



Universidad de las Ciencias Informáticas

Facultad 6

MCDM ProSolver

Plataforma de software para la definición y solución de problemas de decisión bajo incertidumbre con múltiples criterios y expertos utilizando la lógica difusa

Trabajo de Diploma para optar por el título de
Ingeniero en Ciencias Informáticas

Autor: Adrián de Jesús Sánchez Nievaes

Tutor: Dr. C. Edistio Yoel Verdecia Martínez, Profesor Titular

La Habana, Cuba

2015

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaro ser autor de la presente tesis que tiene por título: “Plataforma de software para la definición y solución de problemas de decisión bajo incertidumbre con múltiples criterios y expertos utilizando la lógica difusa” y le otorgo a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo. Para que así conste firmo la presente a los ____ días del mes de _____ del año _____.

Adrián de Jesús Sánchez Nievares

Edistio Yoel Verdecia Martínez

Firma del Autor

Firma del Tutor

DATOS DE CONTACTO

Autor:

Nombre y Apellidos: Adrián de Jesús Sánchez Nievares.

Dirección: Empedrado 360 e/ Habana y Compostela, Habana Vieja, La Habana, Cuba.

E-mail: adsanchez@estudiantes.uci.cu

Tutor:

Nombre y Apellidos: Edistio Yoel Verdecia Martínez.

Título: Doctor en Ciencias Pedagógicas.

Categoría Docente: Profesor Titular.

E-mail: edistio@nauta.cu

Graduado de Licenciado en Cibernética-Matemática en la Facultad de Matemática-Computación de la Universidad de la Habana, en el año 1996. Doctor en Ciencias Pedagógicas (2011), Máster en Gestión de Proyectos Informáticos (2008) y Profesor Titular (2012). Desde el 2002 y hasta el 2014 fue profesor en la Universidad de las Ciencias Informáticas. Laboró desde el 2004 y hasta el 2006 en la República Bolivariana de Venezuela en el Proyecto Identidad donde ocupó varias responsabilidades. Fue Jefe de Departamento de la Disciplina Técnicas de Programación desde el 2003 y hasta el 2007 a nivel central y desde el 2009 hasta el 2011 en la Facultad 1. Fue además asesor de la Dirección de Postgrado y de la Vicerrectoría de Programas Especiales.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, que me ha dado siempre todo su cariño, apoyo incondicional y dedicación.

A mi hermano Lester, que aunque esté lejos siempre me ha apoyado y ha sido mi ejemplo a seguir toda la vida.

A mi padre, que más que padre ha sido siempre mi amigo.

A mi hermano Rafa, que ha sabido llenar el vacío de un hermano ausente de la mejor manera que se pudiera hacer.

A mi amigo Sael, gran parte de esta investigación no hubiera sido posible sin él.

A mi tutor, a él le debo la otra parte de esta investigación y gracias a su insistencia hoy estoy aquí defendiendo mi tesis.

A todos mis amigos y compañeros, presentes y no presentes, que me apoyaron en el transcurso de todos estos años y que de una forma u otra han tenido que ver en mi formación como profesional, si mencionara todos sus nombres no terminaría nunca, al final me demoré más que la mayoría en terminar mis estudios pero lo logré.

DEDICATORIA

A mi mamá que siempre ha estado de mi lado de manera incondicional, todo lo que soy y seré en la vida se lo debo a ella.

A mi abuela Fara que siempre me está cuidando y observando desde el cielo y en estos momentos estoy seguro que se siente orgullosa de mi.

A mi hermano Lester que aunque no esté a mi lado siempre lo tengo presente y ha sido siempre mi motor impulsor en todos mis años como estudiante.

RESUMEN

Una de las etapas más importantes dentro del proceso de resolución de problemas es la toma de decisiones. Un proceso de toma de decisiones que incluye más de un criterio de evaluación es denominado toma de decisión con múltiples criterios, cuando existe más de un experto para evaluar las alternativas se denomina toma de decisión con múltiples expertos, a este proceso está dedicada esta investigación. La incertidumbre y la lógica difusa son componentes claves en la resolución de problemas de este tipo. Existen muchos métodos de solución a problemas de toma de decisión y variaciones de los mismos que incorporan el tratamiento de la incertidumbre y la lógica difusa. La presente investigación propone el desarrollo de un sistema informático que permite definir y solucionar problemas de toma de decisión bajo incertidumbre con múltiples criterios y múltiples expertos utilizando la lógica difusa. La versión inicial implementa los métodos TOPSIS y PROMETHEE. El sistema permite la extensibilidad en cuanto a métodos de solución de problemas de toma de decisión, ha sido implementado utilizando la metodología XP, como entorno de desarrollo integrado el NetBeans y como lenguaje de programación el Java. La validación realizada demuestra que el sistema se comporta como los métodos individuales, es extensible y adecuado de acuerdo a los criterios dados por los especialistas.

PALABRAS CLAVE

Toma de decisión, múltiples criterios, múltiples expertos, incertidumbre, lógica difusa, métodos de solución de problemas de toma de decisión, sistema informático.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. BREVE ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE TOMA DE DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE CON MÚLTIPLES CRITERIOS Y EXPERTOS.....	6
1.1. La toma de decisión bajo incertidumbre con múltiples criterios y expertos	6
<i>1.1.1. Proceso de toma de decisiones</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2. Proceso de toma de decisión con múltiples criterios y expertos</i>	<i>7</i>
<i>1.1.3. Incertidumbre.....</i>	<i>10</i>
<i>1.1.4. Lógica difusa.....</i>	<i>10</i>
1.2. Métodos para la solución de problemas de toma de decisión con múltiples criterios y expertos.....	12
<i>1.2.1. AHP</i>	<i>12</i>
<i>1.2.2. ANP</i>	<i>14</i>
<i>1.2.3. Delphi.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.4. Familia de métodos PROMETHEE</i>	<i>16</i>
<i>1.2.5. TOPSIS.....</i>	<i>17</i>
<i>1.2.6. Otros.....</i>	<i>19</i>
1.3. Sistemas de Soporte a la Decisión con múltiples criterios y expertos.....	19
<i>1.3.1. Características principales y clasificaciones</i>	<i>20</i>
<i>1.3.2. Análisis de algunos sistemas homólogos</i>	<i>21</i>
Conclusiones parciales.....	23
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA PLATAFORMA MCDM PROSOLVER.....	26
2.1. Descripción del problema y modelo matemático asociado	26
2.2. Solución propuesta	27
2.3. Herramientas, lenguajes y metodologías de desarrollo.....	28
<i>2.3.1. Metodologías de desarrollo</i>	<i>29</i>
<i>2.3.2. Herramienta CASE</i>	<i>30</i>
<i>2.3.3. Lenguaje de Modelado.....</i>	<i>31</i>
<i>2.3.4. Lenguaje de programación</i>	<i>31</i>
<i>2.3.5. Entorno de desarrollo integrado.....</i>	<i>32</i>

2.4. Requisitos del software	32
2.4.1. <i>Lista de reserva del producto</i>	33
2.4.2. <i>Historias de Usuario</i>	33
2.5. Plan de iteraciones	34
2.6. Tarjetas CRC	34
2.7. Arquitectura de software	35
2.7.1. <i>Arquitectura N capas</i>	35
2.7.2. <i>Patrón arquitectónico Modelo-Vista-Controlador</i>	36
2.8. Patrones de diseño	37
2.8.1. <i>Patrones GRASP</i>	37
2.9. Diagrama de clases	38
Conclusiones parciales	41
CAPÍTULO 3. IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA MCDM PROSOLVER	43
3.1. Tareas de ingeniería	43
3.2. Estándares de codificación	43
3.2.1. <i>Nombres de estructuras</i>	44
3.2.2. <i>Reglas de codificación</i>	44
3.3. Diagrama de despliegue	44
3.4. Interfaces de la aplicación	45
3.5. Pruebas de software	45
3.5.1. <i>Pruebas unitarias</i>	46
3.5.2. <i>Pruebas de aceptación</i>	47
Conclusiones parciales	49
CAPÍTULO 4. VALIDACIÓN DE LA PLATAFORMA MCDM PROSOLVER	50
4.1. Diseño de la validación	50
4.2. Pruebas de Veracidad	51
4.3. Método Criterio de Expertos	55
4.4. Test de ladov	58
4.5. Triangulación de métodos	60
Conclusiones parciales	61

CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	69
GLOSARIO DE TÉRMINOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Otros métodos para la solución a problemas de toma de decisión</i>	19
<i>Tabla 2. Resumen de los DSS estudiados</i>	23
<i>Tabla 3. Lista de reserva del producto</i>	33
<i>Tabla 4. Historia de usuario “Importar problema”</i>	34
<i>Tabla 5. Plan de iteraciones</i>	34
<i>Tabla 6. Tarjeta CRC de la clase “ConjuntoDeEtiquetas”</i>	35
<i>Tabla 7. Tareas de ingeniería</i>	43
<i>Tabla 8. Prueba unitaria para el método “MejorAlternativa”</i>	46
<i>Tabla 9. Prueba de aceptación de la historia de usuario “Editar problema”</i>	47
<i>Tabla 10. Indicadores utilizados en la validación</i>	50
<i>Tabla 11. Artículos seleccionados para las “Pruebas de Veracidad”</i>	52
<i>Tabla 12. Resultados de las “Pruebas de Veracidad”</i>	52
<i>Tabla 13. Análisis de la aplicabilidad en las “Pruebas de Veracidad”</i>	53
<i>Tabla 14. Resultado de la aplicación de los métodos a los problemas de los artículos seleccionados</i>	53
<i>Tabla 15. Resultado de la aplicación de F-TOPSIS-UVM</i>	54
<i>Tabla 16. Indicadores seleccionados para ser evaluados por los expertos</i>	55
<i>Tabla 17. Distribución de expertos según el nivel de competencia</i>	56
<i>Tabla 18. Grado de concordancia por pregunta y relación con indicadores de validación del primer grupo</i>	57
<i>Tabla 19. Grado de concordancia por pregunta y relación con indicadores de validación del segundo grupo</i>	58
<i>Tabla 20. Resultado de la aplicación del Test de Iadov</i>	59
<i>Tabla 21. Resultados de cada indicador con respecto a las técnicas empleadas</i>	61

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Representación gráfica de funciones triangulares y trapezoidales (Elaboración propia)</i>	11
<i>Figura 2. Esquema de la solución propuesta (Elaboración propia)</i>	28
<i>Figura 3. Patrón Modelo-Vista-Controlador (Elaboración propia)</i>	37
<i>Figura 4. Diagrama de clases (Parte 1)</i>	39
<i>Figura 5. Diagrama de clases (Parte 2)</i>	39
<i>Figura 6. Diagrama de clases (Parte 3)</i>	40
<i>Figura 7. Diagrama de despliegue</i>	45
<i>Figura 8. Interfaz principal con el menú “Archivo” desplegado</i>	45
<i>Figura 9. Resultados de las pruebas unitarias por iteración (Elaboración propia)</i>	47
<i>Figura 10. Resultados de las pruebas de aceptación por iteración (Elaboración propia)</i>	48
<i>Figura 11. Diseño de la validación (Elaboración propia)</i>	51
<i>Figura 12. Proceso de aplicación del sistema (Elaboración propia)</i>	52

INTRODUCCIÓN

La toma de decisiones es un proceso cotidiano y de suma importancia en diferentes ámbitos de la sociedad tales como la gestión de recursos humanos, la educación y el comercio, lo que está fundamentado por diversas investigaciones ((F. Shipley, y otros, 2009), (A. Krohling, y otros, 2010)). La toma de decisiones ocurre bajo diferentes condiciones y en la actualidad la toma de decisiones con múltiples criterios y expertos ante situaciones complejas es un proceso engorroso y complejo.

En la solución de problemas de toma de decisión tipo se involucran múltiples criterios y los juicios emitidos por los expertos lo que muchas veces supera las capacidades de procesamiento de información del ser humano que debe darle solución. Lo anterior hace que las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) sean adecuadas para facilitar estos procesos. Es conocido además que el juicio intuitivo humano y la toma de decisiones derivados de este no son óptimos, siendo afectados por la complejidad e incertidumbre propias del problema. Ofrecer una ayuda que erradique las deficiencias anteriormente expuestas constituye una de las líneas principales de la ciencia a lo largo de la historia (Sánchez González, y otros, 2013).

La teoría de conjuntos clásica y el álgebra booleana, con su lógica de pertenencia y no pertenencia, ha permitido la formalización de determinadas situaciones que la realidad plantea, pero existen otras que resultan difíciles de modelar a través de este esquema que proporciona solo dos estados posibles. A diario se nos plantean problemas en los cuales se puede comprobar esta indiscutible realidad. Así, cuando se considera el conjunto de todos los hombres y se quiere delimitar el subconjunto de todos los "*hombres jóvenes*", se plantea un problema dado a que los límites de tal subconjunto no quedan bien definidos o quedan definidos de acuerdo a perspectivas muy personales. Otro de los elementos es que el concepto de joven está muy relacionado con el entorno cultural y social, situación que sucede en relación con otros criterios como por ejemplo: frío, caliente, alto o bajo.

Por la razón anterior es preciso recurrir a la lógica difusa, que permite expresar conceptos con límites imprecisos y en los que la pertenencia a una determinada clase permite una cierta gradación. Según (Kaufmann, y otros, 1993) la lógica difusa y la teoría de los subconjuntos borrosos es un paso hacia el acercamiento entre la precisión de las matemáticas clásicas y la sutil imprecisión real.

El análisis de la solución a los problemas de toma de decisión ha sido ampliamente reflejado por la literatura y existen un gran número de métodos para obtener la propuesta de solución entre los que se encuentran el Proceso Analítico en Red (ANP por sus siglas en inglés) (Ayub, y otros, 2009), Proceso de Análisis Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) (Karimi, y otros, 2011), PROMETHEE (Chen-Tung, y otros, 2009), DELPHI (Kaufmann, y otros, 1993), TOPSIS (Jadidi, y otros, 2008), entre otros.

Los métodos mencionados anteriormente no han sido elaborados bajo el paradigma de la lógica difusa, sin embargo han sido adaptados para la utilización de ella. Un problema generalizado en la literatura es que muchos autores proponen nuevos métodos o variaciones de los existentes regularmente ((A. Krohling, y otros, 2010), (F. Shipley, y otros, 2009)), sin embargo hoy son pocas las plataformas que permiten definir el problema de decisión, adicionar nuevos métodos y realizar experimentos que permitan comparar los resultados ofrecidos por diferentes métodos de solución.

La revisión de la literatura científica acerca de la solución a problemas de toma de decisión con múltiples criterios y expertos ha permitido identificar los siguientes elementos:

- Existencia de múltiples métodos para solucionar este tipo de problemas (ANP, AHP, PROMETHEE, DELPHI, TOPSIS, entre otros).
- Muchos autores proponen nuevos métodos o variaciones de los existentes regularmente cambiando por ejemplo el tipo de conjunto difuso que utilizan ((A. Krohling, y otros, 2010), (Ayub, y otros, 2009), (Cables, y otros, 2011), (Jahanshahloo, y otros, 2009), (Karimi, y otros, 2011)).
- Inexistencia de una plataforma que permita adicionar nuevos métodos y comparar los resultados de los mismos.
- Se utilizan diferentes tipos de conjuntos difusos en la solución (números triangulares, números trapezoidales, conjuntos borrosos de tipo 2 y 2-tuplas, entre otros) lo que hace que en ocasiones la solución se vea afectada en alguna medida por el método de representación.

Dada la **situación problemática** y la caracterización de los métodos de solución a problemas de toma de decisión bajo incertidumbre con múltiples criterios y expertos planteada anteriormente, se formula el siguiente **problema a resolver**:

¿Cómo contribuir a la solución de problemas de toma de decisión bajo incertidumbre con múltiples criterios y expertos con la ayuda de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones?

El **objeto de estudio** consiste en el proceso de la toma de decisiones y el **campo de acción** el proceso de toma de decisiones con múltiples criterios y expertos bajo incertidumbre con la utilización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

El **objetivo general** de esta investigación es desarrollar una plataforma de software que permita definir y solucionar problemas de toma de decisiones bajo incertidumbre con múltiples criterios y expertos aplicando la lógica difusa.

La investigación realizada se sustenta en la siguiente **idea a defender**: Con el correcto desarrollo de una plataforma de software multi-métodos y extensible para determinar propuestas de solución a problemas de toma de decisión con múltiples criterios y expertos bajo incertidumbre, se lograrán reproducir fielmente los resultados de la literatura científica y se podrá comparar la aplicación de diferentes métodos.

Para dar cumplimiento al objetivo general se definieron los siguientes **objetivos específicos**:

1. Caracterizar el proceso de toma de decisiones con múltiples criterios y expertos, los elementos fundamentales de la incertidumbre y la lógica difusa, los métodos que emplean para dar solución a los problemas definidos y las soluciones de software existentes para la toma de decisiones con múltiples criterios y expertos.
2. Elaborar una propuesta integral de la plataforma de software que incluya la selección de las herramientas, marcos de trabajo, lenguaje de programación así como el análisis y diseño utilizando una metodología de desarrollo adecuada.
3. Implementar la propuesta de plataforma de software a partir de los artefactos elaborados.
4. Validar la propuesta de plataforma de software utilizando ejemplos tomados de la literatura científica, el criterio de expertos, el Test de ladov; triangulando los resultados dados por los diferentes métodos y técnicas.

Entre los **métodos de investigación** que han sido utilizados para darle cumplimiento a los objetivos declarados se encuentran dentro de los métodos teóricos: el histórico-lógico utilizado en la fundamentación teórica para estudiar la evolución y desarrollo de la lógica difusa, específicamente de la teoría de los conjuntos borrosos y su aplicación para la solución de problemas de toma de decisión con múltiples criterios y expertos; el analítico-sintético para concretar y resumir el conocimiento reflejado en los materiales consultados sobre el tema de la teoría de los conjuntos borrosos y la toma de decisiones, con

el objetivo de integrar esa información y construir el estado del arte y los demás aspectos básicos de esta investigación.

