), en donde generalmente se deben usar funciones definidas a trozos; 2) Haciendo un análisis de similitud de funciones (funciones parabólicas o funciones periódicas).

El resultado de esta etapa es la forma matemática continua e integrable de la función de pertenencia de cada valor lingüístico.

Para este trabajo se usó la semejanza de funciones.

Para poder comparar dos funciones, una discreta y la otra continua se utilizó la medida de error usada generalmente en metrología, definida en (7).

$$e(x) = \frac{|Fpc(x) - Fpd(x)|}{MAX\{Fpc(x), Fpd(x)\}} \quad (7)$$

Donde:

$e(x)$ : Proporción de error.

$Fpc(x)$ : Valor de pertenencia entregado por la función continua en el punto  $x$ .

$Fpd(x)$ : Valor de pertenencia discreto en el punto  $x$  hallado en el modelado.

De esta manera, el error es un número real entre 0 y 1 que indica la diferencia de dos funciones en un punto en específico  $x$ . Para el caso particular  $x$  es un valor discreto.

En ese sentido, se define la semejanza entre las funciones en un punto dado  $x$ . La semejanza total se halla a partir del promedio de las semejanzas individuales, esta semejanza es definida en (8), donde  $s(x)$  es la semejanza de las funciones.

$$s(x) = 1 - e(x) = \frac{MAX\{Fpc(x), Fpd(x)\} - |Fpc(x) - Fpd(x)|}{MAX\{Fpc(x), Fpd(x)\}} \quad (8)$$

Luego de explorar diferentes funciones, se determinó que las funciones más similares a la curva de pertenencia son la función gaussiana y la función  $|sinc(x)|$ . Al evaluar ambas funciones a partir de la expresión de semejanza, se encontró que la función gaussiana tenía una semejanza de 0.832, mientras que la función  $|sinc(x)|$  presentó una semejanza de 0.877. De aquí se concluyó que la función con mayor semejanza a la curva de pertenencia encontrada en el modelado es la función  $|sinc(x)|$  y es la que se usará en este trabajo.

La función  $sinc(x)$  es definida en (9).

$$sinc(x) = \frac{\sin(x)}{x} \quad (9)$$

En (10) se define la función agregándole normalización y valor absoluto.

$$Fp(x) = |sinc(\pi x)| \quad (10)$$

Ahora, se deben conformar  $n-1$  lóbulos, donde  $n$  es el número de valores lingüísticos en el universo del discurso. Así la función se define en (11).

$$Fp(x) = |sinc((n-1)\pi x)| \quad (11)$$

Finalmente, la función de pertenencia alcanza su máximo justo cuando  $x$  es igual al índice de cada valor lingüístico. En ese sentido hay que introducir un corrimiento en la función. Luego del corrimiento la función de pertenencia se define en (12).

$$Fpi(x) = |sinc((n-1)\pi(x - Iqi))| \quad (12)$$

Donde:

**$Fpi(x)$** : Función de pertenencia de  $x$  al valor lingüístico  $i$ -ésimo.

**$n$** : Número de valores lingüísticos en el universo del discurso.

**$x$** : Índice que representa la valoración cualitativa del estudiante.

**$Iqi$** : Índice del valor cualitativo  $i$ -ésimo.

De esta manera, las funciones de pertenencia resultan como se muestra en la Figura 14 y Figura 15.

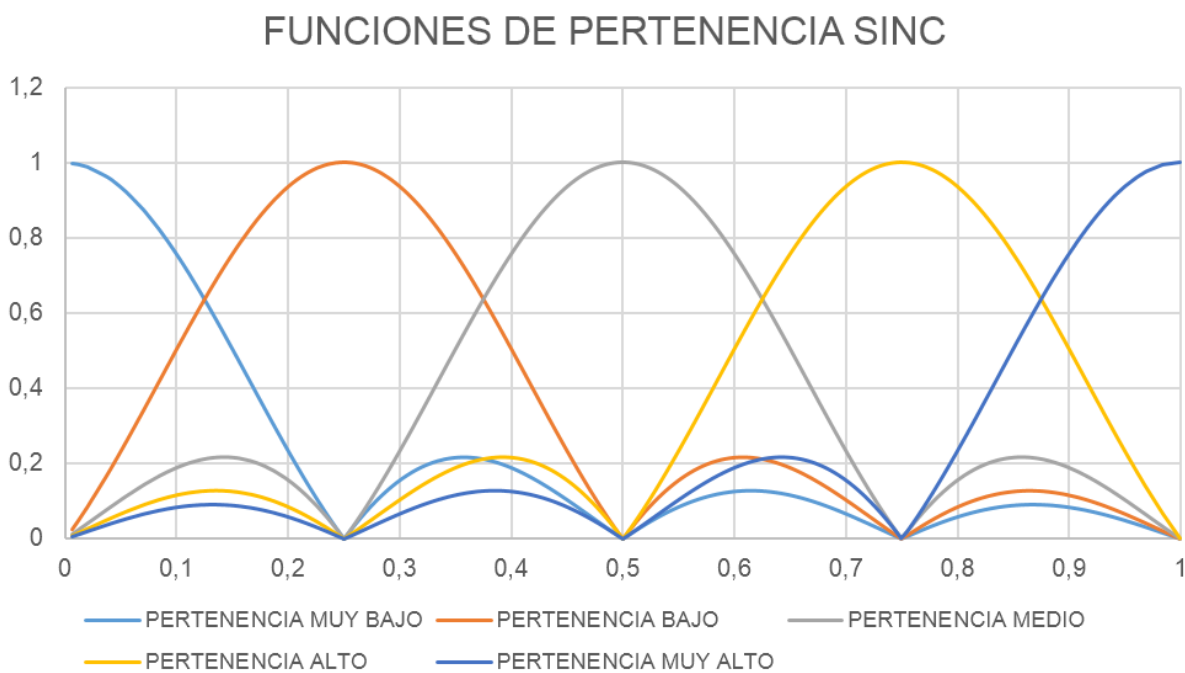


Figura 14. Funciones de pertenencia sinc(x) para todos los valores lingüísticos.

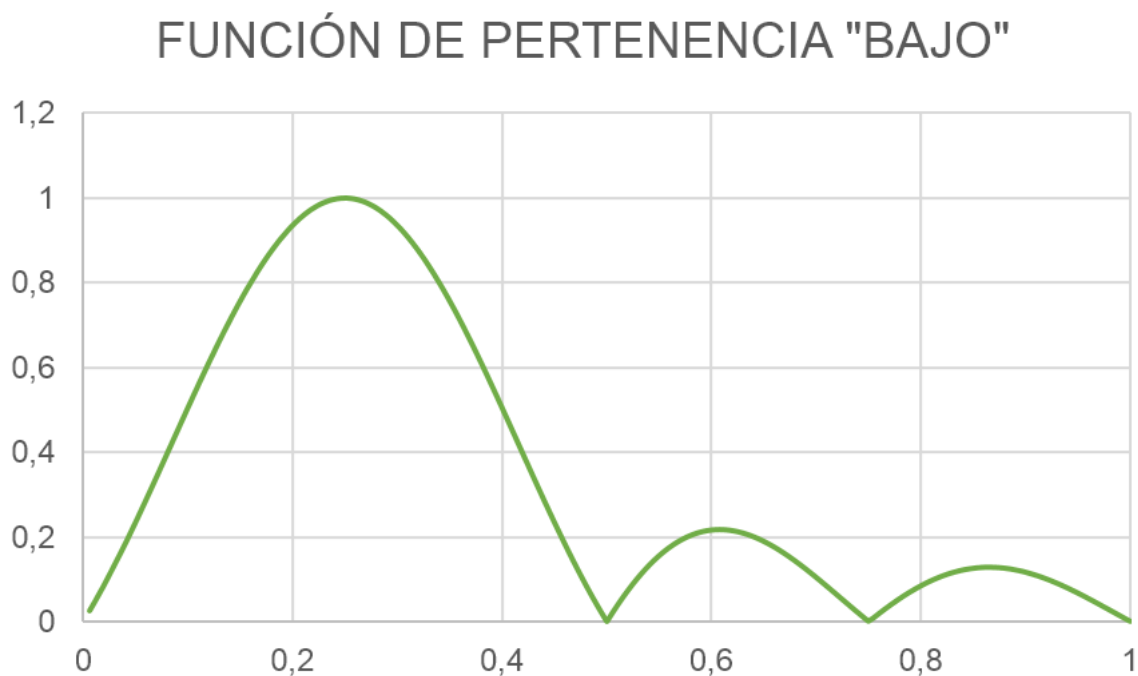


Figura 15. Función de pertenencia sinc(x) para el valor lingüístico "BAJO".

Aunque las funciones de pertenencia  $\text{sinc}(x)$  guardan estrecha similitud con las curvas de pertenencia de la etapa de modelado, aún es necesario ajustarlas más. En el siguiente apartado, se propone un ajuste para elevar la semejanza de las funciones un 10%.

### g. Minimización del error

El propósito de esta etapa es mejorar el ajuste logrado en la etapa anterior mediante diferentes técnicas. Esta etapa puede obviarse si la función de pertenencia no requiere ser tan precisa. Para mejorar la precisión de la función, este trabajo propone acompañar a la función de pertenencia de un exponente de ajuste. El proceso para calcular este exponente está basado en el método heurístico que realiza un ensayo con múltiples exponentes hasta encontrar el más óptimo.

Esta etapa produce como resultado los conjuntos y subconjuntos difusos asociados a funciones de pertenencia ajustadas.

Para que la función de pertenencia continua se ajuste mejor a la curva de pertenencias obtenida en el modelado, es necesario llevar a cabo un procedimiento de ajuste final a la función. Para lograrlo, este trabajo propone acompañar a la función de pertenencia  $\text{sinc}(x)$  de un exponente de ajuste que ayude a suavizar la transición de la función en los puntos de inflexión. De esta manera, la función de pertenencia  $\text{sinc}(x)$  estaría dada por (13).

$$F_{pi}(x) = |\text{sinc}((n-1)\pi(x - Iqi))|^k \quad (13)$$

Donde:

**k:** Índice de ajuste de la función.

Dado que al variar  $x$  y  $k$  en la función de pertenencia  $\text{sinc}(x)$ , esta se convierte en una ecuación de variable múltiple, no existe una manera directa de encontrar el exponente  $k$  óptimo, por esta razón el proceso de encontrar el mejor exponente de ajuste debe ser llevado a cabo a partir de un método heurístico. Al llevar a cabo este análisis se encontró que la semejanza se eleva para valores de  $k$  cercanos a 2, como se muestra en la Figura 16.

## CURVA DE SEMEJANZA VS EXPONENTE

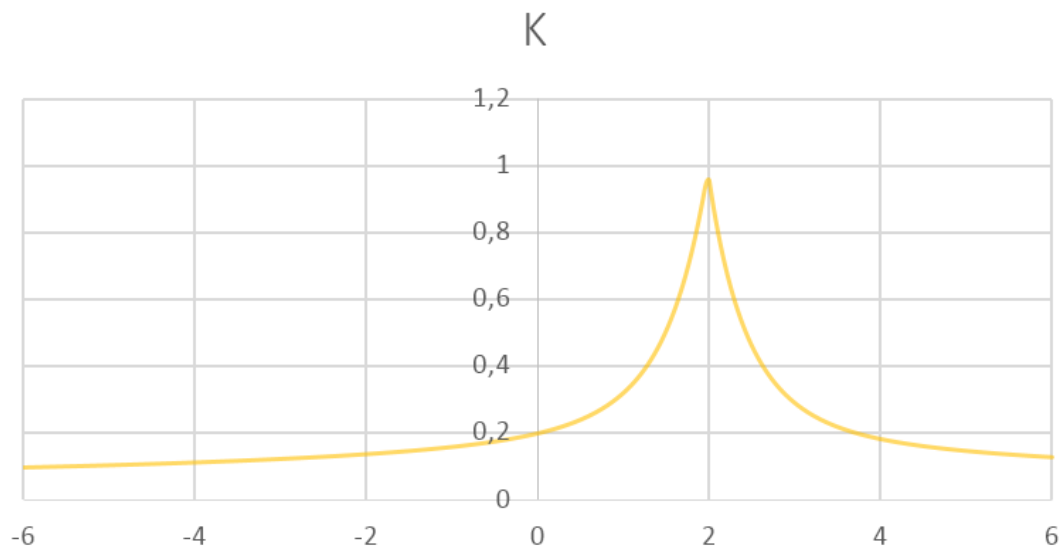


Figura 16. Curva de semejanza variando k.

Después de obtener la curva de semejanza, se observó que la función de pertenencia  $sinc(x)$  es más semejante con la curva de modelado para  $k = 1.9887949$ . Con este resultado, la función de pertenencia se define en (14).

$$Fp_i(x) = |sinc((n - 1)\pi(x - Iq_i))|^{1.9887949} \quad (14)$$

Ahora, reemplazando los índices de los valores lingüísticos establecidos anteriormente, las funciones de pertenencia  $sinc(x)$  para todos los valores lingüísticos con  $n = 5$ , se establecen como lo relaciona la Tabla 4.

Valor Lingüístico	Índice	Función de Pertenencia
Muy Alto (MA)	1	$Fp1(x) =  sinc(4\pi(x - 1)) ^{1.9887949}$
Alto (A)	0.75	$Fp2(x) =  sinc(4\pi(x - 0.75)) ^{1.9887949}$
Medio (M)	0.5	$Fp3(x) =  sinc(4\pi(x - 0.5)) ^{1.9887949}$
Bajo (B)	0.25	$Fp4(x) =  sinc(4\pi(x - 0.25)) ^{1.9887949}$
Muy Bajo (MB)	0	$Fp5(x) =  sinc(4\pi x) ^{1.9887949}$

Tabla 4. Funciones de pertenencia  $sinc(x)$  ajustadas.

De esta manera, las funciones de pertenencia  $\text{sinc}(x)$  para todos los valores lingüísticos se comportan como se observa en la Figura 17. La Figura 18 muestra el comportamiento de la función de pertenencia al valor lingüístico "BAJO".

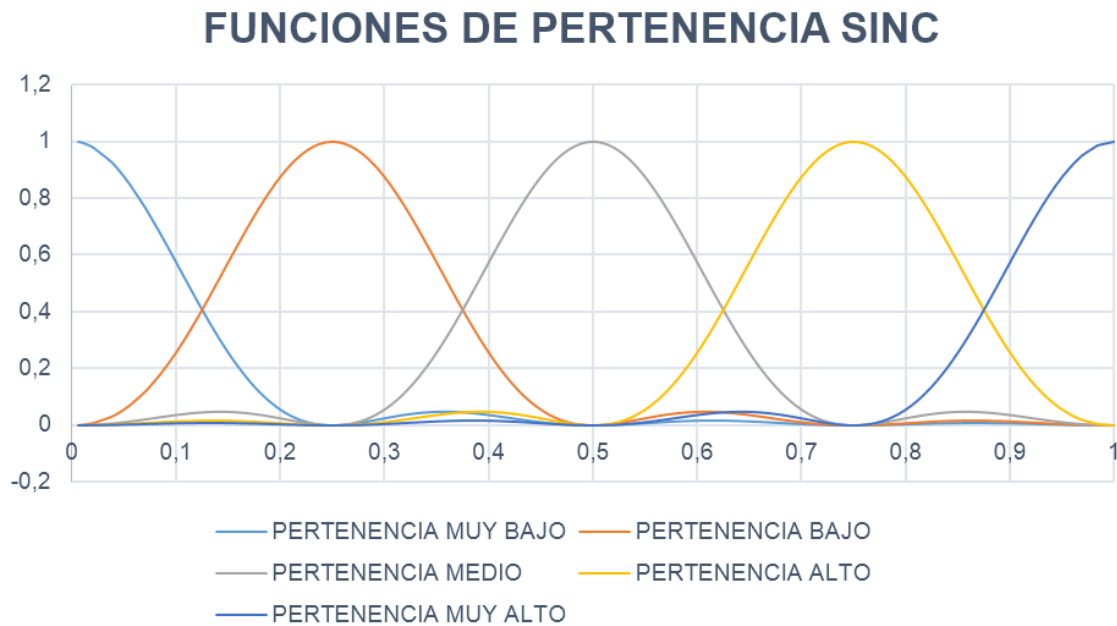


Figura 17. Funciones de pertenencia  $\text{sinc}(x)$  para todos los valores lingüísticos.

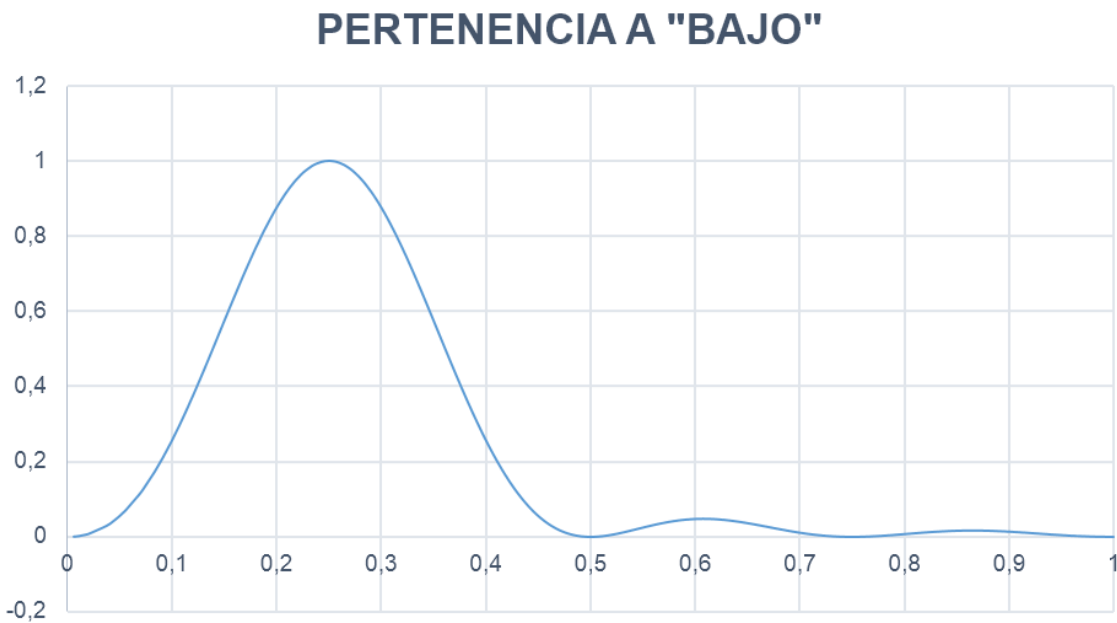


Figura 18. Función de pertenencia  $\text{sinc}(x)$  ajustada para el valor lingüístico "BAJO".

Como se puede observar en la Figura 17 y Figura 18, el exponente de ajuste eleva la semejanza de la curva de modelado y la función de pertenencia  $\text{sinc}(x)$ . Luego de aplicar el exponente de ajuste, la semejanza pasó de 0.877 a 0.9596. Con esto se concluye que el uso de un exponente de ajuste incrementó en un 9.41% la semejanza entre ambas curvas, un porcentaje bastante cercano al propuesto del 10% por lo que se da por terminada la etapa de minimización del error y por consiguiente toda la fase 2 de COMPIECCE-FL.

### 2.2.3. Etapa 3: Selección del operador de agregación lingüística

Luego de consolidar los conjuntos difusos y sus funciones de pertenencia, es necesario seleccionar un operador de agregación adecuado, que sea capaz de computar y representar la información cualitativa. El papel del operador de agregación lingüística es encontrar un valor representativo de un conjunto de valores dado y su selección es crucial dentro de la precisión de las operaciones cualitativas [33], [49]. De acuerdo con [33], el primer paso que se debe dar para encontrar el operador de agregación lingüística adecuado, es seleccionar, de entre las propiedades de los operadores (ver Anexo A) aquellas que sean más importantes de acuerdo al contexto de la información que van a operar. La Figura 19 muestra un diagrama de las sub-etapas que conforman la etapa de selección del operador de agregación.

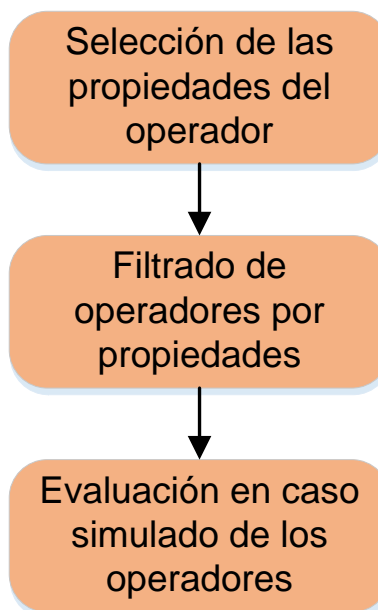


Figura 19. Sub-etapas de la selección del operador de agregación lingüísticas.





<b>Fuzzy Weighted Averaging Operator</b>	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	79%
<b>Ordered Weighted Averaging Operator</b>	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	79%

Tabla 5. Relación de propiedades.

Donde:

- C1:** Condiciones de Frontera.
- C2:** Monotonía - No Decrecimiento.
- C3:** Continuidad.
- C4:** Asociatividad.
- C5:** Simetría.
- C6:** Bi-simetría
- C7:** Idempotencia.
- C8:** Compensación.
- C9:** Estabilidad para función lineal.
- C10:** Invarianza.
- C11:** Capacidad de interpretación de los Parámetros.
- C12:** Comportamiento Decisional.
- C13:** Inclusión de Argumentos.
- C14:** Importancia de los argumentos.

De la puntuación en la Tabla 5 se preseleccionaron los 4 operadores que aparecen en verde, para realizar pruebas de semejanza con los resultados obtenidos por un experto en la evaluación cualitativa de competencias.

**c. Evaluación en caso simulado de los operadores**

A continuación, en la Tabla 6, se presenta una comparación entre los resultados cualitativos obtenidos por los 4 operadores preseleccionados, para un caso simulado de evaluación. El árbol de competencias usado en la simulación puede ser consultado en el Anexo D.

Elemento	AA	WAA	FWA	OWA
<b>c1</b>	muy alto	alto	alto	muy alto
<b>d1.1</b>	muy alto	muy alto	muy alto	muy alto
<b>sc1.1.1</b>	muy alto	muy alto	muy alto	alto
<b>sc1.1.2</b>	muy alto	alto	alto	muy alto
<b>d1.2</b>	alto	alto	alto	muy alto
<b>sc1.2.1</b>	alto	alto	alto	muy alto
<b>sc1.2.2</b>	alto	alto	alto	muy alto
<b>c2</b>	alto	medio	medio	muy alto
<b>d2.1</b>	alto	alto	alto	alto
<b>sc2.1.1</b>	alto	alto	alto	alto
<b>sc2.1.2</b>	alto	alto	alto	muy alto

<b>d2.2</b>	medio	bajo	bajo	muy alto
<b>sc2.2.1</b>	medio	medio	medio	medio
<b>sc2.2.2</b>	medio	bajo	bajo	alto
<b>c3</b>	medio	medio	medio	muy alto
<b>d3.1</b>	medio	bajo	bajo	medio
<b>sc3.1.1</b>	bajo	bajo	bajo	medio
<b>sc3.1.2</b>	medio	bajo	bajo	alto
<b>d3.2</b>	medio	medio	medio	muy alto
<b>sc3.2.1</b>	medio	medio	medio	muy alto
<b>sc3.2.2</b>	bajo	bajo	bajo	bajo

Tabla 6. Comparativa entre los resultados cualitativos obtenidos por los operadores preseleccionados.

Donde:

**AA** es el operador Media aritmética,

**WAA** es el operador Media ponderada,

**FWA** es el operador Peso promedio difuso,

**OWA** es el operador Promedio ponderado ordenado.

En la Tabla 6 se puede observar que los operadores WAA y FWA tienen los mismos resultados; la diferencia entre ellos radica en que WAA no contempla la posibilidad de que la suma de los pesos de las importancias sea mayor que uno, para utilizar este operador se parte de que esta suma sea igual a 1. FWA, dentro de su proceso si contempla esa posibilidad, así que no se debe hacer ningún proceso adicional para satisfacer esa condición. Además, en los resultados del operador OWA se puede notar que el resultado de sus agregaciones siempre es igual o mayor al resultado de los demás operadores.

A continuación, en la Tabla 7, se puede observar la cercanía que produjo cada operador con los resultados obtenidos por un experto, en un caso simulado de evaluación de competencias educativas para cuatro estudiantes. El árbol usado para este caso simulado puede ser consultado en el Anexo D.

ESTUDIANTE	Elementos	AA	FWA	WAA	OWA
1	<b>C1</b>	67%	100%	100%	67%
	<b>D1</b>	67%	100%	100%	67%
	<b>SC1</b>	100%	100%	100%	100%
	<b>SC2</b>	67%	100%	100%	67%
2	<b>C1</b>	100%	100%	100%	100%
	<b>D1</b>	100%	100%	100%	100%
	<b>SC1</b>	100%	100%	100%	67%

	<b>SC2</b>	100%	100%	100%	100%
<b>3</b>	<b>C1</b>	100%	100%	100%	100%
	<b>D1</b>	100%	100%	100%	100%
	<b>SC1</b>	100%	100%	100%	67%
	<b>SC2</b>	100%	100%	100%	100%
<b>4</b>	<b>C1</b>	75%	100%	100%	75%
	<b>D1</b>	75%	100%	100%	75%
	<b>SC1</b>	100%	100%	100%	100%
	<b>SC2</b>	75%	75%	75%	100%
<b>PONDERACIÓN</b>		89%	98%	98%	86%

Tabla 7. Cercanía entre los resultados obtenidos por el experto con los obtenidos a partir de las operaciones de agregación.

Como se puede ver en la Tabla 7, los operadores que obtuvieron resultados más semejantes a los obtenidos por el experto fueron el operador FWA y el operador WAA donde ambos obtuvieron un 98% de semejanza de los resultados. La semejanza fue determinada a partir de la expresión (15).

$$s(x) = \frac{MAX\{R_e(x), R_m(x)\} - |R_e(x) - R_m(x)|}{MAX\{R_e(x), R_m(x)\}} \quad (15)$$

Donde:

$s(x)$  es la semejanza de cada dato,

$R_e(x)$  es la información proporcionada por el experto,

$R_m(x)$  es el resultado del modelo.

Para establecer cuál de los dos operadores es el más adecuado en la operación lingüística, teniendo en cuenta la importancia de los términos, se consideraron las recomendaciones contenidas en [34]. De acuerdo con el estudio de propiedades realizado en [34], a pesar de que WAA y FWA son operadores muy similares, FWA implementa un mecanismo de normalización de los vectores de importancia, algo que no implementa WAA. En el caso de WAA se supone que la suma de los términos de los vectores de importancias es siempre igual a 1, por lo que la inclusión de este operador obliga a una validación previa de los vectores de importancia. Por esta razón se concluye que **FWA es el operador de agregación lingüística más adecuado** en la evaluación cualitativa de competencias educativas.

## Resumen

Este capítulo presentó un proceso para llegar al método computacional basado en el procesamiento de información cualitativa, que se desarrollará en el Capítulo 4, al cual se denominó COMPIECCE-FL. Este proceso se compone de tres etapas, las cuales se deben seguir de manera secuencial. La primera es el establecimiento de la estructura de información, la cual se definió con el fin de conocer la distribución y jerarquía de la información en la evaluación de las competencias educativas para diseñar un algoritmo que permita recorrer y operar dicha información. En este sentido, esta etapa se divide en 4 sub-etapas, que son: el establecimiento de la estructura conceptual, el establecimiento de la estructura de representación lógica-matemática, el establecimiento de un conjunto de reglas para operar la información y el diseño de un algoritmo para el recorrido y operación de la información.

La segunda etapa es el establecimiento y construcción de los conjuntos difusos, su objetivo es modelar adecuadamente el comportamiento de los datos para construir conjuntos que sean capaces de representar las características de la información mediante una clasificación cualitativa difusa. Para ello, esta etapa se divide en 7 sub-etapas: 1) Definición de la variable lingüística, los valores lingüísticos y el universo del discurso, 2) Recolección de datos de modelado, 3) Pre-procesamiento de los datos, 4) Establecimiento de la posición de los valores lingüísticos en el universo del discurso; hasta este punto se definen las variable, parámetros y datos útiles para el desarrollo de la etapa, y del trabajo como tal. 5) Modelado de las funciones de pertenencia, 6) Establecimiento de la función de pertenencia continua e integrable y finalmente, 7) Minimización del error. En este punto, se tiene una función de pertenencia óptima (con el máximo porcentaje posible de minimización de errores) acorde con el comportamiento real de la información.

Finalmente, la etapa 3, selección del operador de agregación lingüística, se define porque se hace necesario un operador de agregación para computar y representar la información cualitativa. La selección del operador es crucial ya que con él se define la precisión de las operaciones cualitativas; en este sentido, esta etapa se divide en 3 sub-etapas con el fin de escoger el mejor y más adecuado operador: Selección de las propiedades del operado, filtrado de operadores por propiedades y evaluación en caso simulado de los operadores.

Del capítulo se desprende el Anexo D que presenta el árbol de competencias educativas utilizado para la evaluación de los operadores de agregación.

Cabe resaltar que COMPIECCE-FL es la base para la construcción del método computacional, desarrollado en el CAPITULO 4, el cual siguió de manera secuencial cada una de las etapas mencionadas anteriormente.



## **Capítulo 3**

### **Método computacional para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación individual de competencias educativas**

En este capítulo se encuentra plasmada la estructuración del método computacional para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación de competencias educativas siguiendo el proceso base desarrollado en el Capítulo 2; Este método es uno de los aportes más importantes del trabajo de investigación realizado, ya que, se expone una propuesta de un método cuyo algoritmo sirve para recorrer una estructura, en este caso en forma de árbol, de una información cualitativa y que permite, mediante el uso de lógica difusa y un algoritmo de clústering Fuzzy C-Means, obtener una mejor comprensión de la información mediante pertenencias a diferentes conjuntos difusos, logrando un resultado más diciente acerca del desempeño de los estudiantes para el docente que evalúa.

#### **3.1. Estructura**

Una vez se ha dado cumplimiento a todas las etapas del proceso base propuesto para abordar la problemática, ya es posible estructurar formalmente el método para el

procesamiento de información cualitativa en los procesos de evaluación de las competencias educativas. La Figura 20 muestra las etapas del método de procesamiento propuesto y las interacciones que se dan entre los mismos.

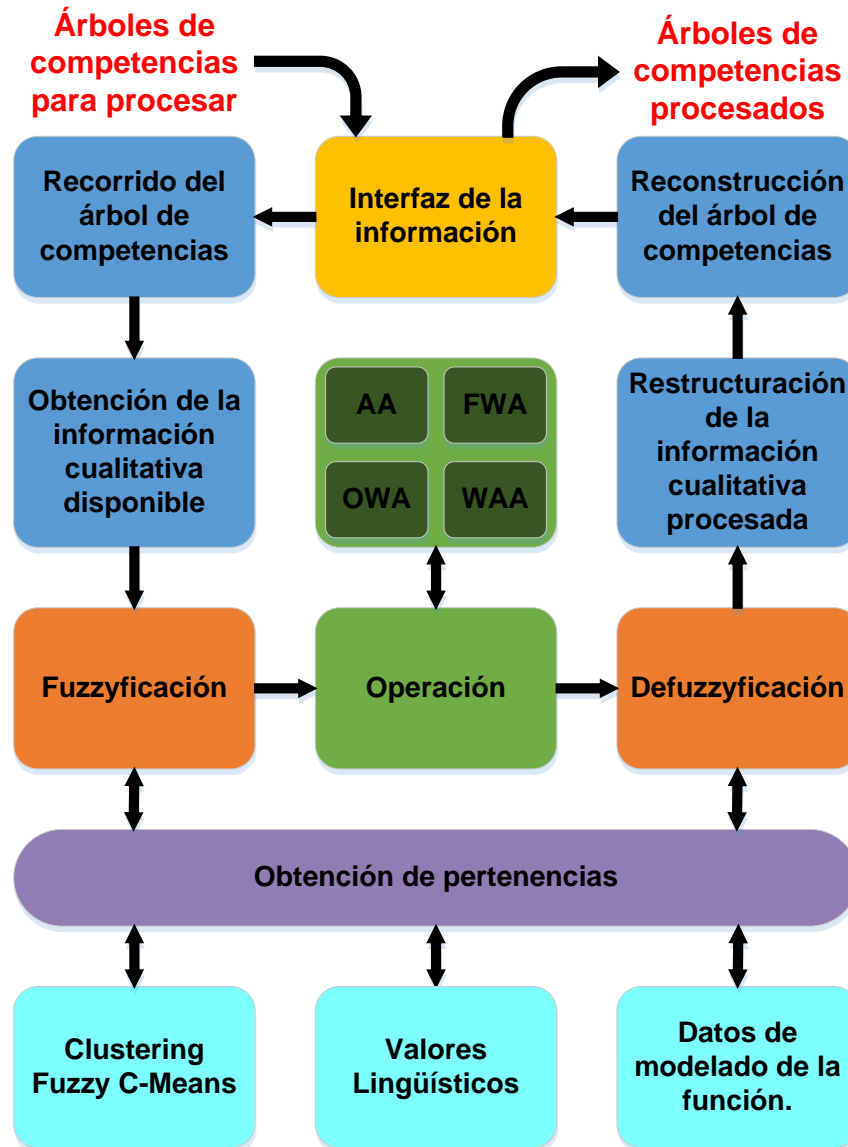


Figura 20. Diagrama general del método de procesamiento propuesto.

### 3.2. Etapas del método computacional

A continuación, se describe cada una de las etapas del método computacional y el tránsito de información entre ellas.



### **3.2.1. Etapa 1: Interfaz de la información**

Esta etapa permite mapear la información de entrada en un formato que el resto de las siguientes etapas puedan interpretar y procesar. Cabe resaltar que el método propuesto está orientado a objetos, por esta razón la información en el interior del método debe respetar el formato de Objetos. Por ejemplo, generalmente se tiene este tipo de datos cualitativos de entrada en un formato csv o similar. La interfaz de la información permitirá convertir este tipo de datos a un formato de objetos reconocible por la implementación del método, de acuerdo con los lineamientos de estructura conceptual de la información, establecidos a través de COMPIECCE-FL (ver 2.2.1). Adicionalmente esta etapa realiza la tarea inversa; esto quiere decir que una vez se ha procesado la información, esta será llevada nuevamente al formato de entrada (e.g. csv, json, xml).

### **3.2.2. Etapa 2: Recorrido del árbol de competencias**

Esta etapa incorpora al método el algoritmo de recorrido de árboles, desarrollado en la primera etapa de COMPIECCE-FL (ver 2.2.1), con el fin de localizar los puntos del árbol en donde ya se cuenta con información cualitativa (importancias de los componentes de cada árbol y conceptos evaluativos de cada componente). Para esto, el algoritmo recorre las estructuras de información buscando puntos en los cuales no se tenga información cualitativa, pero se pueda deducir a partir de la información cualitativa disponible de los vecinos.

### **3.2.3. Etapa 3: Obtención de la información cualitativa disponible**

Esta etapa se orienta hacia la extracción de información cualitativa, luego de que se ha recorrido el árbol de competencias. A partir de la identificación de los puntos en donde se pueden hacer deducciones por parte del componente de recorrido del árbol, este componente extrae y organiza la información en un arreglo de tuplas lingüísticas difusas o 2-tuplas lingüísticas (ver Anexo A). Para estructurar este proceso, este componente incorpora los lineamientos de la estructura lógica-matemática de la información desarrollados en la primera etapa de COMPIECCE-FL (ver 2.2.1).