Dentro de los métodos empíricos utilizados se encuentran: la observación y el experimento en los casos de prueba que se le realizan a la aplicación en su primera fase de implementación permitiendo corregir las no conformidades arrojadas luego de estas pruebas, y la revisión documental al realizar un análisis de la bibliografía científica existente sobre los temas fundamentales de la investigación.

El documento se encuentra estructurado en una introducción, cuatro capítulos que constituyen el cuerpo del mismo, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas, glosario de términos y anexos.

El primer capítulo titulado “Breve análisis de la solución de problemas de toma de decisión bajo incertidumbre con múltiples criterios y expertos”, tiene como objetivo principal analizar críticamente y presentar los elementos teóricos que sirven de base a la investigación. Los conceptos fundamentales que se presentan están unidos al proceso de toma de decisiones bajo incertidumbre, específicamente cuando intervienen múltiples criterios y expertos. También se incluye una descripción de los métodos y metodologías utilizadas para dar solución a problemas de toma de decisión, además la caracterización de un grupo de sistemas existentes que dan solución a la problemática.

El segundo capítulo titulado “Análisis y diseño de la plataforma MCDM ProSolver”, presenta la propuesta de una plataforma de software extensible para la solución de problemas de toma de decisión con múltiples criterios y expertos, así como su fundamentación teórica. Este capítulo contiene los principales elementos que caracterizan la propuesta de solución. Se especifican las características y funcionalidades del sistema a partir de exponer los requisitos funcionales y no funcionales identificados, los prototipos de interfaz, así como los patrones de diseño y la arquitectura a utilizar. El cuerpo de este capítulo contiene además la selección de las herramientas, plataformas, lenguajes de programación entre otros elementos necesarios para concretar la propuesta.

El tercer capítulo titulado “Implementación de la plataforma MCDM ProSolver”, tiene como objetivo mostrar y documentar el proceso de implementación de la plataforma. El capítulo describe la construcción de la solución de software propuesta y las pruebas realizadas para mostrar su correcta elaboración.

El cuarto capítulo titulado “Validación de la plataforma MCDM ProSolver”, se dedica a la validación de la investigación. La validación de la propuesta de plataforma de software está diseñada para evaluar en una primera etapa la veracidad de las soluciones brindadas por la plataforma, para ello se utiliza ejemplos tomados de la literatura científica. En una segunda etapa se aplica el método Criterio de Expertos para que la plataforma sea evaluada por expertos que den solución a problemas de toma de decisiones y puedan aportar los criterios que permitan mejorarla, se aplica además una pequeña encuesta para determinar los requisitos funcionales de la plataforma. Luego se lleva a cabo el Test de Iadov para conocer la satisfacción de los expertos en relación a la utilización de la misma. Finalmente se realiza una triangulación metodológica inter-métodos donde se incluye además el resultado de las pruebas de software contenidas en el capítulo III.

CAPÍTULO 1. BREVE ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE TOMA DE DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE CON MÚLTIPLES CRITERIOS Y EXPERTOS

Este capítulo tiene como objetivo presentar, analizar y detallar los elementos teóricos que sustentan la presente investigación, para ello se realiza un estudio de los métodos y sistemas usados para dar solución a problemas de toma de decisión bajo incertidumbre con múltiples criterios y expertos, tomando de ellos elementos que puedan ser utilizados para dar solución al problema planteado.

1.1. La toma de decisión bajo incertidumbre con múltiples criterios y expertos

En el plano de la administración un problema se define como la brecha existente entre el estado actual y el estado deseado. El proceso de solución de problemas se desarrolla por iteraciones sucesivas y en cada uno de los pasos está presente la toma de decisiones. Para poder lograr un mejor entendimiento del tema se considera imprescindible definir los siguientes conceptos que giran alrededor del objeto de estudio y del campo de acción.

1.1.1. *Proceso de toma de decisiones*

El proceso de toma de decisiones no es un proceso aislado, sino que forma parte de la resolución de problemas. El proceso de resolución de problemas consta de siete etapas, donde las cinco primeras son las que se asocian a la toma de decisiones, comenzando con la identificación y definición del problema y concluyendo con la elección de una alternativa (Hurtado, y otros, 2005).

1. Definir el problema.
2. Identificar las alternativas.
3. Determinar los criterios.
4. Evaluar las alternativas.
5. Elegir una opción.
6. Implementar la decisión.
7. Evaluar los resultados.

Las etapas correspondientes a la toma de decisiones se agrupan en dos fases. Las tres primeras etapas conforman la estructuración del problema y las dos últimas corresponden al análisis del problema. En las

etapas de estructuración del problema se debe definir el problema en términos que todos comprendan y permitan trabajar sobre el mismo, partiendo siempre de ¿cuál es el estado deseado?, también se deben identificar cuáles son las opciones para mejorar el estado actual y qué criterios se tomarán en cuenta para lograrlo. Seguido de esta fase se debe realizar el análisis del problema, donde primeramente se debe realizar una evaluación detallada de las opciones o alternativas que se identificaron, para así poder seleccionar la que sea más adecuada para darle solución.

De acuerdo a (Munier, 2011) la toma de decisiones (TD) hace referencia al conjunto de operaciones que comprenden desde el momento en que se detecta una situación que hace necesaria la TD hasta que esta es adoptada y ejecutada.

De acuerdo al análisis de la bibliografía consultada ((Munier, 2011), (Hurtado, y otros, 2005)) podemos considerar entonces la TD como el proceso que incluye la definición del problema a resolver, la identificación de las posibles alternativas, la determinación de los criterios que influyen en la posterior evaluación de las alternativas, finalizando el proceso con la propuesta de una o varias de ellas como la o las más adecuadas. El autor de la investigación no incluye la puesta en práctica de la alternativa y la evaluación del impacto por el propio objetivo de la investigación que es proporcionar una herramienta para definir y proponer posibles soluciones a problemas que presentan determinadas características, sin embargo reconoce la importancia de estos dos procesos.

1.1.2. Proceso de toma de decisión con múltiples criterios y expertos

En la actualidad muchas organizaciones son demasiado complejas como para ser administradas por una persona aislada. Por lo general cuando se va a tomar una decisión compleja o importante se necesita más de un criterio para lograr una mayor efectividad en la selección de la alternativa más adecuada, de ahí la necesidad de la TD en grupo (o con múltiples expertos) donde influye más de un criterio (multicriterio). Es por lo antes mencionado que en la práctica diaria los problemas más comunes se enmarcan en la toma de decisiones con múltiples criterios y expertos. Este proceso se puede considerar un proceso donde se toma en consideración el criterio de varios respecto a más de un parámetro al tomar una decisión.

(Roubens, 1997) plantea la resolución de problemas de este tipo en dos fases:

1. **Fase de agregación:** donde se obtiene un valor colectivo a partir de los valores de importancia, utilidad o preferencia que proporciona cada experto o a partir de los criterios que se definen para

valorar las alternativas utilizando generalmente un operador de agregación de información.

2. **Fase de explotación:** a partir de los valores colectivos obtenidos en la fase anterior se selecciona la mejor alternativa, utilizando una función de selección que permita ordenar las alternativas a partir de vectores de utilidad, relaciones de preferencia o cualquier otro mecanismo, para analizar la factibilidad de la alternativa como solución al problema.

Los problemas que no implican más de un criterio de decisión se le denomina problemas de decisión de criterio único y en el caso contrario se les denomina problemas de decisión multicriterio o problemas de decisión con múltiples criterios, pues existen diversos criterios a tener en cuenta para tomar la decisión (Hurtado, y otros, 2005).

En el área de la Gestión de Recursos Humanos se presentan a menudo problemas de este tipo, cuando se va a seleccionar una persona para un puesto de trabajo determinado dentro de un grupo de candidatos, en este caso se necesita más de un criterio para poder elegir con más claridad cuál es el candidato adecuado, tomándose en cuenta valores del personal que pudieran incluso ser cualitativos: nivel de escolaridad, experiencia laboral y actitud ante el trabajo, por mencionar algunos. En procesos como este cuando los candidatos son evaluados por más de un expertos puede ocurrir que estos no evalúen utilizando los mismos parámetros para una misma característica lo que introduce determinado nivel de incertidumbre, pues los expertos utilizan en la evaluación sus propias experiencias (Arza Pérez, 2013).

En el trabajo de (Doupous, y otros, 2010) se plantea que los métodos de decisión multicriterio constituyen un conjunto de metodologías que brindan soporte a las situaciones donde criterios en conflicto, metas, objetivos y puntos de vista deben ser tomados en consideración. En la actualidad la decisión multicriterio se considera un área fundamental de la Teoría de la Decisión (Barberis, y otros, 2011).

Por otra parte según (Sánchez, 2009) los problemas en los que participa un único decisor o experto se le denomina problemas de decisión individual y en el caso contrario se les denomina problemas de decisión grupal o problemas de decisión con múltiples expertos.

En la actualidad, en el área de la Administración de Empresas, la TD en grupo es un concepto que ha obtenido importancia debido a las ventajas que trae consigo. Al lograr una cooperación entre varios expertos que necesiten seleccionar una alternativa se pueden aprovechar los conocimientos individuales

de cada uno de ellos, y por consecuente elegir con más seguridad la alternativa adecuada.

Para unificar la terminología que se ha encontrado en la bibliografía consultada en lo adelante la investigación se centrará en los problemas de toma de decisión con múltiples criterios y múltiples expertos, o sea, en problemas de toma de decisión multicriterio y multiexperto (TDMCME). Un posible modelo matemático para la TDMCME se define a continuación.

Para dar solución a determinado problema de toma de decisión P , se tiene un conjunto de alternativas $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, $m \geq 2$ que serán evaluadas por un grupo de criterios que las caracterizan $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, $n \geq 2$, la evaluación de los criterios será realizada por un grupo de expertos $E = \{e_1, e_2, \dots, e_p\}$, $p \geq 2$, estos proporcionarán información referente a la evaluación de los criterios definidos para cada una de las alternativas. Es necesario notar que esta evaluación se realiza por cada experto de acuerdo a sus creencias, experiencias y conocimientos.

Para establecer las preferencias de cada experto respecto a las alternativas cada uno de ellos proporciona lo que se conoce como matriz de decisión (MD) definida como:

$$\widehat{MDe}_k = \begin{bmatrix} \widehat{x}_{1,1} & \cdots & \widehat{x}_{1,j} & \cdots & \widehat{x}_{1,n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \widehat{x}_{i,1} & \cdots & \widehat{x}_{i,j} & \cdots & \widehat{x}_{i,n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \widehat{x}_{m,1} & \cdots & \widehat{x}_{m,j} & \cdots & \widehat{x}_{m,n} \end{bmatrix}, (1)$$

Donde $1 \leq i \leq m$, $1 \leq j \leq n$, $1 \leq k \leq p$ y $\widehat{x}_{i,j}$ representa la evaluación de la alternativa a_i respecto al criterio c_j realizada por el experto e_k .

En ocasiones durante el proceso se les pide a los expertos que ofrezcan su valoración de la importancia (peso) que deben tener las características en el proceso de selección de la alternativa más adecuada para solucionar P . La valoración de la importancia de cada criterio se recoge en un vector de pesos W , que se define como $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$. Cuando se cumple que $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ se dice que los pesos están normalizados, de los pesos no estar normalizados se pueden normalizar. Tener el vector de pesos normalizados es deseado pero no obligatorio.

Otro elemento que interviene en la solución del problema es la diferencia en el mismo nivel de conocimiento de los expertos sobre el problema a solucionar, es por ello que puede aparecer además un

vector de pesos que caracterice el conocimiento de los expertos sobre el problema (o su importancia). Al igual que con los pesos de los criterios este vector puede estar o no normalizado, cuando el vector de pesos está normalizado esta normalización se convierte en un punto de control sobre la solución.

En los problemas de decisión usualmente se consolida la información proporcionada por los expertos, esto se corresponde con la fase de agregación mencionada anteriormente; y posteriormente se realiza un ordenamiento de las alternativas, en el primer lugar quedará la más adecuada a la solución del problema y en el último la menos adecuada, esto se corresponde con la fase de explotación.

1.1.3. Incertidumbre

En los intentos de formalizar el comportamiento humano ha resultado cada vez más necesario introducir la incertidumbre. Se dice que un proceso de toma de decisión presenta incertidumbre cuando no se posee información suficiente para tomar la decisión, no se tiene ningún control sobre la situación y no se conoce cómo puede variar la interacción de las variables del problema, además no se le puede asignar una probabilidad a los resultados que se obtengan.

Las personas y el juicio humano están presentes en cada fase del proceso por lo que se presenta la incertidumbre al tener en cuenta el nivel de conocimiento y las características de cada experto. En la vida diaria existen muchas maneras en las que se manifiesta este concepto, al no tener un completo conocimiento de un campo determinado se trata la incertidumbre como “ignorancia”, como cuando se quiere saber el resultado del lanzamiento de una moneda, por citar algún ejemplo, o cuando se manipula información que puede ser cualitativa o existen algunos conceptos que son “vagos” o “imprecisos”, como personas altas, hombres jóvenes, entre otros. En el mundo cotidiano se utilizan las reglas en muchas situaciones, por lo general estas reglas son “inexactas” o “inconsistentes”.

1.1.4. Lógica difusa

La lógica difusa o lógica borrosa es una rama de la Inteligencia Artificial y un subconjunto de la lógica, que ha sido extendido para manejar el concepto de verdad parcial. La lógica difusa permite gobernar un sistema por medio de reglas de sentido común que se refieren a cantidades o cualidades indefinidas o con rangos. Las reglas involucradas en un sistema difuso pueden ser aprendidas por sistemas adaptativos que aprenden al observar cómo operan las personas los dispositivos reales, aunque estas reglas pueden también ser formuladas por un experto humano.

La lógica difusa es entonces definida como un sistema matemático que modela funciones no lineales y que convierte unas entradas en salidas acorde a los planteamientos lógicos que usan el razonamiento aproximado. Se utiliza cuando la complejidad del proceso en cuestión es muy alta y no existen modelos matemáticos precisos para procesos altamente no lineales, y cuando se envuelven definiciones y conocimientos imprecisos o subjetivos. Uno de los elementos más importante de la lógica difusa son los llamados conjuntos difusos.

Un conjunto difuso no es más que un conjunto que puede contener elementos con grados parciales de pertenencia, a diferencia de los conjuntos clásicos en los que los elementos pueden pertenecer o no a dichos conjuntos (Agudelo, 2001).

Los conjuntos difusos presentan una función de pertenencia que determina el grado en que un elemento pertenece al conjunto. Se denota generalmente por μ y puede adoptar valores entre 0 y 1. Existen múltiples funciones de pertenencia, las más utilizadas son las triangulares y las trapezoidales. La Figura 1 muestra la representación gráfica de la temperatura de un motor de automóvil en grados Fahrenheit.

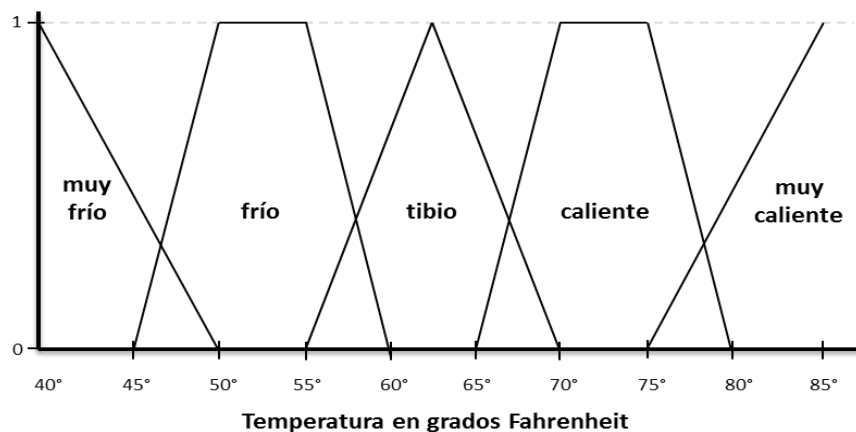


Figura 1. Representación gráfica de funciones triangulares y trapezoidales (Elaboración propia)

En el terreno del quehacer diario aparecen diversos ejemplos en los que se puede evidenciar la aplicación de la teoría de conjuntos difusos. Por lo general para modelar situaciones de este tipo se hace uso de las etiquetas lingüísticas que permiten expresar la clasificación de determinadas características o propiedades, permitiendo representar información cualitativa en términos medibles por sistemas o procesos que necesitan cálculos matemáticos. Cuando desde una loma lejana se divisa una playa con un grupo de bañistas, y se quiere determinar el subconjunto formado por aquellos que se encuentran en el

agua, es posible identificar los que con certeza están allí y los que se hayan completamente fuera del agua, en la arena, pero habrán algunos para los que será necesario establecer un grado o nivel de pertenencia, es decir, que pertenecerán “bastante” mientras que otro pertenecerán “poco” a dicho subconjunto.

1.2. Métodos para la solución de problemas de toma de decisión con múltiples criterios y expertos

En la actualidad existen numerosos métodos o metodologías utilizados para obtener una propuesta de solución a problemas de toma de decisión bajo incertidumbre con múltiples criterios y expertos. Muchas de estas vías de solución no han sido elaboradas bajo el paradigma de la lógica difusa pero han sido modificadas y adaptadas para permitir la utilización de criterios cualitativos.

A continuación se realiza un breve análisis de algunos de estos métodos, para ello se describen los fundamentos del mismo, su algoritmo y algunas referencias a problemas de toma de decisión donde han sido aplicados. Al final del epígrafe en la Tabla 1 se mencionan otros métodos que han sido encontrados durante la revisión bibliográfica.

1.2.1. AHP

El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP¹) es un método creado por el Dr. Thomas Saaty (Saaty, 2008) que se basa en descomponer jerárquicamente el problema a tratar en sus componentes. En el más alto nivel de la jerarquía se ubica el objetivo a alcanzar. El segundo nivel está constituido por los sub-objetivos y criterios que permitirán evaluar el grado de logro de los mismos por las diferentes alternativas que están en el tercer nivel. De esta manera las alternativas serán ordenadas jerárquicamente a través de los pesos globales calculados mediante el método (Peña Abreu, 2012).

Una aplicación útil del método es que posibilita determinar los coeficientes de la matriz de decisión cuando no se conocen sus valores, ya sea por falta de datos o por incertidumbre, dado que permite determinarlos sobre la base de las preferencias del centro decisor y en función de los criterios (Munier, 2011).

AHP consta del siguiente algoritmo, en el cual se repite para cada criterio los pasos del 1 al 4:

¹ Del inglés *Analytic Hierarchy Process*

Paso 1: Se debe crear la Matriz de Comparación por Pares de alternativas para cada uno de los criterios y establecer el peso de importancia relativa entre cada par de alternativas consideradas. El peso de importancia se establece a partir de una escala del 1 al 9, donde 1 es muy poco importante y 9 es extremadamente importante. Se aplica un peso recíproco cuando la segunda alternativa es más importante que la primera (ejemplo: 1/9, 1/3). El valor 1 siempre es asignado a la comparación de una alternativa con sí misma.

Paso 2: Se crea la Matriz Normalizada, donde se divide cada número de la Matriz de Comparación por Pares por la suma total de su columna.

Paso 3: Se determina el Vector de Prioridad para el criterio calculando el promedio de cada fila de la Matriz Normalizada. Este promedio por fila representa el Valor de Prioridad de las alternativas con respecto al criterio seleccionado.

Paso 4: Se deben reconsiderar las opiniones y juicios expresados por los expertos. Para esto es necesario determinar la Consistencia de las opiniones utilizadas en la Matriz de Comparación por Pares utilizando la Razón de Consistencia RC . Una $RC \leq 0.10$ es considerada aceptable, en caso de que $RC > 0.10$ se deben reconsiderar los juicios y opiniones.

Para determinar el valor de RC se debe realizar para cada fila de la Matriz de Comparación por Pares de alternativas, una suma ponderada en base a la suma del producto de cada celda por la prioridad de cada alternativa correspondiente. Para cada fila de la matriz se divide la suma ponderada por la prioridad de su alternativa correspondiente. Luego se determina la media del cálculo realizado anteriormente n_{max} y se calcula el Índice de Consistencia para cada alternativa $IC = \frac{n_{max}-n}{n-1}$. Seguido de esto se calcula el Índice de Aleatoriedad $IA = \frac{1.98(n-2)}{n}$ y finalmente se obtiene $RC = \frac{IC}{IA}$.

Paso 5: Luego de haber realizado los pasos anteriores para cada criterio, los resultados obtenidos en el paso 3 son resumidos en una Matriz de Prioridad, listando las alternativas por fila y los criterios por columna.

Paso 6: Se confecciona una Matriz de Comparación por Pares de criterios de manera similar a como se hizo para las alternativas en los pasos del 1 al 3.

Paso 7: Se desarrolla un Vector de Prioridad Global multiplicando el Vector de Prioridad de los criterios obtenido en el paso 6 por la Matriz de Prioridad de las alternativas obtenido en el paso 5.

Paso 8: Finalmente se selecciona la alternativa que tenga un mayor valor en el Vector de Prioridad

Global.

La versión difusa del método AHP ha sido utilizada para el tratamiento de desperdicio de agua debido a que los métodos convencionales no son adecuados para este tipo de problemas que presenten información de naturaleza imprecisa (Karimi, y otros, 2011).

1.2.2. ANP

A diferencia del AHP, que resulta más práctico en problemas de toma de decisión donde los niveles jerárquicos son independientes unos de otros, el Proceso Analítico en Redes (ANP²) es usado en problemas de toma de decisión donde existen factores que dependen de otros factores en el mismo nivel jerárquico u otros niveles. Este método, inventado por el Dr. Thomas Saaty, permite el uso de muchos factores cualitativos, y provee además el nivel de importancia de cada criterio o sub-criterio, de manera que cada decisor o experto pueda determinar qué criterio es más relevante (Ayub, y otros, 2009).

ANP es una derivación de AHP y consta de los siguientes pasos:

Paso 1: Modelar el problema de decisión como una red identificando los criterios y alternativas agrupándolos en componentes y determinando las relaciones de interdependencia entre ellos.

Paso 2: Realizar comparaciones por pares entre cada elemento.

Paso 3: Construir una supermatriz no ponderada *SNP* con los vectores de pesos de importancia relativa de los elementos.

Paso 4: Realizar comparaciones por pares entre componentes.

Paso 5: Ponderar los bloques de la supermatriz no ponderada *SNP*, mediante los pesos correspondientes de los componentes para transformarla en la supermatriz ponderada *SP*.

Paso 6: Si es necesario, normalizar la supermatriz ponderada *SP*, dividiendo cada valor por la suma de las columnas. De esta forma se obtiene una supermatriz ponderada estocástica *SPE* por columnas, es decir, cuyas columnas sumen la unidad.

Paso 7: Elevar la supermatriz ponderada estocástica *SPE* a potencias sucesivas hasta que sus entradas converjan y permanezcan estables obteniendo la supermatriz límite *SL*.

Paso 8: Finalmente se selecciona la alternativa que tenga mayor valor en la supermatriz límite *SL*.

² Del inglés *Analytic Network Process*

La selección de personal es un proceso de la Gestión de Recursos Humanos en la que intervienen múltiples factores y criterios que están relacionados unos con otros, el método AHP es muy usado en este campo debido a que proporciona facilidades en este tipo de problemas (Ayub, y otros, 2009).

1.2.3. Delphi

Este método tiene como objetivo alcanzar un consenso sobre una estimación, a través de reuniones, cuestionarios y encuestas. Muchos proyectos poseen un considerable elemento de especialización y no se puede esperar que sus gestores sean expertos en cada uno de los aspectos. Permite mediante la utilización de herramientas estadísticas lograr consensos entre especialistas sin la necesidad de que estos se encuentren en un mismo sitio simultáneamente (Córdoba Padilla, 2011).

El método Delphi se basa en la idea que la crítica influye positivamente en los expertos si ésta no está ligada psicológicamente con la confrontación personal. Por ello uno de los principios básicos es el anonimato de las valoraciones que cada experto da a las causas y alternativas, lo que permite que un miembro del grupo no sea influenciado por la reputación de otro o por el peso que supone oponerse a la mayoría. Esto constituye una importante ventaja ya que elimina el efecto del líder sobre los encuestados y garantiza la libertad de opiniones.

En un proceso Delphi se realizan varias iteraciones. Después de cada una se presentan los resultados, de tal manera que para la siguiente repetición los expertos conozcan los distintos puntos de vista y puedan ir modificando su opinión, si los argumentos presentados les parecen más apropiados que los suyos (Fábregas, 2005).

Una de las desventajas más significativas que presenta este método es que su implementación es muy laboriosa y costosa, además requiere de una buena comunicación para la búsqueda y recepción de las respuestas.

Para la ejecución del método Delphi se deben seguir los siguientes pasos (Fasanghari, y otros, 2008):

Paso 1: Considerando que los expertos E brindan una posible evaluación para un evento dado, el valor de la evaluación dada por cada experto E_i es presentado en forma de un número $\widetilde{A}^{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Paso 2: Primeramente, el promedio \widetilde{A}_m de todos $\widetilde{A}^{(i)}$ es calculado usando $\widetilde{A}_m = \frac{\sum \widetilde{A}^{(i)}}{n}$. Entonces, por cada experto E_i se calculan las diferencias $\Delta \widetilde{A}^{(i)} = \widetilde{A}_m - \widetilde{A}^{(i)}$ y son enviadas de vuelta al experto E_i para que sean examinadas.

Paso 3: Cada experto E_i presenta un valor de evaluación revisado $\widetilde{B}^{(i)}$. El proceso es repetido comenzando por el paso 2. El promedio \widetilde{B}_m es calculado y las diferencias $\Delta \widetilde{A}^{(i)}$ son correspondientemente sustituidas por $\Delta \widetilde{B}^{(i)}$. De ser necesario se presenta un nuevo valor de evaluación $\widetilde{C}^{(i)}$ y su promedio \widetilde{C}_m es calculado. El proceso puede ser repetido una y otra vez hasta que los valores $\widetilde{A}_m, \widetilde{B}_m, \widetilde{C}_m, \dots$ se encuentren razonablemente cerca.

Paso 4: Finalmente se selecciona la alternativa que tenga mayor valor de promedio, es decir, si el proceso es repetido hasta obtener el promedio de las alternativas \widetilde{C}_m , se selecciona la alternativa cuyo valor \widetilde{C}_m es mayor.

En el mercado de la bolsa de valores se presentan a diario situaciones en las que se hace necesario seleccionar un grupo de acciones determinadas para un proveedor específico, el método Delphi es muy utilizado en este campo debido a que los expertos por lo general utilizan su experiencia individual para tomar decisiones que son subjetivas (Fasanghari, y otros, 2008).

1.2.4. Familia de métodos PROMETHEE

Los métodos multicriterio de la familia PROMETHEE³ basan el análisis en la comparación entre los diferentes pares de alternativas (Brans, y otros, 2005). El método busca establecer un orden jerárquico determinado por un flujo neto, este se compone del flujo positivo y negativo de cada alternativa. Estos flujos reflejan la relación de dominio de unas alternativas con otras. Existen varios tipos de funciones de preferencia mediante las cuales se puede establecer el orden, cada una de ellas representa diferentes soluciones de decisión.

Para la ejecución del método PROMETHEE se deben seguir los siguientes pasos (Behzadian, y otros, 2010):

Paso 1: Se determina la desviación basada en la comparación de pares $d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b)$,

³ Del inglés *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*

donde $d_j(a, b)$ es la diferencia entre las evaluaciones de a y b para cada criterio.

Paso 2: Se aplica la función de preferencia $P_j(a, b) = P_j[d_j(a, b)]$, donde $P_j(a, b)$ denota la preferencia de la alternativa a sobre la alternativa b para cada criterio.

Paso 3: Se calcula para cada alternativa el índice de preferencia global $\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j$, donde la preferencia $\pi(a, b)$ de a sobre b es definida como la suma ponderada de $P_j(a, b)$ para cada criterio, y w_j es el peso asociado al criterio j -ésimo.

Paso 4: Se calculan para cada alternativa los flujos positivos y negativos $\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x)$ y $\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a)$.

Paso 5: Se calcula para cada alternativa el flujo neto $\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$.

Paso 6: Finalmente se selecciona la alternativa cuyo flujo neto $\phi(a)$ posea un mayor valor.

En el proceso de selección de personal se presentan a menudo situaciones en las que se hace necesario utilizar el método PROMETHEE debido a que diversos trabajos requieren diferentes habilidades, y los criterios que se miden para evaluar esas habilidades pueden ser muy variados (Chen-Tung, y otros, 2009).

1.2.5. TOPSIS

El método TOPSIS⁴ tiene como objetivo identificar las soluciones dentro de un conjunto finito de alternativas y buscar la solución a partir de la definición de una solución ideal positiva y una solución ideal negativa. El principio básico del método es encontrar la alternativa que tenga la menor distancia a la solución ideal positiva y la mayor distancia de la solución ideal negativa, para lo cual se define un índice de similitud que se construye combinando la proximidad y la lejanía a los ideales planteados (Hwang, y otros, 1981).

Este método no fue creado bajo el paradigma de la lógica difusa pero se han definido extensiones (TOPSIS Difuso) que permiten el tratamiento de la incertidumbre (A. Krohling, y otros, 2010).

TOPSIS parte de la consolidación de la información proporcionada por los expertos E , a cada uno de ellos se le solicita una matriz de decisión \widehat{MD} . También se le pide que ofrezca su valoración de la importancia

⁴ Del inglés *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*

de cada criterio W (Jahanshahloo, y otros, 2009).

El algoritmo del método es el siguiente:

Paso 1: Se normaliza la matriz de decisión \widehat{MD} , obteniéndose la matriz normalizada, conocida como $\widehat{R} = [\widehat{r}_{i,j}]$, donde $\widehat{r}_{i,j} = \frac{1}{cmax(\widehat{x})} \odot \widehat{x}_{i,j}$.

Paso 2: Se multiplica \widehat{R} por el vector de pesos W para obtener la matriz de decisión normalizada y ponderada $\widehat{P} = [\widehat{p}_{i,j}]$, donde $\widehat{p}_{i,j} = \widehat{r}_{i,j} \otimes w_i$.

Paso 3: A partir de la matriz \widehat{P} se calcula la solución ideal positiva $A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_n^+)$ y la solución ideal negativa $A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_n^-)$. El cálculo de p_j^+ y de p_j^- se realiza según sea un costo o un beneficio. Para $p_j^+ = ({}_i^{max} P_{i,j}, j \in J_1; {}_i^{min} P_{i,j}, j \in J_2;)$ y para $p_j^- = ({}_i^{min} P_{i,j}, j \in J_1; {}_i^{max} P_{i,j}, j \in J_2;)$.

Paso 4: Se calcula la distancia de cada alternativa a los ideales A^+ y A^- , para ello se pueden utilizar la distancia de Euclides, de Minkowsky, de Haming, de Tchebyshev, el método del vértice, la distancia Camberra, y Mahalanobis, entre otras muchas de las que han sido definidas.

Paso 5: Finalmente se escoge la alternativa para la cual la formula $\varepsilon = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$ devuelve el valor mayor, d_i^+ y d_i^- son las distancias del candidato respecto a los ideales A^+ y A^- . Esta fórmula representa el concepto central de TOPSIS donde la alternativa preferida es la que se encuentra a la menor distancia de A^+ y a la mayor distancia de A^- .

Para definir la solución ideal positiva se deben establecer los puntajes ideales de cada uno de los atributos o criterios, por lo general inalcanzables para cualquier alternativa por lo que este método trata de encontrar siempre la alternativa que más se le acerca a este ideal positivo. De manera opuesta, para definir la solución ideal negativa se establecen los peores puntajes de cada uno de los criterios, tratando siempre de encontrar una alternativa que se aleje lo más posible de este ideal negativo.

Volviendo al tema de la selección de personal, el método TOPSIS es mayormente utilizado en este proceso cuando se tiene conocimiento de las características que necesita un candidato (ideal positivo) o de las características que no puede tener el mismo (ideal negativo) para ocupar el puesto de trabajo (Sánchez Nievaes, y otros, 2012).

1.2.6. Otros

Como se mencionó al inicio de este epígrafe son múltiples los métodos y se hace difícil realizar un análisis de todos ellos pero además de los incluidos en el análisis anterior el autor de la investigación no quiere dejar de mencionar los siguientes:

Tabla 1. Otros métodos para la solución a problemas de toma de decisión

Método	Descripción	Referencias
GAIA	<i>Geometrical Analysis for Interactive decision Aid</i>	(Mareschal, y otros, 1988)
SMART	<i>Simple Multi-Attribute Rating Technique</i>	(Edwards, y otros, 1994)
SIR	<i>Superiority and Inferiority Ranking Method</i>	(Tam, y otros, 2004)
ELECTRE	<i>ELimination Et Choix Traduisant la REalité</i>	(Figueira, y otros, 2005)
GRA	<i>Gray Relational Analysis</i>	(Chan, y otros, 2007)
AIRM	<i>Aggregated Indices Randomization Method</i>	(Hovanov, y otros, 2008)
PAPRIKA	<i>Potentially all pairwise rankings of all possible alternatives</i>	(Hansen, y otros, 2008)

Como se ha expuesto en el presente epígrafe son múltiples los métodos que se pueden aplicar para dar solución a problemas de toma de decisión bajo incertidumbre, como característica compartida en la mayoría de ellos está la complejidad en los cálculos y el ordenamiento final, tareas que un equipo de cómputo puede realizarla más eficientemente que los expertos humanos. Debido a esto han surgido con el paso del tiempo los Sistemas de Soporte a la Decisión, para brindarles a los decisores una ayuda al tomar una decisión de manera eficiente, sobre todo en problemas que presenten incertidumbre con una complejidad elevada.

1.3. Sistemas de Soporte a la Decisión con múltiples criterios y expertos

Un Sistema de Soporte a la Decisión (DSS⁵) es un sistema interactivo basado en computadora, que ayuda a los decisores a utilizar datos y modelos para resolver problemas no estructurados y permite obtener resultados a un bajo costo y en poco tiempo, dos factores de suma importancia en el mundo globalizado en que vivimos (Turban, y otros, 2001).

En principio, puede parecer que el análisis de datos es un proceso sencillo, y fácil de conseguir mediante una aplicación hecha a medida o sofisticada. Sin embargo no es así, estas aplicaciones suelen disponer

⁵ Del inglés *Decision Support System*

de una serie de informes predefinidos en los que presentan la información de manera estática, pero no permiten profundizar en los datos, navegar entre ellos o manejarlos desde distintas perspectivas.