#### **3.2.4. Etapa 4: Fuzzyficación**

Esta etapa permite hacer un mapeo desde lo cualitativo a lo cuantitativo para poder operar la información. Para lograrlo, incorpora lo desarrollado en el Capítulo 2, acomodando la información en un formato matemático de n-tuplas difusas (ver Anexo A) para ser procesada por el componente que contiene los operadores de agregación. Para complementar su funcionamiento, esta etapa hace uso de las funciones de pertenencia descubiertas en la segunda etapa de COMPIECCE-FL (ver 2.2.2) a través de las funcionalidades del componente que contiene y procesa las funciones de pertenencia.

#### **3.2.5. Etapa 5: Operación**

Esta etapa ejecuta operaciones de agregación sobre las n-Tuplas Difusas que se transfieren desde el componente de fuzzyficación. Por defecto, este componente usa el operador “*Fuzzy Weighted Aggregation Operator (FWA)*”, debido a que fue el que mejores resultados mostró en la evaluación desarrollada. Adicionalmente, se incorporan los operadores OWA, AA y WAA. Se puede encontrar una reseña de todos estos operadores en la Anexo A.

#### **3.2.6. Etapa 6: Obtención de pertenencias**

Esta etapa genera pertenencias de los elementos que recibe de las etapas de fuzzyficación y defuzzyficación. Para lograrlo, genera relaciones entre los elementos recibidos desde las etapas mencionadas y los valores lingüísticos a partir de las funciones de pertenencia descubiertas a través del agrupamiento difuso, usando *Fuzzy C-Means* (ver Anexo A), de la base de datos de modelado seleccionada en el Capítulo 2. Esto permitirá hacer un mapeo de lo cualitativo a lo cuantitativo y viceversa. Con esto será posible operar los elementos cualitativos para lograr deducciones en la evaluación de competencias a través del procesamiento de los árboles que las contienen.

### **3.2.7. Etapa 7: Clústering Fuzzy C-Means**

Esta etapa implementa el algoritmo por el cual lleva su nombre. La etapa de obtención de pertenencia lo usa junto con la base de datos de modelado para establecer la tendencia inicial de las funciones de pertenencia, lo que se constituye en la primera etapa del descubrimiento de la función de pertenencia desarrollada en el Capítulo 2.

### **3.2.8. Etapa 8: Valores lingüísticos**

Esta etapa acomoda los valores lingüísticos en un formato que pueda ser interpretado por la etapa de pertenencia. La información se organiza de acuerdo con los lineamientos de la estructura de la información definidos en la 2.2.1. Estos valores son definidos por un experto o mediante el estudio de trabajos relacionados como el que se desarrolló en la segunda etapa de COMPIECCE-FL.

### **3.2.9. Etapa 9: Datos de modelado de la función**

Esta etapa permite organizar la información que proviene de la base de datos de modelado en un formato que pueda ser interpretado por el componente de obtención de pertenencias. La base de datos se transforma inicialmente desde xls a un formato csv que es convertido en objetos por esta etapa. La estructura de información que este componente da a los objetos sigue los lineamientos de la estructura de la información desarrollados en la primera etapa de COMPIECCE-FL.

### **3.2.10. Etapa 10: Defuzzyficación**

Esta etapa realiza una operación inversa a la fuzzyficación y convierte relaciones numéricas, que recibe de la etapa de operación, en relaciones cualitativas usando la información que recibe de la etapa de obtención de pertenencias. La información que se ha procesado mediante las etapas de operación y obtención de pertenencia es organizada en Tuplas Lingüísticas Difusas para ser transferida a la etapa de reestructuración de la información cualitativa. Toda la información procesada obedece la estructura definida en el Capítulo 2.

### **3.2.11. Etapa 11: Restructuración de la información cualitativa procesada**

Esta etapa reconstruye los objetos que componen cada árbol de competencias y lo hace a partir de las Tuplas Lingüísticas Difusas que le transfiere la etapa de defuzzyficación, obedeciendo la estructura de la información en el Capítulo 2. Esta información es transferida a la etapa de reconstrucción del árbol de competencias.

### **3.2.12. Reconstrucción del árbol de competencias**

Esta etapa regenera el árbol de competencias con la misma estructura que tenía al entrar, pero con información cualitativa completa en todos sus componentes que ha sido deducida por el método de procesamiento de información cualitativa. Para lograrlo, recibe los componentes del árbol en forma de objetos desde la etapa de restructuración de la información cualitativa procesada y genera un objeto macro que contiene la información completa del árbol de evaluación de competencias, respetando la estructura de entrada del árbol y los lineamientos de la estructura conceptual de la información establecidos en el Capítulo 2. Esta información es luego transferida a la interfaz de la información que, como se explicó antes, devuelve el árbol de competencias procesado al formato que tenía antes de entrar en el método.

En resumen, la Figura 21 muestra el flujo de las etapas del método computacional, representado en un diagrama de secuencia.

Con lo presentado en este capítulo y en el Capítulo 2 se da cumplimiento al primer objetivo específico del presente trabajo investigativo orientado a “adaptar una técnica de procesamiento de información cualitativa teniendo en cuenta la estructura de composición en árbol de las competencias educativas, para la evaluación individual de las mismas”, se resalta que además de adaptar la técnica de procesamiento cualitativo se propuso un proceso y un método utilizando diferentes técnicas y metodologías para el desarrollo del procesamiento de información cualitativa.

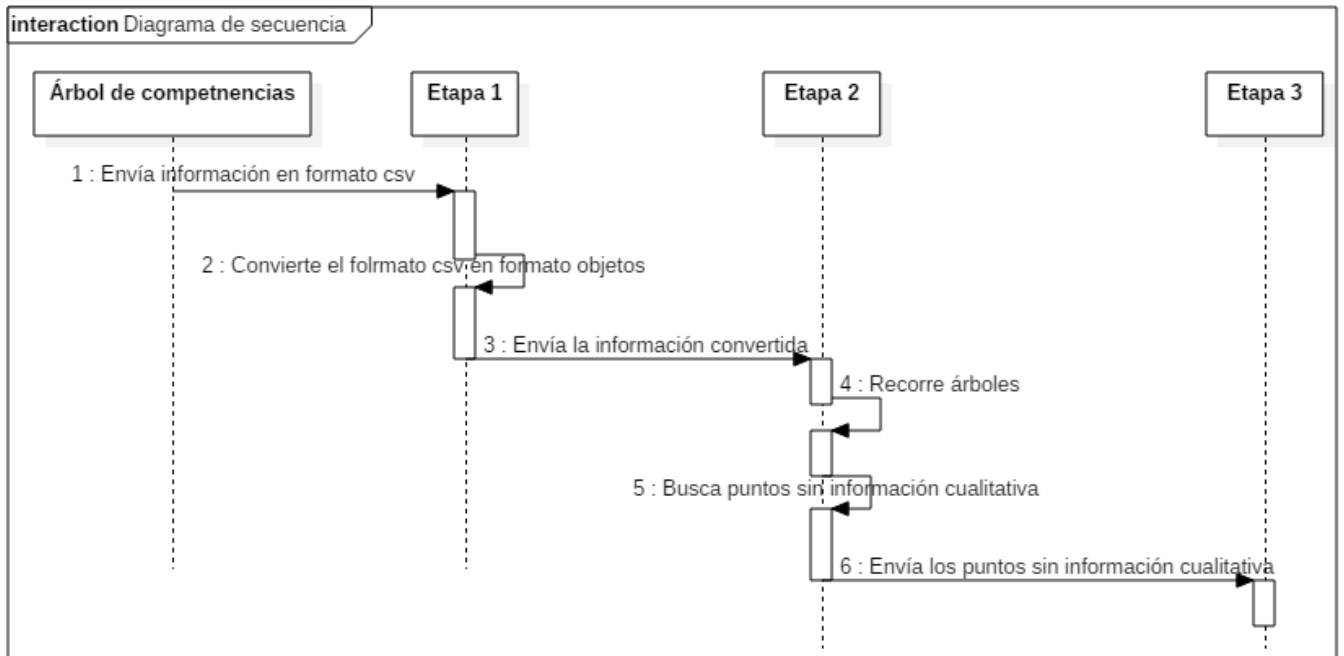


Figura 21 parte A. Flujo de las etapas del método computacional.

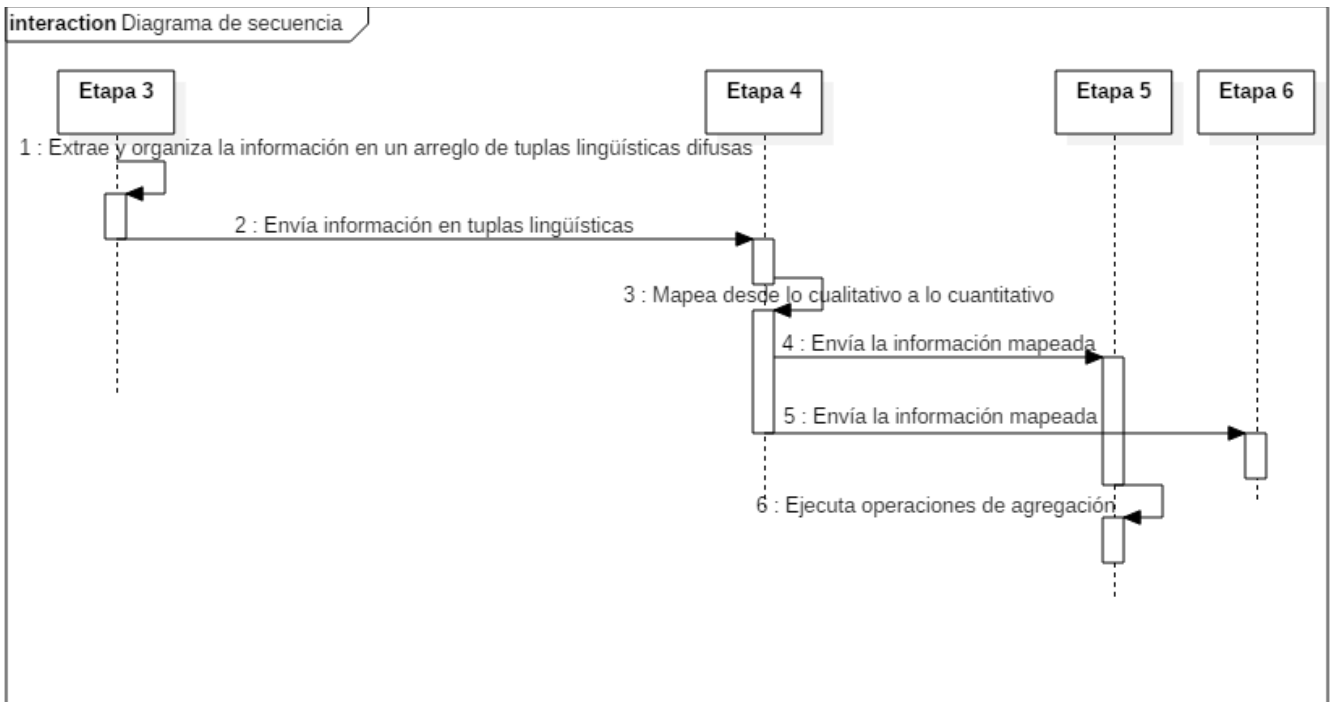


Figura 21 parte B. Flujo de las etapas del método computacional.

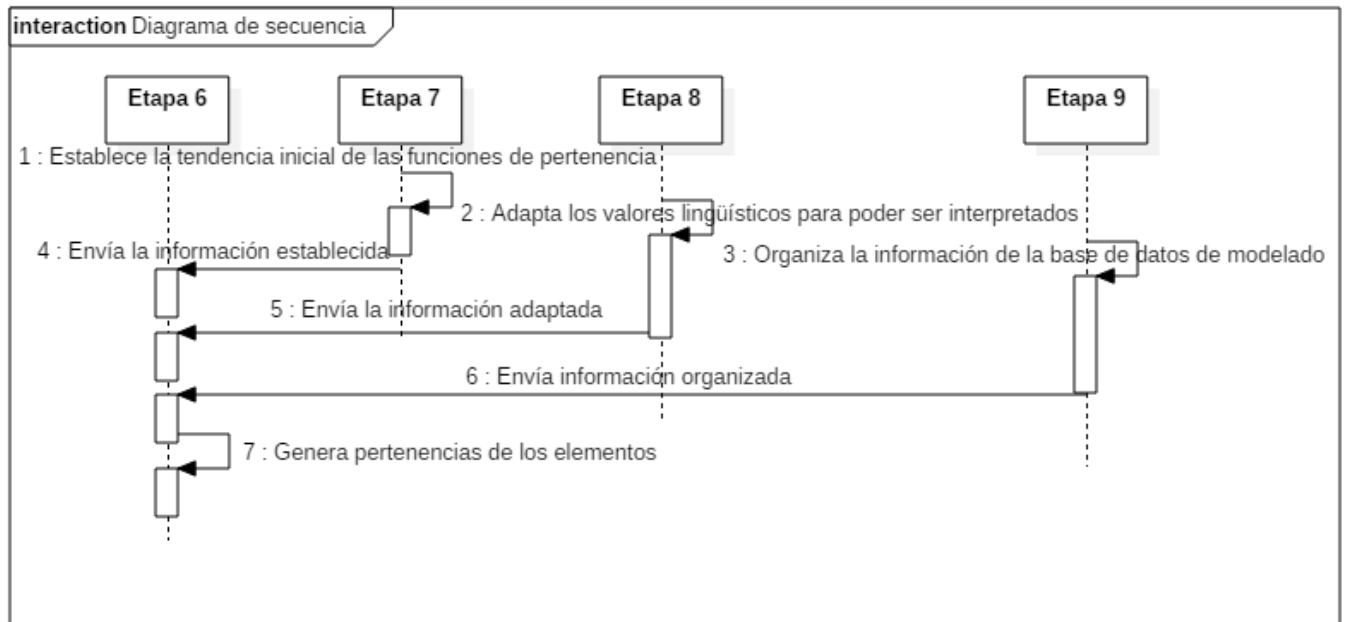


Figura 21 parte C. Flujo de las etapas del método computacional.

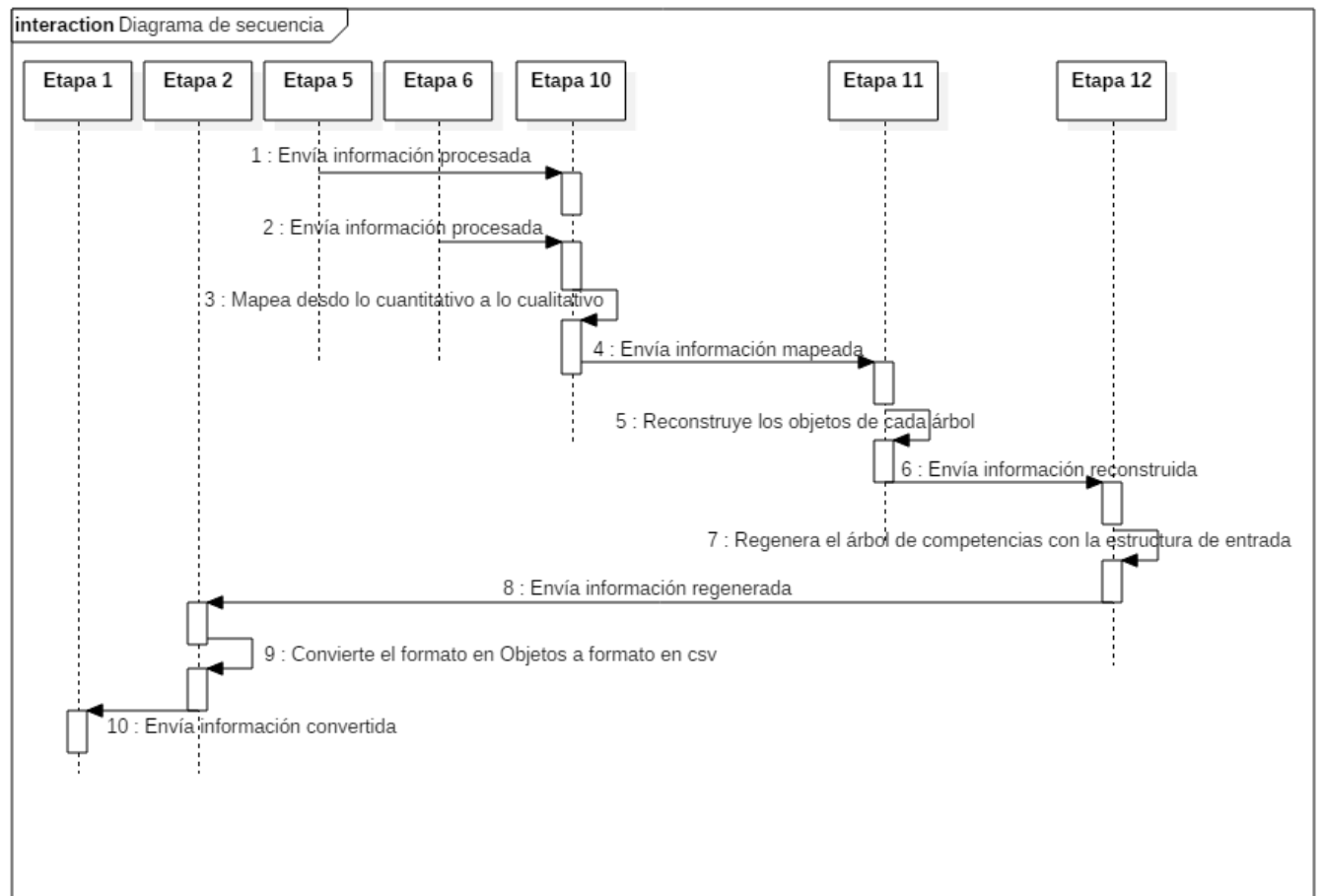


Figura 21 parte D. Flujo de las etapas del método computacional.

## Resumen

En este capítulo se presentó el método computacional para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación individual de competencias. Este método se compone de 12 etapas, cada una de ellas desarrolladas de acuerdo al proceso propuesto en el Capítulo 2 (ver 2.2), COMPIECCE-FL. En primer lugar, la etapa 1 recibe la información de entrada y la adapta a un formato que el método pueda procesar; además realiza la función inversa, al final de todo el proceso, para que la información de salida pueda ser interpretada fácilmente.

Luego, las etapas 2, 3 y 4 analizan la información dada por la etapa 1, la organizan en arreglos de tuplas lingüísticas y entregan una información mapeada en forma cuantitativa, la cual envía a la etapa 5 para que sea ejecutada en operaciones de agregación. Mientras tanto, las etapas 7, 8, y 9 establecen los parámetros iniciales (tomando como referencia la base de datos modelado en el Capítulo 2) para realizar el proceso de generar pertenencias de cada uno de los elementos, tarea que realiza la etapa 6.

Una vez completado las funciones de la etapa 5 y 6, sus resultados son enviados a la etapa 10 donde se realiza el mapeo de la información desde lo cuantitativo a lo cualitativo. La etapa 11 recibe este mapeo y reconstruye los objetos de cada árbol de acuerdo a la estructura de la información.

Finalmente, la etapa 12 regenera el árbol de competencias a la estructura de entrada, esta información es enviada a la etapa 1 que realiza el proceso de conversión explicado anteriormente.





## Capítulo 4

# Estrategia computacional para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación grupal de competencias educativas

En este capítulo se presenta una estrategia computacional para la evaluación grupal de competencias educativas. Se desarrolla una estrategia que adapta el método desarrollado en el Capítulo 3 para permitir el procesamiento de información cualitativa de grupos de estudiantes.

En la práctica la evaluación grupal es utilizada para tomar medidas de cambio en los procesos de enseñanza-aprendizaje, ya con esta se pueden observar vacíos en los estudiantes y buenas o malas prácticas de enseñanza por parte del docente. La valoración del desempeño de un grupo de estudiantes es, entonces, un proceso fundamental dentro de la evaluación que realiza un docente, ya que le permite conocer lo que sucede en su salón de clases con los procesos pedagógicos utilizados y la incidencia de estos sobre sus estudiantes; posibilitándolo a tomar medidas que le ayuden a reorientar y planificar la metodología de enseñanza. De acuerdo con [50] es necesario sistematizar los procesos de evaluación con el fin de ayudar a los docentes a conocer el qué y cómo sus estudiantes aprenden para, con ello, tomar medidas de intervención y mejora educativa. En consecuencia, este trabajo propone una estrategia computacional que permite el procesamiento de información cualitativa de

la evaluación grupal de competencias realizada por un docente para obtener una valoración dicente del grupo de estudiantes en cualquiera de los niveles del árbol de competencias educativas.

#### **4.1. El reto del procesamiento de árboles de competencias grupales**

Como se observó en el capítulo anterior, las competencias educativas obedecen a una estructura compleja, esto debido a todas sus ramificaciones y componentes (por lo que se llama árbol de competencias). El método para procesar este árbol desde el punto de vista cualitativo, si bien ya está consolidado mediante el trabajo documentado por el capítulo anterior, no contempla el procesamiento cualitativo del árbol de competencias de un grupo de estudiantes. Por esta razón es importante establecer una estrategia desde el punto de vista computacional que, haciendo uso de los recursos disponibles a través del método para el procesamiento de información cualitativa desarrollado anteriormente y agregando algunas funcionalidades, permita obtener el árbol de competencias grupal a partir de la información suministrada por los árboles de competencias de los estudiantes que componen el grupo.

Ante lo anterior, las funcionalidades adicionales deben estar encaminadas a procesar la información disponible en los árboles de competencias individuales para operarla y organizarla de tal manera que pueda ser interpretada por el conjunto de algoritmos que componen el método descrito en el capítulo anterior. En ese sentido, la problemática que deben paliar las funcionalidades adicionales se concentra en poder condensar múltiples elementos de información, provenientes de múltiples estudiantes que conforman el grupo, en elementos puntuales de información que sean representativos del grupo de elementos múltiples. La Figura 22 ilustra el desafío al que se enfrenta la estrategia computacional. En la figura mencionada, los puntos grandes representan el agrupamiento de los puntos de su mismo color que los rodean. En esencia los puntos grandes son elementos puntuales de información que representan la información distribuida en puntos múltiples. Esta figura muestra una distribución en dos dimensiones, pero para el caso de los árboles de competencias, la información estará distribuida en tantas dimensiones como componentes tenga cada árbol de competencias.

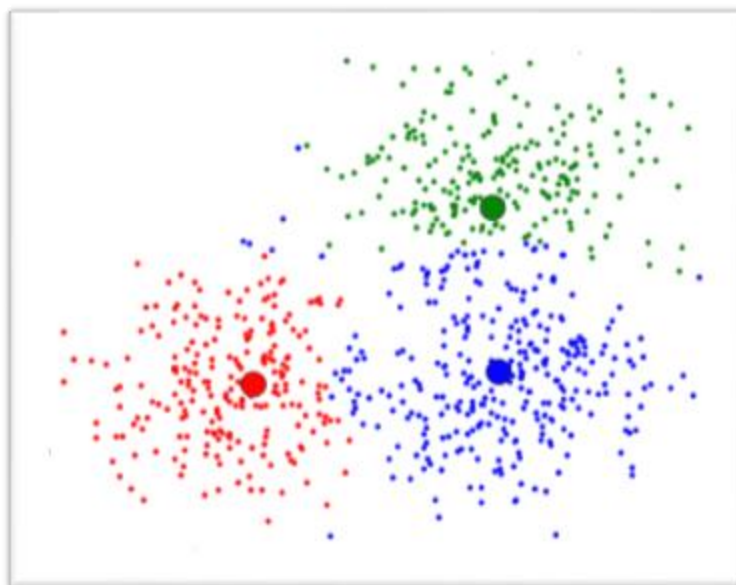


Figura 22. Agrupamiento de la información.

De acuerdo con lo anterior, para que el método pueda procesar múltiples árboles de competencias y condensarlos en uno solo, se requiere utilizar una técnica de agrupamiento [51], buscando generar grupos a partir de las múltiples dimensiones. En ese sentido, el trabajo expuesto en [52] ofrece un conjunto de técnicas que permiten agrupamiento y representación conjunta de la información en múltiples dimensiones. Dentro de este trabajo se resalta el desempeño de las técnicas de agrupamiento difuso con respecto a otras técnicas similares.

## 4.2. Finalidad de la estrategia computacional propuesta

Entendiendo la estrategia computacional como la coordinación y adecuada disposición de los elementos disponibles en un sistema computacional para lograr el adecuado procesamiento de un conjunto de información dado, la estrategia computacional que se pretende consolidar mediante el cumplimiento del segundo objetivo de este trabajo utiliza los módulos contemplados en el método de procesamiento individual (ver Capítulo 3) realizando los mínimos cambios para lograr generar un árbol de competencias grupal a partir de la información disponible en los árboles de competencias individuales. La Figura 23 muestra gráficamente lo que se pretende con la estrategia computacional.

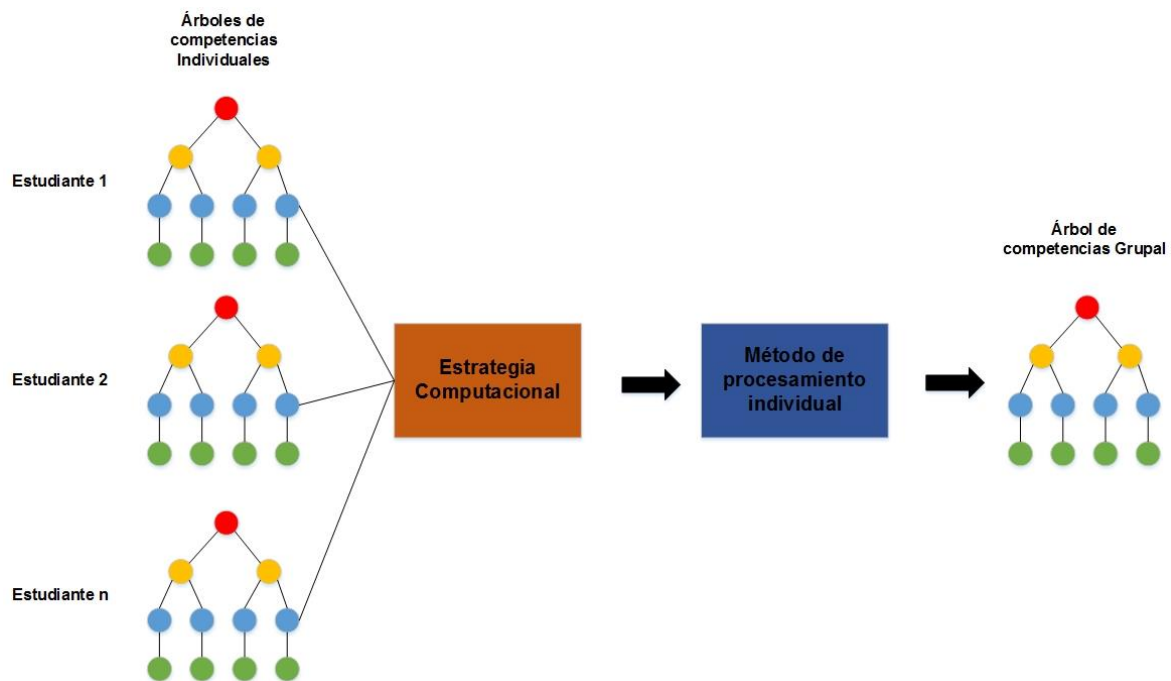


Figura 23. Papel de la estrategia computacional.

El objetivo de la estrategia es lograr agrupar la información en los niveles más bajos de los árboles de competencias para obtener información puntual. A partir de esta información puntual se construye un árbol muy similar al individual y se incluye en sus niveles más bajos la información cualitativa obtenida en la etapa de agrupamiento. A partir de este momento el árbol se puede interpretar y procesar de la misma manera que un árbol individual por parte del método de procesamiento quien ejecutará todas las operaciones de inferencia sobre él.

La construcción de una estrategia computacional garantiza que el procesamiento de la información se lleve a cabo optimizando los recursos, produciendo resultados con rapidez y minimizando los errores de inferencia, por ejemplo, en el reconocimiento de patrones como se muestra en [53] y [54].

Debido a esto y aprovechando que dentro de la implementación del método se ha contemplado un módulo de agrupamiento difuso basado en *Fuzzy C-Means* (ver Anexo A), se definió que este será el algoritmo de agrupamiento que se usará para obtener los valores necesarios en el procesamiento del árbol grupal de competencias educativas.

Dentro del ajuste del algoritmo para adaptarlo a las necesidades que presenta el reto de procesar el árbol grupal de competencias, se tuvieron en cuenta las

recomendaciones y el trabajo desarrollado por [55] en torno a una estrategia computacional para la optimización del algoritmo de *Fuzzy C-Means*. Adicionalmente, para abordar el agrupamiento multidimensional se adoptó la estructura matemática propuesta por [52], esta toma en cuenta la agrupación sub-espacio que realiza una búsqueda de las dimensiones relevantes permitiendo encontrar grupos que existen en diferentes sub-espacio, que por lo general se superponen. También se consideró aspectos desarrollados en [56], en donde se define como es una eficiente implementación del algoritmo *Fuzzy C-Means*.

Para lograr generar un mapeo multidimensional a través del cual sea posible establecer información representativa de un grupo de datos fue necesario modificar las expresiones matemáticas a través de las cuales opera *Fuzzy C-Means*. Para la modificación de sus expresiones matemáticas se partió de las expresiones mostradas en [56] y [57]. Estas se describen en este mismo capítulo más adelante (ver 4.4.1)

### 4.3. Estructura de la estrategia computacional para la evaluación grupal

La estructura de la estrategia para la evaluación grupal parte de la estructura desarrollada en el Capítulo 3, con algunas modificaciones que se desarrollaran más adelante en este mismo capítulo. La Figura 24 muestra gráficamente la estructura final donde se puede apreciar la inclusión de nuevos componentes sugeridos en este trabajo de grado.

En la Figura 24 se puede observar que todas las etapas del método para la evaluación individual de competencias (ver Capítulo 3) están plasmadas en esta estrategia computacional, la diferencia es que se adiciona una nueva etapa denominada **conformación de árboles de competencias**. Dado que se reutilizan etapas del método computacional para la evaluación individual, en este capítulo se prescinde de la explicación de cada una de sus etapas ya que cumplen con la misma función que ya realizan en el método mencionado, solo se desarrollaran las modificaciones y adaptaciones realizadas para la estrategia computacional.

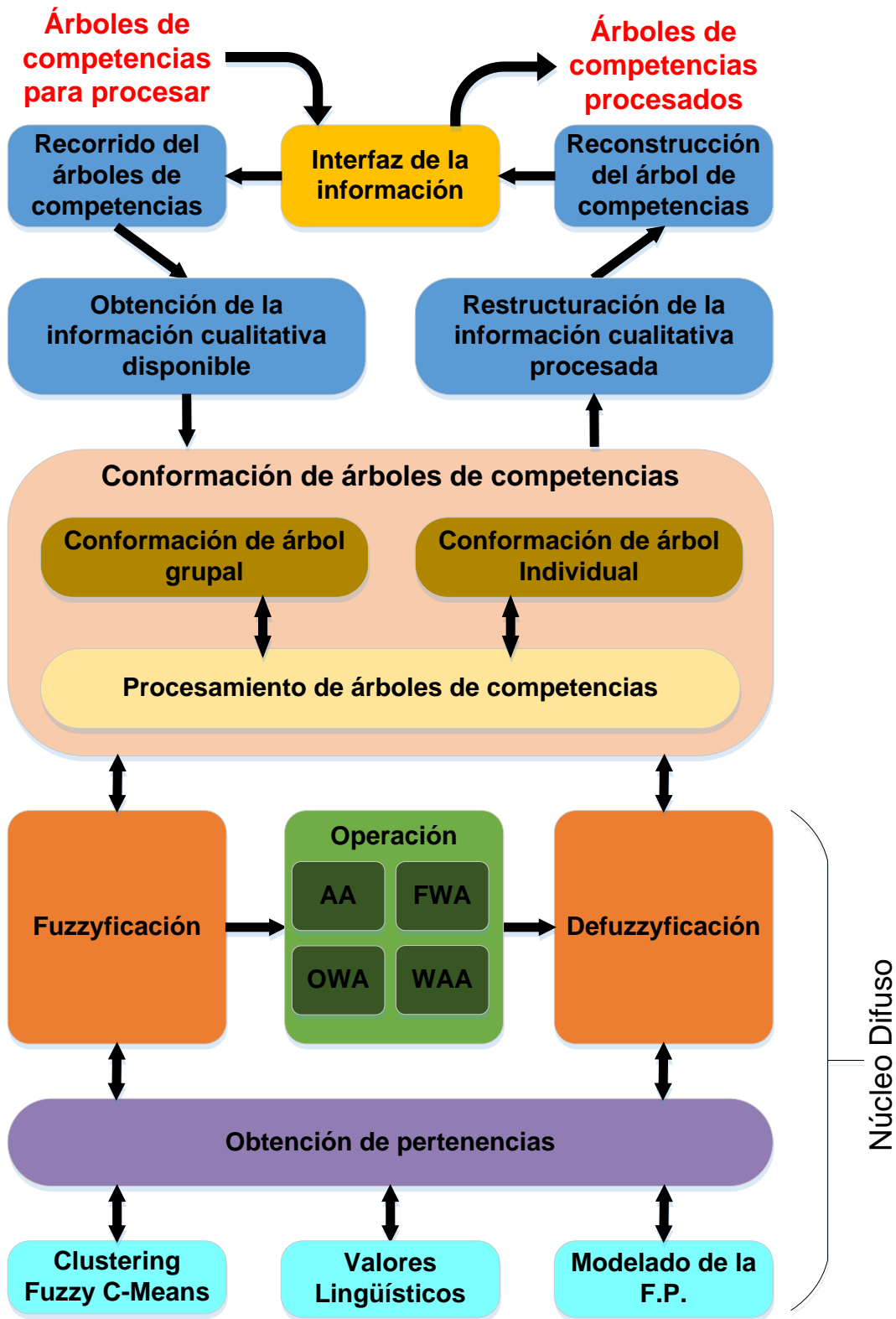


Figura 24. Diagrama general de la estrategia para la evaluación grupal de competencias educativas.

A continuación, en la Tabla 8 se listarán las etapas de la estrategia computacional, mencionando las propuestas y adaptadas en este punto, las demás son reutilizadas del método para la evaluación individual.

<b>Etapas</b>	<b>Nombre</b>
1	Interfaz de la información
2	Recorrido del árbol de competencias
3	Obtención de la información cualitativa disponible
4	Conformación de árboles de competencias <b>(Propuesta en este punto)</b>
5	Fuzzyficación
6	Operación
7	Obtención de pertenencias
8	Clústering Fuzzy C-Means <b>(Adaptada en este punto)</b>
9	Valores lingüísticos
10	Modelado de la función de pertenencia (F.P)
11	Defuzzyficación
12	Reestructuración de la información cualitativa procesada
13	Reconstrucción del árbol de competencias

Tabla 8. Etapas de la estrategia computacional para la evaluación grupal de competencias.

#### 4.4. Modificaciones estratégicas realizadas

Para el desarrollo de la estrategia computacional para la evaluación grupal de competencias educativas se parte como base el método computacional para evaluación individual (ver Capítulo 3), a partir de este se realizan unas modificaciones para obtener un método que permita el procesamiento de información cualitativa en la evaluación grupal de competencias.

La estrategia desarrollada consiste en las siguientes sub-estrategias.

1. Modificaciones realizadas sobre las expresiones matemáticas de *Fuzzy C-Means*:  
El propósito de esta modificación es extender el algoritmo *Fuzzy C-Means* para  $n$

dimensiones y así generar un mapeo multidimensional a través del cual sea posible establecer información representativa de un grupo de datos.