1.3.1. Características principales y clasificaciones

Los DSS son unas de las herramientas más emblemáticas de la Inteligencia de Negocios ya que, entre otras propiedades, permiten resolver gran parte de las limitaciones de los programas de gestión. Estas son algunas de las características principales de estos sistemas (Sinnexus, 2012):

- **Informes dinámicos, flexibles e interactivos:** El usuario no tiene que ceñirse a los listados predefinidos que se configuran en el momento de la implantación, y que no siempre responden a sus dudas reales.
- **No requiere conocimientos técnicos:** Un usuario no técnico puede crear nuevos gráficos e informes y navegar entre ellos. Por tanto, para examinar la información disponible o crear nuevas métricas no es imprescindible buscar auxilio en el departamento de informática.
- **Rapidez en el tiempo de respuesta:** La base de datos subyacente suele ser un almacén de datos corporativo, con modelos de datos en estrella o copo de nieve. Este tipo de bases de datos están optimizadas para el análisis de grandes volúmenes de información.
- **Integración entre todos los sistemas/departamentos de la compañía:** El proceso de ETL previo a la implantación de un Sistema de Soporte a la Decisión garantiza la calidad y la integración de los datos entre las diferentes unidades de la empresa. Existe lo que se llama: integridad referencial absoluta.
- **Cada usuario dispone de información adecuada a su perfil:** No se trata de que todo el mundo tenga acceso a toda la información, sino de que tenga acceso a la información que necesita para que su trabajo sea lo más eficiente posible.
- **Disponibilidad de información histórica:** En estos sistemas está a la orden del día comparar los datos actuales con información de otros períodos históricos de la compañía, con el fin de analizar tendencias y fijar la evolución de parámetros de negocio.

Según (Sinnexus, 2012) existen distintos tipos de DSS, dentro de los que se encuentran:

- **Sistemas de información gerencial:** Los sistemas de información gerencial, también llamados Sistemas de Información Administrativa, dan soporte a un espectro más amplio de tareas organizacionales, encontrándose a medio camino entre un DSS tradicional y un sistema para la

planificación de los recursos empresariales.

- **Sistemas de información ejecutiva:** Los sistemas de información ejecutiva son el tipo de DSS que más se suele emplear al aplicar la inteligencia de negocios, ya que proveen a los gerentes de un acceso sencillo a información interna y externa de su compañía, y que es relevante para sus factores clave de éxito.
- **Sistemas expertos basados en el conocimiento:** Los sistemas basados en el conocimiento, utilizan diferentes técnicas para simular el conocimiento de un experto y utilizarlo de forma efectiva para resolver un problema concreto. Estos pueden en ocasiones ser considerados sistemas de ayuda a la toma de decisión, un ejemplo concreto de estos tipos de sistemas son los llamados Sistemas Expertos que durante la década de los 80 del pasado siglo y hasta la actualidad han sido utilizados en diversos campos para ayudar.
- **Sistemas de apoyo a decisiones de grupo:** Un sistema de apoyo a decisiones en grupos (GDSS⁶) es un sistema basado en computadoras que apoya a grupos de personas que tienen una tarea u objetivo común, y que sirve como interfaz con un entorno compartido. El supuesto en que se basan los GDSS es que si se mejoran las comunicaciones se pueden mejorar las decisiones.

1.3.2. Análisis de algunos sistemas homólogos

A partir de la revisión documental se realiza a continuación un breve análisis de algunos DSS utilizados en la actualidad. Es necesario destacar que se analizan siete sistemas, sin embargo no fue posible encontrar abundante documentación en todos los casos, esto obedece a que son sistemas propietarios en los que sus diseñadores no han abierto la información.

El análisis se realiza teniendo en cuenta dos indicadores fundamentales, el primero referido al método o métodos que implementa y el segundo al tipo de licencia de software bajo la cual se desarrolla. Es importante destacar que se debieron incluir además indicadores que analizarán si en el caso que se implementara más de un método era posible la comparación de sus resultados y de si se permite o no la definición formal del problema de decisión, pero no fue posible encontrar las evidencias que permitieran incluir estos indicadores en el análisis realizado.

1000Minds: Software perteneciente a la línea de apoyo a la toma de decisión desarrollado por *100Minds*

⁶ Del inglés *Group Decision Support Systems*

Ltd. en el año 2002. Este sistema está disponible en el idioma inglés solamente y es una herramienta con licencia privativa que implementa el método PAPRIKA⁷. Este DSS es utilizado mayormente para priorizar o elegir entre alternativas en situaciones donde se necesita considerar varios objetivos o criterios simultáneamente (McGinley, 2012).

Criterion DecisionPlus: DSS basado en la toma de decisiones con múltiples criterios creado por *InfoHarvest Inc.* Es un software que implementa el método AHP y el método SMART. Su licencia es privativa (Haerer, 2000).

D-Sight: Software de apoyo a la toma de decisión desarrollado por *D-Sight Inc.* en febrero del 2010. Este sistema está disponible en el idioma inglés solamente y es una herramienta con licencia privativa que implementan los métodos PROMETHEE y GAIA. Este DSS es muy usado en la administración de energía y medio ambiente (McGinley, 2012).

DecideIT: DSS desarrollado por *Preference AB.* Este sistema implementa el método Delta MCDM y es usado en procesos de toma de decisión con múltiples criterios (McGinley, 2012).

Decision Lens: Software de apoyo a la toma de decisión desarrollado por *Decision Lens Inc.*, una compañía fundada en el año 2002 por los hermanos John y Dan Saaty. Este DSS implementa los métodos AHP y ANP y es usado en procesos de toma de decisión con múltiples expertos (McGinley, 2012).

Expert Choice: Sistema de apoyo a la toma de decisión desarrollado por Thomas Saaty y Ernest Forman en 1983. Este DSS implementa el método AHP, y es usado en la administración del medio ambiente y la agricultura. Su licencia es privativa (McGinley, 2012).

PriEsT: *Priority Estimation Tool (PriEsT)*, es un sistema de apoyo a la toma de decisión multiplataforma desarrollado en un entorno de software libre. Este DSS implementa solo el método AHP, y es utilizado en numerosos campos como la salud, transportación, telecomunicaciones y otros. Se especializa en dos tipos de problemas: problemas de clasificación y problemas de planificación de costos, en los problemas de clasificación los decisores tienen en consideración solo el orden de preferencia de las alternativas disponibles, mientras que en los problemas de planificación de costos la preferencia de los pesos también es requerida. Este sistema permite la exportación de los datos del problema a ficheros en formato XML

⁷ Del inglés *Potentially all pairwise rankings of all possible alternatives*

(Siraj, y otros, 2013).

El análisis realizado a los sistemas de apoyo a la toma de decisión queda resumido en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de los DSS estudiados

Sistema	Licencia	Métodos	Referencia
<i>1000Minds</i>	Privativa	PAPRIKA	(McGinley, 2012)
<i>Criterium DecisionPlus</i>	Privativa	AHP y SMART	(Haerer, 2000)
<i>D-Sight</i>	Privativa	PROMETHEE y GAIA	(McGinley, 2012)
<i>DecideIT</i>	Privativa	Delta MCDM	(McGinley, 2012)
<i>Decision Lens</i>	Privativa	AHP y ANP	(McGinley, 2012)
<i>Expert Choice</i>	Privativa	AHP	(McGinley, 2012)
<i>PriEsT</i>	Libre	AHP	(Siraj, y otros, 2013)

Además de los sistemas anteriores, en la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) se han desarrollado los siguientes sistemas:

MultiDecision PAAT: Este sistema, desarrollado en el año 2013, es una herramienta web que implementa los métodos PROMETHEE, AHP, ANP y TOPSIS. No está diseñado para problemas que presenten incertidumbre, y no permite la incorporación de nuevos métodos de solución de problemas de toma de decisión (Peña Táramo, 2013), (Torres Estol, y otros, 2013), (Sánchez González, y otros, 2013).

Apolo: Este sistema de soporte a la decisión, desarrollado en la Universidad de las Ciencias Informáticas en el año 2012, es una herramienta web con un fin específico: la Selección de Personal en el campo de los Recursos Humanos, específicamente la ubicación de estudiantes en un rol del proyecto (Arza Pérez, y otros, 2012).

F-TOPSIS-UVM: Este sistema, desarrollado en el año 2012, es una herramienta que implementa una variante del método TOPSIS difuso con umbral de veto y voto mayoritario. Aunque está diseñado para problemas de toma de decisión que presenten incertidumbre, no permite la incorporación de nuevos métodos de solución de problemas de toma de decisión (Sánchez Nievaes, y otros, 2012).

Conclusiones parciales

Luego de haber realizado un análisis de los elementos que intervienen en el proceso de toma de decisión

bajo incertidumbre con múltiples criterios y expertos se logró un entendimiento de los elementos necesarios para modelar el problema, llegándose a las siguientes conclusiones:

- El proceso de toma de decisiones pertenece al proceso de resolución de problemas y contiene sus primeras cinco etapas. Dentro de este proceso las primeras tres etapas conforman la estructuración del problema y las dos últimas el análisis del problema.
- El proceso de toma de decisiones puede ser clasificado como de criterio único o multicriterio, este último caso ocurre cuando interviene la evaluación de más de una característica en la selección de una posible solución. Otra clasificación está asociada al número de individuos involucrados en la solución que puede ser problemas de decisión individual, problemas de decisión grupal o problemas de decisión con múltiples expertos.
- Cuando en la toma de decisiones interviene más de un individuo entonces existen dos fases, una primera donde se agregan los valores individuales (fase de agregación) y otra donde se utilizan las preferencias individuales agregadas (fase de explotación).
- Un modelo matemático para representar problemas de decisión con múltiples criterios y múltiples expertos debe contener como mínimo el conjunto de las alternativas, el conjunto de los expertos, el conjunto de los criterios a utilizar para evaluar las alternativas y la matriz de decisión de cada experto. En el modelo matemático se pueden incluir adicionalmente la importancia de los criterios, la diferenciación del nivel de conocimiento de los expertos y las relaciones de subordinación existentes entre los criterios.
- La incertidumbre presente en este tipo de problemas puede ser tratada utilizando conjuntos difusos lo que adicionalmente permitiría la inclusión de criterios cualitativos en el proceso de solución.
- Algunos de los métodos encontrados en la literatura científica son: AHP, ANP, Delphi, TOPSIS y la familia PROMETHEE. La aplicación manual de la mayoría de estos métodos se hace compleja cuando se manejan varios criterios y expertos. La complejidad de su aplicación crece cuando se trabaja con conjuntos difusos. Muchos de estos métodos no fueron creados inicialmente para utilizar conjuntos difusos.
- Los Sistemas de Soporte a la Decisión (DSS) ayudan a los decisores a resolver problemas de toma de decisión y obtener resultados a un bajo costo y en poco tiempo. Existen distintos tipos de DSS, cada uno con características y usos específicos.
- El análisis de algunos DSS arroja como principales desventajas que la mayoría de estos son herramientas con licencias privativas, tienen un elevado costo, además de que la mayoría

implementan un solo método de solución de problemas de toma de decisión lo que no permite la comparación de los resultados y el análisis de la solución bajo diferentes ópticas.

- Se analizaron un grupo de DSS que se han desarrollado en la UCI encontrándose como principales deficiencias que la mayoría se utilizan en problemas de un mismo dominio y no permiten la incorporación de nuevos métodos de solución a problemas de toma de decisión.

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA PLATAFORMA MCDM PROSOLVER

Este capítulo tiene como objetivo principal presentar la modelación de la propuesta de solución a partir de los artefactos de la metodología empleada. Estos artefactos tendrán valor significativo en la etapa de implementación. Otro de los objetivos es exponer las principales características de la metodología de desarrollo, lenguajes de programación, herramientas de ayuda al diseño, marcos de trabajo y otros elementos a utilizar en las etapas de análisis, diseño, implementación y pruebas. Se detallarán las reglas del negocio y se brindarán los diferentes análisis que se realizaron para dar cumplimiento a las primeras fases de la construcción de la plataforma. Se definirán las características del sistema para garantizar su funcionamiento, especificándose sus requerimientos funcionales y no funcionales.

2.1. Descripción del problema y modelo matemático asociado

Como se analizó en el primer capítulo los procesos de toma de decisión son de suma importancia en el mundo actual, y la realización manual de cualquier método que le dé solución a los problemas de este tipo puede convertirse en un proceso engorroso (por la cantidad de información a manejar) y demorar demasiado tiempo en ejecutarlo (por los cálculos a realizar). La complejidad y tiempo de solución de estos problemas aumenta considerablemente cuando se introduce la incertidumbre y se tienen múltiples criterios y expertos. Existen casos en los que un proceso tiene vinculado volúmenes de información muy grandes, por lo que realizar el análisis del mismo de forma manual puede conllevar a cometer errores que repercutan en la decisión de la alternativa más adecuada y por tanto en la solución del problema.

En el epígrafe 1.1.2 se expuso un posible modelo matemático para representar los problemas de este tipo. A continuación se reproducen los principales elementos de este modelo pues son la base de la solución presentada.

Recordar que para dar solución a determinado problema de decisión P se definen los siguientes elementos:

El conjunto $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, donde $m \geq 2$, representa el conjunto de alternativas de donde se tienen que elegir la mejor solución (de existir).

El conjunto $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, donde $n \geq 2$, que representa el conjunto de criterios que caracterizan a cada alternativa y que será utilizado por los expertos para evaluarlas.

El conjunto $E = \{e_1, e_2, \dots, e_p\}$, donde $p \geq 2$, representa el conjunto de expertos que proveerán la información de la evaluación de cada criterio para cada alternativa.

Las matrices de decisión de cada uno de los expertos con la forma:

$$\widehat{MD}e_k = \begin{bmatrix} \widehat{x}_{1,1} & \cdots & \widehat{x}_{1,j} & \cdots & \widehat{x}_{1,n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \widehat{x}_{l,1} & \cdots & \widehat{x}_{l,j} & \cdots & \widehat{x}_{l,n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \widehat{x}_{m,1} & \cdots & \widehat{x}_{m,j} & \cdots & \widehat{x}_{m,n} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

Donde $\widehat{x}_{i,j}$ representa la evaluación de la alternativa a_i respecto al criterio c_j por el experto e_k , y se cumplirá siempre que $1 \leq i \leq m$, $1 \leq j \leq n$, $1 \leq k \leq p$.

En ocasiones durante el proceso se les pide a los expertos que ofrezcan su valoración de la importancia (peso) que deben tener las características en el proceso de selección de la alternativa más adecuada para solucionar P . La valoración de la importancia de cada criterio se recoge en un vector de pesos W , que se define como $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, cuando se cumple que $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ se dice que los pesos están normalizados, de los pesos no estar normalizados se pueden normalizar. Tener el vector de pesos normalizados es deseado pero no obligatorio.

2.2. Solución propuesta

A partir del modelo matemático anterior y utilizando la tecnologías y las herramientas que nos brindan las TIC en la actualidad, se propone implementar un sistema que ayude a dar solución a los problemas de toma de decisión bajo incertidumbre con múltiples criterios y expertos. Este sistema cumplirá con un grupo de requisitos funcionales y no funcionales que permitirán una fácil interacción de los expertos con el mismo, además de garantizar una mayor eficacia y una considerable mejora en los tiempos de ejecución.

La herramienta propuesta permitirá importar los datos de un problema de toma de decisión a partir de un fichero de texto creado por el usuario en un formato predefinido (Ver Anexo I). Luego de que se carguen

los datos del problema en la plataforma se podrán realizar cambios al mismo y validar la información obtenida del fichero mediante un editor de problemas que dispone el sistema. Se utilizarán varios métodos para dar solución al problema de toma de decisión, y finalmente a partir de un grupo de reportes que brinda el sistema el usuario podrá analizar cuál o cuáles son las alternativas adecuadas para darle solución al problema. La Figura 2 muestra un esquema de la solución propuesta.

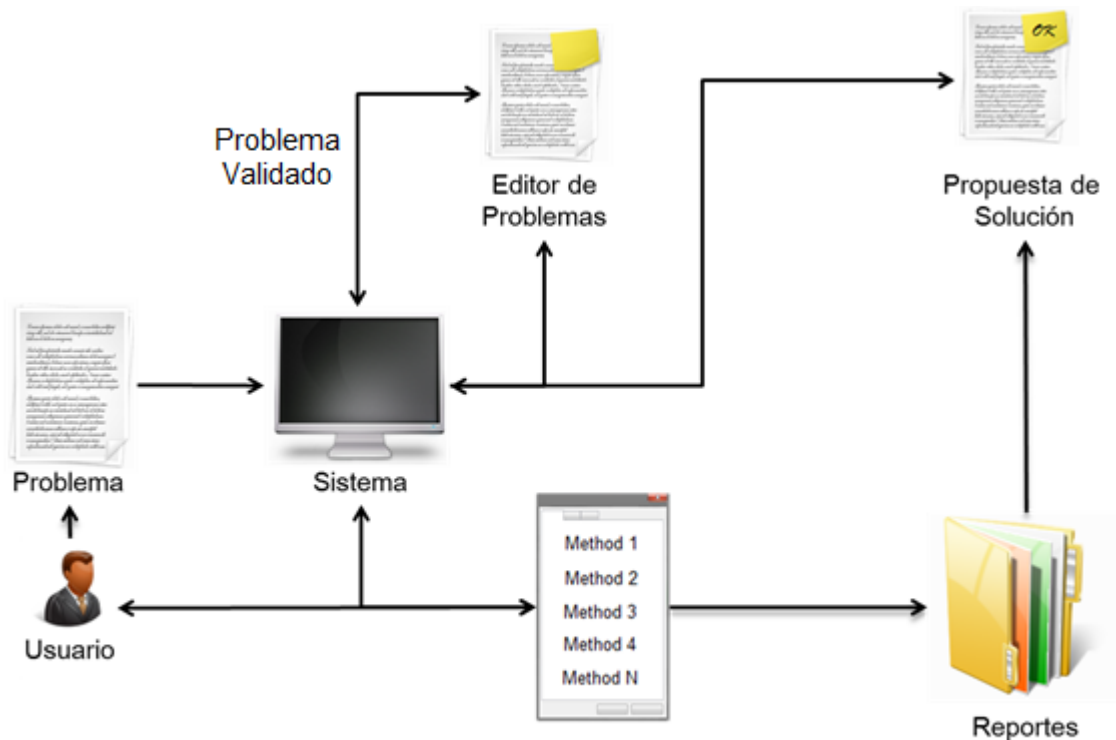


Figura 2. Esquema de la solución propuesta (Elaboración propia)

A continuación se exponen las características de las herramientas, metodologías y lenguajes de programación, entre otros elementos que serán usados durante la construcción de la plataforma MCDM ProSolver, nombre con el que se ha denominado a la solución.