2. Adición de una etapa de conformación de árboles grupales: El objetivo de esta modificación es, precisamente lo que su nombre indica, conformar un árbol grupal partiendo de los componentes de cada uno de los árboles de competencias individuales de los estudiantes, para que la información pueda ser procesada por el algoritmo de agrupamiento *Fuzzy C-Means*.
3. Integración del método individual con la conformación de árboles grupales: Esta modificación estratégica se hace con el fin de integrar las anterior dos modificaciones con el método para la evaluación individual desarrollado en el Capítulo 3, para obtener como resultado la estrategia computacional y en ese sentido, un método computacional para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación de competencias educativas, que es capaz de procesar árboles individuales como grupales.

#### 4.4.1. Modificaciones realizadas sobre las expresiones matemáticas de Fuzzy C-Means

##### a. Distancia del prototipo al centroide

La expresión normal de distancia del centroide a un punto cualquiera del plano se basa en la expresión de distancia euclidiana presentada en (16).

$$d_{ik}^2 = ||x_k - v_i||^2 \quad (16)$$

Extendida a  $n$  dimensiones, (16) se transforma en (17)

$$d_{ik}^2 = ||x_{k1} - v_{i1}|| + ||x_{k2} - v_{i2}||^2 + \dots + ||x_{kj} - v_{ij}|| + \dots + ||x_{kn} - v_{in}|| \quad (17)$$

Donde:

$d_{ik}$  es un número real positivo que representa la distancia desde el centroide  $k$ -ésimo al dato  $i$ -ésimo,

$x_{kj}$  es la coordenada del centroide  $x$  en la dimensión  $j$ -ésima,

$v_{kj}$  es la coordenada del dato  $v$  en la dimensión  $j$ -ésima.

Dado que se definió desde el principio un universo del discurso valores entre 0 y 1, se extiende la expresión de distancia cuadrada a  $n$  dimensiones con coordenadas variando entre 0 y 1 la distancia máxima que puede haber entre dos elementos en la



misma dimensión es 1. Cuando se incluye este valor en la expresión de distancia euclidiana para  $n$  dimensiones se tiene que la distancia máxima posible entre dos elementos es igual a  $n$ . Por esta razón, la distancia normalizada entre prototipo y centroide se definiría como lo establece (18).

$$d_{ikN}^2 = \frac{||x_{k1} - v_{i1}|| + ||x_{k2} - v_{i2}||^2 + \dots + ||x_{kj} - v_{ij}|| + \dots + ||x_{kn} - v_{in}||}{n} \quad (18)$$

Donde:

$d_{ikN}$  es un número real positivo que representa la distancia normalizada desde el centroide  $k$ -ésimo al dato  $i$ -ésimo.

### b. Posición del centroide

La expresión para calcular la posición del centroide en *Fuzzy c-Means* se define en (19)

$$v_j = \frac{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m \cdot x_k}{\sum_{k=1}^p u_{ik}^m} \quad (19)$$

Para el caso particular se requiere extender la expresión a  $n$  dimensiones, por lo que (19) se transforma en (20).

$$v_{jl} = \frac{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m \cdot x_{kl}}{\sum_{k=1}^p u_{ik}^m} \quad l = 1, 2, 3 \dots n \quad (20)$$

Donde:

$v_{jl}$  es un número real positivo que representa la coordenada del centroide  $j$ -ésimo en la dimensión  $l$ -ésima,

$x_{kl}$  es la coordenada del centroide  $x$  en la dimensión  $l$ -ésima,

$m$  es el índice de fuzzyficación.

Para extender la expresión a  $n$  dimensiones se propone acompañar el centroide  $j$ -ésimo con el subíndice  $l$  que representa la dimensión por lo que la expresión representaría la posición del centroide  $j$ -ésimo en la dimensión  $l$ -ésima. Se formula esta propuesta en base a la experiencia que se ha tenido al trabajar con las expresiones matemáticas de *Fuzzy C-Means*. Con esto, el vector posición que representa la ubicación del centroide en un espacio  $n$ -dimensional se llenará luego de aplicar esta expresión  $n$  veces. Adicionalmente, cabe anotar que por las razones

expuestas en el en la etapa 2 de COMPIECCE-FL (ver 2.2.2) y sustentadas en [47] se usará un coeficiente de fuzzyficación  $m = 2$ .

### c. Cálculo de la pertenencia

La expresión matemática para el cálculo de la pertenencia, presentada en (21), no fue necesario modificarla ya que esta se deriva de la expresión de distancia modificada anteriormente, lo que conlleva a decir que puede ser utilizada para cálculos en  $n$  dimensiones. Igual que para la expresión de posición, el coeficiente  $m$  se usará con un valor de 2.

$$\mu_j(x_i) = \frac{\left(\frac{1}{d_{jt}}\right)^{\frac{1}{m-1}}}{\sum_{k=1}^p \left(\frac{1}{d_{kt}}\right)^{\frac{1}{m-1}}} \quad (21)$$

Donde:

$\mu_j$  es la pertenencia de  $x_i$  al valor lingüístico  $j$ -ésimo,

$d_{jt}$  es la distancia de  $x_i$  al valor lingüístico  $j$ -ésimo,

$d_{kt}$  es la distancia de  $x_i$  al valor lingüístico  $k$ -ésimo,

$m$  es el coeficiente de fuzzyficación.

#### 4.4.2. Adición de una etapa de conformación de árboles grupales

La etapa de conformación de árboles grupales se realiza con el fin de obtener un único árbol que contenga la información del desempeño de todo el grupo de estudiantes en una determinada competencia o competencias. Esta etapa se compone de tres sub-etapas: 1) Conformación de la matriz de componentes, 2) Agrupamiento de la matriz de actividades, 3) Inserción de información cualitativa en el árbol de competencias grupal. La Figura 25 muestra el esquema gráfico de esta etapa.

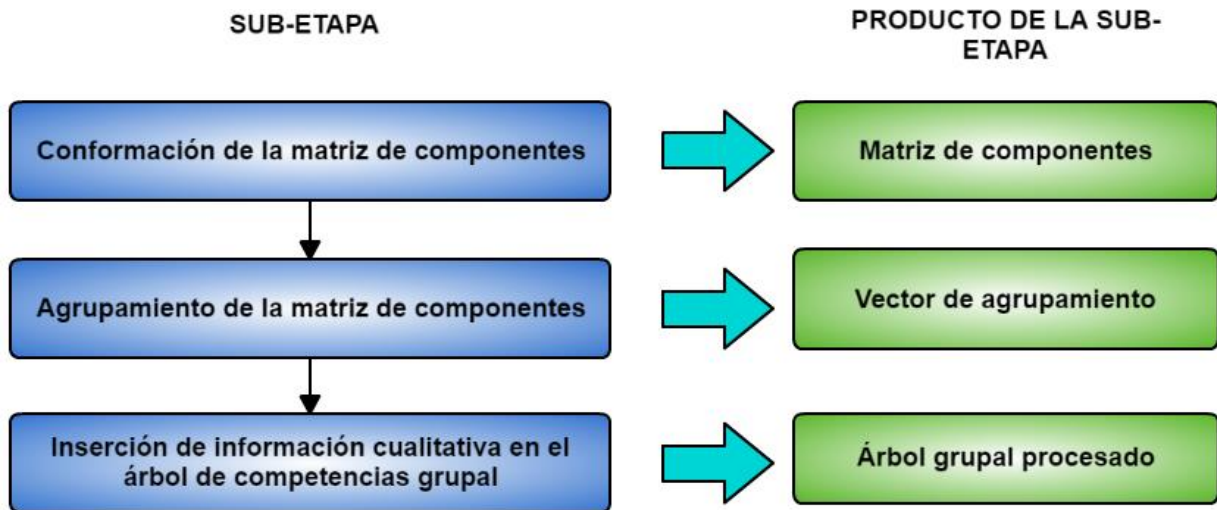


Figura 25. Sub-etapas de la conformación de árboles grupales.

Para realizar el agrupamiento de información primero se requiere extraerla desde los árboles de competencias y organizarla adecuadamente para poder ser procesada por el algoritmo de agrupamiento de Fuzzy C-Means. Para esto se propone generar una matriz de componentes a partir del árbol de cada estudiante y sobre ella realizar todas las operaciones necesarias para la disposición adecuada de la información y su procesamiento con el algoritmo de agrupamiento.

#### a. Conformación de la matriz de componentes

Debido a que se trata de información de un solo nivel de los árboles de competencias individuales, esta puede ser organizada en un arreglo bidimensional. La Figura 26 ejemplifica gráficamente el proceso de extracción de los datos desde los árboles de competencias individuales de tres estudiantes hasta formar la matriz de componentes propuesta.

Cuando se realiza la construcción de la matriz de componentes se transforman objetos en datos primitivos. Esto puede originar que se pierdan las referencias de estos datos a los componentes que pertenecen. Por ello fue necesario adoptar el modelo de organización y obtención de información propuesta por [58] y que tiene que ver con el alineamiento en árbol de la información. De esta manera, al usar el alineamiento de datos propuesto por el trabajo mencionado se establecen mecanismos para prevenir la pérdida de las referencias de información que impediría construir el árbol de competencias grupal.

Adicionalmente, antes de insertar los datos en la matriz, estos son fuzzyficados por el núcleo difuso<sup>6</sup> (ver Figura 24 de la 4.3), es decir que son transformados de información cualitativa a datos cuantitativos que ya pueden ser procesados por *Fuzzy C-Means*.

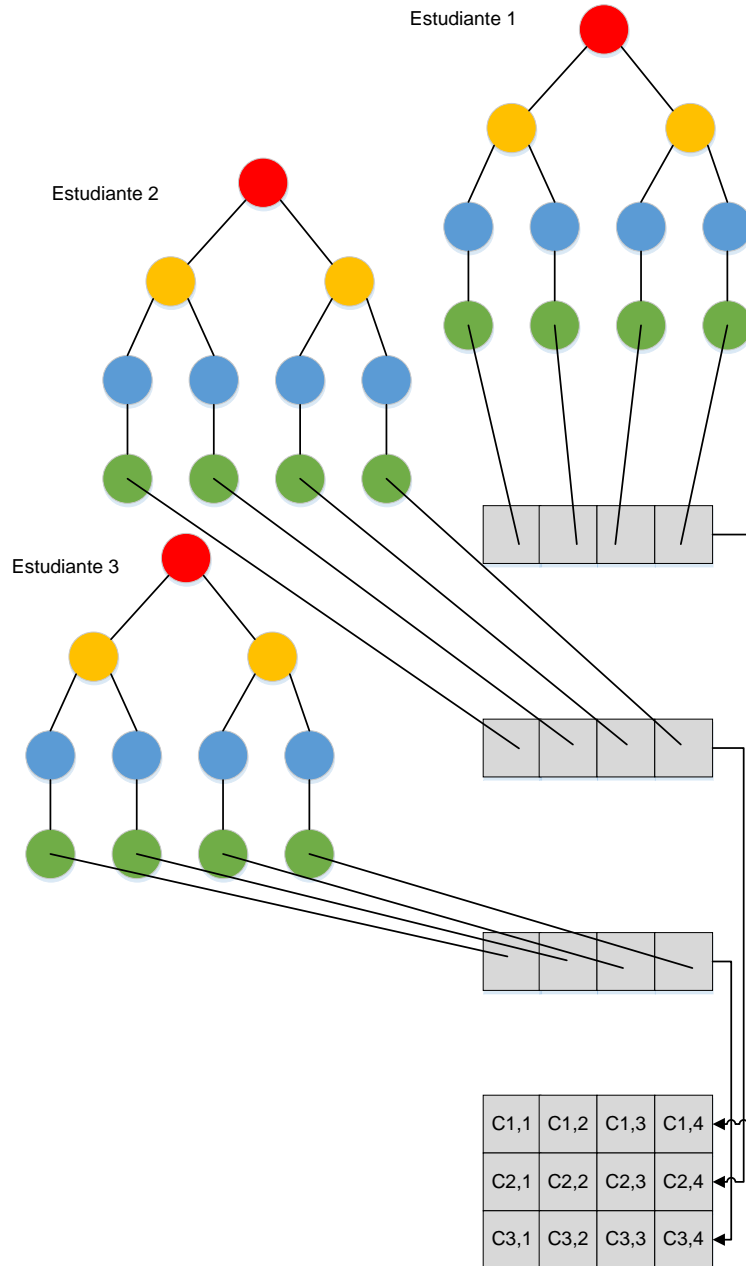


Figura 26. Conformación de la matriz de componentes.

<sup>6</sup> El núcleo difuso se compone de las fases Fuzzyficación, operación, defuzzyficación, obtención de pertenencias, clústering Fuzzy C-Means, valores lingüísticos y modelado de la función de pertenencia, tanto para el método computacional para la evaluación individual como para la estrategia computacional para la evaluación grupal.

**b. Agrupamiento de la matriz de actividades**

Una vez obtenida la matriz de componentes se procede a realizar el agrupamiento sobre la información recolectada. El algoritmo de agrupamiento *Fuzzy C-Means*, de ahora en adelante llamado agrupador, recibirá la matriz e iniciará a agrupar las columnas de la matriz. El resultado de agrupar cada columna será un valor representativo de todos los componentes extraídos de los árboles individuales referenciados a esa columna. La Figura 27 muestra el proceso de agrupamiento que se da desde el punto de vista matricial.

Cabe resaltar que la salida producida por el agrupador es netamente cuantitativa y por esta razón debe ser transformada nuevamente a un formato cualitativo a través del núcleo difuso (ver Figura 24 de la 4.3).

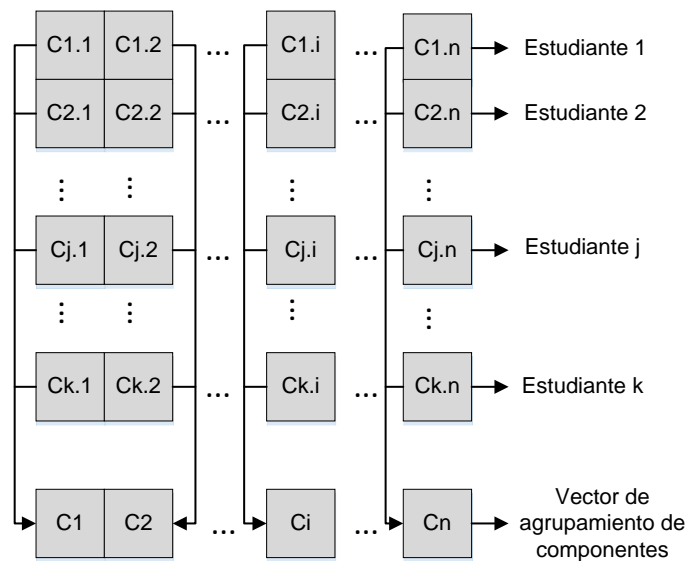


Figura 27. Matriz de agrupamiento.

Luego de que la matriz es procesada por el agrupador, se convierte en un vector de agrupamiento como se muestra en la Figura 28.

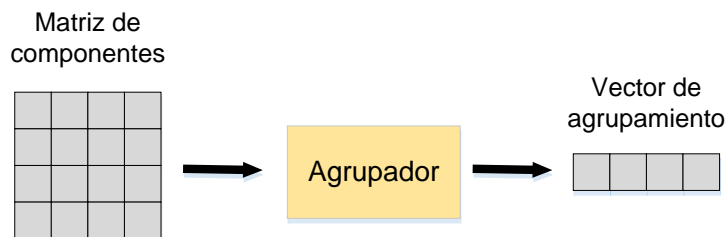


Figura 28. Transformación de la matriz de componentes al vector de agrupamiento.

Luego de la transformación de los vectores de agrupamiento se obtiene un vector cualitativo mediante la defuzzyficación. La Figura 29 ilustra este proceso de transformación para que pueda ser insertado al árbol de competencias grupal.

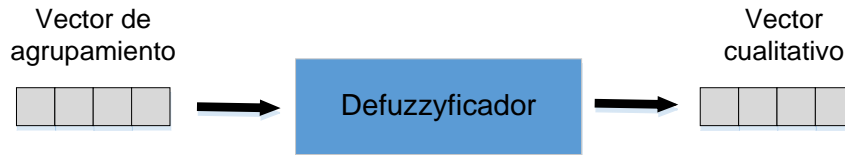


Figura 29. Transformación del vector de agrupamiento.

### c. Inserción de información cualitativa en el árbol de competencias grupal

La inserción de los datos al árbol grupal se hace siguiendo el modelo de organización de datos adoptado en la extracción de la información [58], consiste en segmentar los datos y organizarlos en una base de datos, en este caso el vector cualitativo; se identifican individualmente los niveles de cada árbol de competencias y se extraen los elementos de los niveles identificados. Esto con el fin de ubicar la información cualitativa en el sitio que corresponde. La Figura 30 muestra cómo se distribuye la información desde el vector cualitativo hacia los árboles grupales de competencias.

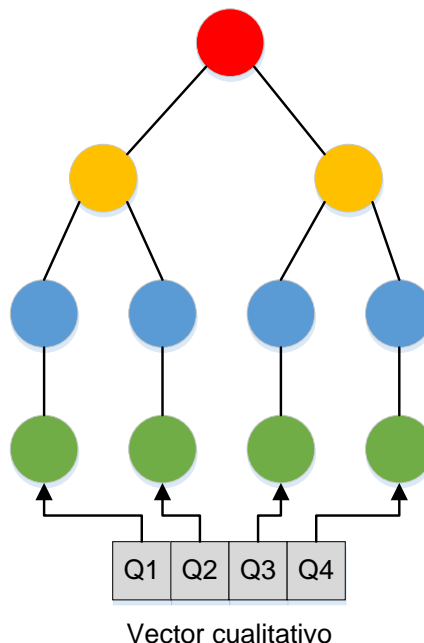


Figura 30. Inserción de la información procesada en el árbol grupal.

De no ubicarse en el componente adecuado, la información podría causar incongruencias en el proceso de evaluación, como obtener un concepto cualitativo

“MUY ALTO” cuando la mayoría de los estudiantes han tenido un concepto cualitativo “MUY BAJO” en alguno de los niveles del árbol de competencias.

Después de tener conformados los elementos base del árbol de competencias grupal, éste puede ser tratado y procesado como un árbol de competencias individual, debido a que el agrupamiento de los conceptos cualitativos esenciales genera información que es representativa de todo el grupo.

A partir de esta información base, el resto del árbol puede ser deducido a través del procesamiento del mismo a través del método computacional de árboles individuales de competencias. Finalmente se obtiene el árbol de competencias grupal que contiene en todos los niveles información tanto cualitativa como cuantitativa acerca del desempeño general del grupo en una competencia específica o en un grupo de componentes. La Figura 31 ilustra este proceso. Dentro de la información se contempla vectores de pertenencia a los niveles de desempeño que permiten establecer relaciones entre el grupo con todos los niveles de desempeño.

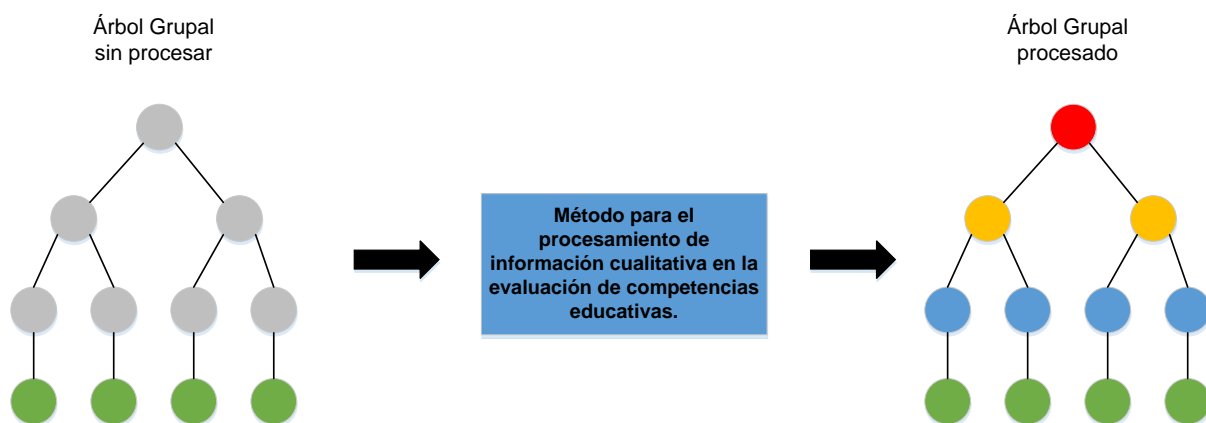


Figura 31. Procesamiento final del árbol grupal.

Esto permitirá al docente identificar los puntos en donde se encuentran falencias y observar las tendencias del grupo a partir del análisis de los vectores de pertenencia.

#### 4.4.3. Integración del método individual con la conformación de árboles grupales

Para poder procesar estudiantes individualmente y también grupos de estudiantes a partir de las mismas facilidades, es necesario integrar el método computacional, propuesto en el Capítulo 3, con la etapa de conformación de árboles grupales

propuesta en este capítulo e incluir además las modificaciones matemáticas de la etapa que alberga el algoritmo de agrupamiento de *Fuzzy C-Means* también propuestas en este capítulo. Esta integración implica una modificación mínima del método computacional individual, aprovechando al máximo sus recursos, sin comprometer la funcionalidad del mismo. Para lograr una integración exitosa se adiciona una etapa de conformadores de árboles de competencias. Esta última se ha planificado para albergar una sub-etapa encargada de conformar los árboles grupales y otra dedicada a los árboles individuales tal como se mostró en la estructura de la estrategia computacional en la sección 4.3.

#### **a. Conformador del árbol grupal**

Esta sub-etapa se compone de dos procesos: Construcción del árbol grupal y Procesamiento del árbol grupal.

##### **a. Construcción del árbol grupal**

Antes de emprender el procesamiento del árbol grupal se establece la estructura del mismo. El árbol grupal de competencias se construye a partir de la estructura definida previamente de los árboles individuales. En ese sentido, la estructura de los árboles individuales y los grupales es la misma. La diferencia entre estos dos tipos de árboles es la importancia de los elementos que lo componen.

Como se explicó en el Capítulo 3, la importancia de los niveles en el árbol de competencias puede variar de acuerdo con cada estudiante. Este es un aspecto que debe considerarse a la hora de asignar importancias de los niveles de cada árbol grupal. Si se revisa la estructura conceptual de la información, planteada y definida en el Capítulo 2, se sabe que la importancia de un componente se ubica en la ramificación que une a cada nivel con su elemento inmediatamente anterior.

Para encontrar la importancia de un nivel de árbol en un grupo de estudiantes, este proceso genera un vector de importancias. La Figura 32 ilustra el proceso de extracción de la información y conformación del vector cualitativo de importancias para el componente en color verde oscuro. Este proceso se lleva a cabo con todas las relaciones de importancia en los árboles de competencias.



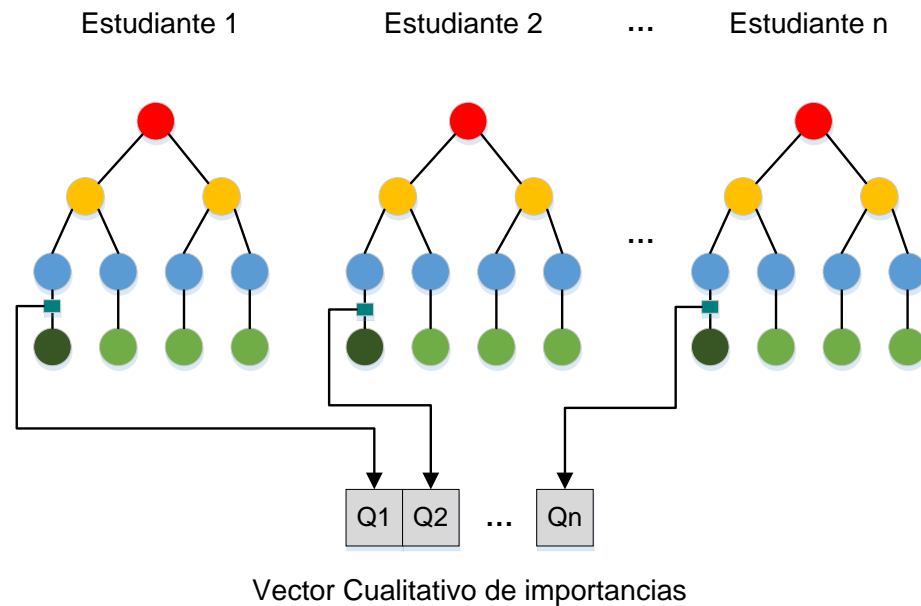


Figura 32. Extracción del vector cualitativo de importancias.

Dado que se trata de un vector cualitativo, este es fuzzyficado para ser computado por el operador AA (ver Anexo A). Para este proceso se utiliza este tipo de operador debido a que todos los estudiantes son igual de importantes en el grupo y cuando todos los elementos son igual de importantes se recomienda usar este tipo de operador [59]. Luego de ser computado se defuzzyfica y el resultado es un valor cualitativo que nació de la agregación de un vector cualitativo que es representativo de la importancia de un componente para todo el grupo. La Figura 33 ilustra el proceso de agregación y asignación de importancia a los niveles del árbol de competencias grupal.

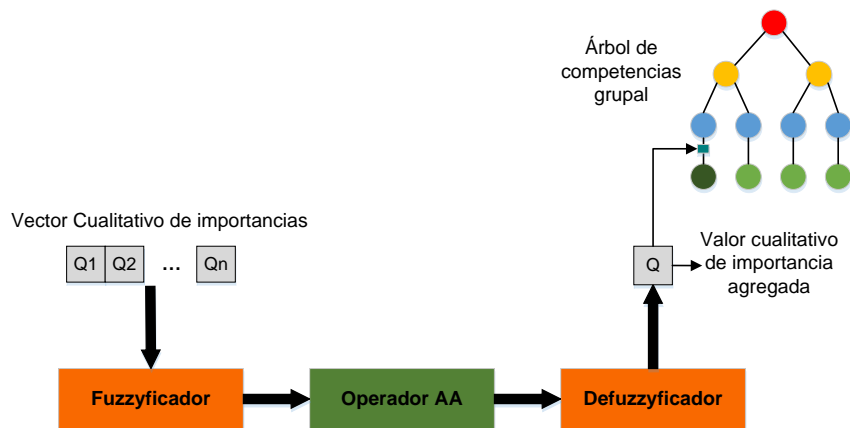


Figura 33. Agregación y asignación de importancias al árbol de competencias grupal.

### b. Procesamiento del árbol grupal

El conformador del árbol grupal es capaz de procesar un grupo de estudiantes. Inicialmente extrae la información de los árboles de competencias de todos los estudiantes que integran el grupo, comenzando desde los niveles menos básicos hasta los más básicos, Figura 34 ilustra estos niveles.

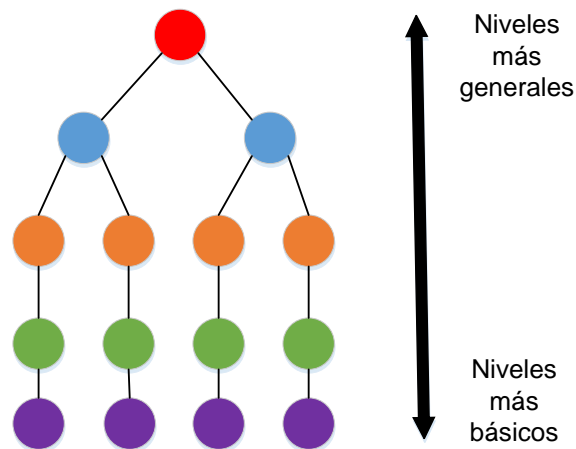


Figura 34. Niveles del árbol de competencias.

A partir de esta información se conforma una matriz multidimensional de componentes<sup>7</sup>. Para lograr conformarla, este proceso hace uso de la etapa de recorrido de árboles (ver 3.2.2) en el que se implementa un algoritmo para el recorrido de estas estructuras de información.

Luego de recorrer el árbol se identifica la información de importancia para el procesamiento del árbol de competencias grupal. Para identificar esta información el algoritmo hace múltiples comparaciones de cada nivel del árbol verificando la estructura de la información, conceptos cualitativos e importancias; hasta llegar a los niveles más básicos del árbol, que contienen información cualitativa acerca del desempeño de los estudiantes.

Una vez esta información es identificada se inserta en la matriz de componentes, como se mostró anteriormente. Finalmente, la matriz es entregada al agrupador en donde se procesa y el resultado es insertado en el árbol de competencias obtenido por el proceso de construcción del árbol grupal al cual ya se le han asignado todas las importancias, como se vio anteriormente.

<sup>7</sup> Los componentes de un árbol de competencias son sus niveles: Competencia, dimensión, sub-competencia, indicador y actividad.

### b. Conformador del árbol individual

El conformador del árbol individual del estudiante se encarga de orquestar todas las facilidades necesarias para procesar al estudiante. Esta sub-etapa se encarga de la selección de la escala de evaluación y la validación de los puntos de los árboles de competencias en donde existe información cualitativa para inferir, a partir de ella, los niveles más superiores del árbol de competencias y adicionalmente no transferir al procesamiento de árboles información irrelevante o vacía. El filtrado se hace con base en diferentes recomendaciones en las técnicas de filtrado presentadas por [60]. La Figura 35 ilustra el proceso de filtrado de la información contenida en los árboles de competencias.

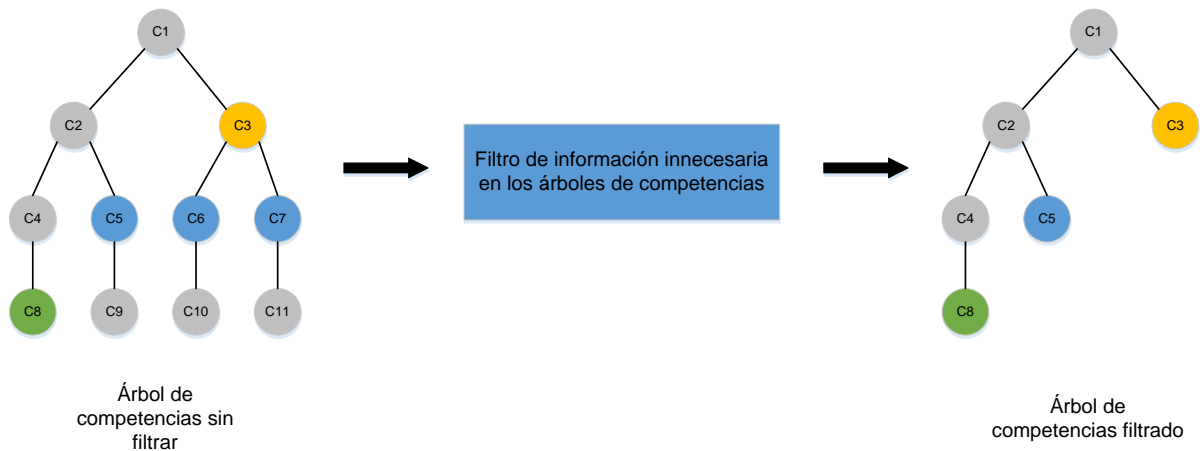


Figura 35. Proceso de filtrado de los árboles de competencias individuales.

En la Figura 35, los componentes pintados en gris (C1, C2, C4, C9, C10, C11) representan puntos con información cualitativa nula. Los puntos con información cualitativa nula únicamente permanecen después del filtrado cuando dentro de sus componentes hay información cualitativa válida, tal es el caso de C4, C2 y C1. Cuando existe un componente con información válida pero esta información es irrelevante, también es filtrado. Tal es el caso de C6 y C7 debido a que C3, que es a quien componen, ya contiene información cualitativa, por lo que no se requiere hacer inferencia de dicha información en ese punto del árbol. El proceso de filtrado de la información es importante porque garantiza la disminución de la carga de procesamiento del núcleo difuso y mejora los tiempos de procesamiento. Luego de que se ha filtrado la información, esta puede ser transferida al núcleo difuso para su procesamiento y ejecución de las operaciones de inferencia sobre ella.

Luego de incorporar en el método los cambios contemplados por la estrategia computacional, este ya cuenta con las funcionalidades necesarias para procesar árboles de competencias individuales o grupales. La ejecución de la estrategia computacional propuesta permitirá procesar árboles de competencias sin importar que sean individuales o grupales debido al reuso del componente de agrupamiento difuso *Fuzzy c-Means* dentro de la obtención del valor cualitativo representativo de un grupo de árboles de competencias individuales a partir de la conformación de una matriz de componentes cualitativos, apuntando a la obtención del árbol de competencias grupal.

Adicionalmente la inclusión del componente de conformación permite optimizar los recursos disponibles en los componentes de Fuzzyficación – Operación – Defuzzyficación al regular la carga que es transferida a ellos por el componente de procesamiento de árboles, por medio del filtrado de información innecesaria dentro del procesamiento de la información cualitativa de los árboles de competencias.

Con lo presentado en este capítulo se da cumplimiento al objetivo específico número dos del presente trabajo investigativo encaminado a “Diseñar una estrategia desde el punto de vista de computacional, para la evaluación grupal de competencias, teniendo en cuenta la adaptación de la técnica para el procesamiento de información cualitativa”, se resalta con la integración de la parte individual desarrollada en los anteriores capítulos, el método propuesto se amplía obteniendo como resultado un método capaz de procesar información de un solo individuo o de un conjunto de estos.

## Resumen

En este capítulo se presenta una estrategia computacional para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación grupal de competencias educativas. En esta estrategia se incluyen las etapas desarrolladas en el método computacional para la evaluación individual de competencias; para ello se hace necesario realizar una adaptación en la etapa de **clustering *Fuzzy C-Means***, para que sea capaz de procesar información en  $n$ -dimensiones y generar un mapeo multidimensional a través

del cual sea posible establecer información representativa de un grupo de datos. Además, se propone una nueva etapa llamada **Conformación de árboles de competencias**, con esta la estrategia computacional es capaz de conformar árboles de competencias tanto para individuos como para grupos y así lograr obtener el resultado cualitativo de los estudiantes y grupos de ellos. En este sentido, al finalizar la estrategia computacional se tiene un método completo que es capaz de realizar procesamiento de información cualitativa en la evaluación individual y grupal de competencias educativas.



## Capítulo 5

### Prototipo de servicio web para la evaluación del método computacional

En este capítulo se desarrolla la descripción de la implementación de un prototipo de servicio web para realizar, posteriormente, la evaluación del método computacional, incluyendo las estrategias grupal e individual, propuesto en el Capítulo 4. En primer lugar, se realiza la construcción de un diseño preliminar de una arquitectura de alto nivel para el desarrollo del sistema de servicio web. De acuerdo al diseño se seleccionan las herramientas software apropiadas para la construcción del prototipo. Finalmente, en base al diseño y a las herramientas seleccionadas se presenta la arquitectura final que describe la implementación del prototipo de servicio web.

#### 5.1. Construcción

Antes de realizar una arquitectura completa, se construyó un diseño preliminar de lo que podría llegar a ser la arquitectura del sistema. Para ello, se tuvieron los siguientes requerimientos

1. El funcionamiento del sistema estará basado en operaciones fundamentales de un servicio web.

2. El sistema incluirá el método computacional para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación de competencias educativas, obtenido al finalizar el Capítulo 4.
3. El sistema podrá conectarse a un servidor de bases de datos en la nube para poder almacenar y gestionar la información necesaria para realizar el procesamiento cualitativo de la evaluación de competencias.

Teniendo en cuenta los anteriores requerimientos, se construye un diseño preliminar del sistema, este se puede observar en la Figura 36.