2.3. Herramientas, lenguajes y metodologías de desarrollo

Para el correcto desarrollo de un sistema informático es muy importante definir las herramientas, lenguajes y metodologías que se utilizarán, por lo que se debe hacer un análisis de las que se emplearán

en la solución propuesta.

2.3.1. Metodologías de desarrollo

Las metodologías de desarrollo de software son pasos o procedimientos que afectan de una manera u otra las distintas dimensiones del proceso de desarrollo de un software. Con el paso del tiempo se han desarrollado numerosas metodologías que se han ido adaptando en dependencia de las características del sistema informático que se quiere desarrollar.

Por una parte se encuentran aquellas metodologías tradicionales que hacen énfasis en el control del proceso, estableciendo cuidadosamente las actividades involucradas, los distintos artefactos que se deben producir y las herramientas que deben ser utilizadas para crear estos artefactos. Existen otras metodologías que les dan más importancia a las personas involucradas en el proceso que al proceso en sí, estas son las llamadas metodologías ágiles que proponen una mayor colaboración con el cliente y un desarrollo incremental del software basado en iteraciones de corto plazo. Las metodologías ágiles han mostrado una alta efectividad en proyectos con requerimientos muy cambiantes y en aquellos casos en los que se exige reducir notablemente los tiempos de desarrollo pero sin descuidar la alta calidad del producto (Cuccaro Goggi, 2010).

2.3.1.1 XP

XP (*eXtreme Programming*), creada en el año 1996, es una de las metodologías ágiles más importantes y utilizadas en el mercado laboral actual (Cuccaro Goggi, 2010). Esta metodología hace énfasis en la rápida y temprana entrega de componentes de software y en prácticas de desarrollo simples. XP está basada en cuatro principios básicos: simplicidad, comunicación, retroalimentación y valor, además cuenta también con cuatro actividades fundamentales:

- **Escuchar:** consiste en establecer una comunicación constante con el cliente para saber si los resultados que se van obteniendo son los deseados. En muchas ocasiones los creadores del software desconocen cosas que las personas de negocios piensan que son interesantes.
- **Diseñar:** esta actividad hace énfasis en la modelación de la estructura que ordenará la lógica de la aplicación. El diseño debe ser sencillo y si alguna parte del sistema es compleja lo mejor es dividirla en varias partes.
- **Codificar:** se basa en plasmar las ideas y funcionalidades del sistema a través del código. El

código debe ser sencillo y legible para todos los integrantes del equipo.

- **Probar:** el correcto funcionamiento de todas las características del software deben ser demostradas mediante pruebas. Las pruebas realizadas deben ser objetivas y desde el punto de vista del usuario.

El ciclo de desarrollo de una iteración en XP consiste en los siguientes pasos:

1. El cliente define el valor de negocio a implementar.
2. El programador estima el esfuerzo necesario para su implementación.
3. El cliente selecciona qué construir, de acuerdo con sus prioridades y las restricciones de tiempo que presenta el equipo junto con el entorno de desarrollo.
4. El programador construye ese valor de negocio.

Una de las características que hace atractivo el enfoque de XP es la poca cantidad de artefactos que genera, algunos de estos son: las historias de usuario, las pruebas unitarias y de integración, las pruebas de aceptación, y finalmente el código. Esta metodología se encuentra orientada principalmente al código, siendo esta la principal fuente de documentación y teniendo gran importancia, trayendo consigo la buena elaboración del mismo siguiendo buenas prácticas, normas y estilos de codificación.

En la presente investigación se decidió utilizar la metodología XP por las características que presenta la misma, ya que permite reducir los tiempos de desarrollo sin afectar la calidad del sistema. Otro de los elementos en este caso es que el equipo de trabajo está constituido solo por el autor de la investigación y el tiempo para el desarrollo es limitado, además se puede considerar como el cliente al tutor de la investigación por lo que se tiene una interacción directa con el mismo.

2.3.2. Herramienta CASE

Las herramientas CASE⁸ constituyen un conjunto de programas que brindan a los analistas, ingenieros de software y desarrolladores una ayuda durante el ciclo de desarrollo de un software. CASE se define también como conjunto de técnicas y utilidades que facilitan el desarrollo de sistemas de información. Representa una innovación en la organización y una unión entre las herramientas de software automáticas y las metodologías de desarrollo de software (Kuhn, 2009).

⁸ Del inglés *Computer Aided Software Engineering*

La herramienta CASE seleccionada es Visual Paradigm en su versión 5.0. Esta herramienta soporta la metodología de desarrollo seleccionada por lo que pueden generarse todos los diagramas y esquemas necesarios, además implementa el ciclo de vida completo del desarrollo de software: análisis y diseño orientado a objetos, construcción, pruebas y despliegue. Permite la integración con el entorno de desarrollo que será posteriormente utilizado en la fase de implementación y la generación de código en el lenguaje Java a partir de los diagramas confeccionados. Se tomó en cuenta también que se puede adquirir mediante licencia gratuita y comercial, además de ser muy fácil de instalar y es la herramienta CASE que se utiliza en la UCI, elemento que facilitaría la transferencia de la solución.

2.3.3. Lenguaje de Modelado

El Lenguaje Unificado de Modelado (UML⁹) es un lenguaje utilizado para especificar, visualizar, construir y documentar los artefactos de los sistemas de software, así como para el modelado del negocio. UML se centra en la representación gráfica del sistema, lo que facilita la comprensión del mismo al proporcionar un vocabulario estándar para modelar sistemas orientados a objetos. Está compuesto por tres clases de bloques de construcción: los elementos que representan abstracciones de cosas reales o ficticias como son objetos o acciones; las relaciones que vinculan los elementos entre sí como son la asociación y la generalización; y finalmente están los diagramas que son las colecciones de elementos y sus relaciones (Booch, y otros, 2007). Se utilizará UML como notación para el desarrollo al ser un estándar que contiene los elementos necesarios para modelar la solución.

2.3.4. Lenguaje de programación

Un lenguaje de programación es, básicamente, un conjunto de instrucciones y reglas que son entendibles y ejecutables por un ordenador. En la actualidad existe una gran variedad de lenguajes de programación, estos se clasifican según el nivel de abstracción en bajo, medio o alto; según la forma de ejecución en compilado o ejecutado; y según el paradigma de programación que poseen en imperativo, funcional, orientado a objeto o lógico (Aaby, 2004).

Java es un lenguaje de programación de alto nivel orientado a objetos desarrollado por *Sun Microsystems* a principios de los años 90, y desde sus inicios se diseñó para ser un lenguaje independiente de la

⁹ Del inglés *Unified Modeling Language*

plataforma y un entorno de ejecución ligero y gratuito para las plataformas más populares, de forma que los códigos binarios de las aplicaciones Java pudiesen ejecutarse en cualquier plataforma.

Java contiene muchas librerías de clases que brindan al programador funcionalidades muy útiles. Uno de los elementos más importantes de Java es su característica de ser ejecutable en los sistemas que contienen una implementación de su máquina virtual, lo que lo hace multiplataforma (Gosling, y otros, 2006).

En la actualidad existen versiones de la máquina virtual de Java en plataformas como Windows y Linux, lo que facilita la ejecución de los programas escritos en Java en estos sistemas operativos. Por estas razones se seleccionó este lenguaje de programación para desarrollar el sistema.

2.3.5. Entorno de desarrollo integrado

Un entorno de desarrollo integrado o IDE¹⁰ es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación. Compuesto por un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica. Un IDE provee un marco de trabajo amigable para la mayoría de los lenguajes de programación.

Para el desarrollo del sistema se utilizó NetBeans en su versión 6.9. NetBeans es un IDE escrito en Java, de código abierto, gratuito para desarrolladores de software. Ofrece todas las herramientas necesarias para crear aplicaciones profesionales, empresariales, web y móviles con los lenguajes Java, JavaFX, C/C++ y lenguajes dinámicos como PHP, JavaScript, Groovy y Ruby. NetBeans es fácil de instalar y se puede ejecutar en los sistemas operativos Windows, Linux, Mac OS X y Solaris. La plataforma NetBeans es una base modular y extensible usada como una estructura de integración para crear aplicaciones de escritorio de gran tamaño (Netbeans.org, 2013).

2.4. Requisitos del software

Los requisitos de software se dividen en dos grupos: requisitos funcionales y requisitos no funcionales. Los requisitos funcionales son capacidades o condiciones que el sistema debe cumplir sin alterar la funcionalidad del producto. Los requisitos no funcionales son restricciones de los servicios o funciones

¹⁰ Del inglés *Integrated Development Environment*

ofrecidas por el sistema, pueden ser restricciones de tiempo, de los estándares a utilizar, de rendimiento, entre otros (Sommerville, 2005).

2.4.1. Lista de reserva del producto

La técnica empleada para la captura de requisitos fue la entrevista al cliente, donde se confeccionó la lista de reserva del producto que se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Lista de reserva del producto

Prioridad	No	Nombre	Responsable
Requisitos funcionales			
Muy alta	1	Importar problema.	Adrián Sánchez Nievares
Alta	2	Editar problema.	Adrián Sánchez Nievares
Muy alta	3	Solucionar problema.	Adrián Sánchez Nievares
Alta	4	Mostrar reportes.	Adrián Sánchez Nievares
Requisitos no funcionales			
Alta	1	El software permitirá acceder a todas sus funcionalidades de manera sencilla.	Adrián Sánchez Nievares
Media	2	Debe poseer una interfaz amigable para el usuario con pocas entradas de datos.	Adrián Sánchez Nievares
Media	3	El sistema debe ser multiplataforma, pudiendo desplegarse en cualquier sistema operativo.	Adrián Sánchez Nievares

2.4.2. Historias de Usuario

Las Historias de Usuario (HU) son la técnica utilizada en XP para especificar los requisitos del software y constituyen el artefacto más importante de esta metodología. Se tratan de tarjetas en las cuales el cliente describe brevemente las características que el sistema debe poseer, sean requisitos funcionales o no funcionales. El tratamiento de las HU es muy dinámico y flexible, en cualquier momento las HU pueden desecharse, remplazarse por otras más específicas o generales, añadirse nuevas o ser modificadas. Cada HU debe ser comprensible y delimitada para que los programadores puedan implementarlas en unas semanas (Cuccaro Goggi, 2010).

En la Tabla 4 se muestra un ejemplo de HU del sistema, el resto se encuentran en los Anexos. (Ver Anexo II)

Tabla 4. Historia de usuario "Importar problema"

Historia de Usuario	
Número: 1	Nombre: Importar Problema
Responsable: Adrián Sánchez Nievares	Iteración: 1
Prioridad en el negocio: Muy alta	Tiempo estimado: 1 semana
Complejidad de desarrollo: Medio	
Descripción: Permite al usuario importar un fichero, que contiene toda la información del problema.	

2.5. Plan de iteraciones

La metodología de desarrollo XP propone la creación de un plan de iteraciones para mostrar la duración y el orden en que serán implementadas las HU del sistema dentro de cada iteración. Para el desarrollo del sistema se han definido cuatro HU que serán desarrolladas en dos iteraciones.

Tabla 5. Plan de iteraciones

Iteración	Historia de usuario	Duración estimada (semanas)
1	Importar problema	2 semanas
	Editar problema	
2	Solucionar problema	4 semanas
	Mostrar reportes	

2.6. Tarjetas CRC

Las tarjetas CRC (Clase-Responsabilidad-Colaborador) es un artefacto generado por la metodología XP utilizado para diseñar la solución informática según el paradigma de la programación orientada a objetos (Cuccaro Goggi, 2010).

Durante el diseño de la solución propuesta se identificaron un grupo de clases que aunque no tienen responsabilidades son usadas para contener información indispensable para el funcionamiento del sistema, estas son Alternativa, Criterio, Etiqueta y Experto. Se definió también una clase interfaz IMetodo, esta es la clase que debe implementar cada uno de los métodos de solución que se incluyan en la plataforma, y contiene las funcionalidades que deben definir los mismos; y una clase interfaz INumero que posee un grupo de funcionalidades que deben implementar todos los conjuntos de números que se utilicen para dar solución a los problemas de toma de decisión en la plataforma.

El resto de las clases identificadas contienen las responsabilidades que se necesitan para llevar a cabo las funcionalidades del sistema, estas son ConjuntoDeEtiquetas, Metodo, NumeroReal, NumeroDifuso, NumeroTriangular, NumeroTrapezoidal, NumeroTriangularTipo2, Problema y Solucionador. A continuación se muestra la tarjeta CRC de la clase ConjuntoDeEtiquetas. El resto de las tarjetas CRC se pueden consultar en el Anexo III.

Tabla 6. Tarjeta CRC de la clase “ConjuntoDeEtiquetas”

Clase: ConjuntoDeEtiquetas	
Responsabilidades:	Colaboradores:
Adicionar una etiqueta (Adiciona una etiqueta nueva al conjunto)	Etiqueta
Buscar una etiqueta (Busca y retorna una etiqueta en el conjunto a partir de su nombre)	Etiqueta
Eliminar etiqueta (Elimina una etiqueta del conjunto a partir de su nombre)	
Nombre de etiquetas (Devuelve un listado con el nombre de las etiquetas del conjunto)	
Ordenar etiquetas (Ordena el conjunto de etiquetas utilizando la distancia definida)	
Clase de número (Devuelve la clase a la que pertenece determinado número triangular)	INumero

2.7. Arquitectura de software

La arquitectura de software según (Fernández Lanvin, 2009) es el conjunto de técnicas metodológicas desarrolladas con el fin de facilitar la programación. Hace referencia a un grupo de abstracciones y patrones que brindan un esquema de referencia útil para guiarse en el desarrollo de software dentro de un sistema informático. Establece todos los fundamentos para que los analistas, diseñadores y programadores trabajen en una línea común que permita alcanzar los objetivos y necesidades del sistema.

2.7.1. Arquitectura N capas

La arquitectura seleccionada para la implementación de la solución propuesta fue la arquitectura N capas, en este caso particular N igual a tres. Esta arquitectura consiste en estructurar aplicaciones que pueden ser descompuestas en grupos de tareas, las cuales se clasifican de acuerdo a un nivel particular de abstracción. El software queda dividido en capas, teniendo cada una un grupo de interfaces públicas que

pueden ser invocadas por otras capas.

Esta arquitectura tiene como ventaja principal que al estar el desarrollo dividido en capas, de ocurrir algún cambio solo es afectado el nivel o capa requerida sin tener que revisar el código del resto de las capas. La primera capa, la capa de presentación, es la que el usuario ve, esta le comunica la información al usuario y captura la información que este provee, solamente se comunica con la capa de negocio y debe tener la característica de ser entendible y fácil de usar por el usuario.

La capa de negocio es donde residen los programas que se ejecutan, se reciben las peticiones del usuario y se envían las respuestas tras el proceso, en esta capa es donde se establecen todas las reglas que deben cumplirse, se comunica con la capa de presentación para recibir las solicitudes y presentar los resultados y con la capa de datos para almacenar o recuperar los datos. Por último está la capa de datos donde residen los datos y es la encargada de acceder a la información del sistema (UTPL, 2008).

Se seleccionó esta arquitectura en tres capas por sus características además de que brinda facilidad para la realización de las pruebas, permitir la reusabilidad y adaptarse a los requerimientos que debe cumplir el sistema.

2.7.2. Patrón arquitectónico Modelo-Vista-Controlador

Un patrón arquitectónico es una descripción de un problema particular y recurrente de diseño, que aparece en un contexto específico y presenta una solución demostrada. Los patrones arquitectónicos expresan el esquema de organización estructural fundamental para sistemas de software (Buschmann, 2009).

Como parte de la conformación de la arquitectura se seleccionó para la implementación de la solución el patrón arquitectónico Modelo-Vista-Controlador (MVC) contenido dentro del estilo arquitectónico llamada y retorno. Este patrón consiste en separar los datos de una aplicación, la interfaz y la lógica de control en tres componentes diferentes.

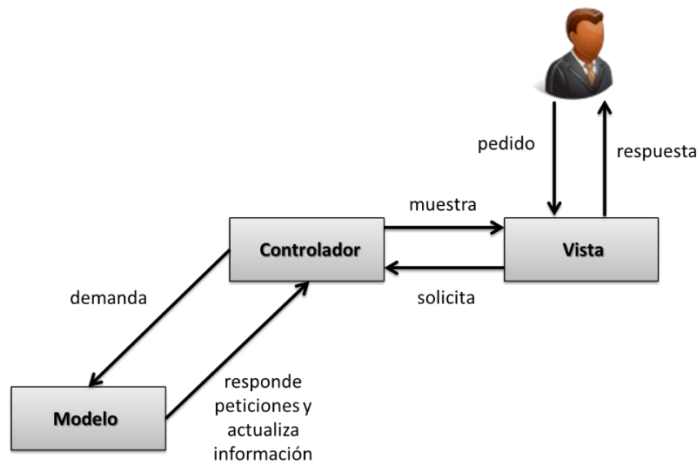


Figura 3. Patrón Modelo-Vista-Controlador (Elaboración propia)

Como se muestra en la Figura 3 los tres componentes principales del patrón son: el Modelo, que va a representar toda la información con la que funciona la aplicación, además responde a las peticiones de información que provienen de la Vista y a las instrucciones de cambio de estado que provienen del Controlador; la Vista es la encargada de gestionar la presentación de la información en la aplicación y todo lo relativo a la interfaz de usuario; y el Controlador, que responde a los eventos invocados desde la Vista, utiliza la lógica del negocio para procesar y producir una respuesta interpretando las entradas del usuario e informando al Modelo y a la Vista de los cambios que conlleven esas entradas.