Cabe aclarar que en el diseño se ha tenido en cuenta los requisitos funcionales y **no** los no funcionales, estos últimos se dejan para un trabajo futuro, no se desarrolla una interfaz amigable para el usuario ya que excede los alcances definidos en el presente trabajo de grado.

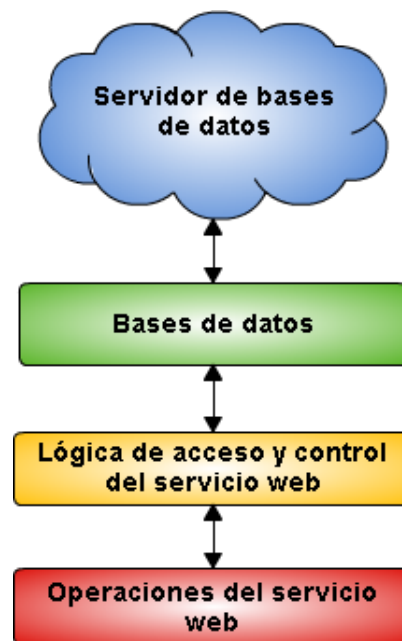


Figura 36. Diseño preliminar de la arquitectura del sistema.

En la Figura 36, se puede observar que la arquitectura preliminar se compone de 3 capas principales: 1) Operaciones del servicio web, que cumple con el primer requerimiento establecido, se construye un servicio web con el fin de obtener un sistema modular, manejable y altamente re-utilizable. Este podrá ser usado en trabajos futuros para elaborar otros servicios a partir de él o aplicaciones que lo consuman. 2) Lógica de acceso y control del servicio web, que cumple con el segundo requerimiento establecido, en esta capa se implementaran componentes diseñados para el método



computacional del Capítulo 4 con el fin de obtener un sistema capaz de realizar procesamiento de información cualitativa en la valuación de competencias. Finalmente, 3) Base de datos, que cumple con el tercer requerimiento establecido; esta capa será capaz de gestionar la información necesaria, proporcionada por un experto en competencias educativas, para que el servicio web pueda realizar su procesamiento y de esa manera almacenar en el servidor de base de datos en la nube.

### 5.1.1. Capa 1: Operaciones del servicio web

En esta capa se encuentran las operaciones fundamentales del servicio web: Procesar árboles de competencias de estudiantes y grupos de ellos; operaciones para crear, leer, actualizar y eliminar (operaciones CRUD) árboles de competencias, estudiantes y grupos. En este sentido esta capa está compuesta por dos módulos: Operaciones CRUD del servicio web y operaciones de procesamiento cualitativo del servicio web. La Figura 37 muestra los módulos de esta capa.



Figura 37. Módulos de la capa 1, operaciones del servicio web.

### 5.1.2. Capa 2: Lógica de acceso y control del servicio web

En esta capa se realiza la gestión para conectar las operaciones del servicio web con la capa de base de datos. Se compone de tres módulos: 1) Estructura de la información, 2) Acceso a base de datos y 3) Procesamiento difuso. La Figura 38 muestra los módulos de esta capa.

En la Figura 38 se puede observar que el módulo de la estructura de la información es la base de los otros dos módulos restantes. Esto se debe a que en primer lugar se debe estructurar la información cualitativa de acuerdo a lo establecido en el Capítulo 2, para que el servicio web lo puede entender y procesar. Una vez estructurada, se

puede realizar el acceso a la base de datos en base a ella y realizar el procesamiento difuso de dicha información cualitativa.

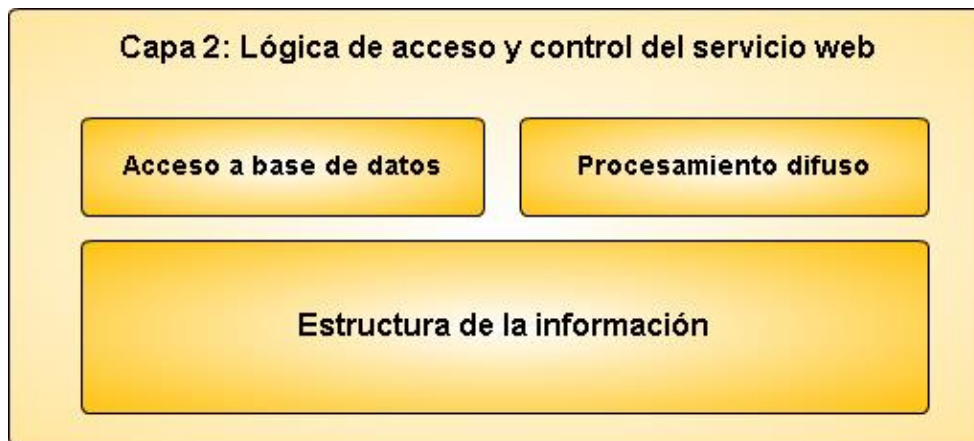


Figura 38. Módulos de la capa2, lógica de acceso y control del servicio web.

#### **a. Estructura de la información**

Este módulo se desarrolla con el fin de organizar la información de acuerdo a los lineamientos establecidos en el Capítulo 2 para el desarrollo del método computacional (ver Capítulo 4). En este se define las clases de cada nivel del árbol de competencias y se establece la forma en cómo deben conformarse teniendo en cuenta la evaluación cualitativa realizada por el experto, la importancia de cada uno de sus niveles y el operador de agregación; clases de la técnica de organización de la información (2-tupla difusa) y finalmente se establece la estructura para conformar los estudiantes, grupos y los árboles de cada uno de ellos.

#### **b. Acceso a base de datos**

En este módulo se encuentran las operaciones para realizar una conexión a la base de datos y terminarla; también se desarrollan las operaciones generales del CRUD para un documento de la base de datos, estas mismas operaciones se desarrollan para estudiantes y grupos.

#### **c. Procesamiento difuso**

En este módulo se realiza todo el procesamiento difuso de la información cualitativa. Se implementan los operadores de agregación, poniendo como operador de defecto el FWA. Se asignan los valores cualitativos, se implementa el algoritmo *Fuzzy C-*

*Means* para el procesamiento de información cualitativa de los grupos, haciendo uso del método desarrollado en el Capítulo 4.

### 5.1.3. Capa 3: Base de datos

Este módulo permite la interacción con el servidor de bases de datos en la nube, realiza transacciones para sobre escribir en él y para obtener información del mismo. Este recibe la información de la capa lógica de acceso y control del servicio web, realiza la gestión adecuada de la misma obteniendo como resultado árboles de competencias totalmente completos, es decir, cada nivel del árbol tiene asignado su valor cualitativo correspondiente, además están asociados a un estudiante y grupo en particular. En este sentido, esta capa sólo posee un módulo: Gestión de la información, la Figura 39 muestra el diagrama de la capa 3.

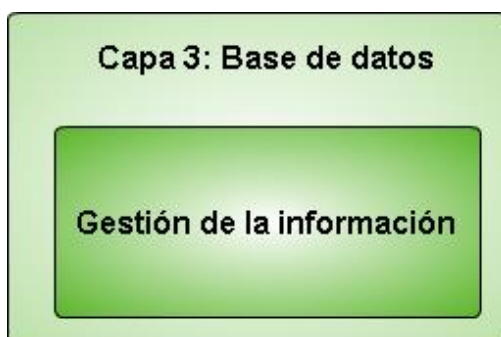


Figura 39. Módulo de la capa 3, base de datos.

Teniendo en cuenta el diseño preliminar para la implementación del prototipo de servicio web, se escoge el software necesario para su desarrollo, en el Anexo E se encuentra plasmada la selección de las herramientas software utilizadas para la implementación del servicio web.

## 5.2. Arquitectura

Tomando como base el diseño preliminar de la sección anterior y la selección de herramientas software presentada en el Anexo E, se obtiene como producto una arquitectura compuesta por tres módulos principales: 1) Servicios, donde se definen las operaciones fundamentales del servicio web sobre las cuales se basa el

funcionamiento del sistema; 2) Composición de servicios, tomando como base el módulo de servicios se construyen servicios más grandes que permiten realizar la adaptación del método computacional para hacer el procesamiento de información cualitativa tanto de manera grupal como individual propuesto en el Capítulo 4; y 3) Base de datos, en este módulo se realiza la estructuración de la información de árboles de competencias, estudiantes y grupos de estudiantes. La arquitectura del sistema se describe a continuación.

### 5.2.1. Arquitectura computacional del sistema

En el desarrollo de la arquitectura computacional del sistema se tomó como referencia la estructura general de SOA (*Service-Oriented Architecture*) que se presenta en el capítulo 4 (*Architecture and design*) del libro rojo de IBM [61], integrando el diseño construido en el Capítulo 5 y teniendo en cuenta las herramientas software seleccionadas en el Anexo E. Partiendo de lo anterior se establecen los siguientes requerimientos.

1. De acuerdo con [61], la base del sistema deben ser los componentes del servicio, estos son sencillos e independientes entre sí; en ese sentido, la base del servicio web estará compuesta por las operaciones fundamentales para el procesamiento de información cualitativa de los estudiantes y grupos. Además, estará compuesta por las operaciones principales para la gestión de la información de la estructura de árboles de competencias que permiten realizar el CRUD de dicha información.
2. De acuerdo con [61] y [62], existe un nivel de la arquitectura orientada a servicios en donde se componen servicios más grandes haciendo uso de las operaciones fundamentales desarrolladas en su base. En este caso, la composición de los servicios más grandes será la estructuración del método computacional, concluido en el Capítulo 4, a partir de las operaciones fundamentales definidas en la base del servicio web en conjunto con operaciones y métodos que se desarrollan en el mismo nivel, con el fin de ayudar en la comunicación entre las operaciones del servicio y este nivel, y completar la integración del método computacional en el sistema.
3. El servicio web contemplará la conexión a una base de datos no relacional, MongoDB, cuyo servidor de datos está en la nube, este servidor es llamado MLab. En este sentido, la arquitectura del servicio tendrá un nivel orientado solo a la base de datos de toda la información de árboles de competencias de estudiantes y

grupos. Esta base de datos debe respetar los criterios de diseño de la estructura de la información desarrollada en el Capítulo 2, de esta manera tanto el servidor de bases de datos y el servicio web estarán en sincronía evitando errores de lectura y edición sobre la información.

De acuerdo a los anteriores requerimientos se establece la estructura computacional del sistema presentada en la Figura 40, en ella se puede observar una arquitectura de tres niveles principales con conexión a un servidor de base de datos en la nube. En esta misma se puede observar el uso de cada herramienta software en cada uno de los niveles de la arquitectura.

- Nivel 1-Servicios: Se escoge Netbeans® como entorno de desarrollo y Glassfish como servidor de aplicaciones.
- Nivel 2-Composición de servicios: Los métodos computacionales se desarrollan en lenguaje Java.
- Nivel 3-Base de datos: Se escoge como plataforma de base de datos MongoDB.
- Servidor de base de datos: Ya que se seleccionó MongoDB para la base de datos es adecuado trabajar con MLab ya que es la plataforma desarrollada para el servicio en la nube de mongo; también es llamado como *MongoDB Hosting*.

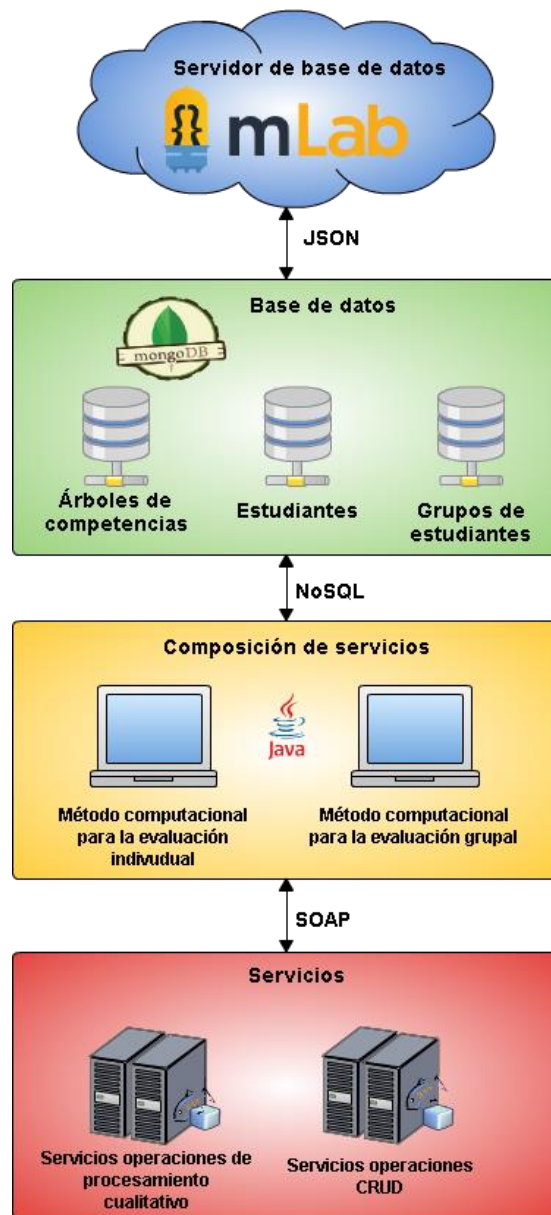


Figura 40. Arquitectura computacional del sistema.

### 5.2.2. Diagrama de componentes

La Figura 41 presenta el diagrama de componentes del sistema implementado de acuerdo a la arquitectura expuesta en la sección anterior, en este se pueden ver las relaciones que existen entre componentes para que el procesamiento de la información cualitativa suministrada en la base de datos se haga efectiva y se logró obtener el resultado de la evaluación de las competencias educativas de los estudiantes y grupos.

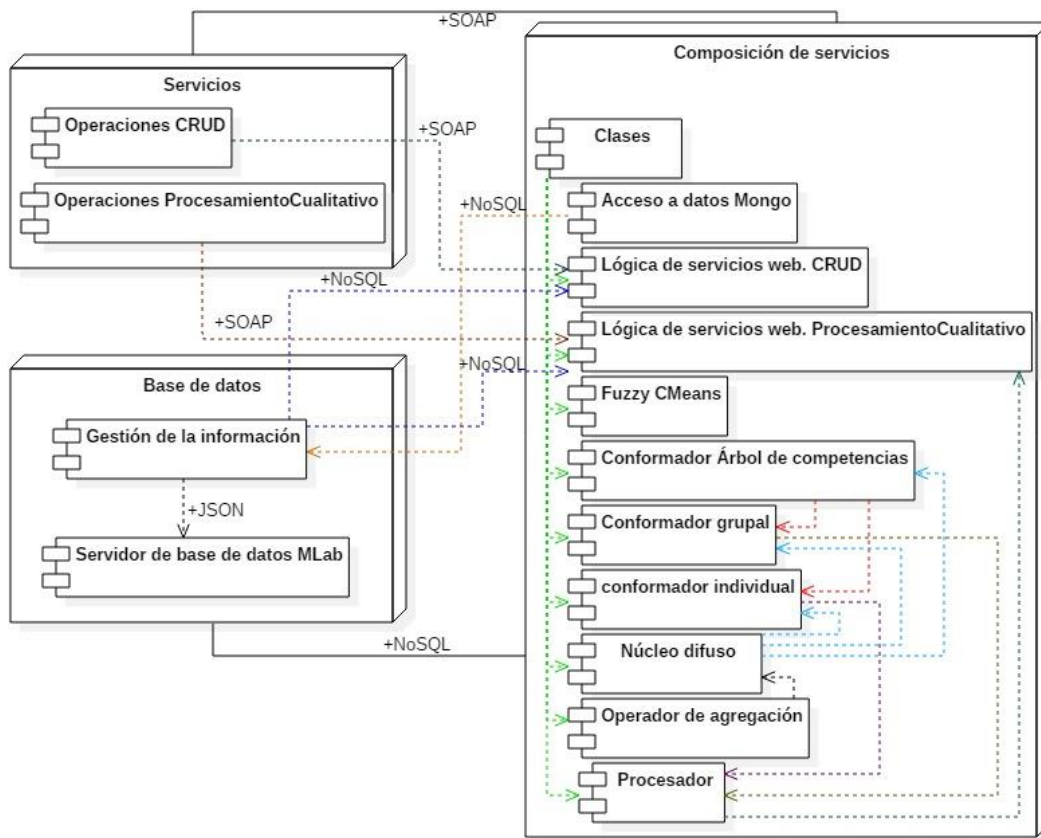


Figura 41. Diagrama de componentes del sistema.

A continuación, se describe cada uno de los componentes de los tres módulos del sistema, presentado en la Figura 41.

### a. Componentes módulo Servicios

Este módulo está compuesto por dos componentes: Operaciones CRUD y operaciones para el procesamiento cualitativo.

#### I. Operaciones CRUD

Este componente tiene como función completar la estructura de la información de las competencias educativas. Con éste se obtiene toda la información necesaria para conseguir realizar el procesamiento cualitativo de una evaluación de competencias educativas tanto de un estudiante como de un grupo de estudiantes. Sus operaciones básicas son: crear, consultar, editar y eliminar; cada una de ellas para cada nivel del árbol de competencias, estudiantes y grupos.

## **II. Operaciones procesamiento cualitativo**

Este componente es quien realiza el procesamiento cualitativo para obtener los resultados de la evaluación de competencias educativas realizadas por un experto. Abstrae la información necesaria de los estudiantes y grupos almacenada en la base de datos, la procesa y los resultados obtenidos los guarda nuevamente en la base de datos, completando finalmente la información de los estudiantes y grupos con su calificación cualitativa final.

### **b. Componentes módulo Composición de servicios**

Este módulo hace referencia al nivel 2 de la arquitectura descrita para el sistema, lo que conlleva a decir que los componentes presentados en la Figura 41 son los que estructuran el método computacional para el procesamiento cualitativo en la evaluación de competencias (ver Capítulo 4).

#### **I. Clases**

En este componente se estructura la información de cada objeto a utilizar en el servicio. Se define la estructura de cada uno de los niveles del árbol de competencias (Competencia, dimensión, sub-competencia, indicador y actividad); se define un objeto denominado componentes el cual captura cada uno de los niveles del árbol. Este último abstrae la información de sus niveles a través del objeto componentes.

Se estructuran los objetos *DosTupla*, *DosTuplaFuzzy*, *EscalaDeEvaluación*, *SubConjuntoDifuso*, *TuplaLinguisticaDifusa* con el fin de obtener la importancia de cada nivel del árbol de competencias, su valor cualitativo, la pertenencia a cada uno de los valores lingüísticos y construir los conjuntos difusos que se componen del valor lingüístico de mayor pertenencia asociado al índice del valor cualitativo.

Finalmente se estructura la información de los estudiantes y grupos. El estudiante abstrae la información del árbol de competencias y los grupos obtienen información de los estudiantes. Cabe resaltar que en la lógica de programación las clases se definen mediante los métodos *set* y *get* que son los que permiten abstraer la información en forma de caja negra. En la Figura 42 se presenta el diagrama de clases de este componente, en ella se puede observar la jerarquía que existe entre cada clase y los objetos que se heredan de ellos.



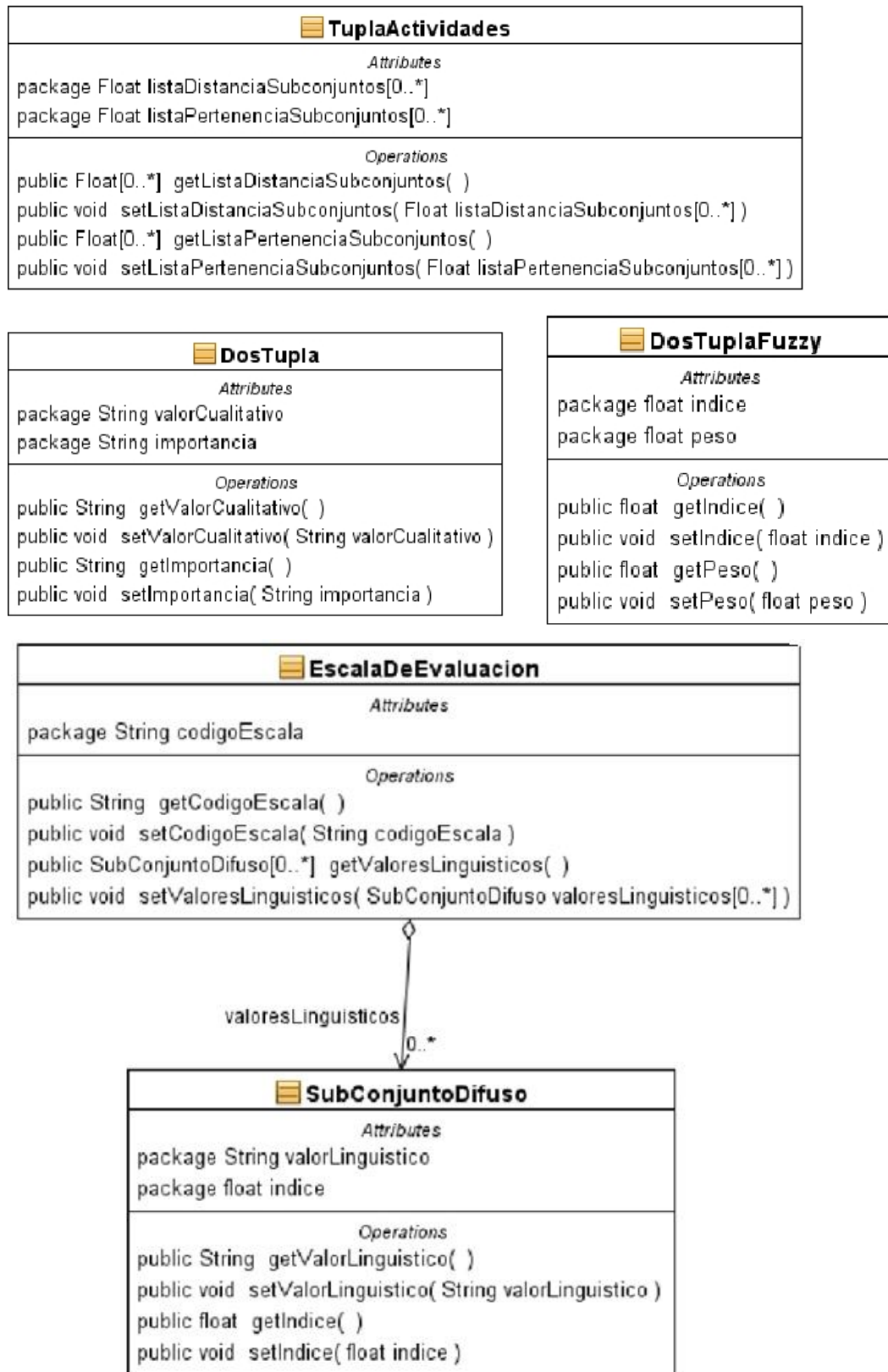


Figura 42 parte A. Diagrama de clases.

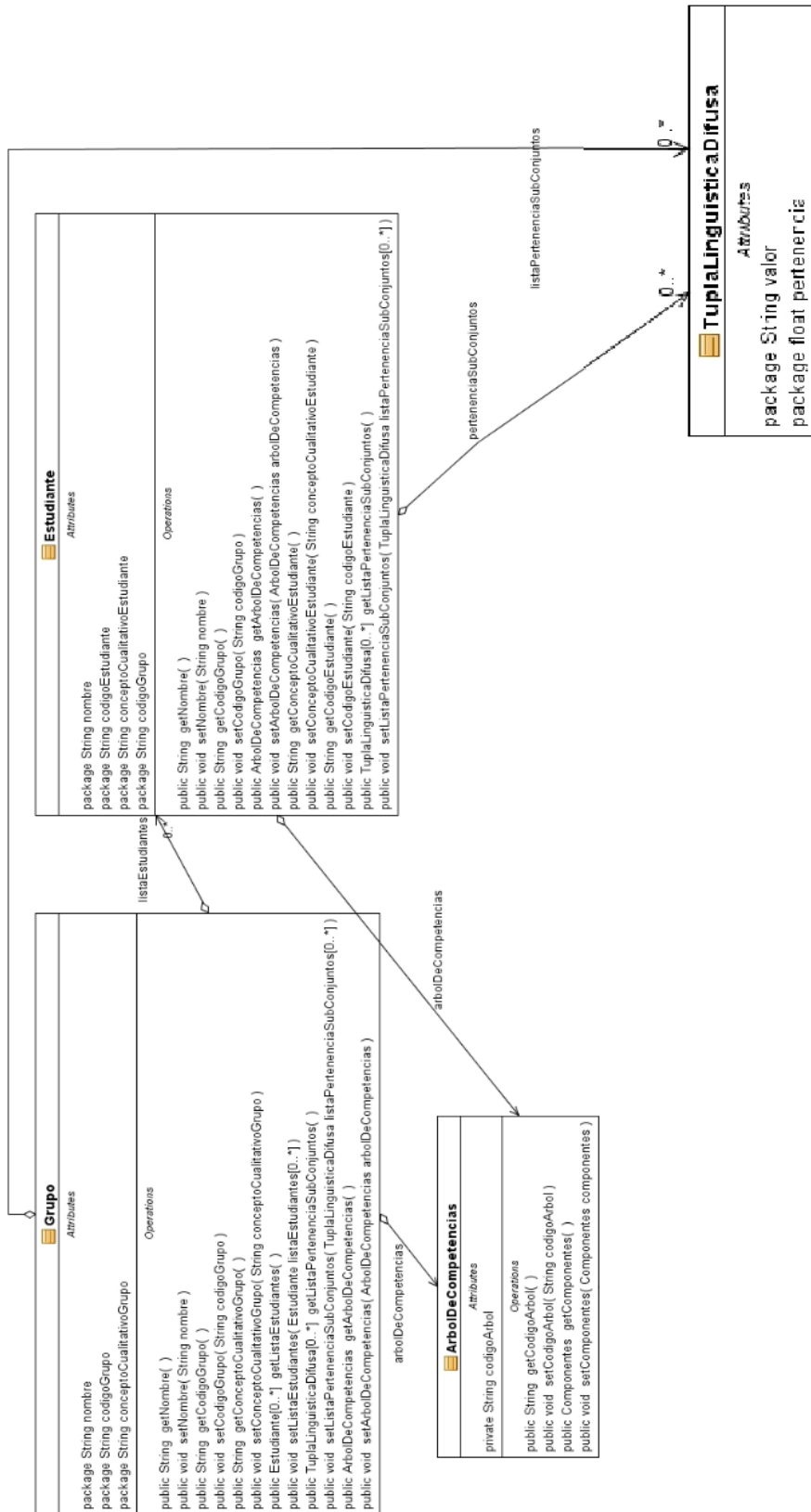


Figura 42 parte B. Diagrama de clases.

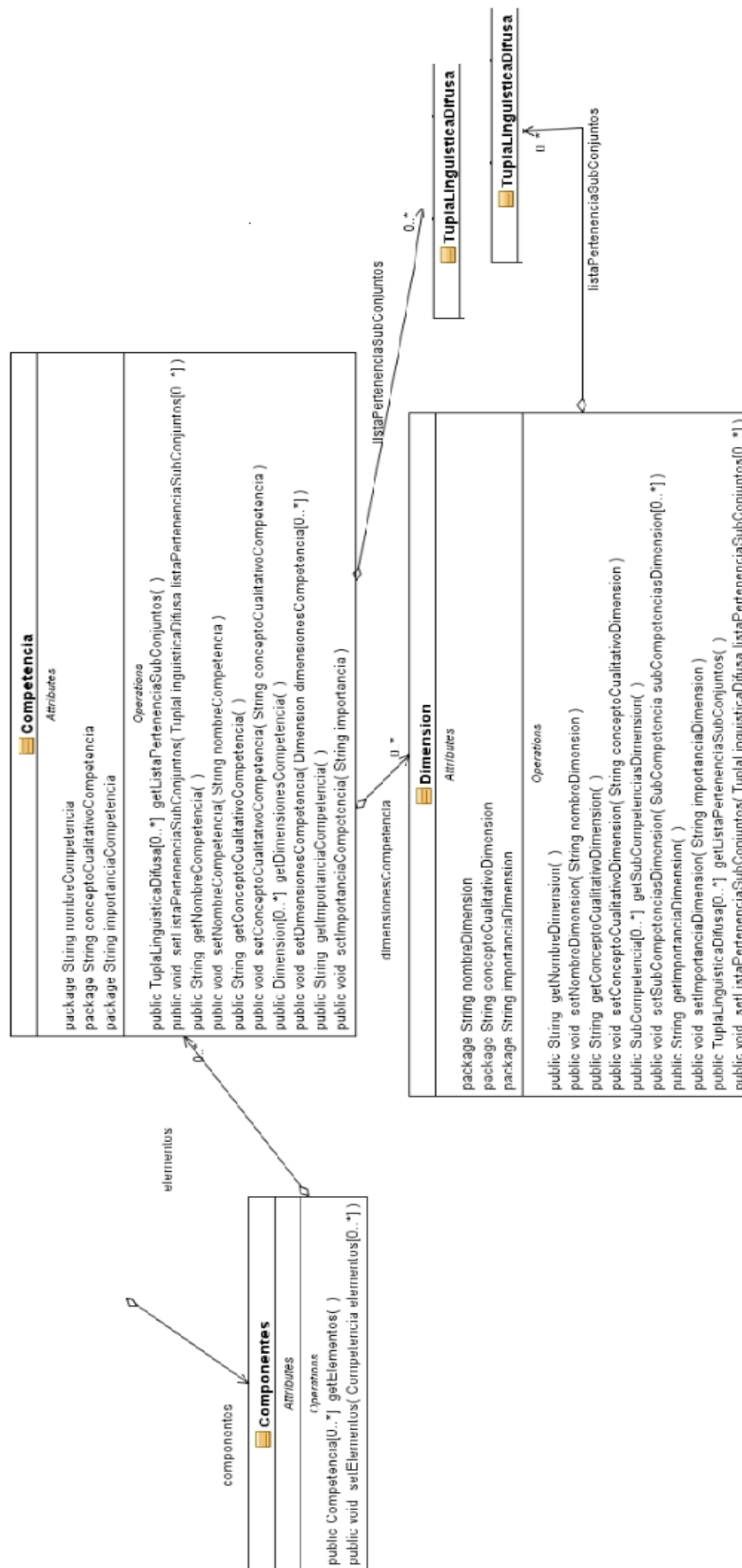


Figura 42 parte C. Diagrama de clases.

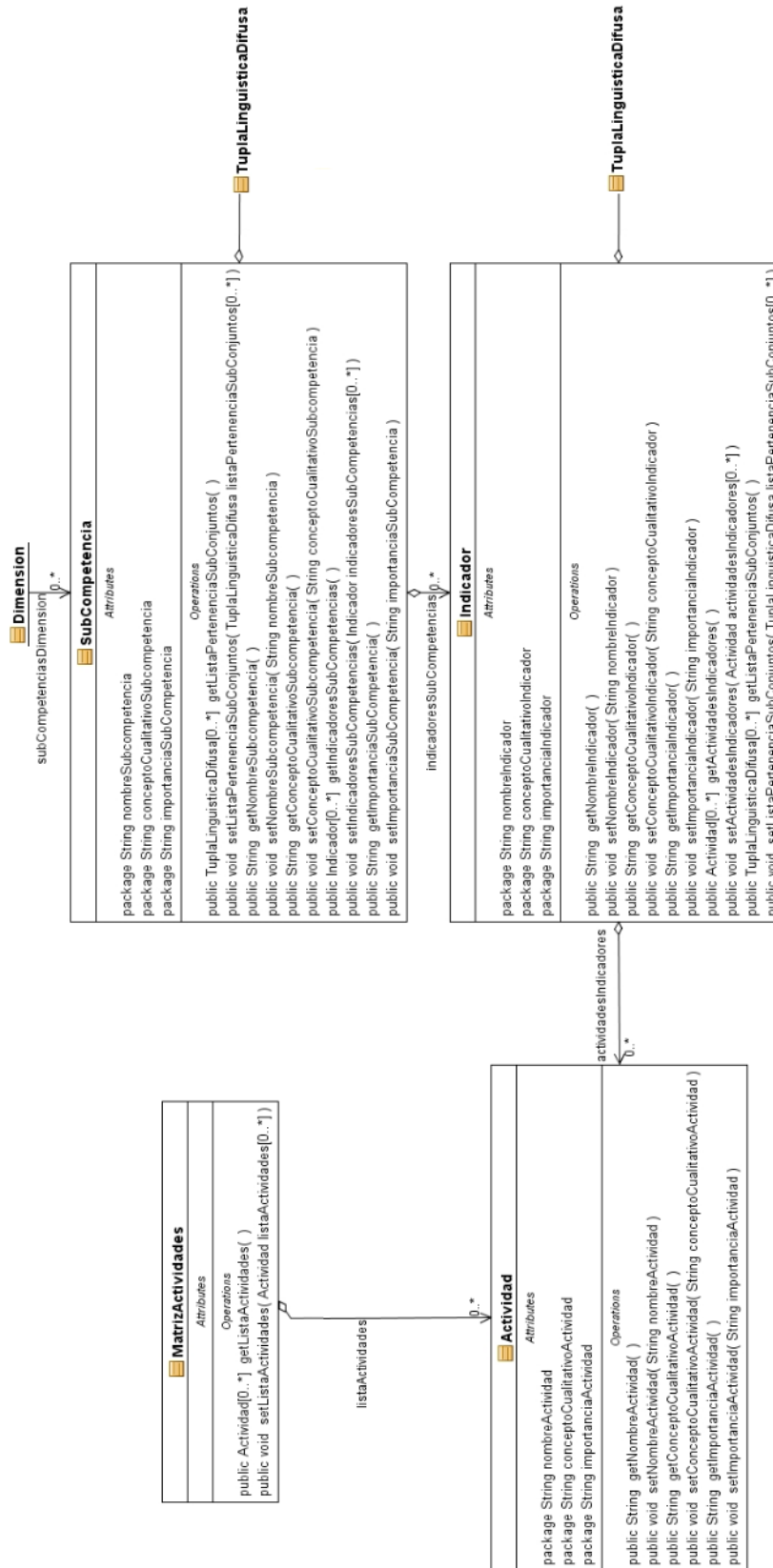


Figura 42 parte D. Diagrama de clases.