2.8. Patrones de diseño

Se considera que en el desarrollo de un sistema informático es de buena práctica utilizar patrones de diseño, ya que facilitan el trabajo y aportan una mayor organización y claridad en la estructura de la aplicación. Para el desarrollo del sistema se emplearon los patrones de diseño en la definición de las clases y el diseño del sistema.

2.8.1. Patrones GRASP

Los Patrones de Software para la Asignación General de Responsabilidad¹¹ (GRASP por sus siglas en inglés) son un grupo de patrones de diseño que describen los principios fundamentales de la asignación de responsabilidades a objetos. Con el fin de desarrollar un sistema con una mayor calidad se utilizaron

¹¹ GRASP por sus siglas en inglés

los siguientes patrones:

- **Alta cohesión:** Consiste en asignar las responsabilidades manteniendo una coherencia alta. Al lograr una alta cohesión se puede simplificar la complejidad ya que se le asignan las responsabilidades a una clase de manera que contenga la información coherente que esté relacionada con la misma. En los Anexos se muestra el uso de este patrón en la solución. (Ver Anexo IV)
- **Bajo acoplamiento:** Consiste en asignar las responsabilidades de forma que su colocación no incremente el acoplamiento. Utilizar este patrón trae como ventaja disminuir las dependencias de las clases, si se tuviera que hacer una modificación en una clase la repercusión en el resto de las clases sea mínima. En los Anexos se muestra el uso de este patrón en la solución. (Ver Anexo V)
- **Creador:** Consiste en guiar la asignación de responsabilidades relacionadas con la creación de objetos. Se le asigna la responsabilidad de crear una nueva instancia a aquella clase que tiene la información necesaria para lograrlo. En los Anexos se muestra el uso de este patrón en la solución. (Ver Anexo VI)
- **Experto:** Consiste en asignar una responsabilidad a la clase que cuenta con la información necesaria para cumplirla. El uso de este patrón erradica el problema de saber qué responsabilidad delegarle a cada objeto. En los Anexos se muestra el uso de este patrón en la solución. (Ver Anexo VII)

2.9. Diagrama de clases

En el diagrama de clases se representan los objetos fundamentales del sistema que percibe el usuario. Las Figuras 4, 5 y 6 muestran el diagrama de clases de la solución propuesta.

El sistema cuenta con una clase controladora Solucionador, esta clase contiene una instancia de la clase Problema donde va a estar la información del problema que se quiere solucionar. Contendrá además una colección de métodos de solución de problemas de toma de decisión que serán utilizados para darle solución al problema, cada uno de estos métodos tendrá que implementar la clase interfaz IMetodo, esta interfaz contendrá un grupo de funcionalidades que serán utilizadas para darle solución al problema, tales como “MejorAlternativa” que devolverá la alternativa seleccionada por el método de solución, y “PosicionesAlternativasOrdenadas” que devolverá un arreglo con las posiciones de las alternativas ordenadas según la preferencia del método de solución.

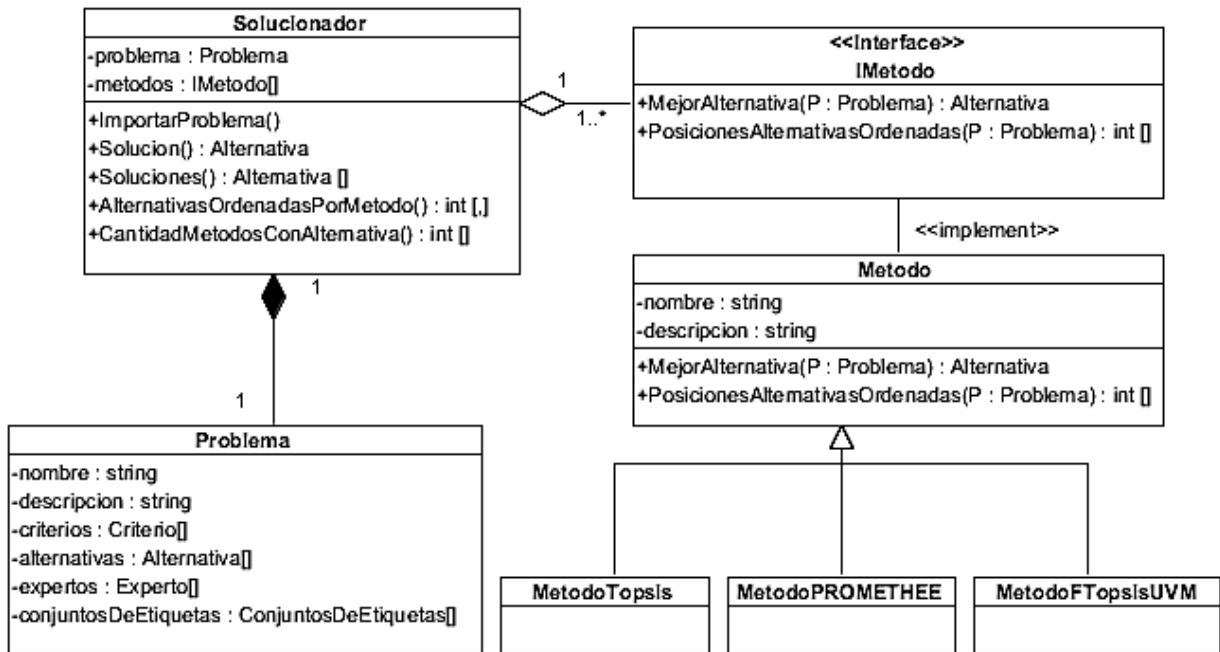


Figura 4. Diagrama de clases (Parte 1)

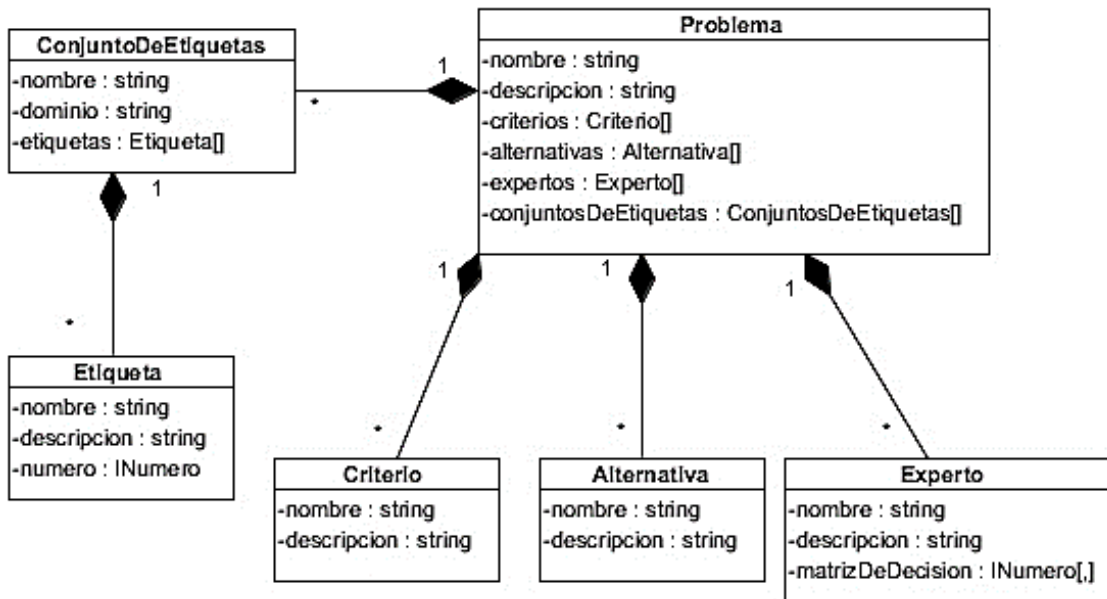


Figura 5. Diagrama de clases (Parte 2)

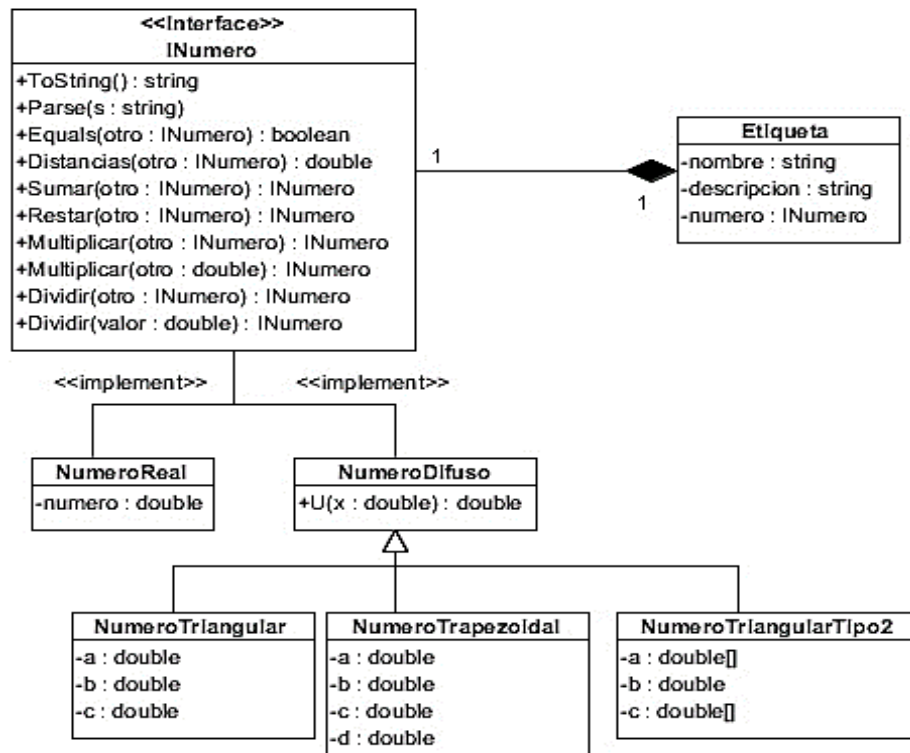


Figura 6. Diagrama de clases (Parte 3)

La clase Problema consta de tres elementos principales: las alternativas, que estarán representadas mediante una colección de objetos de la clase Alternativa; los criterios, que estarán representados mediante una colección de objetos de la clase Criterio, y los expertos, que estarán representados mediante una colección de objetos pertenecientes a la clase Experto. Además cuenta con distintos conjuntos de etiquetas lingüísticas que estarán representadas mediante una colección de objetos de la clase ConjuntoDeEtiquetas. La clase Alternativa será la encargada de representar cada opción que se debe elegir en el problema a dar solución, y contendrá el nombre de la alternativa y una breve descripción. La clase Criterio será la encargada de representar cada criterio de evaluación por el que se deben regir los expertos para evaluar y seleccionar la alternativa correcta, y contendrá el nombre del criterio y una breve descripción del mismo.

Por su parte Experto será la clase encargada de representar cada experto que dará su evaluación de los criterios de cada alternativa, y contendrá el nombre del experto, una breve descripción del mismo, y arreglo bidimensional para representar la Matriz de Decisión de cada experto.

La clase ConjuntoDeEtiquetas contendrá una colección de objetos de la clase Etiqueta y el dominio al que

pertenecen los valores asociados a dichas etiquetas. Cada una de estas etiquetas lingüísticas tendrá asociado un número que estará representado por una instancia de una clase que deberá implementar la interfaz INúmero. En la solución propuesta se definieron un grupo de clases que implementan la interfaz INúmero y representaran diferentes conjuntos de números: NumeroReal, NumeroTriangular, NumeroTrapezoidal y NumeroTriangularTipo2.

Conclusiones parciales

En el presente capítulo se realizó un análisis de las herramientas, tecnologías y lenguajes de programación y de modelado que existen en la actualidad para el desarrollo de un sistema informático, pudiéndose llegar a las siguientes conclusiones parciales:

- Para el desarrollo de la plataforma MCDM ProSolver se seleccionó la metodología de desarrollo ágil XP, que permitirá mantener la calidad del sistema en el poco tiempo de desarrollo y la cantidad de personal con que se cuenta.
- Se seleccionó la herramienta CASE Visual Paradigm para lograr una mayor organización en el proceso de desarrollo del sistema, generando todos los diagramas y esquemas que son necesarios para la metodología utilizada.
- Se seleccionó el Lenguaje de Modelado Unificado (UML) para construir y visualizar los artefactos del sistema y para el modelado del negocio.
- El lenguaje de programación seleccionado fue Java, que permitirá desarrollar un sistema informático que sea multiplataforma además de facilitar la codificación del software con la ayuda de las librerías que incorpora este lenguaje.
- Se seleccionó como entorno de desarrollo integrado (IDE) el NetBeans que brindará muchas facilidades en la fase de implementación y pruebas con las útiles herramientas que incorpora.
- Se seleccionó la arquitectura de software N capas, con N igual a tres, para dividir el sistema en niveles o capas diferentes, permitiendo una mayor claridad y facilidad en la fase de implementación y pruebas.
- Se utilizará el patrón arquitectónico Modelo-Vista-Controlador en la implementación de la solución para separar los datos de la aplicación, la lógica y la interfaz en tres componentes diferentes.
- Se utilizaran los patrones de diseño GoF y GRASP para lograr una mayor organización y claridad en la estructura del código.

Por otra parte en este capítulo además se describieron las funcionalidades y características de la plataforma MCDM ProSolver, arribando a las siguientes consideraciones:

- La solución propuesta le brinda al usuario una mayor eficacia ante la toma de decisiones con múltiples criterios y múltiples expertos, mejorando considerablemente los tiempos de ejecución al estar informatizados todos los cálculos.
- Se definieron cuatro requisitos funcionales y tres requisitos no funcionales del sistema, y se describieron los mismos utilizando la lista de reserva del producto y las historias de usuario.
- Se realizó el plan de iteraciones donde quedaron definidas dos iteraciones de desarrollo del sistema, y el orden y la duración estimada en que serán implementadas las historias de usuario.
- Se confeccionaron las tarjetas CRC donde quedaron definidas las responsabilidades que contendrán cada una de las clases del sistema, así como las clases que se utilizaran para desarrollar cada una de esas responsabilidades.
- Se realizó el diagrama de clases para representar los objetos fundamentales del sistema que percibe el usuario.

CAPÍTULO 3. IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA MCDM PROSOLVER

El presente capítulo tiene como objetivo presentar los resultados de la implementación y las pruebas realizadas al sistema. Se describen los estilos y estándares de codificación utilizados para la implementación, y las pruebas unitarias realizadas al sistema como pruebas de caja blanca y las pruebas de aceptación realizadas conjuntamente con el cliente.

3.1. Tareas de ingeniería

En la metodología XP todas las tareas que se realizan en cada iteración son denominadas tareas de ingeniería, cada una de estas tareas es asignada a un programador que será el responsable de ejecutarla (Cuccaro Goggi, 2010).

En la Tabla 7 se muestran las tareas de ingeniería definidas para la realización de cada historia de usuario. Las especificaciones de cada una de estas tareas se encuentran en el Anexo VIII.

Tabla 7. Tareas de ingeniería

Iteración	Historia de Usuario	Tareas
1	Importar problema	- Cargar información del problema. - Validar formato del problema.
	Editar problema	- Editar conjuntos de etiquetas. - Editar alternativas y criterios. - Editar expertos y evaluaciones.
2	Solucionar problema	- Seleccionar métodos de solución. - Seleccionar alternativas.
	Mostrar reportes	- Mostrar reportes de los métodos de solución.

3.2. Estándares de codificación

Los estándares de codificación son reglas que se siguen para la escritura del código fuente de un programa. A continuación se describen los estándares y reglas de codificación utilizados en la implementación del sistema.

3.2.1. Nombres de estructuras

Nombre de las clases: El estilo de capitalización utilizado para la notación de las clases será el UpperCamelCase, por lo que cada palabra que conforme el nombre de la clase comenzará con la primera letra en mayúsculas y el resto en minúsculas. En el Anexo IX se pueden ver ejemplos de la utilización de este estilo.

Nombre de los atributos, parámetros y variables: El estilo de capitalización utilizado para la notación de los atributos, parámetros y variables será el lowerCamelCase, por lo que cada palabra que conforme el nombre de estos identificadores, excepto la primera, comenzará con mayúsculas y el resto en minúsculas. En el Anexo X se pueden ver ejemplos de la utilización de este estilo.

3.2.2. Reglas de codificación

Se definieron un grupo de reglas con el fin de lograr una mayor claridad en el código:

- No usar caracteres simples para los nombres de las variables, excepto las variables de control de ciclo.
- Utilizar nombres descriptivos para los nombres de las estructuras, atributos y parámetros.
- Los comentarios deben estar en el mismo nivel del código.
- Se deberá realizar una sola declaración por línea con el fin de facilitar los comentarios.
- No deben haber espacios en blanco entre los nombre de los métodos y el paréntesis '(' que abre su lista de parámetros.

3.3. Diagrama de despliegue

Un diagrama de despliegue es un modelo de objetos que describe la distribución física del sistema en términos de cómo se distribuyen las funcionalidades entre los nodos. Cada nodo representa un recurso de cómputo, normalmente un procesador o un dispositivo familiar. La Figura 7 muestra el diagrama de despliegue del sistema.

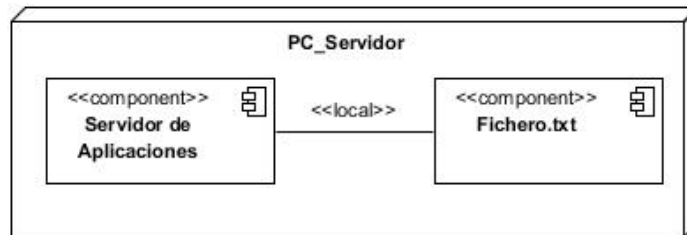


Figura 7. Diagrama de despliegue

3.4. Interfaces de la aplicación

La interfaz principal del sistema brinda la posibilidad al usuario, una vez importado el fichero con los datos del problema, de ver alguna información del problema, como son el nombre, las alternativas, los criterios y la evaluación de los expertos.

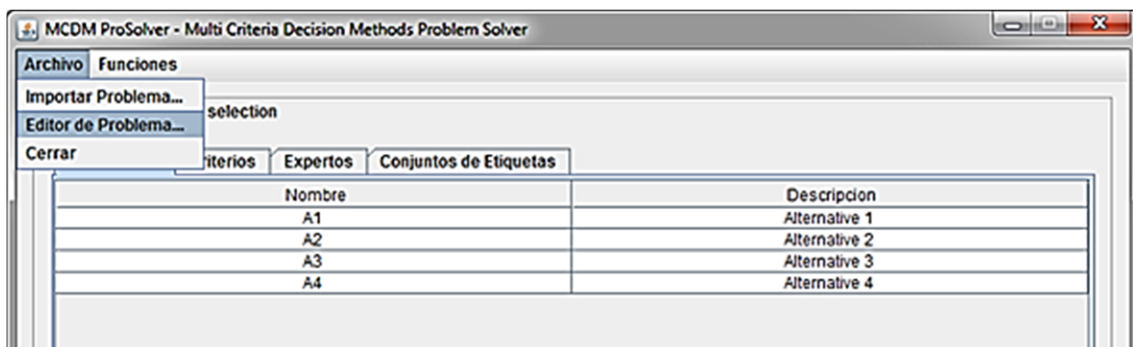


Figura 8. Interfaz principal con el menú “Archivo” desplegado

Desde la interfaz principal, presentada en la Figura 8, el usuario puede acceder al Editor de Problemas, a través del menú “Archivo”, para modificar los datos pertenecientes al problema previamente cargado. El menú “Funciones” le brinda al usuario un grupo de reportes generados por el sistema que muestran los resultados arrojados por los diferentes métodos. En el Anexo XI se encuentran imágenes de las principales interfaces de la aplicación.

3.5. Pruebas de software

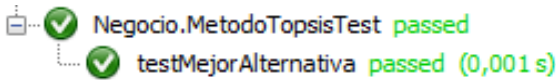
Dentro del proceso de desarrollo de software la fase de pruebas es una de las más importantes. El objetivo de esta fase es validar que los requerimientos de software han sido cumplidos, además de garantizar la calidad del sistema.

3.5.1. Pruebas unitarias

Las pruebas unitarias son diseñadas por los desarrolladores con el objetivo de verificar el código. Estas pruebas se le realizan a las funcionalidades de las clases para obtener los posibles errores que pudieran ocurrir durante su ejecución.

Las pruebas unitarias se realizaron utilizando la librería JUnit del entorno de desarrollo integrado NetBeans. Esta librería permite realizar la ejecución de clases Java de manera automatizada y controlada para comprobar si el funcionamiento de las funcionalidades de una clase se comporta de la manera esperada.

Tabla 8. Prueba unitaria para el método “MejorAlternativa”

Prueba unitaria	
Nombre: testMejorAlternativa	
Estado: Satisfactorio	Tipo de prueba: Caja blanca
Ejecutado por: Adrián Sánchez Nievares	Verificado por: Edistio Yoel Verdecia Martínez
Criterio de aceptación: Obtener la mejor alternativa	
Resultado: 	

La Tabla 8 muestra el resultado de la prueba unitaria realizada a la funcionalidad “MejorAlternativa” de la clase “MetodoTopsis”. Los resultados de las pruebas realizadas a cada una de las clases se encuentran en el Anexo XII.

3.5.1.1 Análisis de los resultados

Se realizaron tres iteraciones de pruebas unitarias al sistema. Luego de haber implementado las historias de usuario planificadas en la primera iteración del desarrollo del sistema se realizó la primera iteración de pruebas unitarias pudiéndose detectar treinta y una no conformidades (NC). La mayor parte de estas NC estaban asociadas a la entrada de datos al sistema y a la validación del formato del fichero que contiene la información referente a los datos del problema.

Luego de haber implementado las historias de usuario planificadas en la segunda iteración del desarrollo

del sistema, habiéndose corregido todas las NC, se realizó la segunda iteración de pruebas unitarias pudiéndose detectar nueve NC, dos de las cuales estaban asociadas a la visualización de los reportes que muestra el sistema, y el resto a la solución del problema. Luego de ser corregidas las NC detectadas en la segunda iteración, y siendo esta la última iteración del desarrollo del sistema, se realizó una tercera y última iteración de pruebas unitarias en la que no se detectaron NC obteniendo un resultado satisfactorio. El resultado de las pruebas unitarias en cada iteración se puede apreciar en la gráfica de la Figura 9.

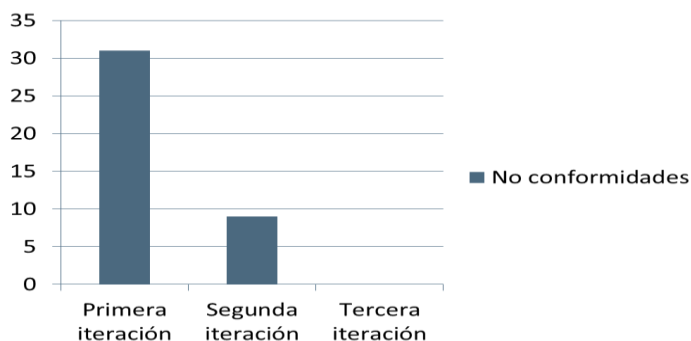


Figura 9. Resultados de las pruebas unitarias por iteración (Elaboración propia)

3.5.2. Pruebas de aceptación

Las pruebas de aceptación son las encargadas de validar el nivel de satisfacción del cliente con el software desarrollado, por lo que el cliente tiene la responsabilidad de verificar que los resultados de estas pruebas sean correctos. A continuación se muestra la prueba de aceptación realizada a una de las historias de usuario del sistema. El resto de las pruebas de aceptación realizadas al sistema se encuentran en el Anexo XIII.

Tabla 9. Prueba de aceptación de la historia de usuario “Editar problema”

Prueba de aceptación	
Nombre: Prueba de aceptación editar problema	Historia de usuario: Editar problema
Responsable: Edistio Yoel Verdecia Martínez	
Descripción: Prueba de funcionalidad para editar los datos de un problema.	
Condiciones de ejecución: Debe estar creado el problema.	
Entrada/Pasos de ejecución:	
<ul style="list-style-type: none"> - El usuario selecciona qué información del problema quiere modificar. 	

<ul style="list-style-type: none"> - Se muestra la información del problema que el usuario seleccionó. - El problema es modificado.
Resultado esperado: Se modifica satisfactoriamente la información del problema.
Evaluación de la prueba: Prueba satisfactoria

3.5.2.1 Análisis de los resultados

Se realizaron tres iteraciones de pruebas de aceptación al sistema. Luego de haber implementado las historias de usuario planificadas en la primera iteración del desarrollo del sistema se realizó la primera iteración de pruebas de aceptación pudiéndose detectar once no conformidades (NC); de estas once NC, cinco estaban asociadas al formato del fichero que contiene la información referente a los datos del problema, y el resto a la modificación de la información del problema.

Luego de haber implementado las historias de usuario planificadas en la segunda iteración del desarrollo del sistema, habiéndose corregido las NC detectadas en la primera iteración, se realizó la segunda iteración de pruebas de aceptación pudiéndose detectar cuatro NC; estas NC estaban asociadas a la visualización de los reportes que muestra el sistema. Luego de ser corregidas las NC detectadas en la segunda iteración, y siendo esta la última iteración del desarrollo del sistema, se realizó una tercera y última iteración de pruebas de aceptación en la que no se detectaron NC obteniendo un resultado satisfactorio. El resultado de las pruebas de aceptación en cada iteración se puede apreciar en la Figura 10.

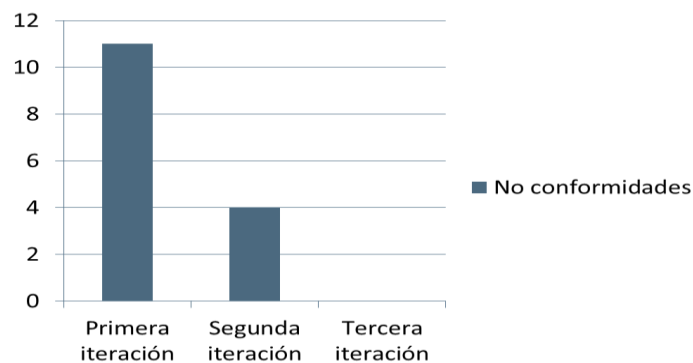


Figura 10. Resultados de las pruebas de aceptación por iteración (Elaboración propia)

Conclusiones parciales

En el presente capítulo se realizó una descripción de los elementos necesarios para completar la fase de implementación y pruebas asociada a MCDM ProSolver, se describieron las tareas de ingeniería y los estilos de código utilizados para la implementación, y se realizó un análisis de los resultados arrojados por las pruebas de software, lo que permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- Se identificaron ocho tareas de ingeniería y se especificaron cada una de ellas utilizando la metodología de desarrollo XP.
- Se definieron los estándares de codificación utilizados en la implementación de la solución así como un grupo de reglas que facilitarían la comprensión del código, los nombres de las estructuras utilizarán la notación UpperCamelCase y los nombres de los atributos, variables y parámetros utilizarán la notación lowerCamelCase.
- Se identificaron cada uno de los componentes del diagrama de despliegue, se describieron las interfaces principales del sistema y se implementaron las mismas.
- Se implementaron las tareas definidas para cada historia de usuario; en este proceso se diseñaron también las interfaces de usuario de la aplicación.
- Se realizaron las pruebas unitarias y de aceptación donde se corrigieron las no conformidades que se detectaron en cada una de las iteraciones, obteniéndose un resultado satisfactorio. Las no conformidades de las pruebas unitarias estuvieron asociadas mayormente al formato del fichero que contiene la información referente a los datos del problema y a la visualización de los reportes que muestra el sistema.
- En las pruebas de aceptación realizadas conjuntamente con el cliente se demostró que la implementación satisface los requerimientos definidos en el capítulo anterior.

CAPÍTULO 4. VALIDACIÓN DE LA PLATAFORMA MCDM PROSOLVER

El presente capítulo tiene como objetivo presentar el diseño y los resultados de la validación de la plataforma MCDM ProSolver. En este se describen los resultados de la validación a partir del empleo de varios métodos y de la aplicación de la propuesta a diferentes problemas seleccionados de la literatura científica los cuales se modelaron y solucionaron. Se presentan los resultados del método Criterio de Expertos y el Test de ladov. El capítulo finaliza con una triangulación metodológica a partir de los indicadores definidos.

4.1. Diseño de la validación

En el diseño de la validación se incluyen tres métodos principales, el primero es lo que el autor ha denominado “Pruebas de Veracidad” (PV), y tienen como objetivo complementar las pruebas de software realizadas a la plataforma en el capítulo anterior. Estas pruebas de veracidad tienen la intención de verificar que los métodos de solución seleccionados están correctamente implementados de manera independiente. Luego de las pruebas de veracidad se aplica el método Criterio de Expertos (CE) para conocer el criterio de especialistas de diferente nivel respecto a la investigación, y por último se aplicó el Test de ladov (TI) para conocer el nivel de aceptación de distintos decisores que utilizaron la plataforma.

Tabla 10. Indicadores utilizados en la validación

No	Id	Nombre	Significado	Método		
				PV	CE	TI
1	VER	Veracidad	La plataforma reproduce fielmente los resultados de la literatura científica.	X		
2	APL	Aplicabilidad	Se puede aplicar la plataforma a problemas de decisión multicriterio y multiexperto de diferente naturaleza y comparar los resultados.	X	X	X
3	EXT	Extensibilidad	A la plataforma se le pueden incluir la implementación de nuevos métodos de solución.	X	X	



Figura 11. Diseño de la validación (Elaboración propia)

Los indicadores seleccionados se muestran en la Tabla 10, y la Figura 11 muestra el flujo de trabajo de la validación.

Como se puede observar en la Figura 11 la base de la validación son las Pruebas de Veracidad, pues es necesario garantizar que la plataforma ofrezca los mismos resultados contenidos en la literatura científica, esto se resume en la veracidad. Además de lo anterior, al tomar varios problemas de la literatura científica que tengan naturaleza diferente (recursos humanos, comercio, educación, medio ambiente, etc.) se garantiza la aplicabilidad de la plataforma. La extensibilidad está dada por la posibilidad de adicionar nuevos métodos de solución a problemas de toma de decisión con múltiples criterio y expertos a la plataforma. Por su parte el método Criterio de Expertos y el Test de ladov garantizan que los expertos seleccionados puedan opinar sobre la aplicabilidad de la plataforma y sobre su extensibilidad, elementos que pueden variar en mayor o menor medida las características de esta.

4.2. Pruebas de Veracidad

Para la realización de las Pruebas de Veracidad se seleccionaron los artículos de la literatura científica que se caracterizan en la Tabla 11.

El proceso seguido fue el mismo para cada uno de los artículos y se muestra en la Figura 12.

Tabla 11. Artículos seleccionados para las “Pruebas de Veracidad”

No	Título	Métodos aplicados	Referencia
1	<i>Extension of fuzzy TOPSIS method based on interval-valued fuzzy sets</i>	TOPSIS, PROMETHEE	(Ashtiani, y otros, 2008)
2	<i>A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection</i>	TOPSIS, PROMETHEE	(Kelemenis, y otros, 2009)
3	<i>The LTOPSIS: An alternative to TOPSIS decision-making approach for linguistic variables</i>	TOPSIS, PROMETHEE	(Cables, y otros, 2011)

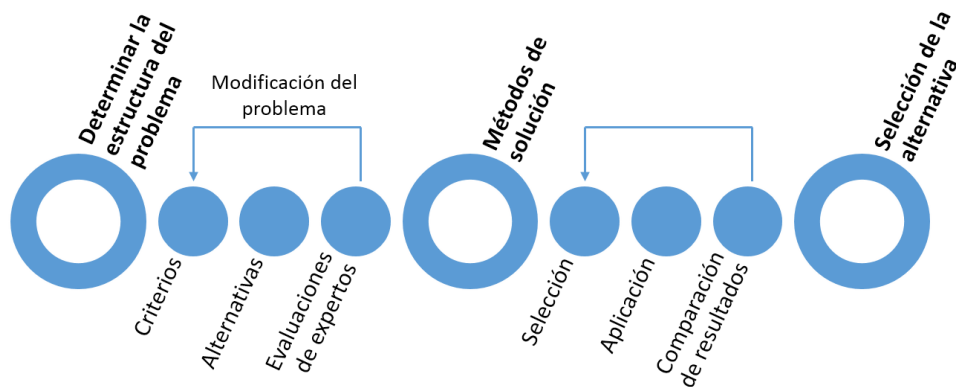


Figura 12. Proceso de aplicación del sistema (Elaboración propia)

Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 12. Resultados de las “Pruebas de Veracidad”

No	Referencia	Métodos aplicados	Resultados	
			Artículo	Plataforma
1	(Ashtiani, y otros, 2008)	TOPSIS, PROMETHEE	Alternativa 3	Alternativa 3
2	(Kelemenis, y otros, 2009)	TOPSIS, PROMETHEE	Alternativa 1	Alternativa 1
3	(Cables, y otros, 2011)	TOPSIS, PROMETHEE	Alternativa 3	Alternativa 3

La Tabla 12 muestra que en el 100% de los artículos los resultados fueron los mismos.

A partir del análisis anterior se puede garantizar que los resultados ofrecidos por la plataforma son los mismos que los resultados a los que se llegó por los autores de los artículos de la literatura científica. El análisis anterior permite verificar la veracidad tal como se definió al inicio de este capítulo.

Respecto a la aplicabilidad se llega a un resultado positivo, apoyado por los elementos contenidos en la Tabla 12 y a los análisis posteriores realizados a partir de ella y de la aplicación de la plataforma.

Tabla 13. Análisis de la aplicabilidad en las “Pruebas de Veracidad”

No	Referencia	Dominio de aplicación	Métodos aplicables
1	(Ashtiani, y otros, 2008)	Telecomunicaciones	TOPSIS, PROMETHEE
2	(Kelemenis, y otros, 2009)	Gestión de recursos humanos	TOPSIS, PROMETHEE
3	(Cables, y otros, 2011)	Administración del medio ambiente	TOPSIS, PROMETHEE

La Tabla 13 muestra que la plataforma es aplicable en problemas de diferente naturaleza, aunque puede parecer tautológico realizar este planteamiento a partir de que la plataforma fue diseñada a partir de la elaboración de un modelo matemático que permite representar los problemas de decisión multicriterio y multiexpertos.

La determinación de que más de un método es aplicable a las referencias (Kelemenis, y otros, 2009), (Kelemenis, y otros, 2010) y (Cables, y otros, 2011) hace que se puedan aplicar estos y comparar sus resultados, dándole a los decisores elementos bajo los cuales puedan tomar una decisión informada. Para los artículos a los que a su problema se pueden emplear más de un método la Tabla 14 muestra los resultados y si hay o no coincidencia con el método aplicado originalmente.