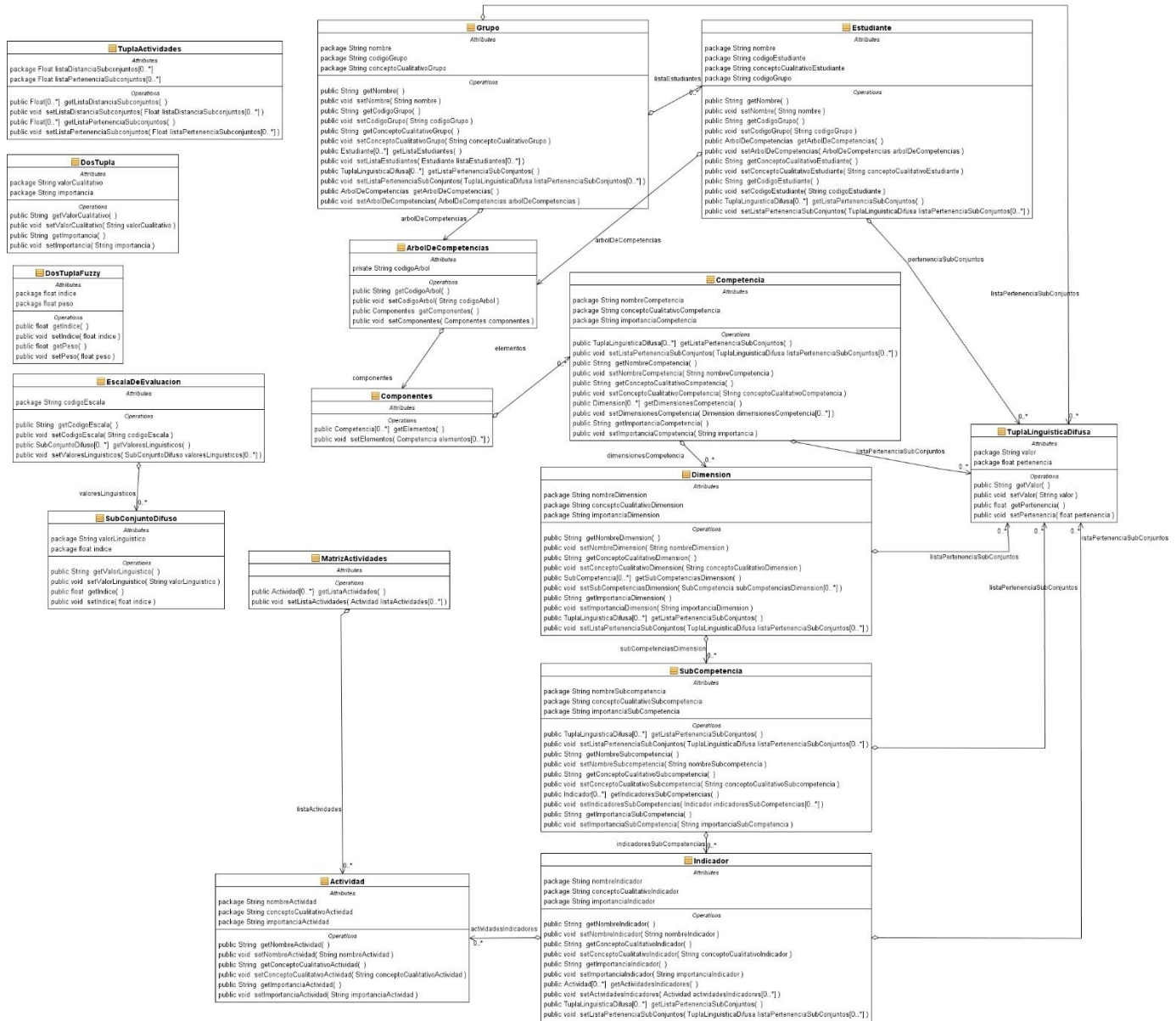


Figura 42. Diagrama de clases unido.

## II. Acceso a datos Mongo

En este componente se crean las funciones necesarias para lograr la conexión con la base de datos Mongo y terminarla, funciones para realizar transacciones como editar, eliminar, consultar o crear un documento. En este componente se construyen las funciones base que posibilitan las operaciones CRUD de los árboles de competencias, estudiantes y grupos.

### **III. Lógica de servicios web, operaciones CRUD**

En este componente se hacen efectivas las operaciones CRUD del módulo de servicios para operar y almacenar en la base de datos la información recolectada en el componente gestión de la información, del módulo base de datos.

### **IV. Lógica de servicios web, procesamiento cualitativo**

En este componente se ejecutan las operaciones del procesamiento cualitativo del módulo de servicios para procesar la información de los estudiantes y grupos, los datos de estos últimos se obtienen del componente gestión de la información, del módulo base de datos. Al procesar la información, el resultado es almacenado en la base de datos Mongo.

### **V. Fuzzy C-Means**

En este componente se ejecuta el algoritmo Fuzzy CMeans, este recibe los objetos *SubConjuntosDifuso* y *TupklaLinguisticaDifusa*, del componente clases. Con esta información él logra calcular las distancias a cada subconjunto y el valor de su pertenencia. Este componente cumple con la función de la fase 8 del método desarrollado en el Capítulo 4.

### **VI. Conformador árbol de competencias**

En este componente se conforman y procesan cada nivel del árbol de competencias (competencia, dimensión, sub-competencia, indicadores y actividad). En cada uno de ellos se evalúa si existe el nivel inferior que le compone, por ejemplo, en el nivel de dimensión se valida si existe el nivel sub-competencia. Además, también se evalúa si tiene un valor cualitativo, de no ser así, se procesa la información para obtener el valor correspondiente a cada nivel del árbol.

### **VII. Conformador grupal**

Tal como su nombre lo indica, en este componente se conforman los grupos de estudiantes con el fin de obtener un árbol de competencias grupal que indique con un resultado cualitativo como está el grupo en cada uno de sus niveles y en la competencia como tal, el valor cualitativo se obtiene a través del núcleo difuso.

### **VIII. Conformador individual**

En este componente se conforman los estudiantes con el objetivo de obtener un árbol de competencias individual que indiquen su desempeño a cada uno de los niveles y

en la competencia en general. Para obtener el resultado este componente hace uso del núcleo difuso.

### **IX. Núcleo difuso**

En este componente se realiza toda la lógica difusa para procesar la información cualitativa y así obtener los conceptos cualitativos de cada uno de los niveles del árbol de competencias. Dentro de este componente se utiliza los operadores de agregación para obtener el resultado cualitativo.

### **X. Operador de agregación**

En este componente se encuentra desarrollada toda la lógica de programación que permite la ejecución de los operadores de agregación FWA, WAA, AA y OWA.

### **XI. Procesador**

Este componente es la interfaz de entrada y salida del servicio, con este se identifica el tipo de información que se desea procesar, si es un estudiante o un grupo; finalmente entrega el resultado de la información cualitativa procesada. Este componente hace efectiva las operaciones de los componentes conformador individual y grupal, lo que le permite entregar el resultado de la evaluación de competencias procesada.

## **c. Componentes módulo Base de datos**

Este módulo está compuesto por un componente estricto del servicio, que es gestión de la información, y uno externo que es el servidor de base de datos MLab.

### **I. Gestión de la información**

En este componente se encuentran las operaciones que permiten hacer efectivo el CRUD de la información. Con este es posible interactuar directamente con el servidor de bases de datos en la nube posibilitando la creación, edición, consulta y eliminación de la información de los árboles de competencias, estudiantes y grupos.

### **II. Servidor de base de datos MLab**

Este componente es un servidor de base de datos en la nube, MLab, que permite el almacenamiento de información gestionada por la base de datos Mongo. Se ha definido como un componente externo ya que este servidor no es un desarrollo del presente trabajo, es un servicio que se adoptó para la gestión de la información.

De acuerdo al diagrama de componentes realizado y a la descripción de cada uno de ellos, se observa que los componentes del segundo módulo del diagrama, composición de componentes, obedecen a la estructura desarrollada para la estrategia computacional (ver Capítulo 4). En ese sentido, los componentes de dicho módulo desarrollan las funciones de las fases descritas para la estrategia; con excepción de los componentes Acceso a datos Mongo, Lógica de servicios web, CRUD; ya que estos se desarrollan especialmente para realizar la gestión de la información y conexión al servidor de base de datos en la nube. La Tabla 9 muestra la relación de los componentes con las fases de la estrategia computacional.

Módulos	Componentes	Fases	Desarrollo
1. Servicios	Operaciones CRUD	X	Implementado para el funcionamiento del servicio web.
	Operaciones ProcesamientoCualitativo		
2. Composición de servicios	Clases	X	Desarrollado para el funcionamiento y uso del servicio web
	Lógica de servicios web, ProcesamientoCualitativo		
	Lógica de servicios web, CRUD	Fase 2. Recorrido del árbol de competencias	Sustituyen las fases 2 y 3, realizan la misma función, pero la información la obtienen desde el servidor de MongoDB.
	Acceso a datos Mongo	Fase 3. Obtención de la información cualitativa disponible	
	<i>Fuzzy C-Means</i>	Fase 8. Clústering Fuzzy C-Means	Desarrollado en la estrategia computacional (Capítulo 4)
	Conformador Árbol de competencias	Fase 4. Conformador de árboles de competencias	Desarrollado en la estrategia computacional (Capítulo 4)
	Conformador grupal		
	Conformador individual		
	Núcleo difuso	Fase 5. Fuzzyficación	Desarrollado en la estrategia computacional (Capítulo 4)
Fase 7. Obtención de pertenencias			



		Fase 9. Valores lingüísticos	
		Fase 10. Datos de modelado de la función de pertenencia	
		Fase 11. Defuzzyficación	
	Operador de agregación	Fase 6. Operación	Desarrollado en la estrategia computacional (Capítulo 4)
	Procesador	Fase 1. Interfaz de la información	Desarrollado en la estrategia computacional (Capítulo 4)
<b>3. Base de datos</b>	Gestión de la información	Fase 12. Reestructuración de la información cualitativa procesada	Sustituye las fases 12 y 13; realiza las mismas funciones que estas fases pero teniendo como base las operaciones CRUD que se realizan con MongoDB.
		Fase 13. Reconstrucción del árbol de competencias	
	Servidor de base de datos Mlab	X	Implementado con el fin de tener un servicio en la nube que almacene de forma ordenada los árboles de competencias de estudiantes y grupos.

Tabla 9. Relación entre los componentes del sistema y las fases de la estrategia computacional.

### 5.2.3. Casos de uso

En la Figura 43 se presenta el diagrama de casos de uso esenciales del sistema implementado.

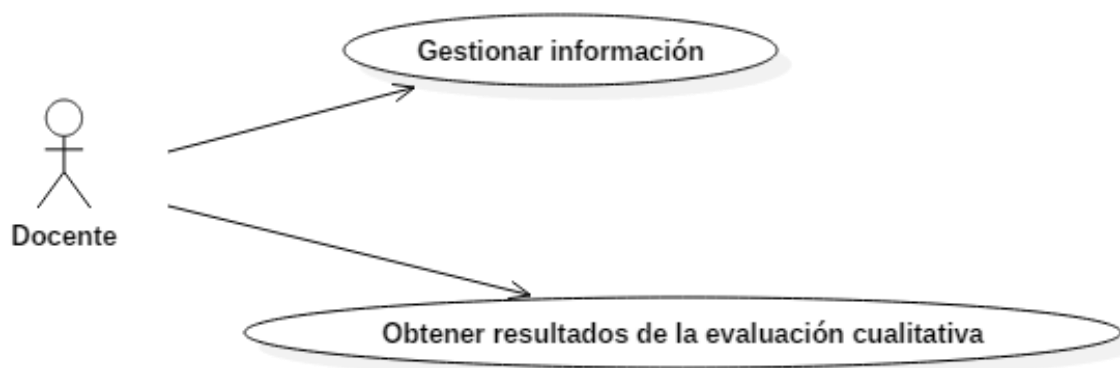


Figura 43. Casos de uso esenciales del sistema.

Dentro del sistema se ha incluido un único actor, Administrador, ya que incluir algún otro implicaría diseñar una interfaz gráfica, lo que excede los alcances del presente trabajo de grado.

A continuación se presenta una descripción de las funcionalidades de cada caso de uso esencial.

#### **a. Gestionar información**

Este caso de uso permite al administrador editar, crear, eliminar o consultar datos referentes a la estructura en árbol de las competencias educativas de los estudiantes o grupos. La información gestionada por el administrador procede de un experto en competencias educativas.

#### **b. Obtener resultados de la evaluación cualitativa**

Este caso de uso permite al administrador obtener el resultado de la información cualitativa gestionada, con este se obtiene un árbol de competencias completo, es decir, cada uno de sus niveles está asociado con un valor cualitativo que define el desempeño del estudiante o grupo en dicho nivel.

En la Figura 44 se puede observar el diagrama de casos de uso extendido. En esta se puede ver que el caso de uso **gestionar información** incluye la gestión de estudiantes, grupos y árboles de competencias. Para cada uno de los anteriores se extienden casos de uso que permiten realizar las operaciones CRUD que ayudan al administrador a crear, editar, eliminar o consultar un estudiante, y la estructura completa del árbol de competencias de un grupo.



Figura 44. Diagrama de casos de uso extendidos.

### 5.2.4. Despliegue del servicio

A continuación se presentan en la Figura 45 y Figura 46 la interfaz gráfica que proporciona el servicio web para realizar un test a cada una de sus operaciones básicas: OperacionesCRUDWS, y OperacionesProcesamientoCualitativoWS.

## OperacionesCRUDWS Web Service Tester

This form will allow you to test your web service implementation ([WSDL File](#))

To invoke an operation, fill the method parameter(s) input boxes and click on the button labeled with the method name.

### Methods :

```
public abstract java.lang.Boolean logicaservicioweb.operacionescrud.OperacionesCRUDWS.eliminarGrupo(java.lang.String)
eliminarGrupo (  )
```

```
public abstract java.lang.Boolean logicaservicioweb.operacionescrud.OperacionesCRUDWS.editarEstudiante(java.lang.String)
editarEstudiante (  )
```

```
public abstract java.lang.String logicaservicioweb.operacionescrud.OperacionesCRUDWS.consultarGrupo(java.lang.String)
consultarGrupo (  )
```

```
public abstract java.lang.Boolean logicaservicioweb.operacionescrud.OperacionesCRUDWS.crearEstudiante(java.lang.String)
crearEstudiante (  )
```

```
public abstract java.lang.Boolean logicaservicioweb.operacionescrud.OperacionesCRUDWS.editarGrupo(java.lang.String)
editarGrupo (  )
```

Figura 45. Test servicio web OperacionesCRUDWS.

## OperacionesProcesamientoCualitativoWS Web Service Tester

This form will allow you to test your web service implementation ([WSDL File](#))

To invoke an operation, fill the method parameter(s) input boxes and click on the button labeled with the method name.

### Methods :

```
public abstract java.lang.String
logicaservicioweb.operacionesprocesamiento.OperacionesProcesamientoCualitativoWS.procesarGrupo(java.lang.String,java.lang.String,boolean,boolean)
procesarGrupo (  |  |  |  )
```

```
public abstract java.lang.String
logicaservicioweb.operacionesprocesamiento.OperacionesProcesamientoCualitativoWS.procesarEstudiante(java.lang.String,java.lang.String,boolean,boolean)
procesarEstudiante (  |  |  |  )
```

Figura 46. Test servicio web OperacionesProcesamientoCualitativoWS.

Al consumir cada una de las operaciones CRUD del servicio web, se obtenía una base de datos sólida almacenada en el servidor de datos en la nube, MLab. La Figura 47 muestra la información de “grupos” almacenada en el servidor Mlab.

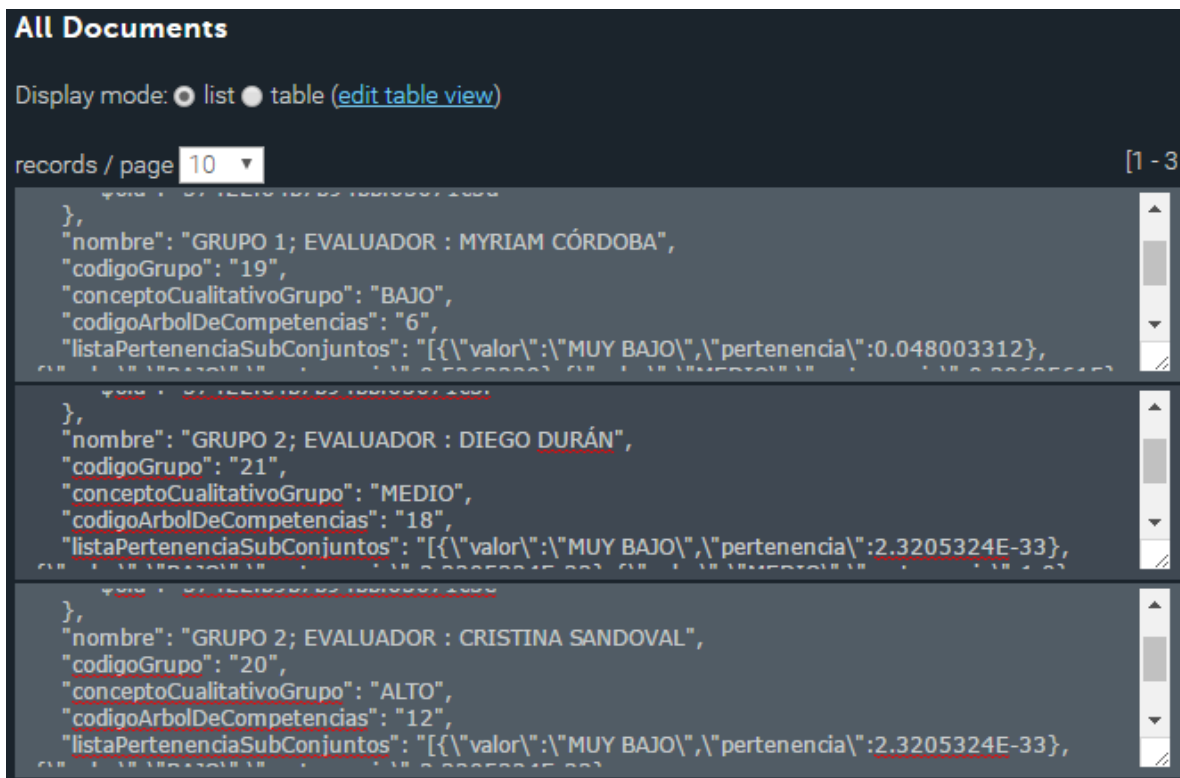


Figura 47. Información de los grupos en el servidor MLab.

En la Figura 47 se puede observar que se almacenaron 3 grupos, cada uno de ellos tiene su respectivo evaluador, en el caso del grupo 1 es Myriam Córdoba. Además, les corresponde un árbol de competencias grupal al cual se asocian con un código; en el caso del grupo 1 el árbol de competencias asociado a él le corresponde el código 6. En la Figura 48 se observa el árbol de competencias de código 6 almacenado en MLab, en formato BSON.

En la Figura 48 se puede observar el código del árbol de competencias, código 6, y los componentes que conforman el árbol de competencias, tales como competencia, dimensión, sub-competencia, indicador y actividad, con su respectivo concepto cualitativo. Lo anterior se presenta en la figura, resaltado en amarillo.

```

1 {
2   "_id": {
3     "$oid": "57422450b7b94bbf63071c30"
4   },
5   "codigoArbol": "6",
6   "componentes": {
7     "elementos": [
8       {
9         "nombreCompetencia": "c1",
10        "conceptoCualitativoCompetencia": "BAJO",
11        "importanciaCompetencia": "MUY
12        ALTO",
13        "dimensionesCompetencia": [
14          {
15            "nombreDimension": "d1.1",
16            "conceptoCualitativoDimension": "BAJO",
17            "subCompetenciasDimension": [
18              {
19                "nombreSubcompetencia": "sc1.1",
20                "conceptoCualitativoSubcompetencia": "BAJO",
21                "indicadoresSubCompetencias": [
22                  {
23                    "nombreIndicador": "i1.1.1",
24                    "conceptoCualitativoIndicador": "BAJO",
25                    "importanciaIndicador": "MUY ALTO",
26                    "actividadesIndicadores": [
27                      {
28                        "nombreActividad": "a1.1.1.1",
29                        "conceptoCualitativoActividad": "MEDIO",
30                        "importanciaActividad": "ALTO",
31                        "nombreActividad": "a1.1.1.2",
32                        "conceptoCualitativoActividad": "BAJO",
33                        "importanciaActividad": "MUY ALTO",
34                        "listaPerteneanciaSubConjuntos": [
35                          {
36                            "valor": "MEDIO",
37                            "perteneancia": "0.29695615",
38                            "valor": "ALTO",
39                            "perteneancia": "0.039714552",
40                            "valor": "MUY ALTO",
41                            "perteneancia": "0.014913743",
42                            "nombreIndicador": "i1.1.1.2",
43                            "conceptoCualitativoIndicador": "MEDIO",
44                            "importanciaIndicador": "MEDIO",
45                            "actividadesIndicadores": [
46                              {
47                                "nombreActividad": "a1.1.1.2.1",
48                                "conceptoCualitativoActividad": "MEDIO",
49                                "importanciaActividad": "MEDIO",
50                                "nombreActividad": "a1.1.1.2.2",
51                                "conceptoCualitativoActividad": "MEDIO",
52                                "importanciaActividad": "MUY ALTO",
53                                "listaPerteneanciaSubConjuntos": [
54                                  {
55                                    "valor": "MUY BAJO",
56                                    "perteneancia": "2.3205324E-33",
57                                    "valor": "BAJO",
58                                    "perteneancia": "2.3205324E-33",
59                                    "valor": "MUY ALTO",
60                                    "perteneancia": "2.3205324E-33",
61                                    "nombreIndicador": "i1.1.1.3",
62                                    "conceptoCualitativoIndicador": "BAJO",
63                                    "importanciaIndicador": "MUY ALTO",
64                                    "actividadesIndicadores": [
65                                      {
66                                        "nombreActividad": "a1.1.1.3.1",
67                                        "conceptoCualitativoActividad": "BAJO",
68                                        "importanciaActividad": "ALTO",
69                                        "nombreActividad": "a1.1.1.3.2",
70                                        "conceptoCualitativoActividad": "MEDIO",
71                                        "importanciaActividad": "MEDIO",
72                                        "listaPerteneanciaSubConjuntos": [
73                                          {
74                                            "valor": "BAJO",
75                                            "perteneancia": "0.57457757",
76                                            "valor": "MEDIO",
77                                            "perteneancia": "0.25653085",
78                                            "valor": "ALTO",
79                                            "perteneancia": "0.0364733",
80                                            "valor": "MUY ALTO",
81                                            "perteneancia": "0.013887719",
82                                            "nombreIndicador": "i1.1.1.4",
83                                            "conceptoCualitativoIndicador": "BAJO",
84                                            "importanciaIndicador": "ALTO",
85                                            "actividadesIndicadores": [

```

Figura 48. Árbol de competencias grupal, Grupo 1.

A cada operación del servicio le corresponde un archivo WSDL que especifica el funcionamiento del servicio para dichas operaciones. La Figura 49 y Figura 50 presentan los archivos WSDL para las operaciones CRUD y procesamiento cualitativo, respectivamente.

```

<!--
  Published by JAX-WS RI (http://jax-ws.java.net). RI's version is Metro/2.3.2-b608 (trunk-7979; 2015-01-21T12:50:19+0000) JAXWS-RI/2.2.11-b150120.1832 JAXWS-
  -->
<!--
  Generated by JAX-WS RI (http://jax-ws.java.net). RI's version is Metro/2.3.2-b608 (trunk-7979; 2015-01-21T12:50:19+0000) JAXWS-RI/2.2.11-b150120.1832 JAXWS-
  -->
<definitions xmlns:wsu="http://docs.oasis-open.org/wss/2004/01/oasis-200401-wss-wssecurity-utility-1.0.xsd" xmlns:wsp="http://www.w3.org/ns/ws-policy"
  xmlns:wsp1_2="http://schemas.xmlsoap.org/ws/2004/09/policy" xmlns:wsam="http://www.w3.org/2007/05/addressing/metadata" xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/ws:
  xmlns:tns="http://OperacionesCRUD.logicaServicioWeb/" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/" targetNamespace="ht
  name="OperacionesCRUDWS">
  <types>
  <xsd:schema>
  <xsd:import namespace="http://OperacionesCRUD.logicaServicioWeb/" schemaLocation="http://localhost:8080/QuIPECA-WS-Version1.1/OperacionesCRUDWS?xsd=1"/>
  </xsd:schema>
  </types>
  <message name="eliminarGrupo">...</message>
  <message name="eliminarGrupoResponse">...</message>
  <message name="editarEstudiante">...</message>
  <message name="editarEstudianteResponse">...</message>
  <message name="consultarGrupo">...</message>
  <message name="consultarGrupoResponse">...</message>
  <message name="crearEstudiante">...</message>
  <message name="crearEstudianteResponse">...</message>
  <message name="editarGrupo">...</message>
  <message name="editarGrupoResponse">...</message>
  <message name="crearGrupo">...</message>
  <message name="crearGrupoResponse">...</message>
  <message name="editarArbolDeCompetencias">...</message>
  <message name="editarArbolDeCompetenciasResponse">...</message>
  <message name="eliminarEscalaEvaluacion">...</message>
  <message name="eliminarArbolDeCompetencias">...</message>
  <message name="eliminarArbolDeCompetenciasResponse">...</message>
  <message name="consultarArbolDeCompetencias">...</message>
  <message name="consultarArbolDeCompetenciasResponse">...</message>
  <message name="eliminarEstudiante">...</message>
  <message name="eliminarEstudianteResponse">...</message>
  <message name="consultarEstudiante">...</message>
  <message name="consultarEstudianteResponse">...</message>
  <message name="crearEscalaEvaluacion">...</message>
  <message name="crearEscalaEvaluacionResponse">...</message>
  <message name="editarEscalaEvaluacion">...</message>
  <message name="editarEscalaEvaluacionResponse">...</message>
  <message name="consultarEscalaEvaluacion">...</message>
  <message name="consultarEscalaEvaluacionResponse">...</message>
  <message name="crearArbolDeCompetencias">...</message>
  <message name="crearArbolDeCompetenciasResponse">...</message>
  </portType>
  <binding name="OperacionesCRUDWSPortBinding" type="tns:OperacionesCRUDWS">
  <soap:binding transport="http://schemas.xmlsoap.org/soap/http" style="document"/>
  <operation name="eliminarGrupo">...</operation>
  <operation name="editarEstudiante">...</operation>
  <operation name="consultarGrupo">...</operation>
  <operation name="crearEstudiante">...</operation>
  <operation name="editarGrupo">...</operation>
  <operation name="crearGrupo">...</operation>
  <operation name="editarArbolDeCompetencias">...</operation>
  <operation name="eliminarEscalaEvaluacion">...</operation>
  <operation name="eliminarArbolDeCompetencias">...</operation>
  <operation name="consultarArbolDeCompetencias">...</operation>
  <operation name="eliminarEstudiante">...</operation>
  <operation name="consultarEstudiante">...</operation>
  <operation name="consultarEstudiante">...</operation>
  <operation name="crearEscalaEvaluacion">...</operation>
  <operation name="editarEscalaEvaluacion">...</operation>
  <operation name="consultarEscalaEvaluacion">...</operation>
  <operation name="crearArbolDeCompetencias">...</operation>
  </binding>
  <service name="OperacionesCRUDWS">
  <port name="OperacionesCRUDWSPort" binding="tns:OperacionesCRUDWSPortBinding">
  <soap:address location="http://localhost:8080/QuIPECA-WS-Version1.1/OperacionesCRUDWS"/>
  </port>
  </service>
  </definitions>
  
```

Figura 49. WSDL OperacionesCRUDWS.

```

<!--
  Published by JAX-WS RI (http://jax-ws.java.net). RI's version is Metro/2.3.2-b608 (trunk-7979; 2015-01-21T12:50:19+0000) JAXWS-RI/2.2.11-b150120.1832 JAXWS-API/2.2.12 JAXB-RI/2.2.12-b1
-->
<!--
  Generated by JAX-WS RI (http://jax-ws.java.net). RI's version is Metro/2.3.2-b608 (trunk-7979; 2015-01-21T12:50:19+0000) JAXWS-RI/2.2.11-b150120.1832 JAXWS-API/2.2.12 JAXB-RI/2.2.12-b1
-->
<!--
  Definitions xmlns:wsu="http://docs.oasis-open.org/wss/2004/01/oasis-200401-wss-wssecurity-utility-1.0.xsd" xmlns:wsp="http://www.w3.org/ns/ws-policy"
  xmlns:wsp1_2="http://schemas.xmlsoap.org/ws/2004/09/policy" xmlns:w3="http://www.w3.org/2007/05/addressing/metadata" xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap/"
  xmlns:tns="http://OperacionesProcesamiento.LogicaServicioWeb/" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns: xsi="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/"
  targetNamespace="http://OperacionesProcesamiento.LogicaServicioWeb/" name="OperacionesProcesamientoCualitativoWS">
  <types>
    <xsd:schema>
      <xsd:import namespace="http://OperacionesProcesamiento.LogicaServicioWeb/" schemaLocation="http://localhost:8080/QUIPECA-WS-Version1.1/OperacionesProcesamientoCualitativoWS?xsd=1"/>
      </xsd:schema>
    </types>
    <message name="procesoGrupo">...</message>
    <message name="procesoGrupoResponse">...</message>
    <message name="procesoEstudiante">...</message>
    <message name="procesoEstudianteResponse">...</message>
    <portType name="OperacionesProcesamientoCualitativoWS">
      <operation name="procesoGrupo">...</operation>
      <operation name="procesoEstudiante">...</operation>
    </portType>
    <binding name="OperacionesProcesamientoCualitativoWSPortBinding" type="tns:OperacionesProcesamientoCualitativoWS">
      <soap:binding transport="http://schemas.xmlsoap.org/soap/http" style="document"/>
      <operation name="procesoGrupo">...</operation>
      <operation name="procesoEstudiante">...</operation>
    </binding>
    <service name="OperacionesProcesamientoCualitativoWS">
      <port name="OperacionesProcesamientoCualitativoWSPort" binding="tns:OperacionesProcesamientoCualitativoWSPortBinding">
        <soap:address location="http://localhost:8080/QUIPECA-WS-Version1.1/OperacionesProcesamientoCualitativoWS"/>
      </port>
    </service>
  </definitions>

```

Figura 50. WSDL OperacionesProcesamientoCualitativoWS.



En la Figura 49 y Figura 50 se puede observar que el archivo WSDL se define en 6 elementos:

Tipos de datos (*Types*) que son los que definen el tipo de datos utilizado en los mensajes.

Mensajes (*Messages*), definen los elementos que conforman las comunicaciones. Por lo general hay dos mensajes por cada operación, uno a la entrada y otro a la salida, que es la respuesta.

Tipos de puerto (*portType*), estos definen las operaciones que se permiten y los mensajes intercambiados.

*Binding*, son los que definen los protocolos de comunicación.

Puertos (*port*), definen la dirección de los *binding*.

Servicios (*Service*), definen el conjunto de puertos.

Finalmente, en el Anexo G se presenta el manual de usuario para la instalación y ejecución del servicio web.

## Resumen

En este capítulo se presentó la descripción de la arquitectura para el desarrollo de un sistema basado en un servicio web para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación de competencias. Esta se propone bajo la estructura general de SOA, obteniendo una arquitectura de tres niveles: Servicios, Composición de servicios y Base de datos, conectada a un servidor de base de datos en la nube.

Del capítulo se desprende el Anexo E que contiene las herramientas software seleccionadas para el desarrollo del prototipo y el Anexo G que contiene el manual de usuario para el servicio web.



## Capítulo 6

# Evaluación de desempeño del método computacional

Este capítulo presenta las pruebas de desempeño que se han concentrado en medir dos aspectos importantes: 1) la medición de la precisión, a partir del conteo de aciertos, y 2) la medición de semejanza a partir del uso de la norma  $L_1$  considerando que los árboles de competencias pueden tratarse como espacios vectoriales de Banach luego de un proceso de fuzzyficación, como se verá más adelante. Estos dos factores de medición se evalúan con respecto a una información proporcionada por un grupo de expertos en competencias educativas. El procedimiento de pruebas para medir el desempeño en estos dos aspectos estará guiado por los estándares de pruebas de software de unidad IEEE 1008 [63] y pruebas de integración de sistemas ISO/IEC/IEEE 29119 – 2 [64] adaptados a los objetivos y características del trabajo. La documentación de las pruebas se basó en lo establecido por el estándar ISO/IEC/IEEE 29119 – 3 [65].

El capítulo presenta la gestión de ejecución de las pruebas (Diseño, ejecución, gestión de resultados). Para asegurar la integridad y coherencia del prototipo de implementación con el método computacional propuesto, previo a las pruebas de desempeño se realizaron pruebas funcionales al prototipo.

## 6.1. Metodología de las pruebas

La metodología de pruebas del método computacional se basa en el modelo de pruebas expuesto por IEEE 29119 [64] incluyendo algunas fases de la anterior versión del modelo de pruebas unitarias IEEE 1008 [63]. A partir de estos dos modelos se construye la metodología de pruebas a la que se va a someter el método computacional para el procesamiento de información cualitativa desarrollado en los capítulos anteriores. La metodología adoptada es presentada en el Anexo F.

## 6.2. Desarrollo de las pruebas

### 6.2.1. Especificación de las pruebas

#### a. Políticas de pruebas

- **Objetivo de las pruebas:** Medir el desempeño del método computacional desarrollado frente a dos métricas específicas como son la semejanza y el nivel de precisión de los resultados obtenidos a través del método, en contraste con resultados obtenidos por un grupo de expertos para un caso de estudio común.
- **Alcance de las pruebas:** Se contemplan dos tipos de pruebas donde lo esencial se concentra en la medición del desempeño del método computacional desarrollado. Las pruebas incluyen: dos pruebas de desempeño (una de semejanza y otra de precisión) dentro del procesamiento de árboles de competencias **individuales** para los árboles de competencias de quince estudiantes; dos pruebas de desempeño (una de semejanza y otra de precisión) dentro del procesamiento de árboles de competencias **grupales** para los árboles de competencias de tres grupos de estudiantes con cinco integrantes cada uno. Adicionalmente se realizaron pruebas para garantizar las funcionalidades del prototipo y la correcta implementación del método computacional en el mismo. Para ello se realizaron pruebas unitarias y pruebas integrales.
- **Organización de la estructura de las pruebas:** La estructura de las pruebas está compuesta por dos actores: Los coordinadores de las pruebas y el grupo de

expertos. Este apartado se presenta en calidad de Anexo F. **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

- **Entrenamiento del equipo de pruebas:** Consiste en socializar las pruebas que se realizarán con los expertos. Este apartado se presenta en calidad de Anexo F.

## 6.2.2. Estrategia de las pruebas

### a. Procesos de las pruebas

El proceso de las pruebas de desempeño estuvo guiado por las actividades descritas en la Tabla 12, presentada en el Anexo F, y obedece a lo dispuesto por IEEE 29119-2 [65], [64] é IEEE 1008 [63].

### b. Personal de las pruebas

El personal involucrado en las pruebas de desempeño y sus roles se describen en la Tabla 10.

Nombre	Rol	Reseña
Andrea Otero Cano	Coordinador de prueba	Estudiante de último semestre del Programa de Ingeniería electrónica y de telecomunicaciones y titular de este trabajo de investigación
Fredy Guerrero C.	Coordinador de prueba	Estudiante de último semestre del Programa de Ingeniería electrónica y de telecomunicaciones y titular de este trabajo de investigación
Myriam Córdoba Solarte	Experto 1	Licenciada en educación primaria de la Universidad de San Buenaventura con más de 25 años de experiencia en asesoría educativa, instrucción y evaluación de competencias, logros e indicadores, en instituciones educativas oficiales y privadas
Cristina Sandoval	Experto 2	Licenciada en educación pre-escolar de carreras intermedias de UCICA de la ciudad de Popayán, con 25 años de experiencia en el nivel jardín con niños de 4 y 5 años, en especial en institución privada Colegio los Andes de la ciudad.
Diego Durán Dorado	Experto 3	Magister en Ingeniería Telemática, candidato a Doctor en Ingeniería Telemática, con cinco años de experiencia en docencia universitaria y básica secundaria. Ha participado como coordinador del área de matemáticas en básica secundaria, formulando propuestas para la consecución de metas de aprendizaje.
Eliana Burbano	Experto 4 (de respaldo)	Estudiante de último semestre de Educación para la primera infancia, con 3 años de experiencia docente en jardín.

Tabla 10. Personal de las pruebas.

### **c. Productos de las pruebas**

A lo largo del desarrollo de las pruebas se generaron los siguientes productos: Reporte de resultados de expertos, reporte estadístico de semejanza, reporte estadístico de precisión, reporte de riesgos y reporte de mitigación. Cada uno de los anteriores productos se describen en el Anexo F.

### **d. Técnicas de las pruebas**

Se usaron diferentes técnicas para las pruebas funcionales y las pruebas de desempeño. Para las primeras se usaron técnicas basadas en la experiencia; para las pruebas de desempeño se realizaron mediciones de semejanza y precisión. Este apartado se amplía en calidad de Anexo F.

### **e. Herramientas de las pruebas**

Este apartado se presenta en calidad de Anexo F.

## **6.3. Gestión de planeación de las pruebas**

### **6.3.1. Planeación de las pruebas**

Dentro de la planeación de las pruebas se tiene en cuenta las actividades que se realizan para ejecutarlas, se realiza un programa de pruebas donde se hace un seguimiento a cada actividad estipulada. Este apartado se amplía en calidad de Anexo F.

### **6.3.2. Control y seguimiento**

El control y seguimiento va encaminado a la identificación y valoración de riesgos, y a la mitigación de los mismos. Este apartado se presenta en calidad de Anexo F.

### 6.3.3. Establecimiento de métricas de desempeño

#### a. Justificación de las métricas de desempeño

De acuerdo con los objetivos de las pruebas de evaluación de desempeño, las preguntas que se quieren resolver a partir del desarrollo de las pruebas son las siguientes.

- ¿**Qué tan parecidos** son los resultados obtenidos en el procesamiento de árboles de competencias a través del método computacional propuesto en comparación con resultados obtenidos por un experto en los procesos de evaluación individual y grupal de competencias educativas? – en pocas palabras, esta pregunta apunta a saber qué tan semejantes (numéricamente hablando) son los resultados obtenidos por un experto a los resultados obtenidos por el método computacional propuesto en la evaluación individual y grupal de competencias educativas.
- ¿**Qué tan precisos** son los resultados obtenidos en el procesamiento de árboles de competencias a través del método computacional propuesto en comparación con resultados obtenidos por un experto en los procesos de evaluación individual y grupal de competencias educativas?, esto con el fin de realizar la medición de semejanza entre el método y el concepto del experto.

En ese sentido se necesita aplicar dos métricas formales. Una de ellas con la intención de medir la semejanza entre dos elementos de información (en este caso árboles de competencias) y otra que sea capaz de medir la precisión (coincidencias) entre dos elementos de información (igualmente árboles de competencias), entendiendo precisión como un índice de los elementos que tienen en común y que son exactamente iguales. A partir de estas consideraciones se propone usar como métrica de semejanza a  $L_p$  *norm* que ya ha sido usada para el cálculo de semejanza de información como se puede ver en [66], [67] y [68]. Esta métrica ha sido de mucha utilidad para el cálculo de semejanza en información multidimensional [67], como es el caso de los árboles de competencias. En [69] se realiza la evaluación de un conjunto de reglas difusas a partir de expresiones matemáticas que guardan estrecha relación con  $L_p$  *norm*, en tanto [70] y [71] presentan mecanismos para el óptimo cálculo de  $p$ . Como se puede notar, esta es una métrica muy documentada y usada ampliamente en el cálculo de semejanza de información.

Por otro lado, la métrica de precisión es aplicada como una medida más exigente del desempeño al buscar los elementos en común de dos vectores multidimensionales de información como se puede ver en [72]. Esta es una métrica más sencilla de aplicar porque no discrimina la naturaleza de los datos (no importa si son cualitativos o cuantitativos) debido a que únicamente evalúa que dos elementos sean exactamente iguales.

Estas métricas son aplicadas para comparar los resultados obtenidos por el método computacional propuesto, frente a una pequeña base de conocimiento construida con resultados alcanzados por expertos en los procesos de evaluación de competencias.

### b. Descripción de las métricas usadas

- Métrica de semejanza  $L_p$  norm: la métrica de semejanza, ahora en adelante índice de semejanza, se calcula a partir de operaciones matemáticas definidas para  $L_p$  norm. De acuerdo con [73] un conjunto de información multidimensional capaz de ser representada numéricamente puede ser considerada un espacio de Banach. En ese sentido, luego de un proceso de fuzzyficación, un árbol de competencias puede ser considerado un espacio de Banach. En los espacios de Banach se encuentran contenidos los espacios  $L_p$  a los que se aplica la métrica de semejanza  $L_p$  norm. Para un espacio vectorial continuo,  $L_p$  norm se define matemáticamente en (22).

$$\|f\|_{L_p} = \left( \int_{-\infty}^{\infty} |f(x)|^p \cdot dx \right)^{\frac{1}{p}} \quad (22)$$

Para un espacio vectorial discreto, como los árboles de competencias, la expresión anterior se define en (23).

$$\|f\|_{L_p} = \left( \sum_{-\infty}^{\infty} |a_n|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (23)$$

Ahora,  $L_p$  norm entre dos espacios vectoriales denotados como  $X, Y$  a través de la diferencia de vectores se define en (24).

$$\|X, Y\|_{L_p} = \left( \sum_{i=-n}^n |X_i - Y_i|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (24)$$



Pero para el caso particular, el coeficiente de la sumatoria varía desde 0 hasta n, por lo que se redefinen los límites de la sumatoria, en (25) se presenta la expresión matemática.

$$||X, Y||_{L_p} = \left( \sum_{i=0}^n |X_i - Y_i|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (25)$$

Lo siguiente es determinar el exponente  $p$  adecuado. Algunos procedimientos para encontrar este coeficiente se pueden ver en [71] y [70]. Debido a que este procedimiento ya ha sido adelantado por [74] y [67] en donde a partir de sus resultados se concluye que para el cálculo de semejanza el exponente  $p = 1$  es el más adecuado, la métrica de semejanza se hará con  $p = 1$  con lo que la  $L_p norm$  se transforma en  $L_1 norm$ . De esta manera, Se define matemáticamente la semejanza de dos espacios vectoriales a partir de  $L_1 norm$  en (26).

$$S(X, Y)_{L_1} = \sum_{i=0}^n |X_i - Y_i| \quad (26)$$

La expresión normalizada de  $L_p norm$  se define en (27).

$$||X, Y||_{L_p N} = \frac{(\sum_{i=0}^n |X_i - Y_i|^p)^{\frac{1}{p}}}{L_\infty} \quad (27)$$

En consecuencia a (28) se obtiene la expresión final de semejanza (29)

$$||X||_{L_\infty} = \max\{|x_1|, |x_2|, |x_3| \dots |x_n|\} \quad (28)$$

$$S(X, Y)_{L_1} = \frac{\sum_{i=0}^n |X_i - Y_i|}{\max\{|x_i|, |y_i|\}} \quad (29)$$

Esta es la expresión matemática a partir de la cual se encontrará la semejanza entre dos árboles de competencias considerados como vectores multidimensionales. Pero antes de poder aplicar esta métrica, hay que recordar que la información contenida en los árboles de competencias es cualitativa y esta es una métrica cuantitativa, por lo que antes de poder aplicarla a los árboles de competencias, estos deben pasar por un proceso de fuzzyficación. La Figura 51 ilustra el proceso mencionado.

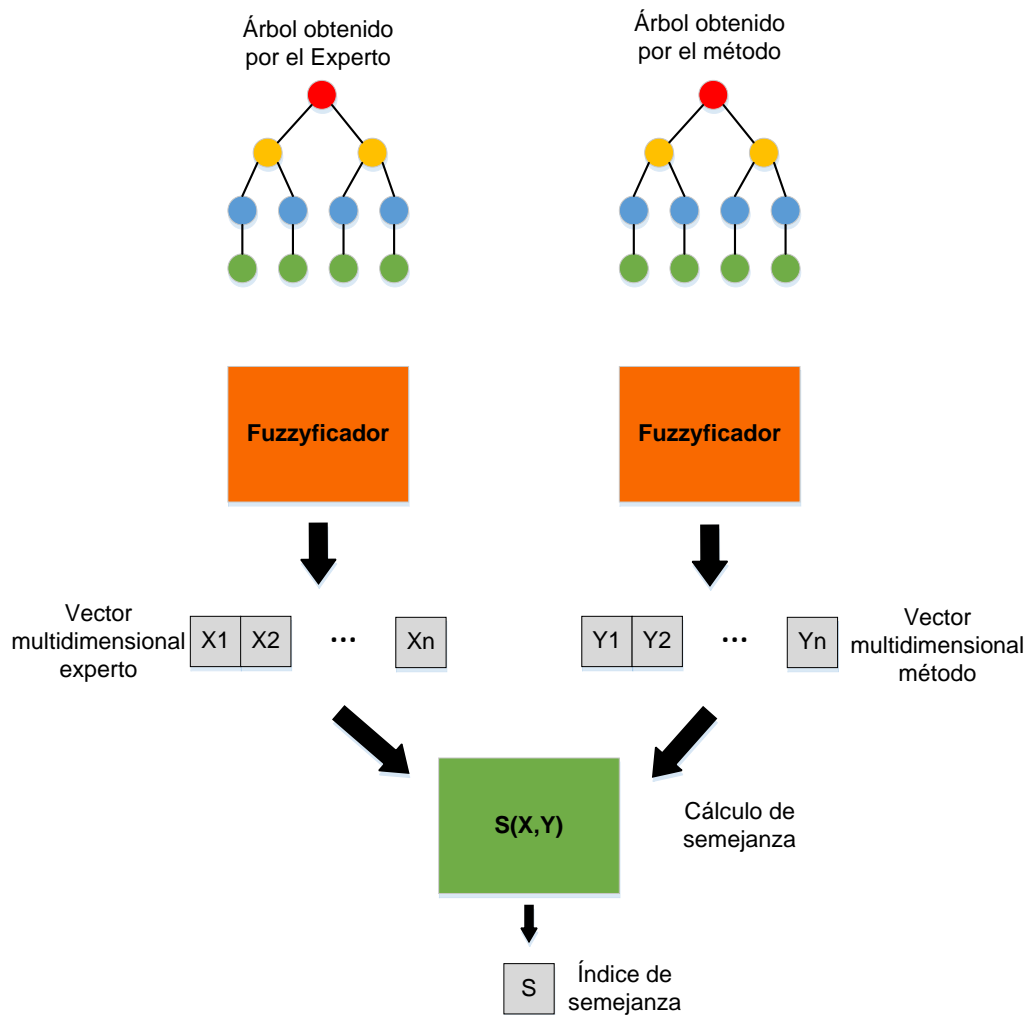


Figura 51. Proceso de cálculo de semejanza entre dos árboles de competencias.

- Métrica de precisión: la métrica de precisión, de ahora en adelante llamada índice de precisión, se calcula mediante un *matching* entre cada elemento de los árboles de competencia a los que se les va a aplicar la métrica. Si los elementos coinciden el *matching* arroja un 1, de lo contrario arroja un cero de la siguiente manera.

Sea  $m(x_i, y_i)$ , la función de *matching* entre el elemento  $i$ -ésimo del vector multidimensional  $X$  y el elemento  $i$ -ésimo del vector multidimensional  $Y$ , ambos árboles de competencias. Se define la función  $m$  en (30).

$$m(x_i, y_i) = \begin{cases} 1 & \text{si } x_i = y_i \\ 0 & \text{si } x_i \neq y_i \end{cases} \quad (30)$$

De esta manera, computacionalmente no interesa la naturaleza de la información contenida en los vectores  $X$  y  $Y$  porque si es cuantitativa se hace una comparación numérica y si es cualitativa (palabras) se hace una comparación de texto.

Ahora se considera a  $P(X, Y)$  como la función de precisión entre los vectores multidimensionales (árboles de competencias)  $X$  y  $Y$ . Se define la función  $P(X, Y)$  en (31).

$$P(X, Y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m(x_i, y_i) \quad (31)$$

De esta manera,  $P(X, Y)$  es un número real entre 0 y 1 que indica el grado de precisión (coincidencia) de dos árboles de competencias representados en los vectores multidimensionales  $X$  y  $Y$ . La Figura 52 ilustra el proceso para el cálculo de la precisión entre dos árboles de competencias.

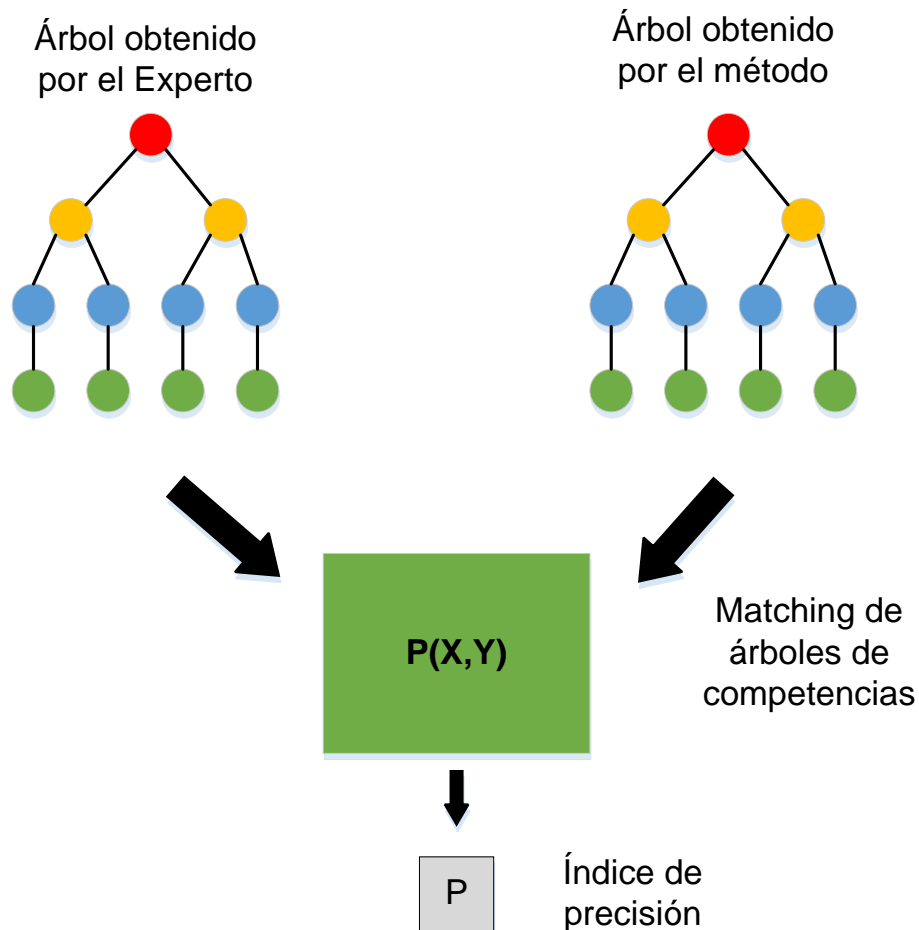


Figura 52. Proceso para calcular el índice de precisión.

### c. Mecanismos de recolección de métricas

Para facilitar la recolección de las métricas definidas para la evaluación de desempeño del método propuesto, dentro del prototipo se implementó un módulo de impresión de información que genera un registro con la información necesaria de las métricas organizadas en un formato de tabulaciones. Esta información se obtiene a través de la consola de ejecución del prototipo. Luego de recibirla en el formato de tabulación esta información esta se despliega y organiza en un formato de Excel dispuesto para tal fin y que hace parte de los productos de las pruebas.

## 6.4. Gestión de ejecución de las pruebas

### 6.4.1. Diseño de las pruebas

#### a. Fases de las pruebas

Todas las pruebas de desempeño estuvieron guiadas por un conjunto de fases común. La Figura 53 muestra las fases comunes de las pruebas de desempeño.

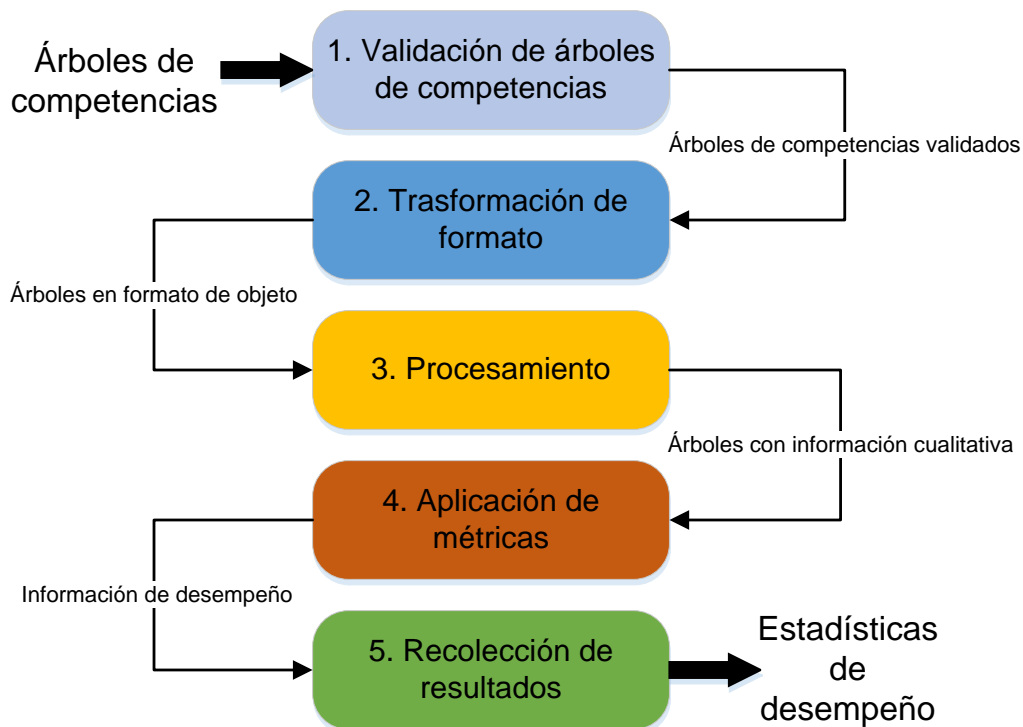


Figura 53. Fases comunes de las pruebas de desempeño.

A continuación, se describen brevemente las fases de las pruebas.

**1. Validación de árboles de competencias:** en esta fase se hace una comprobación tanto de la estructura que debe tener cada árbol, así como también que cada árbol contenga la información mínima necesaria para su procesamiento.

**2. Transformación de formato:** una vez se han validado los árboles de competencias estos se convierten desde un formato de Excel a un formato de objetos. Mediante el módulo CRUD del prototipo estos objetos se almacenan en una base de datos y están listos para la fase de procesamiento.

**3. Procesamiento:** para la fase de procesamiento, a través de la interfaz lógica del prototipo se envían instrucciones para procesar un determinado árbol o un grupo de árboles. El resultado de la fase de procesamiento se almacena igualmente desde la base de datos. Adicionalmente, en esta etapa se produce una salida por consola que contiene el resultado del procesamiento (el árbol de competencias en un formato de tabulaciones) y un log donde se imprimen los errores que surjan dentro del prototipo.

**4. Aplicación de métricas:** luego de que se han procesado los árboles, estos son contrastados con los mismos árboles, en este caso, obtenidos por el grupo de expertos. Este procedimiento se realiza aplicando las métricas de semejanza y precisión definidas previamente. Producto de esta fase obtenemos información de desempeño. Se produce información de semejanza y precisión para cada componente de los árboles.

**5. Recolección de resultados:** en esta fase la información que ha surgido en la fase anterior es organizada en un formato de Excel y se consolidan las cifras estadísticas entorno a ella. El producto final es un formato estadístico que expresa numéricamente el desempeño del método para cada árbol, cada experto y cada métrica.

#### **b. Preparación del entorno**

Este apartado se presenta en calidad de Anexo F.

#### **c. Pruebas individuales**

Se han programado 15 pruebas individuales en las cuales se ha involucrado a los tres expertos previstos para las pruebas (ver Anexo F). Los árboles de competencias usados para estas pruebas se encuentran en este documento en calidad de Anexo F. A continuación, en la Tabla 11 se describen las pruebas individuales.

Identificador	Experto	Coordinador	Métricas
P.I.01	Experto 1	Fredy Guerrero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.02	Experto 2	Andrea Otero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.03	Experto 3	Andrea Otero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.04	Experto 1	Fredy Guerrero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.05	Experto 2	Andrea Otero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.06	Experto 3	Fredy Guerrero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.07	Experto 1	Fredy Guerrero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.08	Experto 2	Andrea Otero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.09	Experto 3	Andrea Otero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.10	Experto 1	Fredy Guerrero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.11	Experto 2	Andrea Otero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.12	Experto 3	Fredy Guerrero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.13	Experto 1	Fredy Guerrero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.14	Experto 2	Andrea Otero	S(X,Y) y P(X,Y)
P.I.15	Experto 3	Andrea Otero	S(X,Y) y P(X,Y)

Tabla 11. Pruebas individuales.

#### d. Pruebas grupales

Se programaron tres pruebas grupales, una por cada experto. Los árboles de competencias usados para estas pruebas pueden ser consultados en calidad de Anexo F. A continuación, la Tabla 12 describe las pruebas grupales que se hicieron.

Identificador	Experto	Coordinador	Número de árboles	Número de elementos por árbol	Métricas
P.G.01	E. 1	F. Guerrero	5	289	S(X,Y) y P(X,Y)
P.G.02	E. 2	A. Otero	5	11	S(X,Y) y P(X,Y)
P.G.03	E. 3	A. Otero	5	84	S(X,Y) y P(X,Y)

Tabla 12. Pruebas grupales.

## 6.4.2. Ejecución de las pruebas

### a. Especificación de casos de estudio

La especificación de los casos de estudio se presenta a continuación en la Tabla 13.

Identificador	Experto	Descripción
C.E.01	E.1	Árboles de competencias de lenguaje y sociales de estudiantes de tercero a quinto de primaria de instituciones educativas de la ciudad de Pasto bajo los lineamientos del estándar nacional de competencias
C.E.02	E.2	Árboles de competencias de estudiantes de jardín de instituciones educativas de la ciudad de Popayán en las competencias Socio-Afectiva, Psicomotricidad y Estructuración espacial
C.E.03	E.3	Árboles de competencias de matemáticas de estudiantes de tercero a quinto de primaria de instituciones educativas de la ciudad de Popayán bajo los lineamientos del estándar nacional de competencias

Tabla 13. Especificación de casos de estudio.

### b. Especificación de procedimientos del test

El orden de ejecución de los casos de pruebas es presentado en el Anexo F.

## 6.4.3. Gestión de los resultados

### a. Recolección y organización de los resultados

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas de desempeño realizadas al método computacional propuesto. Inicialmente se presentan los resultados de desempeño del método en los procesos de evaluación individual de competencias. Posteriormente se presentan los resultados de desempeño del mismo en los procesos de evaluación grupal de competencias educativas.

Los resultados son presentados únicamente en formato numérico. En la siguiente sección, en donde se analizan dichos resultados, se presentan gráficas de la información contenida en esta sección, a partir de las cuales se establecen conclusiones acerca del desempeño del método propuesto.

### - Resultados de desempeño del método computacional

A continuación, se presenta la información recolectada durante el proceso de pruebas para los árboles de competencia individuales. Por esta razón, los resultados que se presentan cubren únicamente el desempeño del método individual para el procesamiento de información cualitativa en la evaluación de competencias educativas. La Tabla 14 contiene los resultados mencionados. En la información presentada a continuación se incluye los resultados de semejanza **S(x)** y precisión **P(x)** para cada estudiante.

En la siguiente tabla, el código del estudiante se asigna de acuerdo al experto, de esta manera el estudiante E1.1 será el estudiante 1 del grupo asignado al experto 1. El número de elementos hace referencia a la cantidad de elementos inferidos por el método para cada estudiante. La ponderación corresponde a la media geométrica tanto de semejanza como de precisión.

Experto	Estudiante	Número de elementos	Semejanza S(x)	Precisión P(x)
E. 1	E1.1	111	0,9729	0,8918
	E1.2	111	0,9864	0,9459
	E1.3	111	0,9774	0,9099
	E1.4	111	0,9797	0,9189
	E1.5	111	0,9797	0,9189
E. 2	E2.1	12	1	1
	E2.2	12	0,9375	0,75
	E2.3	12	0,9062	0,625
	E2.4	12	0,9375	0,75
	E2.5	12	0,9583	0,875
E. 3	E3.1	33	0,9393	0,7878
	E3.2	33	0,9393	0,7575
	E3.3	33	0,9393	0,8181
	E3.4	33	0,9848	0,9393
	E3.5	33	0,9924	0,9696
<b>Ponderación</b>			0,9620	0,85718

Tabla 14. Resultados de desempeño a nivel individual.

A continuación, en la Tabla 15 se presenta la desviación estándar tanto de los resultados de semejanza como de precisión para cada experto en la evaluación de desempeño a nivel grupal. Esta desviación fue calculada a partir de la variación de los datos de semejanza y precisión de cada grupo de estudiantes. Como se verá más adelante, la desviación estándar permite establecer una relación entre el número de elementos del árbol y la estabilidad en los resultados del método propuesto.



Experto	Desviación Estándar	
	D(S(x))	D(M(x))
Experto 1	0,0048803	0,01954385
Experto 2	0,0345607	0,14252193
Experto 3	0,0271361	0,09436881

Tabla 15. Desviación estándar para las métricas de semejanza y precisión por experto.

En la Tabla 15, la desviación estándar más baja fue obtenida por el experto 1 (en verde), seguido por el experto 3 (en amarillo) y finalizando con el experto 2 (en rojo). Una desviación estándar baja indica que la dispersión de los datos es mínima por lo que hay alta; en ese sentido, una desviación estándar baja es el caso más deseable y favorable.

A continuación, en la Tabla 16, se presentan los resultados de semejanza y precisión Para el grupo de estudiantes evaluado por el experto 1. Estos resultados muestran los índices de semejanza y precisión para cada nivel del árbol de competencias (indicadores, sub-competencias, dimensiones, competencias). Adicionalmente se presenta el cálculo de la desviación estándar en los resultados de desempeño obtenidos para cada estudiante. Esto permitirá establecer la estabilidad del método para cada estudiante.

Estudiante	Niveles	Semejanza S(x)	Precisión P(x)	Desv. Estándar S(x)	Desv. Estándar P(x)
E1.1	Indicadores	0,9719	0,8876	0,01406	0,0562
	Subcompetencias	0,9792	0,9167		
	Dimensiones	0,9688	0,875		
	Competencias	1	1		
E1.2	Indicadores	0,9831	0,9326	0,00843	0,0337
	Subcompetencias	1	1		
	Dimensiones	1	1		
	Competencias	1	1		
E1.3	Indicadores	0,9803	0,9213	0,05081	0,2032
	Subcompetencias	0,9792	0,9167		
	Dimensiones	0,9688	0,875		
	Competencias	0,875	0,5		
E1.4	Indicadores	0,9803	0,9213	0,01304	0,0522
	Subcompetencias	0,9792	0,9167		
	Dimensiones	0,9688	0,875		
	Competencias	1	1		
E1.5	Indicadores	0,9831	0,9326	0,05137	0,2055

	Subcompetencias	0,9792	0,9167		
	Dimensiones	0,9688	0,875		
	Competencias	0,875	0,5		

Tabla 16. Resultados de semejanza y precisión para el experto 1 por niveles.

En la Tabla 16, el estudiante 2 (en verde) obtuvo los resultados más estables por niveles, lo cual se ve reflejado en la baja desviación de los índices de precisión y semejanza. Por otro lado, el estudiante 5 obtuvo la desviación más alta y por consiguiente los resultados más inestables por niveles en el árbol de competencias.

A continuación, la Tabla 17 presenta los resultados de desempeño del método propuesto para el grupo asignado al experto 2. Se presenta información acerca de los índices de semejanza y precisión para cada estudiante y en cada nivel del árbol de competencias.

Estudiante	Niveles	S(x)	P(x)	D(S(x))	D(P(x))
E2.1	Indicadores	1	1	0	0
	Subcompetencias	1	1		
	Dimensiones	1	1		
	Competencias	1	1		
E2.2	Indicadores	1	1	0,07217	0,2887
	Subcompetencias	1	1		
	Dimensiones	0,875	0,5		
	Competencias	0,875	0,5		
E2.3	Indicadores	1	1	0,05984	0,2394
	Subcompetencias	0,9375	0,75		
	Dimensiones	0,875	0,5		
	Competencias	0,875	0,5		
E2.4	Indicadores	1	1	0,07217	0,2887
	Subcompetencias	1	1		
	Dimensiones	0,875	0,5		
	Competencias	0,875	0,5		
E2.5	Indicadores	1	1	0,03125	0,125
	Subcompetencias	0,9375	0,75		
	Dimensiones	1	1		
	Competencias	1	1		

Tabla 17. Resultados de semejanza y precisión para el experto 2 por niveles.

En la Tabla 17, el método acertó en todos los niveles de desempeño para el estudiante 1 del grupo asignado al experto 2. Por esta razón el índice de semejanza como el de precisión son iguales en todos los niveles y la desviación estándar vista por ambos

índices es cero. Adicionalmente, el desempeño del método para el estudiante 5 de este mismo grupo también mostró resultados positivos, acertando completamente en 3 de los 4 niveles del árbol de competencias y obteniendo resultados satisfactorios tanto en semejanza como en precisión para el nivel restante. Aun así, la desviación estándar fue bastante alta en el desempeño del método para los estudiantes 2 y 4. Lo que explica la brecha que produce una alta desviación estándar para los resultados generales del experto 2.

A continuación, en la Tabla 18 se presentan los resultados de desempeño del método propuesto para el caso de estudio del experto 3. Aquí se presentan los índices de semejanza y precisión para cada nivel del árbol de competencias de cada estudiante y adicionalmente se presenta la desviación estándar de dichos resultados por estudiante.

Estudiante	Niveles	S(x)	P(x)	D(S(x))	D(P(x))
E3.1	Indicadores	0,9444	0,7778	0,03056	0,1222
	Subcompetencias	1	1		
	Dimensiones	0,95	0,8		
	Competencias	1	1		
E3.2	Indicadores	0,9444	0,7778	0,04843	0,1937
	Subcompetencias	1	1		
	Dimensiones	0,9	0,6		
	Competencias	1	1		
E3.3	Indicadores	0,963	0,8519	0,11251	0,45
	Subcompetencias	1	1		
	Dimensiones	0,95	0,8		
	Competencias	0,75	0		
E3.4	Indicadores	0,9907	0,963	0,02386	0,0954
	Subcompetencias	1	1		
	Dimensiones	0,95	0,8		
	Competencias	1	1		
E3.5	Indicadores	0,9907	0,963	0,00463	0,0185
	Subcompetencias	1	1		
	Dimensiones	1	1		
	Competencias	1	1		

Tabla 18. Resultados de semejanza y precisión para el experto 3 por niveles.

En la Tabla 18 se presenta la mayor desviación estándar dentro de los resultados de las pruebas de desempeño del método propuesto. Como se puede observar, el estudiante 3 del grupo asignado al experto 3 presentó una Desviación estándar de 0,1 para el índice de semejanza y de 0,45 para el índice de precisión. Esto indica que el

método fue poco estable para la evaluación de este estudiante. A pesar de esto, los índices de semejanza y precisión para el resto de estudiantes muestran buenos resultados.

A continuación, la Tabla 19 presenta información que relaciona el número de elementos de cada árbol de competencias, la semejanza promedio, la precisión promedio y la estabilidad de cada métrica. La estabilidad de cada métrica se calcula como uno menos la desviación estándar de la métrica analizada.

Experto	No de elementos	S(x) promedio	P(x) promedio	Estabilidad de S(x)	Estabilidad de P(x)
E2	12	0,9479	0,8	0,965439256	0,857478072
E3	33	0,95902	0,85446	0,972863917	0,905631186
E1	111	0,97922	0,91708	0,995119734	0,980456152
<b>Ponderación</b>		0,9620467	0,85718	0,977807636	0,914521803

Tabla 19. Relación de precisión, semejanza y estabilidad con número de elementos del árbol.

En la Tabla 19, los mejores resultados de desempeño del método propuesto fueron observados en el grupo del experto 1 que trabajó con el árbol de competencias más grande (111 elementos). Por otro lado, el desempeño más bajo se observó en el experto dos, con el árbol más pequeño de la prueba (12 elementos). Se cree que esto sucede porque cuando hay más elementos o información en el árbol, el algoritmo cuenta con mayor número de criterios para clasificarlo. En promedio la semejanza fue del 96,2%, precisión del 85,7%, estabilidad de la semejanza de 97,7% y estabilidad de la precisión de 91,4%.

#### - **Resultados de desempeño del método computacional a nivel grupal**

A continuación, se presentan los resultados de desempeño del método computacional propuesto a nivel grupal. Dentro de estos resultados se incluye el cálculo de semejanzas para el nivel de actividades, debido a que el método propuesto para el procesamiento grupal, realiza inferencia en este nivel a través de un algoritmo de agrupamiento.

La Tabla 20 presenta los resultados globales de desempeño para las métricas de semejanza y precisión para cada experto junto con la estabilidad de la semejanza y la precisión que fueron calculadas de la misma manera que para el método a nivel

individual. Adicionalmente se incluye el número de elementos de cada árbol de competencias a partir de los cuales se calcularon los índices de semejanza y precisión.

Experto	Número de elementos del árbol	S(x)	P(x)	Estabilidad de S(x)	Estabilidad de P(x)
E1	289	0,9247	0,6989	0,950224007	0,80089603
E2	32	0,8828	0,5312	0,897937927	0,59175171
E3	99	0,9141	0,6565	0,927843097	0,71137239
<b>Ponderación</b>		0,9072	0,6289	0,925335011	0,70134004

Tabla 20. Resultados globales de desempeño para el método grupal.

En la Tabla 20, el mejor desempeño se vio en el grupo del experto 1 y el peor desempeño en el grupo del experto 2. A nivel general se observaron resultados de desempeño satisfactorios, aun así, el desempeño del método a nivel grupal presentó resultados más bajos en comparación con el método a nivel individual, en donde se observó una precisión ponderada mayor al 85% en contraste con la del método a nivel grupal que fue del 62%. A continuación, La Tabla 21 presenta los resultados de semejanza y precisión para la evaluación de los árboles grupales de competencias. Se presentan los índices mencionados para los niveles de actividades, indicadores, sub-competencias, dimensiones y competencias.

Experto	Niveles	S(x)	P(x)	D(S(x))	D(P(x))
E1	Actividades	0,9284	0,7135	0,049776	0,1991
	Indicadores	0,9073	0,6292		
	Subcompetencias	0,9792	0,9167		
	Dimensiones	0,9688	0,875		
	Competencias	0,875	0,5		
E2	Actividades	0,875	0,5	0,102062	0,40825
	Indicadores	0,875	0,5		
	Subcompetencias	1	1		
	Dimensiones	0,875	0,5		
	Competencias	0,75	0		
E3	Actividades	0,9221	0,6885	0,072157	0,28863
	Indicadores	0,9259	0,7037		
	Subcompetencias	0,85	0,4		
	Dimensiones	0,85	0,4		
	Competencias	0,75	0		

Tabla 21. Resultados de desempeño para el método grupal en todos los niveles.

En la Tabla 21 se observa mayor estabilidad para los resultados obtenidos en el grupo de estudiantes asignado al experto 1. Se presentaron dos casos en los que la precisión fue cero y un caso en el que tanto la semejanza como la precisión alcanzaron la

valoración más alta posible indicando que en este caso, el método tuvo un 100% de aciertos.

### b. Análisis de los resultados

En esta sección se realiza un análisis de los resultados presentados anteriormente con base en una serie de gráficos generados a partir de la información recolectada en la etapa de recolección de resultados de las pruebas. A continuación, la Figura 54 presenta un gráfico del índice de precisión para todos los estudiantes implicados en la prueba.

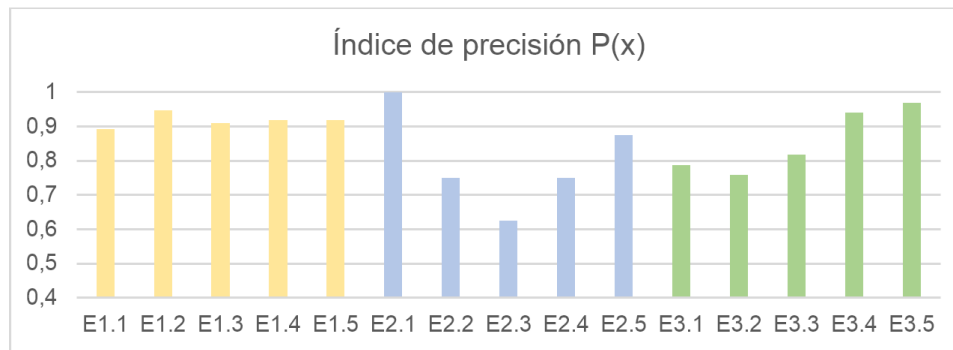


Figura 54. Gráfico de precisión para todos los estudiantes implicados en la prueba.

En la Figura 54, las partes en amarillo representan a los estudiantes del grupo asignado al experto 1, las partes azules los asignados al experto 2 y las partes verdes los asignados al experto 3. Como se puede observar, los resultados de precisión son más estables para los estudiantes del grupo 1 (variando entre 0,85 y 0,95) y menos estables para los grupos 2 y 3 (variando entre 0,6 y 1). De acuerdo a lo observado, los resultados de desempeño no dependen del docente, sino del árbol de competencias usado. Más precisamente del número de elementos y cantidad de información dentro de cada árbol. En el caso de estudio se observó una tendencia a mejorar el desempeño del método propuesto en una relación directamente proporcional al número de componentes de cada árbol.

El mismo fenómeno ocurre con el índice de semejanza, que se muestra estable para el grupo del experto 1 e inestable para los expertos 2 y 3, aunque en menor medida para el experto 3. La Figura 55 muestra este fenómeno.

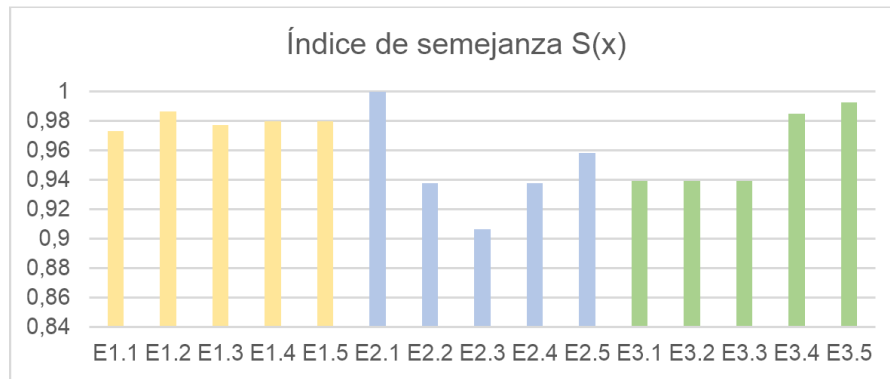


Figura 55. Gráfico del índice de semejanza.

El índice de semejanza siempre fue menor que el índice de precisión, lo cual permite concluir que el índice de precisión es una medida más exigente. Sin embargo, el hecho de que la precisión sea relativamente baja no indica que los resultados hayan estado muy alejados de la realidad. A continuación, en la Figura 56 se puede apreciar que, en algunos casos, a pesar de que la precisión es baja, la semejanza es alta; de lo que se concluye que, la semejanza es una métrica, para este caso de estudio, que permite conocer acerca del desempeño del método porque dice qué tan reales son los resultados obtenidos a través del mismo.

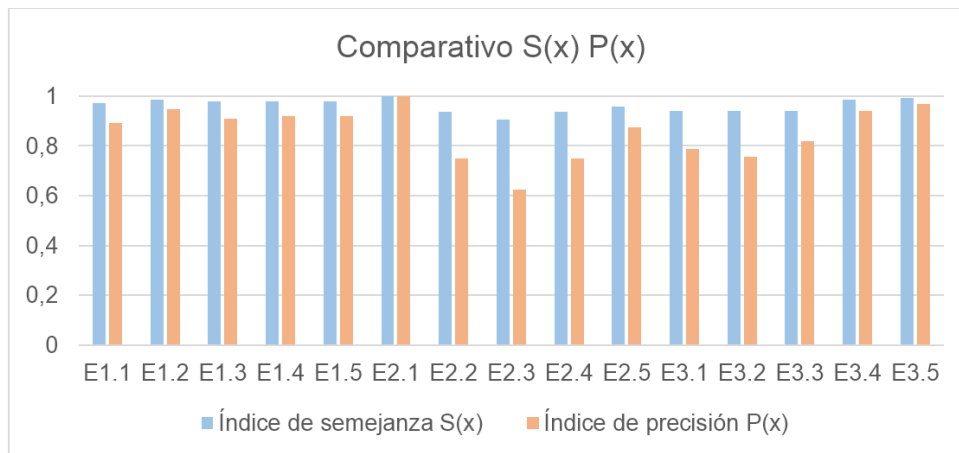


Figura 56. Comparativo entre semejanza y precisión.

Como se mencionó anteriormente, en la Figura 56 se pueden evidenciar brechas significativas entre la precisión y la semejanza, principalmente en el grupo asignado al experto 2, como se puede ver en los estudiantes E2.2, E2.3 y E2.4.

A continuación, la Figura 57 presenta el comparativo de la desviación estándar para los resultados de semejanza (en azul) y precisión (en verde) para cada uno de los grupos asignados a cada experto.

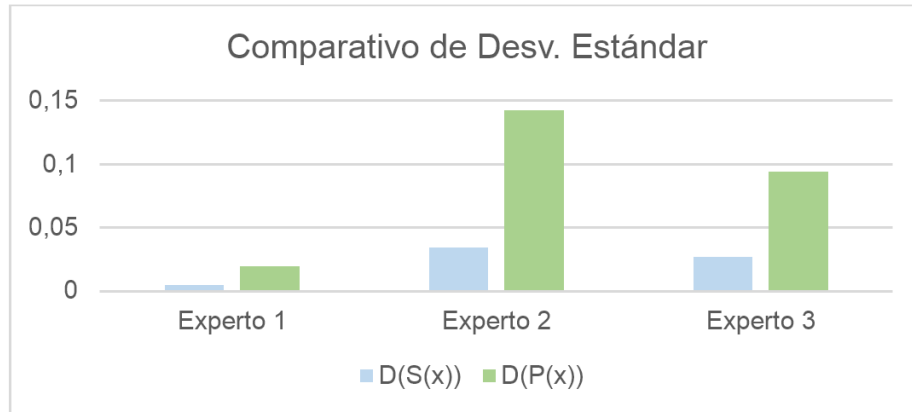


Figura 57. Desviación estándar de los resultados obtenidos.

En la Figura 57, la desviación estándar permite analizar la estabilidad del método frente a diferentes escenarios o casos de estudio. De esta manera, una desviación estándar baja en los resultados de desempeño permitiría concluir que el método propuesto es estable. Se pudo observar una baja desviación estándar para los resultados obtenidos por el experto 1. Sin embargo, la estabilidad del método para los resultados alcanzados con el grupo del experto 2 no fueron muy estables. A continuación, en la Figura 58 se puede observar esta misma comparativa pero caracterizada por cada estudiante para el experto 1.

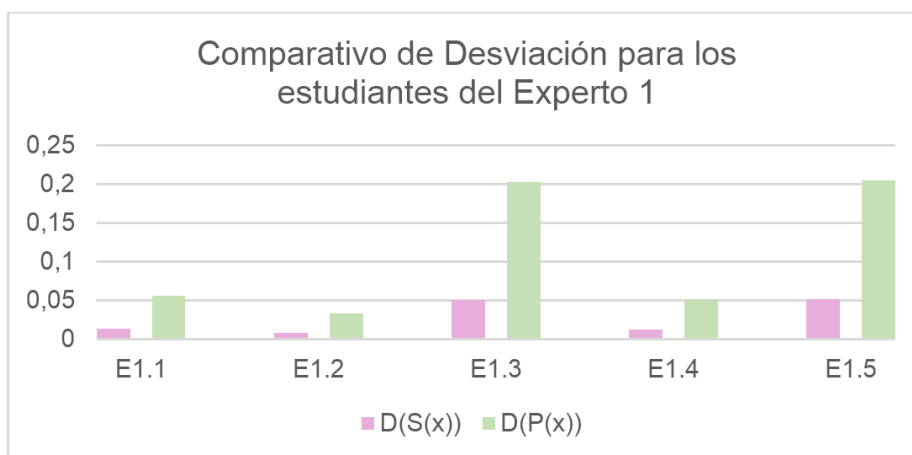


Figura 58. Desviación estándar para los resultados obtenidos a través del grupo del experto 1.



En la Figura 58 se pudo observar una mayor estabilidad para los resultados alcanzados a través del estudiante 2 del grupo asignado al experto 1. Sin embargo, la desviación observada para el resto de estudiantes de este grupo es relativamente baja. Esto indica que el método tuvo un comportamiento bastante estable para los resultados alcanzados a través de este grupo. En la Figura 58 se pueden observar brechas grandes entre la desviación calculada para la semejanza y la desviación de la precisión esto indica que el método es más estable para la métrica de semejanza, pero no tan estable en la métrica de precisión. De aquí se puede concluir que los resultados obtenidos para el método en algunos casos no son precisos, pero se acercan bastante a los resultados reales obtenidos por el experto 1.

A continuación, la Figura 59 presenta un gráfico comparativo para las métricas de semejanza y precisión por cada nivel para los estudiantes del grupo asignado al experto 1.

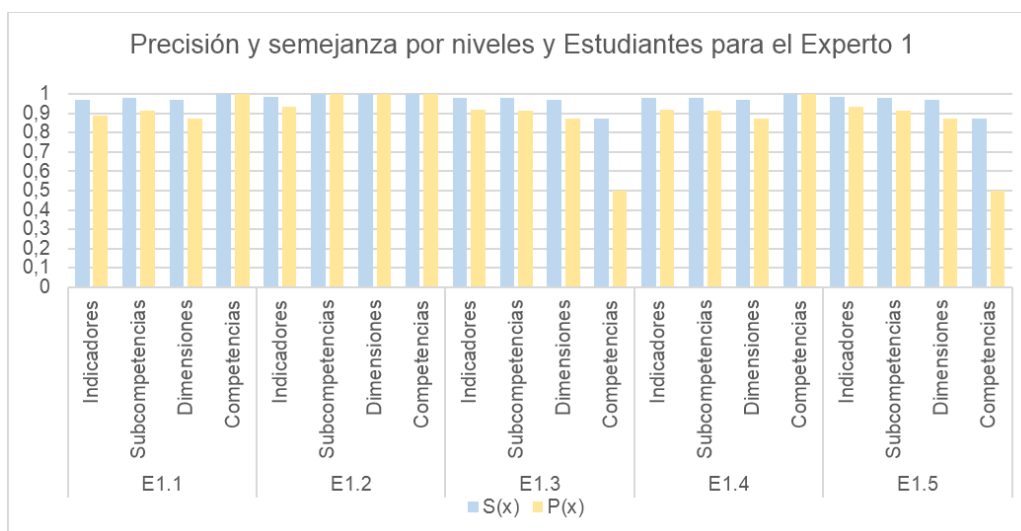


Figura 59. Precisión y semejanza por niveles para el grupo asignado al experto 1.

En la Figura 59 se puede observar resultados bastante precisos para la mayoría de los niveles del árbol de competencias, de forma coherente, la semejanza se mantuvo bastante alta. Existieron dos resultados particularmente atípicos como los reflejados en el nivel de competencias de los estudiantes 3 y 5 del grupo asignado al experto 1. Esto se puede explicar debido a que el árbol de competencias para estos estudiantes tenía únicamente dos componentes en ese nivel, por lo que, si el método no acertaba en alguno de ellos, el índice de precisión para ese nivel se vería seriamente afectado.

A pesar de esto se observa que en esos casos atípicos el índice de semejanza fue bastante alto, lo que indica que los resultados se acercaron mucho a la realidad.

A continuación, la Figura 60 presenta un comparativo de la desviación estándar de las métricas de semejanza y precisión vistas para los estudiantes asignados al grupo del experto 2.

En la Figura 60, los resultados para el estudiante 1 no presentaron desviación, esto no necesariamente indica que los resultados hayan sido completamente acertados, sino que el valor de las métricas de semejanza y precisión no varió a lo largo de todos los niveles del árbol de competencias. Esto indica que para este estudiante el método propuesto fue cien por ciento estable.

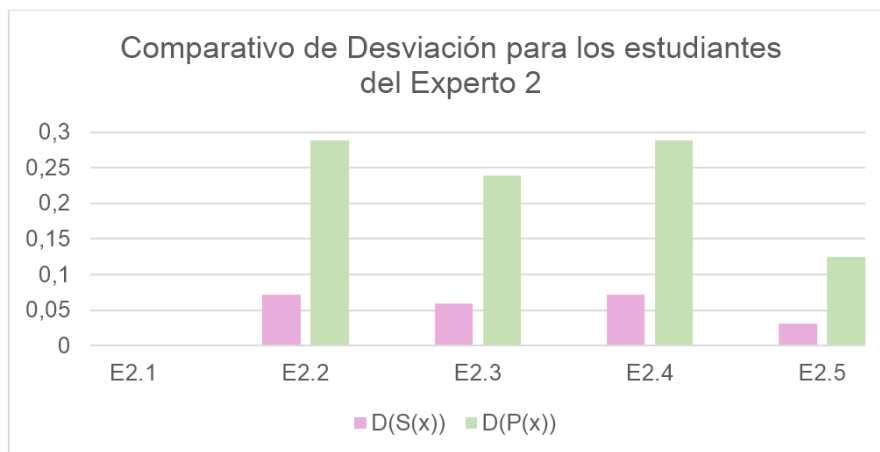


Figura 60. Comparativo de Desviación para el experto 2.

A continuación, la Figura 61 presenta una comparación entre las métricas de precisión y semejanza en todos los niveles del árbol de competencias para cada estudiante del grupo asignado al experto 2. En los resultados obtenidos se puede observar brechas grandes entre las métricas de precisión y semejanza, principalmente en los niveles de competencias y dimensiones. En estos niveles se registraron los índices de precisión más bajos, llegando hasta 0,5.

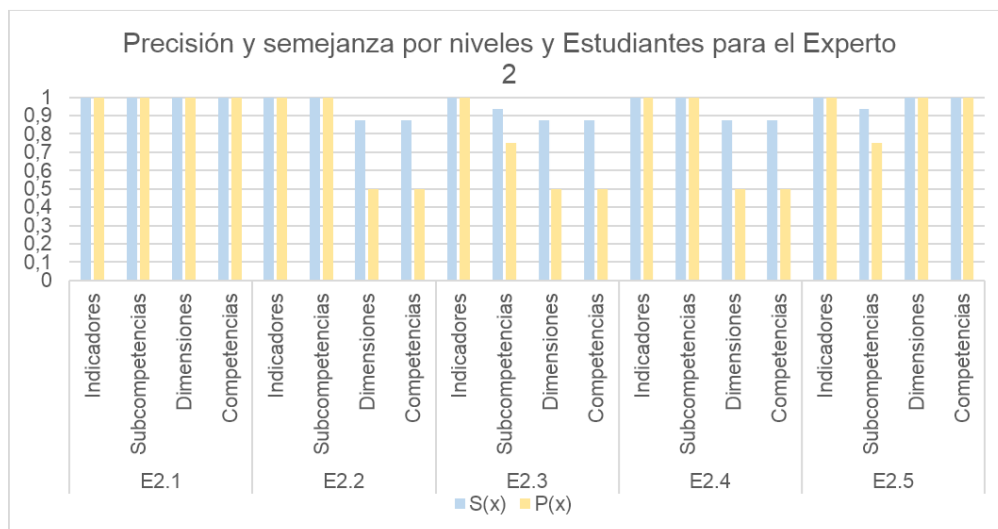


Figura 61. Comparativo de precisión y semejanza para el experto 2.

A diferencia del índice de precisión, para la Figura 61, el índice de semejanza tuvo un comportamiento bastante bueno y se comportó de manera estable para todos los niveles de competencias involucrados. Los valores de semejanza más bajos observados fueron de alrededor de 0,85. Esto nuevamente indica que a pesar que en algunos casos el método no acertó completamente en el resultado, sí se acercó bastante, en promedio desde un 85% a 95%, lo cual es bastante alto considerando los rangos de desempeño esperados de sistemas difusos (60 – 70%). Dentro de este grupo se observó un estudiante para el cual el método acertó completamente en todos los niveles del árbol de competencias (Estudiante 1). También se observaron buenos resultados para el estudiante 5. Para el cual se acertó completamente en tres de los 4 niveles del árbol de competencias y en el nivel restante se alcanzó un 75% de precisión, con un 85% de semejanza.

A continuación, en la Figura 62 se presenta un comparativo de la desviación estándar para los resultados de las métricas de semejanza y precisión observados para el grupo de estudiantes asignados al experto 3. Dentro de estos resultados se observó que el método fue mucho más estable para el estudiante 5, en donde los resultados tanto de semejanza como de precisión tuvieron una desviación estándar muy baja. Por otro lado, para el estudiante 3 se observó una alta desviación, lo cual indica que el método tuvo cierta inestabilidad en este caso. De esto y junto con la observación de los casos anteriores es posible concluir que no existe un patrón claro para el comportamiento del desempeño en los niveles de los árboles de competencias, sin embargo, se cree que este depende de qué tan dispersos sean los componentes cualitativos al interior de

cada nivel de competencias para cada estudiante. Cuando se presentan componentes muy dispersos en la escala cualitativa de evaluación (E.G. MUY BAJO y MUY ALTO) el método pierde precisión. Sin embargo, los resultados de semejanza siempre fueron estables y uniformes, lo que indica que el método produce resultados iguales o muy cercanos a los obtenidos por los expertos.

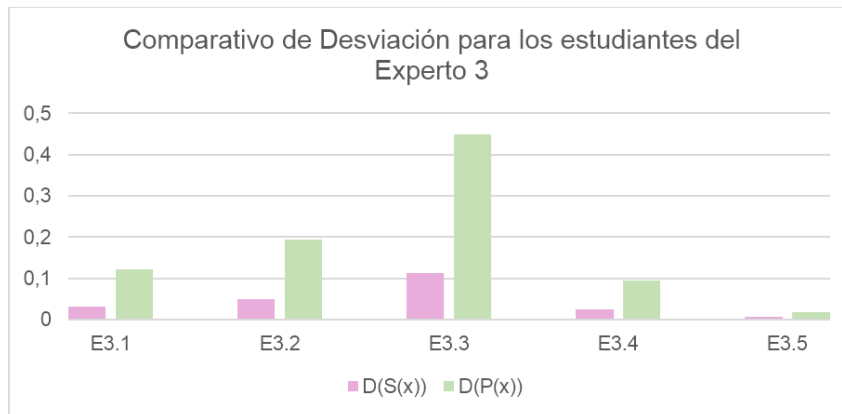


Figura 62. Comparativo de la desviación estándar para los resultados del experto 3.

A continuación, la Figura 63 muestra un comparativo entre los resultados observados para el grupo de estudiantes asignado al experto 3 en las métricas de semejanza y precisión para cada nivel del árbol de competencias.

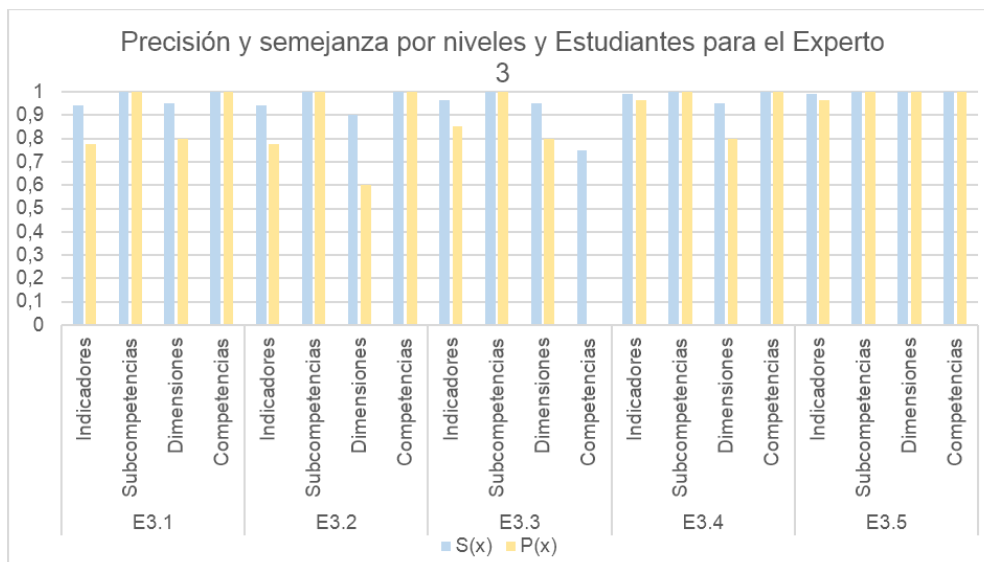


Figura 63. Comparativo de métricas por niveles para el experto 3.

En la Figura 63 se puede observar bastante inestabilidad en el desempeño del método computacional propuesto a nivel de precisión. Dentro de este grupo se presentó un estudiante cuya precisión en el nivel de competencias fue cero (estudiante 3). A pesar de esto, el índice de semejanza si se comportó con estabilidad y en ese mismo caso presentó un valor de 0,75, lo que indica que en ese nivel del árbol de competencias, el estudiante fue clasificado en un grupo cualitativo de desempeño vecino al que debía ser clasificado. De acuerdo con esto, el método no acertó en la clasificación del estudiante, pero estuvo muy cerca.

A partir de la observación de los resultados individuales fue posible concluir que la precisión, la semejanza y la estabilidad del método se incrementan a medida que el árbol de competencias tiene más componentes. Los mejores resultados tanto de precisión como de semejanza y estabilidad, se observaron en el experto 1 quien trabajó con el árbol de competencias más grande de la prueba individual con 111 componentes, seguido por el experto 2. Esto puede evidenciarse con mayor claridad en la Figura 64 y Figura 65.

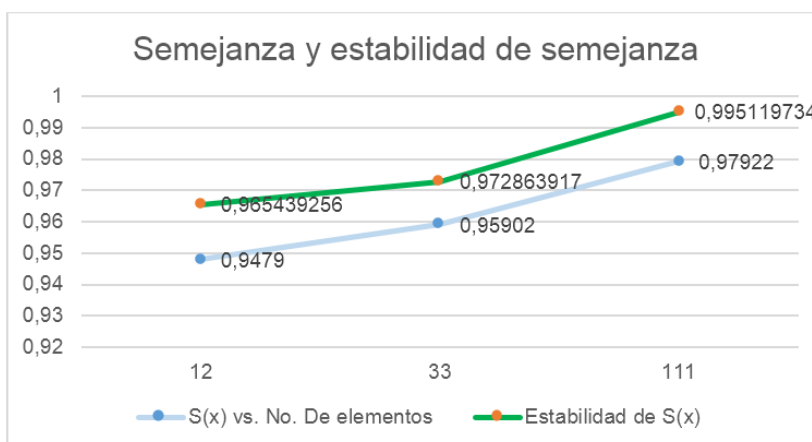


Figura 64. Estabilidad de S(x) y semejanza en función del número de elementos del árbol.

A continuación, en la Figura 65 se presenta la precisión y la estabilidad de la misma en función del número de elementos de los árboles de competencias. Como se puede observar, tanto la precisión como la estabilidad son directamente proporcionales al número de elementos del árbol. Se cree que, al tener mayor cantidad de información de referencia, el método es capaz de realizar inferencias de mayor estabilidad para los niveles superiores de los árboles de competencias. Experimentalmente, como se

muestra en las figuras, el número de elementos de cada árbol es un factor clave para el desempeño del método propuesto.

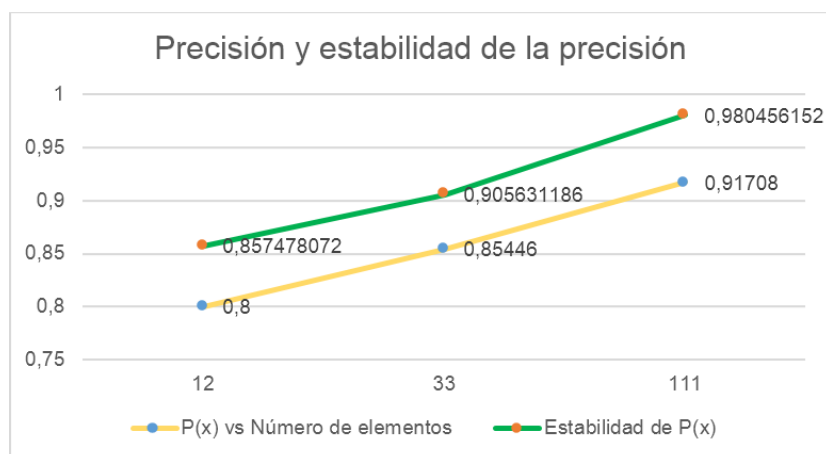


Figura 65. Estabilidad de  $P(x)$  y precisión en función del número de elementos del árbol.

Los resultados presentados en adelante, hacen referencia a la información recolectada durante las pruebas de desempeño grupales. De igual manera, para las pruebas de desempeño a nivel del método grupal se midieron las métricas de precisión y semejanza. A continuación, la Figura 66 muestra un gráfico comparativo de las métricas mencionadas para cada uno de los niveles del árbol de competencias en cada uno de los grupos asignados a los expertos. E1, hace referencia a los resultados obtenidos a partir del grupo de estudiantes asignados al experto 1. De igual manera con E2 y E3.

En la Figura 66 se pueden observar resultados bastante buenos en términos de la métrica de semejanza. Pero no se obtuvieron resultados muy buenos en cuanto a precisión puesto que se obtuvieron resultados de cero para los niveles de competencias de los expertos dos y tres. Para ellos también se observó un bajo índice de semejanza con 0,75 en ambos casos. A pesar de eso el índice de semejanza a nivel general mostró buenos resultados con un promedio de 0,9072. Por otro lado, el índice de precisión para el método a nivel general se situó en promedio en 0,628. La estabilidad promedio del índice de precisión estuvo en 0,701 (relativamente baja), en tanto la estabilidad del índice de semejanza se situó en promedio en 0,9253. Los resultados de semejanza muestran un desempeño satisfactorio para el método a nivel grupal. Pero tanto en la métrica de precisión como en su estabilidad se observó un desempeño relativamente bajo considerando que el índice de precisión del método a

nivel individual se situó alrededor de 0,8571 y pasó a ser de 0,628 para el desempeño en esta métrica a nivel grupal. A pesar de esto, el desempeño de precisión para el método propuesto a nivel grupal se encuentra dentro del rango típico para sistemas basados en lógica difusa que va desde 0,6 hasta 0,7 (entre 60% y 70%).

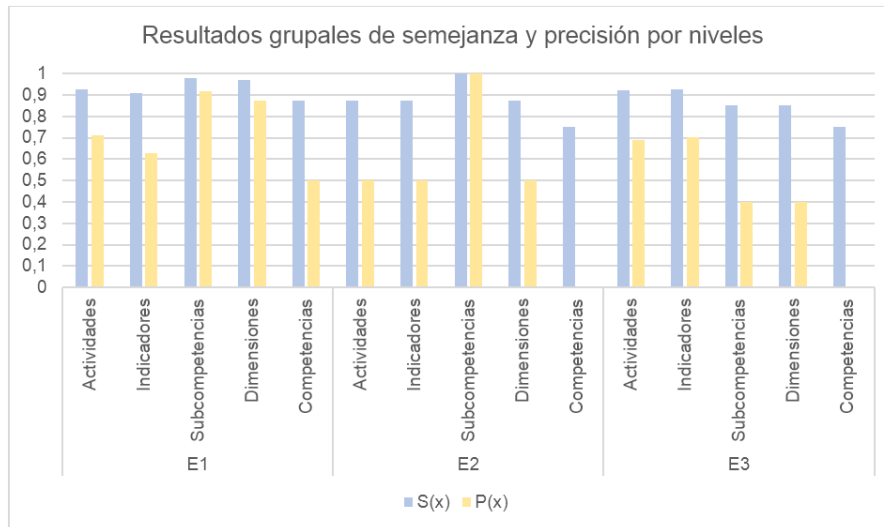


Figura 66. Gráfico comparativo de precisión y semejanza en los resultados grupales.

A continuación, la Figura 67 presenta un comparativo de la desviación estándar para las métricas de semejanza y coincidencia. Este gráfico es de utilidad para analizar la estabilidad del método en las tres pruebas de desempeño a nivel grupal. Una menor varianza en la información de desempeño indicará una mayor estabilidad.

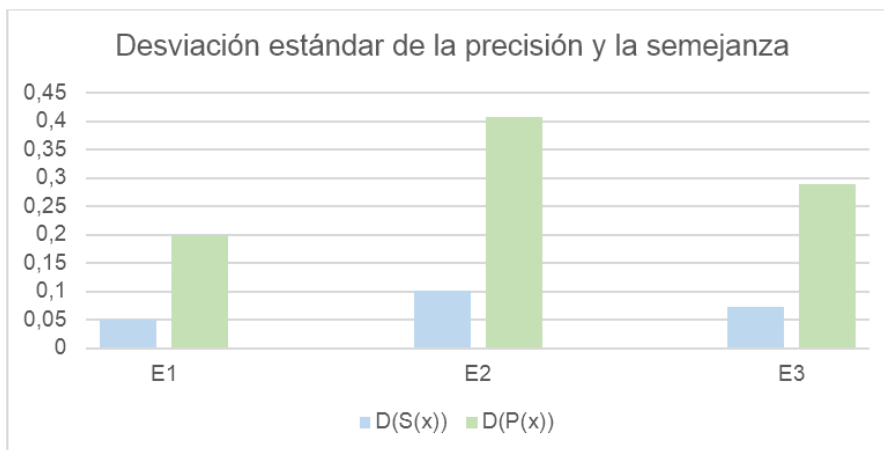


Figura 67. Desviación estándar de las métricas de semejanza y precisión a nivel grupal.

Para las pruebas de desempeño a nivel grupal la mayor estabilidad fue alcanzada por los resultados de desempeño observados en el grupo asignado al experto 1, como se puede ver en la Figura 67. Nuevamente, el experto 2 presentó los resultados más bajos tanto en precisión y semejanza, así como en la estabilidad de ambas métricas. De manera general, las métricas de desempeño tuvieron mejores resultados en el grupo asignado al experto 1, seguidos por los resultados observados en los grupos asignados a los expertos 3 y 2 respectivamente.

El comportamiento del desempeño mencionado anteriormente se puede explicar a partir del número de elementos que componían cada árbol. A continuación, en la Figura 68 se observa que existe una relación directamente proporcional entre el número de elementos del árbol y la estabilidad de la métrica de semejanza.

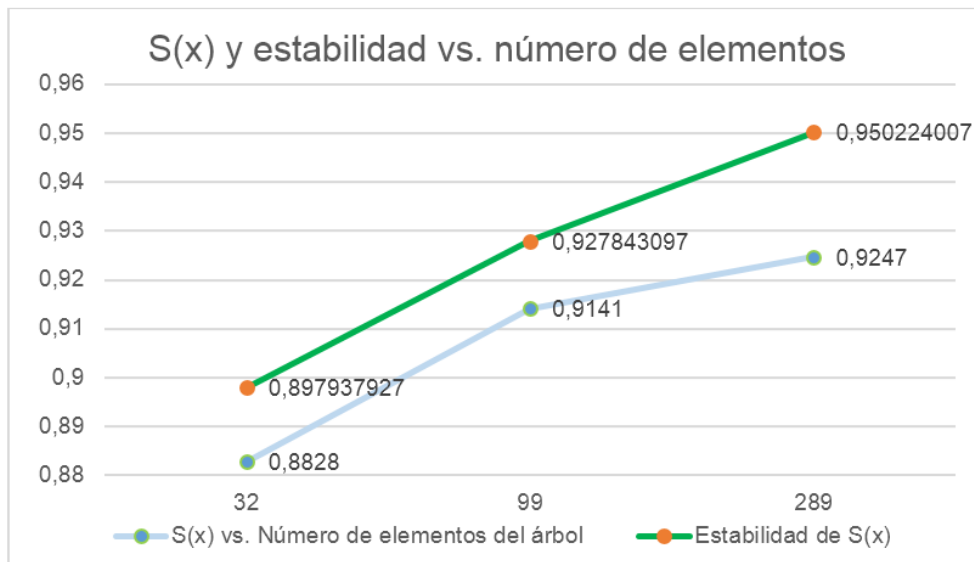


Figura 68. Semejanza y estabilidad de S(x) vs. Número de elementos del árbol.

A partir del comportamiento de la semejanza mostrado anteriormente, fue posible construir una expresión **experimental**, presentada en (32), de la semejanza en función del número de elementos. Esta expresión se obtuvo mediante ajuste polinómico de segundo orden. En (32), la variable  $N$  corresponde al número de elementos del árbol de competencias.

$$S(N) = -0,0104N^2 + 0,0624N + 0,8308 \quad (32)$$

Evidentemente la semejanza es un número cuyo valor máximo es 1 y por esta razón (32) simplemente es una **ecuación de referencia** para calcular un estimado de la



semejanza en función del número de elementos del árbol. No representa una expresión definitiva para el cálculo de este parámetro debido a que se obtuvo a partir de la observación de resultados producidos en función de las entradas del método. No se considera dentro de ella parámetros intrínsecos o extrínsecos del método. No se recomienda considerar la semejanza calculada a partir de esta expresión como la semejanza definitiva que va a entregar el método. Se insiste en que es una **ecuación experimental de referencia**.

A continuación, la Figura 69 muestra los gráficos de estabilidad de  $P(x)$  en función del número de elementos del árbol de competencias. Simultáneamente se presenta el índice de precisión observado para las pruebas de desempeño a nivel grupal en función del número de elementos del árbol de competencias.

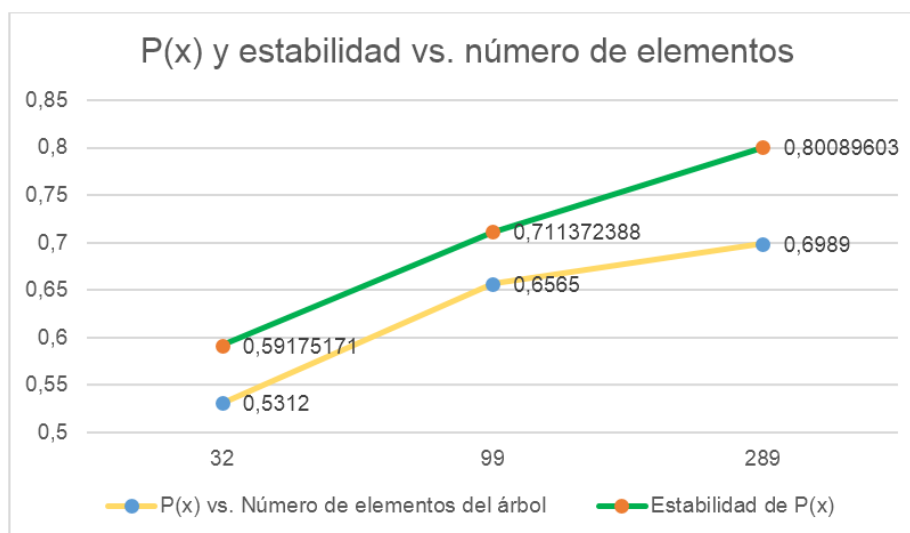


Figura 69. Precisión y estabilidad de  $P(x)$  vs. Número de elementos del árbol.

La precisión mostrada a nivel grupal en función del número de elementos de cada árbol de competencias indica que el número de elementos del árbol de competencias que se utilice tiene una incidencia clara dentro del desempeño del método en esta métrica. Adicionalmente la estabilidad de esta métrica también se ve afectada, en una relación directamente proporcional, por el número de elementos del árbol de competencias que se está procesando. A partir de esta información también se construyó de manera experimental una ecuación de referencia para calcular el desempeño del método en la métrica de precisión para el escenario grupal en función del número de elementos del árbol procesado. La expresión **experimental** de la precisión en función del número de elementos del árbol de competencias ( $N$ ) se presenta en (33).

$$P(N) = -0,0414N^2 + 0,2497N + 0,323 \quad (33)$$

La expresión presentada se obtuvo a partir de ajuste polinómico de segundo orden. Nuevamente se insiste en que esta es una **ecuación experimental de referencia** y se recomienda tener con ella las mismas precauciones sugeridas para la expresión experimental de semejanza en función de  $N$  presentada anteriormente.

### c. Conclusiones del análisis de los resultados

A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas a partir del análisis de los resultados

1. El método propuesto presenta un alto desempeño en el escenario individual bajo la métrica de semejanza. El promedio de la métrica de semejanza para este fue de 0,9620, obteniendo como valor más bajo 0,9062 y como valor más alto 1, el máximo posible.
2. El método propuesto es altamente preciso en el escenario individual, lo cual se vio reflejado en los resultados de esta métrica que obtuvo un promedio de 0,8571 con un mínimo de 0,625 y un máximo de 1.
3. La semejanza y la precisión del método tanto a nivel individual como grupal, son índices que mantienen una relación directamente proporcional con el número de elementos del árbol de competencias que se va a procesar como se puede observar en la Figura 68 y Figura 69. Es posible conocer un estimado de la semejanza y la precisión del método en función del número de elementos del árbol de competencias a partir de las expresiones encontradas experimentalmente.
4. La estabilidad de las métricas de desempeño observadas mantiene una relación directamente proporcional con el número de elementos del árbol de competencias a procesar, tanto a nivel grupal como individual.
5. El método conserva un muy buen nivel de desempeño para la métrica de semejanza en un escenario grupal, obteniendo un valor de semejanza promedio de 0.9072. Esto indica que cuando el método no acierta en la clasificación de un estudiante, los resultados que produce se acercan bastante a los obtenidos por los expertos en el mismo escenario de clasificación.

## Capítulo 7

### Conclusiones y trabajos futuros

Este capítulo presenta las conclusiones a las que se ha llegado mediante el desarrollo del presente trabajo de investigación y del cumplimiento de sus objetivos general y específico. Posteriormente se presentan los trabajos futuros caracterizados por ser oportunidades para mejorar o potencializar lo desarrollado en este trabajo de investigación.

#### 7.1. Conclusiones

En esta sección se presentan las conclusiones del presente trabajo de Investigación. Estas se irán desarrollando en orden de importancia. Para construir estas conclusiones se realizó un análisis por cada capítulo recopilando las deducciones más importantes que surgieron en el desarrollo de los mismos. Las conclusiones finales se presentan a continuación.

1. El método para el procesamiento de información cualitativa desarrollado en este trabajo, puede ser utilizado de forma confiable en la evaluación individual de competencias, para el caso de estudio al que fue aplicado, ya que demostró buen desempeño mediante las pruebas realizadas bajo las métricas de semejanza, llegando hasta 96% y precisión con 85%.

2. El método de procesamiento de información cualitativa para las evaluaciones grupales no es confiable para la métrica de precisión, alcanzando resultados de desempeño del 63%.
3. Para el caso de estudio, el método propuesto tuvo una mejor eficiencia y estabilidad procesando árboles de competencias más complejos, es decir, con mayor número de elementos y mayor cantidad de información. Lo anterior porque durante la etapa de pruebas, la precisión, la semejanza y la estabilidad de las mismas, fueron índices que aumentaron de manera proporcional al número de elementos de cada árbol de competencias.
4. De acuerdo con el proceso propuesto para la selección de la función de pertenencia, el comportamiento de la información puede variar según el ámbito de aplicación y por tal razón es inapropiado estandarizar la selección de las funciones de pertenencia.
5. El proceso de identificación de funciones de pertenencia propuesto permite determinar funciones que describen el comportamiento de la información en un contexto específico de aplicación. En el caso de estudio de la base de datos SERCE, el proceso identificó que las funciones de pertenencia pueden modelarse a partir de funciones matemáticas de naturaleza periódica como la función  $SINC(X)$ .

## 7.2. Lecciones Aprendidas

Del desarrollo del presente trabajo de grado nacieron las siguientes lecciones aprendidas.

1. La adaptación matemática del algoritmo de Fuzzy C-Means en la estrategia computacional permitió encontrar información representativa de los grupos de estudiantes y a partir de ella generar árboles grupales de competencias que podían ser procesados mediante las fases principales del método propuesto. Dentro de estos procedimientos jugó un papel clave el conformador de árboles propuesto en la segunda modificación estratégica y a través del cual se habilitó al método para procesar cualquier tipo de árbol de competencias (Individual o Grupal).

2. El establecimiento de una estructura conceptual, lógica y matemática de la información expresada con claridad permitió procesar de manera ordenada los árboles de competencias y simplificar la transferencia de información de una fase a otra en el método. En esta labor el uso de tuplas lingüísticas difusas simplificó en gran medida la representación de las relaciones de pertenencia y consecuentemente el procesamiento de las variables cualitativas.
3. La selección de los operadores de agregación es un punto clave dentro del proceso de desarrollo de un sistema difuso, ya que de acuerdo con el caso de aplicación, con su escogencia se puede simplificar o complicar el proceso. En este caso, el uso de agregadores difusos en el núcleo del método permitió recolectar información de pertenencias que puede ser de gran utilidad en trabajos futuros en el método propuesto, además contribuyó a que el desempeño del método fuera bueno en las métricas usadas para las pruebas.
4. La adaptación de diversas metodologías y modelos encaminadas a la construcción de sistemas difusos junto con la consolidación de una metodología propia de trabajo permitieron establecer un rumbo claro dentro de la construcción del método propuesto, garantizando el desarrollo organizado, estructurado y bien definido del mismo.
5. El uso de una arquitectura distribuida bien estructurada y basada en el servicio de almacenamiento de datos MLab permitió la colaboración de todo el equipo de trabajo y agilizó el procedimiento de pruebas. Adicionalmente facilitó el acceso a la información relevante para el cálculo de las métricas de semejanza y precisión. Esta arquitectura facilitará en un futuro la puesta en marcha del método propuesto en un ambiente real cuyas funcionalidades puedan facilitar los procesos de evaluación individual y grupal de competencias educativas y contribuir así con la labor docente en todos los niveles de educación.
6. La realización de la etapa de pruebas siguiendo una metodología bien estructurada y basada en el modelo de pruebas ISO/IEC/IEEE 29119 – 2 permitió que todo el proceso de las pruebas de desempeño se llevara a cabo de manera ordenada y se implementaran sistemáticamente logando extraer de este procedimiento información muy importante en la estimación del desempeño y la eficiencia del método propuesto.
7. La evaluación exhaustiva de las técnicas de *soft computing* disponibles a través de las cuales se estableció la teoría de la lógica difusa como base fundamental de este

trabajo, permitieron alcanzar resultados prometedores en el campo del procesamiento de información cualitativa al servicio de los procesos de evaluación de competencias educativas individuales y grupales.

8. El concepto de un experto en la evaluación de competencias, en ciertos casos puede ser subjetivo. Esto se evidenció porque en algunos de los casos de evaluación estudiados que presentaban resultados muy similares y en donde el método clasificó a los estudiantes en el mismo nivel de desempeño, el experto los clasificó en niveles de desempeño diferentes. Se cree que esto sucede porque el docente puede involucrar, dentro de su evaluación académica, una percepción sentimental del estudiante.

### 7.3. Trabajos futuros

Teniendo en cuenta las oportunidades de investigación que se abren con el desarrollo de este proyecto de investigación, se proponen los siguientes trabajos futuros.

1. Adaptar el método computacional propuesto a un sistema de recomendaciones, para la construcción de perfiles de usuario, donde el docente puede observar las falencias puntuales (en qué nivel del árbol de competencias) de los estudiantes y grupos y así mismo el sistema recomiende una serie de actividades, lecturas o talleres para reforzar dichas falencias.
2. Generar las funcionalidades necesarias para que el docente pueda generar una realimentación al método y que esta se tenga en cuenta para afinar la inferencia que se realiza y así mejorar el desempeño del mismo. Para esto se sugiere construir una fase adicional en donde, a partir de la realimentación del docente, se vayan construyendo reglas difusas que se integren al método aquí propuesto.
3. Integrar el método propuesto a un sistema de aprendizaje adaptativo con otra técnica de *soft computing* como las redes neuronales, los algoritmos genéticos o similares con el fin de mejorar el desempeño y dar más herramientas al docente para apoyar los procesos de evaluación de competencias educativas, teniendo una fase de diagnóstico con una fase de recomendación de acciones a seguir para mejorar el desempeño del estudiante como por ejemplo, recomendar contenidos,

evaluaciones o actividades que permitan reforzar al estudiante y evaluarlo de una forma más precisa y coherente

4. Proponer una nueva modificación estratégica que permita mejorar el desempeño del método a nivel grupal usando una técnica de agrupamiento de datos diferente a Fuzzy C-Means como KNN o K-Means.
5. Realimentar el método con una fase de reconocimiento de patrones de aprendizaje que permita, junto con la fase de diagnóstico y la fase de recomendación, recomendar mejores contenidos que sean acordes a la personalidad, la forma de aprender, las fortalezas académicas y las necesidades del estudiante y le ofrezcan alternativas de aprendizaje que potencialicen sus competencias más altas y mejoren aquellas en donde presenta falencias.





## Referencias

- [1] M. Badaracco y L. Martínez, «A fuzzy linguistic algorithm for adaptive test in Intelligent Tutoring System based on competences,» *Expert Systems with Applications*, nº 40, p. 3073–3086, 2013.
- [2] R. Biswas, «An application of fuzzy sets in student's evaluation,» *Fuzzy sets and systems*, nº 74, pp. 187-194, 1995.
- [3] J. Serrano Guerrero, F. P. Romero y J. A. Olivas, «Hyperion: a fuzzy approach for recommending educational activities based on acquisition of competences,» *Information science*, nº 248, pp. 114-129, 2013.
- [4] C. K. Law, «Using fuzzy numbers in educational grading system,» *Fuzzy sets and systems*, nº 83, pp. 311-323, 1996.
- [5] A. Golec y E. Kahya , «A fuzzy model for competency-based employe evaluation and selection,» *Computers & Industrial Engineering*, nº 52, p. 143–161, 2007.
- [6] G. Pépiot, N. Cheikhrouhou, J. M. Fürbringer y R. Glardon, «A fuzzy approach for the evaluation of competences,» *Int. J. Prodction Economics*, nº 112, p. 336 – 353, 2008.
- [7] W. P. Wang, «A fuzzy linguistics computing approach to suplier evaluation,» *Applied mathematical modeling*, nº 34, pp. 3130-3141, 2010.
- [8] I. D. Gómez Araújo, J. E. Quiroga Méndez y N. M. Jaspón Carvajal, «Calificación de estudiantes por medio de un sistema de lógica difusa,» *Educación en Ingeniería*, nº 8, pp. 49-56, 2009.
- [9] I. Aguerro, «Conocimiento complejo y competencias educativas,» *IBE/UNESCO Working Papers on Curriculum*, nº 8, 2009.
- [10] Ministerio de educación nacional, «Qué son las competencias,» Colombia aprende, [En línea]. Available: <http://www.colombiaprende.edu.co/html/competencias/1746/w3-propertyvalue-44921.html>. [Último acceso: 13 12 2014].
- [11] A. Fernandez March, «Metodologías activas para la formación de competencias,» *Educatio siglo XXI*, nº 24, pp. 35 - 56, 2006.
- [12] C. Huapaya, F. Lizarralde, G. Arona y J. Vivas, «Sesgos en la evaluación del estudiante con bajo rendimiento. Un sistema de mejoramiento diagnóstico basado en lógica difusa,» *Revista de educación*, nº 1, pp. 181-198, 2010.

- [13] K. K. Fung Yuen, «A fuzzy qualitative evaluation system: A multi-granular aggregation approach using fuzzy compound linguistic variable,» *Journal of Intelligent & fuzzy systems*, nº 24, p. 61 – 78, 2013.
- [14] ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS (OCDE), «El programa PISA de la OCDE, Qué es y para qué sirve,» OCDE, París.
- [15] J. Seseña Osorio, «Educación Basada en Competencias (EBC) en el Sistema de Educación Superior Tecnológica: avances y lagunas,» Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Teziutlán.
- [16] C. M. Vélez White, J. I. Díaz Tafur, Á. Leuro Ávila, Y. Vanegas Sanchez y M. Ochoa, Estándares básicos de competencias en lenguaje, matemáticas, ciencias y ciudadanas, Bogotá: Ministerio de Educación Nacional, 2006.
- [17] S. Massanet, J. V. Riera, J. Torres y E. Herrera-Viedma, «A new linguistic computational model based on discrete fuzzy nubers for computing with words,» *Information Sciences*, nº 258, pp. 277-290, 2014.
- [18] C. R. Huapaya, F. A. Lizarralde y G. M. Arona, «Modelo basado en lógica difusa para el diagnóstico cognitivo del estudiante,» *Formación universitaria*, vol. 5, nº 1, pp. 13-20, 2012.
- [19] Q. Li, «A novel Likert scale based on fuzzy sets theory,» *Expert systems with Applications*, nº 83, pp. 1609-1618, 2013.
- [20] L. A. Zadeh, «Fuzzy Logic = Computing with Words,» *IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS*, vol. 4, nº 2, pp. 103-111, 1996.
- [21] Gobierno Vasco, *Las competencias básicas en el sistema educativo de la C.A.P.V.*, Dirección de Innovación Educativa.
- [22] J. Kacprzyk, *Advanced Concepts in Fuzzy Logic and Systems with Membership Uncertainty*, Heidelberg: Springer, 2013.
- [23] E. Cox, *Fuzzy modeling and genetic algorithms for data mining and exploration*, San Francisco CA.: Elsevier Inc., 2005.
- [24] H. Povoas de Lima y H. d. A. Camargo, «A methodology for building fuzzy rule-based systems integrating expert and data knowledge,» de *Brazilian conference on intelligent systems*, Sao Paulo - Brasil, 2014.
- [25] J. M. Fernández Garrido y I. Requena Ramos, «A Methodology for Constructing Fuzzy Rule-Based Classification Systems,» *Mathware & Soft Computing*, nº 7, pp. 285-197, 2000.
- [26] J. Lawry, «A methodology for computing with words,» *International Journal of approximate reasoning*, nº 28, pp. 51-89, 2001.
- [27] F. Herrera y L. Martínez , «A 2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words,» *IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS*, vol. 8, nº 6, pp. 746-742, 2000.
- [28] R. M. Hachicha, E. M. Dafaoui y E. A. Mhamedi, «Competence evaluation approach based on 2-tuple linguistic representation model,» *IEEE*, nº 9, pp. 879-884, 2009.

- [29] J. Galindo, A. Urrutia y M. Piatinni, *Fuzzy Databases: Modeling, Design and Implementation*, Londres: IDEA GROUP PUBLISHING, 2006.
- [30] C. Zhao y F. Xie, «Application of AHP and Fuzzy comprehensive evaluation method in the assessment of leaguer's core competence in Dynamic alliance in project construction,» *IEEE*, vol. 9, nº 10, 2010.
- [31] M. R. Civanclar y H. J. Trussell, «Constructing membership functions using statistical data,» *Fuzzy Sets and Systems*, nº 18, pp. 1-13, 1986.
- [32] A. Flores Sintas, J. M. Cadenas y F. Martin, «Membership functions in the fuzzy C-means algorithm,» *Fuzzy Sets and Systems*, nº 101, pp. 49-58, 1999.
- [33] K. M. Motahar Hossain, Z. Raihan y M. A. Hashem, «On Appropriate Selection of Fuzzy Aggregation Operators in Medical Decision Support System,» *Department of Computer Science and Engineering - Khulna University of Engineering & Technology*, pp. 1-6.
- [34] M. Detyniecki, «Fundamentals on aggregation operators,» *Berkeley initiative in soft computing*, 2001.
- [35] M. A. Rezvani y E. Jafarian, «Application of fuzzy fault tree analysis for evaluation of railway safety risks: an evaluation of root causes for passenger train derailment,» *IMechE*, vol. 226, pp. 11-25, 2011.
- [36] C. González Morcillo, *Lógica Difusa, Una introducción Práctica - Técnicas de Soft Computing*, La Mancha: Universidad de Castilla.
- [37] F. Herrera, E. V. Herrera y L. Martínez, «A Fuzzy Linguistic Methodology to Deal With Unbalanced Linguistic Term Sets,» *IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS*, vol. 16, nº 2, pp. 354-370, 2008.
- [38] Gobierno de los Estados Unidos, «PISA, PIRS, TIMSS,» [En línea]. Available: <http://nces.ed.gov/surveys/international/ide/>. [Último acceso: 23 Octubre 2015].
- [39] OCDE, «Instituto Nacional para la evaluación de la Educación,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.inee.edu.mx/index.php/bases-de-datos/base-de-datos-serce>. [Último acceso: 30 Octubre 2015].
- [40] OCDE, «Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.inee.edu.mx/index.php/bases-de-datos/bases-de-datos-pisa/base-de-datos-pisa-2012>. [Último acceso: 28 Octubre 2015].
- [41] ICFES, «BASE DE DATOS ICFES HISTÓRICO,» [En línea]. Available: <http://64.76.89.156/investigacion/index.php/bdicfes/solicitudregistro>.
- [42] J. E. Chen y K. N. Otto, «Constructing membership functions using interpolation and measurement theory,» *Fuzzy Sets and Systems*, nº 73, pp. 313-327, 1995.
- [43] H. Narazaki y A. L. Ralescu, «Iterative induction of a category membership function,» *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, vol. 2, nº 1, pp. 91-100, 1994.
- [44] T.-p. Hong y C.-Y. Lee, «Learning Fuzzy Knowledge from Training Examples,» *CIKM*, pp. 161-166, 1998.

- [45] P. Y. Piñero, L. Arco, M. M. García y L. Acevedo, «Algoritmos genéticos en la construcción de funciones de pertenencia borrosas,» *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, nº 18, pp. 25-35, 2003.
- [46] K. Jaeseok , M. Swarup y K. Raghu , «An overview of membership function generation techniques for pattern recognition,» *International Journal of Approximate Reasoning*, nº 19, pp. 391-417, 1998.
- [47] J. C. Bezdek, R. Ehrlich y W. Full, «FCM: The Fuzzy C-Means clustering algorithm,» *Computers & Geosciences*, vol. 10, nº 2-3, pp. 191-203, 1984.
- [48] N. P. R y J. C. Bezdek, «On Cluster Validity for the Fuzzy c-Means Model,» *IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS*, vol. 3, nº 3, pp. 370-379, 1995.
- [49] Z. Xu, «Linguistic aggregation operators: An Overview,» de *Fuzzy Sets and Their Extensions: Representation, Aggregation and Models*, Springer, 2008, pp. 163-179.
- [50] M. Izquierdo Alonso y A. Iborra Cuéllar, «Aprendiendo con la evaluación grupal: Una propuesta sistémica de evaluación para procesos colaborativos de enseñanza-aprendizaje,» *Innovar en la enseñanza universitaria*, pp. 193-211, 2010.
- [51] A. K. Jain, M. N. Murty y P. J. Flynn, «Data Clustering: A Review,» *ACM Computing Survey*, vol. 31, nº 3, pp. 264-323, 1999.
- [52] L. Parsons, E. Haque y H. Liu, «Subspace Clustering for High Dimensional Data: A Review,» *Sigkdd Explorations*, vol. 6, nº 1, pp. 90-105, 2004.
- [53] P. Ladevèze, O. Loiseau y D. Dureisseix, «A micro–macro and parallel computational strategy for highly heterogeneous structures,» *INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING*, vol. 52, p. 121–138, 2001.
- [54] D. S. STEPHENSON y G. BINSCH, «Automated Analysis of High-Resolution NMR Spectra. I. Principles and Computational Strategy,» *JOURNAL OF MAGNETIC RESONANCE*, vol. 37, pp. 395-407, 1980.
- [55] R. J. Hathaway, J. C. Bezdek y Y. Hu, «Generalized Fuzzy c-Means Clustering Strategies Using Lp Norm Distances,» *IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS*, vol. 8, nº 5, pp. 576-582, 2000.
- [56] R. L. CANNON, J. V. DAVE y J. C. BEZDEK, «Efficient Implementation of the Fuzzy c-Means Clusteng Algor nthms,» *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, vol. 8, nº 2, pp. 248-255, 1986.
- [57] W. Pedrycz, «Conditional Fuzzy C-Means,» *Pattern Recognition Letters*, vol. 17, pp. 625-631, 1996.
- [58] Y. Zhai y B. Liu, «Structured Data Extraction from the Web Based on Partial Tree Alignment,» *IEEE TRANSACTIONS ON KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING*, vol. 18, nº 12, pp. 1614-1628, 2006.
- [59] Z. S. Xu y Q. L. Da, «An overview of operators for aggregating information,» *International Journal Of Intelligent System*, vol. 18, pp. 953-969, 2003.

- [60] U. Hanani, B. Shapira y P. Shoval, «Information filtering: overview of issues, research and systems,» *User modeling and user-adapted interaction*, vol. 11, pp. 203-259, 2001.
- [61] U. Wahli, L. Ackkerman, A. Di Bari, G. Hodgkinson, A. Kesterton, L. Olson y B. Portier, *Building SOA solutions using the rational SDP*, IBM, 2007.
- [62] J. C. Corrales, *Service Oriented Architecture*, Popayán: Presentaciones de clase, Arquitectura Orientada a Servicios, 2015.
- [63] IEEE, *IEEE Standard for Software Unit Testing*, New York: ANS/IEEE, 1993.
- [64] IEEE, *Presentación ISO/IEC/IEEE 29119*, MADRID: GRUPO DE TRABAJO AENOR, 2014.
- [65] IEEE, *ISO/IEC/IEEE 29119-3*, New York: ISO - IEC - IEEE, 2013.
- [66] I. DAGAN, L. LEE y F. C. PEREIRA, «Similarity-Based Models of Word Cooccurrence Probabilities,» *Machine Learning*, vol. 34, p. 43–69, 1999.
- [67] A. Gionis, P. Indyk y R. Motwaniz, «Similarity Search in High Dimensions via Hashing,» de *25th VLDB Conference*, Edinburg, Scotland, 1999.
- [68] L. Lee, *Measures of Distributional Similarity*, Ithaca NY: Cornell University.
- [69] H. Ishibuchi, T. Nakashima, S. Member y T. Murata, «Performance Evaluation of Fuzzy Classifier Systems for Multidimensional Pattern Classification Problems,» *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, vol. 9, nº 5, pp. 601-618, 1999.
- [70] H. Nyquist, «The optimal Lp norm estimator in linear regression models,» *Communications in Statistics - Theory and Methods*, vol. 12, nº 21, pp. 2511-2524, 2010.
- [71] A. H. Money, J. F. Affleck-Graves, M. L. Hart y G. D. Barr, «The linear regression model: Lp norm estimation and the choice of p,» *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, vol. 11, nº 1, pp. 89-109, 2007.
- [72] M. K. Aguilera, R. E. Strom, D. C. Stunna, M. AsHey y T. D. Chandra, «Matching Events in a Content-based Subscription System,» *Watson Research Center*, vol. 99, nº 5, pp. 53-61, 1999.
- [73] Princeton Press, *Lp Spaces and Banach Spaces*, Princeton University.
- [74] X. Li, Y. Pang y Y. Yuan, «L1-Norm-Based 2DPCA,» *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, vol. 40, nº 4, pp. 1170-1175, 2009.
- [75] Colombia Aprende, «Colombia aprende,» Ministerio de educación República de Colombia, [En línea]. Available: <http://www.colombiaaprende.edu.co/html/competencias/1751/w3-propertyvalue-44921.html>. [Último acceso: 27 Abril 2016].
- [76] E. Millán Valldeperas, «Lenguajes y ciencias de la computación, Universidad de Málaga,» [En línea]. Available: <http://www.lcc.uma.es/~eva/aic/apuntes/fuzzy.pdf>. [Último acceso: 1 Septiembre 2015].
- [77] R. Singh Yadav y V. Pratap Singh, «Modeling Academic Performance Evaluation Using Soft Computing Techniques: A Fuzzy Logic Approach,» *International*

- Journal on Computer Science and Engineering*, vol. 3, nº 2, pp. 676-686, 2011.
- [78] M. I. Alfonso Galipienso, M. A. Cazorla Quevedo, O. Colomina Pardo, F. Escolano Ruiz y M. A. Lozano Ortega, *Inteligencia artificial: modelos, técnicas y áreas de aplicación*, Madrid: Paraninfo, 2003.
- [79] A. García Serrano, *Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones*, Madrid: RC Libros.
- [80] D. Cervantes Rodón y Y. Zulueta Véliz, «2-tuplas lingüísticas en la evaluación de equipos de desarrollo de software,» *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 8, nº 1, pp. 59-72, 2015.
- [81] B. Baesens, R. Setiono, C. Mues y J. Vanthienen, «Using neural network rule extraction and decision tables for credit-risk evaluation,» *Management Science*, vol. 49, nº 3, pp. 312-329, 2003.
- [82] R. Flórez López y J. M. Fernández Fernández, *Las Redes Neuronales Artificiales*, Netbiblo, 2008.
- [83] G. L. Acevedo Orduña, E. F. Caicedo Bravo y H. Loaiza Correa, «Selección de personal mediante redes neuronales artificiales,» *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, vol. 14, nº 1, pp. 7-20, 2007.
- [84] R. Wardlaw y M. Sharif, «Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation,» *Journal of water resources planing and management*, pp. 25-33, 1999.
- [85] P. Gómez Otero, «Estudio de los algoritmos genéticos para el desarrollo de sistemas de control,» *Ingeniería y Desarrollo*, nº 8, pp. 130-138, 2001.
- [86] G. A. Gómez Rojas, J. C. Henao López y H. Salazar Isaza, «Entrenamiento de una red neuronal artificial usando el algoritmo simulated annealing,» *Scientia Et Technica*, vol. X, nº 24, pp. 13-18, 2004.
- [87] H. Martínez Alfaro y M. Valenzuela Rendón, «Using simulated annealing with a neighborhood heuristic for roll cutting optimization,» *Computación y Sistemas*, vol. 13, nº 1, pp. 87-95, 2009.
- [88] J. S. Arias Rojas, J. F. Jiménez y J. R. Montoya Torres, «Solving of school bus routing problem by ant colony optimization,» *Revista EIA*, nº 17, pp. 193-207, 2012.
- [89] M. E. Ruiz Rivera, J. E. Yarasca Carranza y E. Ruiz Lizama, «Análisis de la comprensión de imágenes utilizando clustering bajo el enfoque de colonia de hormigas,» *Industrial Data*, vol. 16, nº 2, pp. 118-131, 2013.
- [90] X. Min Hu, J. Zhang, H. S. Hung Chung, O. Liu y J. Xiao, «An Intelligent Testing System Embedded With an Ant-Colony-Optimization-Based Test Composition Method,» *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS—PART C: APPLICATIONS AND REVIEWS*, vol. 39, nº 6, pp. 659-669, 2009.

- [91] V. Yannibelli, D. Godoy y A. Amandi, «A Genetic Algorithm Approach to Recognise Students' Learning Styles,» *Interactive Learning Environments*, vol. 14, nº 1, p. 55 – 78, 2006.
- [92] B. C. HARDGRAVE, R. L. WILSON y K. A. WALSTRO, «Predicting graduate student success: A comparison of neural networks and traditional techniques,» *Computers and Operations Research*, vol. 21, nº 3, pp. 249-263., 1993.
- [93] H. Chen, G. Shankaranarayanan, L. She y A. Iyer, «A Machine Learning Approach to Inductive Query by Examples: An Experiment Using Relevance Feedback, ID3, Genetic Algorithms, and Simulated Annealing,» *JOURNAL OF THE AMERICAN SOCIETY FOR INFORMATION SCIENCE*, vol. 49, nº 8, p. 693–705, 1998.
- [94] B. Minaei Bidgoli y W. F. Punch, «Using Genetic Algorithms for Data Mining Optimization in an Educational Web-Based System,» de *Genetic and Evolutionary Computation Conference*, Heidelberg, 2003.
- [95] C. Romero, . S. Ventura, P. G. Espejo y C. Hervás, «Data Mining Algorithms to Classify Students,» de *The 1st International Conference on Educational Data Mining*, Montréal, Québec, Canada, 2008.
- [96] M. Chandrasekaran, M. Muralidhar, C. Murali Krishna y U. S. Dixit, «Application of soft computing techniques in machining performance prediction and optimization: a literature review,» *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, nº 46, p. 445–464, 2010.
- [97] F. Herrera, S. Alonso, F. Chiclana y E. Herra-Viedma, «Computing with words in decision making: foundations, trends and prospects,» *Fuzzy Optim Decis Making*, nº 8, pp. 337-364, 2009.
- [98] R. Shanmugavadivu y N. Nagarajan, «Learning of Intrusion detector in conceptual approach of fuzzy towards intrusion methodology,» *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 2, nº 5, pp. 246-250, 2012.
- [99] P.-T. Chang y K.-C. Hung, «Applying the Fuzzy-Weighted-Average approach to evaluate network security systems,» *Computers and Mathematics with Applications*, nº 49, pp. 1797-1814, 2005.
- [100] I. Benítez y J. L. Díez, «Técnicas de agrupamiento para el análisis de datos cuantitativos y cualitativos,» *Departamento de Ingeniería de sistemas y automática. UPV*, 2005.
- [101] R. Lemuz López, W. Gómez López, I. Ayaquica Martínez y C. Guillén Galván, «Selección de electrodos basada en K-means para la clasificación de actividad motora en EEGG,» *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, vol. 35, nº 2, pp. 107-114, 2014.
- [102] E. N. Nasibov y A. Ö. Kinay, «An iterative approach for estimation of student performances based on linguistic evaluations,» *Information Sciences*, nº 179, pp. 688-698, 2009.
- [103] R. Y. Shikhliinskaya, «On solution of one fuzzy logic problem,» *airXiv*, vol. 1, 2008.

- [104] S. M. Chen y T. K. Li, «Evaluating students' learning achievement based on fuzzy rules with fuzzy reasoning capability,» *Experts Systems with Applications*, nº 38, pp. 4368-4381, 2011.
- [105] A. Grande Meza, «Observadores Difusos y Control Adaptable Difuso Basado en observadores,» *Centro de investigación y de estudios avanzados del instituto Politécnico Nacional*, 2003.
- [106] R. M. Huachica, E. M. Dafaoui y A. E. Mhamedi, «A competence based evaluation and selection problem by fuzzy linguistic computing,» de *International Symposium on Computational Intelligence and Design*, Montreuil, France, 2010.
- [107] H. Raoudha, D. E. Mouloudi, H. Selma y E. M. Abderrahman, «A new approach for an efficient human resource appraisal and selection,» *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 2, nº 5, pp. 323-343, 2012.
- [108] T. Read, B. Barros, E. Bárcena y J. Pancorbo, «Coalescing individual and collaborative learning to model user linguistic competences,» *Springer Science+Business Media*, nº 16, pp. 349-376, 2006.
- [109] Java, «Conozca más sobre la tecnología Java,» [En línea]. Available: <https://www.java.com/es/about/>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [110] E. González, «¿Qué es PHP? y ¿Para qué sirve? Un potente lenguaje de programación para crear páginas web,» [En línea]. Available: [http://www.aprenderaprogramar.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=492:que-es-php-y-para-que-sirve-un-potente-lenguaje-de-programacion-para-crear-paginas-web-cu00803b&catid=70:tutorial-basico-programador-web-php-desde-cero&Itemid=193](http://www.aprenderaprogramar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=492:que-es-php-y-para-que-sirve-un-potente-lenguaje-de-programacion-para-crear-paginas-web-cu00803b&catid=70:tutorial-basico-programador-web-php-desde-cero&Itemid=193). [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [111] S. Holden, «Python,» 4 Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://wiki.python.org/moin/BeginnersGuide/Overview>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [112] Ruby, «Ruby, el mejor amigo de un desarrollador,» [En línea]. Available: <https://www.ruby-lang.org/es/about/>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [113] Genbeta, «Eclipse IDE,» 10 Enero 2014. [En línea]. Available: <http://www.genbetadev.com/herramientas/eclipse-ide>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [114] Genbeta, «NetBeans,» 9 Enero 2014. [En línea]. Available: <http://www.genbetadev.com/herramientas/netbeans-1>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [115] django, «Meet Django,» [En línea]. Available: <https://www.djangoproject.com/>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [116] Ruby on rails, «Ruby on Rails: El desarrollo web que no molesta,» [En línea]. Available: <http://www.rubyonrails.org.es/>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [117] J. D. Anguiano Morales, «Características y tipos de bases de datos,» 30 Junio 2014. [En línea]. Available:



- [https://www.ibm.com/developerworks/ssa/data/library/tipos\\_bases\\_de\\_datos/](https://www.ibm.com/developerworks/ssa/data/library/tipos_bases_de_datos/). [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [118] J. Dash, «RDBMS vs. NoSQL: How do you pick?,» 18 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.zdnet.com/article/rdbms-vs-nosql-how-do-you-pick/>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [119] acensWhitepapers, «Bases de datos NoSQL. Qué son y tipos que nos podemos encontrar,» [En línea]. Available: <https://www.acens.com/wp-content/images/2014/02/bbdd-nosql-wp-acens.pdf>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [120] Genbeta, «MongoDB: qué es, cómo funciona y cuándo podemos usarlo (o no),» 3 Febrero 2014. [En línea]. Available: <http://www.genbetadev.com/bases-de-datos/mongodb-que-es-como-funciona-y-cuando-podemos-usarlo-o-no>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [121] EcuRed, «MongoDB,» 18 Noviembre 2011. [En línea]. Available: <http://www.ecured.cu/MongoDB>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [122] Genbeta, «Amazon lanza DynamoDB, una base de datos NoSQL desarrollada internamente,» 19 Enero 2012. [En línea]. Available: <http://www.genbetadev.com/programacion-en-la-nube/amazon-lanza-dynamodb-una-base-de-datos-nosql-desarrollada-integramente-por-ellos>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [123] Genbeta, «Bases de datos NoSQL. Elige la opción que mejor se adapte a tus necesidades,» 27 Enero 2014. [En línea]. Available: <http://www.genbetadev.com/bases-de-datos/bases-de-datos-nosql-elige-la-opcion-que-mejor-se-adapte-a-tus-necesidades>. [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [124] EcuRed, «Apache Cassandra,» [En línea]. Available: [http://www.ecured.cu/Apache\\_Cassandra](http://www.ecured.cu/Apache_Cassandra). [Último acceso: 3 Febrero 2016].
- [125] M. I. Alfonso, «Servicios Web y SOA,» 26 Junio 2014. [En línea]. Available: <http://www.jtech.ua.es/j2ee/publico/servc-web-2012-13/wholesite.pdf>. [Último acceso: 4 Febrero 2016].
- [126] R. Navarro Marset, «Rest vs Web Services,» [En línea]. Available: <http://users.dsic.upv.es/~rnavarro/NewWeb/docs/RestVsWebServices.pdf>. [Último acceso: 4 Febrero 2016].
- [127] IEEE, *Guide to the software engineering body of knowledge*, Los Alamitos, California: IEEE Computer Society, 2001.