Tabla 14. Resultado de la aplicación de los métodos a los problemas de los artículos seleccionados

No	Referencia	Métodos aplicados		Comentarios
		Método	Resultado	
1	(Ashtiani, y otros, 2008)	TOPSIS	Alternativa 3	Se ofrecen los mismos resultados para los métodos determinados
		PROMETHEE	Alternativa 3	
2	(Kelemenis, y otros, 2009)	TOPSIS	Alternativa 1	
		PROMETHEE	Alternativa 1	
3	(Cables, y otros, 2011)	TOPSIS	Alternativa 3	
		PROMETHEE	Alternativa 3	

Los elementos contenidos en la Tabla 14 permiten a los decisores tomar una decisión informada para el problema que están resolviendo, ello además demuestra la aplicabilidad de la plataforma.

Para demostrar la extensibilidad se seleccionó la implementación del método TOPSIS Difuso con Umbral

de Veto y Voto Mayoritario (F-TOPSIS-UVM) (Sánchez Nievares, y otros, 2012). Para la implementación se siguieron los mismos pasos que para implementar los métodos seleccionados en el Capítulo 1 de la presente investigación.

Para adicionar un nuevo método de solución a problemas de toma de decisión con múltiples criterios y expertos a la plataforma es necesario que la clase que va a representar el método implemente la interfaz **IMetodo** y defina las funcionalidades que la misma contiene, estas son **“MejorAlternativa”** y **“PosicionesAlternativasOrdenadas”**. En los Anexos se incluye la implementación de estos métodos para F-TOPSIS-UVM. (Ver Anexo XIV)

Tabla 15. Resultado de la aplicación de F-TOPSIS-UVM

No	Referencia	Métodos aplicados		
		Artículo		Resultado de F-TOPSIS-UVM
		Método	Resultado	
4	(Kelemenis, y otros, 2009)	TOPSIS	Alternativa 2	Alternativa 2
5	(Kelemenis, y otros, 2010)	TOPSIS	Alternativa 1	Alternativa 1
6	(A. Krohling, y otros, 2010)	TOPSIS	Alternativa 8	Alternativa 8

La Tabla 15 muestra los resultados de aplicar F-TOPSIS-UVM y su comparación con los resultados obtenido por los autores de los artículos referenciados, artículos que no habían sido utilizados en la demostración de la veracidad.

El proceso anterior demuestra que la plataforma es extensible por la aplicación de nuevos métodos, conjuntamente se demuestra la veracidad al permitir aplicar el método adicionado y la comparación de los resultados obtenidos por la plataforma con los resultados obtenidos en los artículos referenciados, además de la aplicabilidad al permitir comparar los resultados de la literatura con los del F-TOPSIS-UVM y permitir al decisor tomar una decisión informada.

Es importante hacer notar una vez más que el proceso llevado a cabo en las Pruebas de Veracidad ofrecen elementos que demuestran la veracidad, la aplicabilidad y la extensibilidad de la propuesta.

4.3. Método Criterio de Expertos

El método Criterio de Expertos permite obtener valoraciones de expertos sobre temas relacionados con la solución a problemas de decisión con múltiples criterios y expertos. Como método para el procesamiento estadístico de estos criterios o evaluaciones se utilizó el método Delphi (Durand, 1971).

Para la evaluación de los expertos se seleccionaron un grupo de indicadores o preguntas que se pueden observar en la Tabla 16, y el cuestionario utilizado se encuentra en los Anexos. (Ver Anexo XV)

Se definieron además un grupo de personas que están asociados a los temas relacionados con la base teórica y práctica de la investigación realizada y que, a criterio del investigador, cumplen los requisitos de expertos.

Tabla 16. Indicadores seleccionados para ser evaluados por los expertos

No	Pregunta	VER	APL	EXT
1	Cómo evalúa la modelación matemática de los problemas de toma de decisiones con múltiples criterios y expertos bajo incertidumbre.	X	X	X
2	Cómo evalúa la concepción de la Plataforma MCDM ProSolver.	X	X	X
3	Cómo evalúa la propuesta para extender MCDM ProSolver.		X	X
4	Cómo considera la aplicación de varios métodos de solución a un mismo problema de TD MCME bajo incertidumbre en la toma de una decisión informada.	X	X	X
5	Cómo evalúa la aplicabilidad de MCDM ProSolver en diferentes dominios.		X	

Se seleccionaron 14 especialistas a los que se les envió un resumen que explica la concepción de la plataforma. De los expertos identificados contestaron 11. Se tomaron en consideración los siguientes aspectos: título universitario, grado científico, categoría docente, años de experiencia en la docencia, años de experiencia en la producción o los servicios, el nivel de dominio sobre el tema que se encuesta y las fuentes de argumentación. Se dividieron los expertos en dos conjuntos disjuntos, en el primero se ubicaron aquellos que han realizado análisis teóricos con respecto al tema y con mayor dominio en la modelación teórica del proceso de toma de decisiones, y en el segundo se ubicaron a aquellos que de una forma u otra han implementado métodos de solución a problemas de toma de decisión y que tienen un

mayor dominio en el diseño e implementación del proceso de toma de decisiones. La lista de los expertos seleccionados puede ser consultada en los Anexos. (Ver Anexo XVI)

Se determinó el nivel de competencia de cada experto a partir de los valores de su coeficiente de conocimiento K_c y su coeficiente de argumentación K_a ; los resultados de estos coeficientes se muestran en la Tabla 43 de los Anexos (Ver Anexo XVII). Como resultado se obtiene que ninguno de los expertos tiene un nivel de competencia bajo, lo cual refuerza los criterios y rigurosidad de la selección. Los resultados de la distribución de los expertos según su nivel de competencia se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Distribución de expertos según el nivel de competencia

Nivel de competencia	Cantidad	Por ciento
Alto	7	63.64
Medio	4	36.36
Bajo	0	-
Total	11	100,00

Al analizar el comportamiento de los niveles de competencia se puede observar que existen 7 expertos con un nivel de conocimiento alto y 4 con un nivel de competencia medio, quedando ubicados en el primer conjunto de expertos aquellos cuyo nivel de competencia es alto pues son aquellos expertos que presentan conocimientos teóricos con respecto al tema. La caracterización de los expertos es la siguiente: dos poseen la categoría de Máster en Ciencias en especialidades afines a la informática o la computación, cuatro ostentan el grado científico de Doctor en Ciencias y poseen la categoría principal de Profesor Titular, uno de los expertos posee el título de Profesor Auxiliar y otro posee el título de Asistente. Siete de los expertos están vinculados a la docencia y cuatro no pertenecen a la UCI.

Las preguntas del cuestionario diseñado (Ver Anexo XV) están enfocadas a obtener las valoraciones de los expertos en función de los indicadores definidos y los problemas identificados. Estas preguntas representan cinco aspectos relevantes de la concepción de la plataforma MCDM ProSolver. El experto expresa su valoración de cada indicador mediante una escala del 1 al 5 (5 muy adecuado, 4 bastante adecuado, 3 adecuado, 2 poco adecuado y 1 inadecuado).

En la Tabla 44 de los Anexos (Ver Anexo XVII) se muestran los criterios expresados por los expertos. Con las respuestas a los cuestionarios se confeccionó la matriz del criterio de experto por indicador y su correspondiente matriz en base a 100 como se muestra en la Tabla 45 y la Tabla 46 de los Anexos (Ver Anexo XVII). Se determinó para cada indicador C_j evaluado el coeficiente de concordancia C . El nivel de consenso o concordancia C se determina mediante:

$$C = 100(1 - Df) \quad (2)$$

Donde:

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^n CE_i}{n} \quad (3)$$

$$D_s = \sqrt{\left(\frac{1}{n} - 1\right) \sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2} \quad (4)$$

$$D_f = \frac{D_s}{X_m} \quad (5)$$

Tabla 18. Grado de concordancia por pregunta y relación con indicadores de validación del primer grupo

No	Pregunta	VER	APL	EXT	C_j
1	Cómo evalúa la modelación matemática de los problemas de toma de decisiones con múltiples criterios y expertos bajo incertidumbre.	X	X	X	89.65
2	Cómo evalúa la concepción de la Plataforma MCDM ProSolver.	X	X	X	89.65
3	Cómo evalúa la propuesta para extender la plataforma MCDM ProSolver.		X	X	92.22
4	Cómo considera la aplicación de varios métodos de solución a un mismo problema de TD MCME bajo incertidumbre en la toma de una decisión informada.	X	X	X	100
5	Cómo evalúa la aplicabilidad de la plataforma MCDM ProSolver en diferentes dominios.		X		88.61

Se determina el grado de concordancia por indicador. En la Tabla 18 y la Tabla 19 se muestra la relación entre cada una de las preguntas del cuestionario y los indicadores definidos para la validación del modelo y la metodología, veracidad (VER), aplicabilidad (APL) y extensibilidad (EXT).

El análisis de los resultados destaca que en la muestra de 11 expertos, los cinco indicadores son evaluados como muy adecuado o bastante adecuado, validando en estas opiniones su comportamiento acertado. Para los indicadores en todos los casos se obtuvo un grado de concordancia por encima del 87%, lo que se considera un resultado satisfactorio.

Tabla 19. Grado de concordancia por pregunta y relación con indicadores de validación del segundo grupo

No	Pregunta	VER	APL	EXT	C_j
1	Cómo evalúa la modelación matemática de los problemas de toma de decisiones con múltiples criterios y expertos bajo incertidumbre.	X	X	X	100
2	Cómo evalúa la concepción de la Plataforma MCDM ProSolver.	X	X	X	88.24
3	Cómo evalúa la propuesta para extender la plataforma MCDM ProSolver.		X	X	100
4	Cómo considera la aplicación de varios métodos de solución a un mismo problema de TD MCME bajo incertidumbre en la toma de una decisión informada.	X	X	X	89.47
5	Cómo evalúa la aplicabilidad de la plataforma MCDM ProSolver en diferentes dominios.		X		87.17

El nivel de concordancia o consenso total C_t del modelo y la metodología fue de 100% ya que no se registraron votos negativos como se indica en la Tabla 47 del Anexo XVII. Se consideran como votos negativos aquellos que se refieren a un indicador con la categoría de inadecuado o poco adecuado y que corresponden a los valores 1 o 2. A partir del valor obtenido para C_t se puede afirmar que el nivel de consenso entre los expertos respecto a la valoración del modelo y la metodología permite corroborar su veracidad, aplicabilidad y extensibilidad.

La aplicación de este método permitió perfeccionar y enriquecer la propuesta en algunos elementos a partir de los criterios dados por los expertos. De los resultados obtenidos puede interpretarse que:

- A medida que se incorporen nuevos métodos de solución a problemas de toma de decisión permitirá a los decisores tomar decisiones de manera más efectiva.
- Los conjuntos de números difusos son necesarios en la solución a problemas de toma de decisión para que la pérdida de información se minimice y se pueda tomar una decisión correcta.

4.4. Test de ladov

El Test de ladov es una técnica que permite el estudio del grado de satisfacción de los involucrados en un proceso o actividad objeto de análisis, y ha sido ampliamente utilizada por su carácter genérico (Kuzmina, 1970). La técnica está conformada por cinco preguntas: tres cerradas y dos abiertas, las cuales son reformuladas en la presente investigación para evaluar la satisfacción de los expertos sobre la plataforma MCDM ProSolver y su fundamentación. A partir de las preguntas se conforma el Cuadro Lógico de ladov

que establece la relación entre las preguntas cerradas, indicando la posición de cada persona en la escala de satisfacción.

La información relacionada con diferentes problemas de toma de decisión de un grupo de profesionales que realizan procesos de este tipo en diferentes ámbitos se tomó como base para la realización del test de satisfacción, por ello se explicó el sistema a 4 usuarios que utilizaron el mismo para definir y dar solución a su problema.

Tabla 20. Resultado de la aplicación del Test de ladov

Nivel de satisfacción	Cantidad	%
Máxima satisfacción	4	100%
Más satisfecho que insatisfecho	0	0%
No definida	0	0%

Una vez solucionados los problemas se midió el nivel de satisfacción de los usuarios respecto a los resultados obtenidos en la plataforma. En los Anexos se muestran los resultados. (Ver Anexo XIX). El resultado de la evaluación de la satisfacción individual se muestra en Tabla 20, según las categorías empleadas.

Para obtener el índice de satisfacción grupal *ISG* se procesan los criterios de las personas de acuerdo a los niveles de satisfacción que se expresan en la escala numérica que oscila entre +1 y -1, desde un máximo de satisfacción hasta la clara insatisfacción. La satisfacción grupal se calcula por la siguiente fórmula:

$$ISG = (A(+1) + B(+0.5) + C(0) + D(-0.5) + E(-1))/N \quad (6)$$

Donde *A*, *B*, *C*, *D* y *E*, representan el número de sujetos con índice individual 1, 2, 3 ó 4, 5, 6. El número total de personas del grupo se representa por *N*.

El índice grupal arroja valores entre +1 y -1. Los valores que se encuentran comprendidos entre -1 y -0.5 indican insatisfacción, los comprendidos entre -0.49 y +0.49 evidencian contradicción, y los que caen entre +0.5 y +1 indican que existe satisfacción. De la evaluación de (6) se obtiene un grado de

satisfacción de 100, lo que significa una clara satisfacción y reconocimiento a la plataforma MCDM ProSolver como ayuda al proceso de toma de decisiones cuando este involucra a múltiples criterios y expertos.

Se formularon dos preguntas abiertas que se encuentran en los Anexos (Ver Anexo XVIII), obteniendo los siguientes criterios:

- La incorporación de nuevos métodos de solución a problemas de toma de decisión en la plataforma, tales como PAPRIKA y ELECTRE, permitirán a los decisores tomar una decisión aún más informada.
- Se deben agregar nuevos tipos de conjuntos difusos a la plataforma, tales como los conjuntos de tipo 2.

La aplicación del Test de Iadov ha aportado datos significativos respecto al grado de satisfacción de los decisores en la utilización de la plataforma MCDM ProSolver para tomar decisiones informadas. Los criterios expresados en las preguntas abiertas, validan alguno de los obtenidos en otras técnicas y fueron considerados para introducir mejoras a la plataforma. En función de los indicadores, el resultado de satisfacción y los criterios validan la fortaleza de la propuesta en cuanto a la aplicabilidad.

4.5. Triangulación de métodos

A partir de la aplicación de los métodos seleccionados se realiza una triangulación metodológica de los resultados. La Tabla 21 muestra los resultados de cada indicador respecto a cada una de las técnicas empleadas.

Las Pruebas de Veracidad arrojaron resultados satisfactorios con respecto a la veracidad de la solución propuesta, coincidiendo en el 100% de los resultados de los casos de estudio con los resultados obtenidos en la plataforma.

Se comprobaron artículos de diferente naturaleza en la plataforma obteniendo los mismos resultados, de esta forma quedó evidenciada la aplicabilidad de la plataforma en problemas de distinta naturaleza o dominio. Además, los expertos valoraron la plataforma de muy adecuada con respecto a la aplicabilidad de la misma, y el Test de Iadov aplicado dio un resultado satisfactorio en función de la aplicabilidad de la plataforma.

Se implementaron nuevos métodos de solución como el F-TOPSIS-UVM obteniendo los mismos resultados que en los casos de estudio de los artículos seleccionados, demostrándose la extensibilidad de la plataforma. Por su parte los expertos encontraron muy adecuada la opción de permitir la incorporación de nuevos métodos de solución a la misma.

Tabla 21. Resultados de cada indicador con respecto a las técnicas empleadas

Método o técnica	Indicador		
	Veracidad	Aplicabilidad	Extensibilidad
Pruebas de Veracidad	Se obtuvieron resultados satisfactorios, coincidiendo en el 100% los resultados obtenidos en la plataforma con los casos de estudio de los artículos seleccionados.	Se comprobaron artículos de distinta naturaleza en la plataforma y se obtuvieron los mismos resultados.	Se implementaron nuevos métodos de solución como el F-TOPSIS-UVM obteniendo los mismos resultados que en los casos de estudio de los artículos seleccionados.
Criterio de Expertos		Los expertos valoraron la plataforma de muy adecuada con respecto a la aplicabilidad.	Los expertos encontraron muy adecuada la opción de permitir incorporar nuevos métodos a la plataforma.
Test de ladov		Los usuarios que comprobaron la plataforma quedaron satisfechos.	

Los resultados contenidos en la Tabla 21 permiten contrastar que la investigación es válida, esto se determina a partir del análisis de las características o indicadores definidos: veracidad, aplicabilidad y extensibilidad.

Conclusiones parciales

En el presente capítulo se realizó la validación de la plataforma mediante un grupo de indicadores que se verificaron a través de distintas técnicas y métodos, tales como el método Criterio de Expertos y el Test de ladov; se realizó también una triangulación de los distintos métodos utilizados lo que permitió llegar a las siguientes consideraciones parciales:

- Se identificaron tres posibles indicadores para realizar cada una de las pruebas de la validación de la plataforma: veracidad, aplicabilidad y extensibilidad.
- Se realizaron las Pruebas de Veracidad para complementar las pruebas de software realizadas en el capítulo anterior. Estas pruebas tienen como objetivo comparar los resultados de la literatura científica y de la plataforma MCDM ProSolver.
- Se aplicó el método Criterio de Expertos para perfeccionar la solución propuesta a partir de los criterios dados por un grupo de expertos que se seleccionaron. En este caso se valida por los expertos la concepción de la plataforma, la aplicabilidad en diferentes dominios y su extensibilidad como software.
- Se realizó el Test de ladov para poder conocer el grado de satisfacción de los expertos con respecto al desarrollo de la plataforma MCDM ProSolver. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y las sugerencias de los usuarios que probaron el sistema fueron consideradas para introducir mejoras a la plataforma.
- Se efectuó una triangulación de métodos para verificar la validez de la plataforma mediante los indicadores que se seleccionaron, obteniendo resultados satisfactorios. Las Pruebas de Veracidad validaron cada uno de los indicadores identificados, y los resultados de los casos de estudio de los artículos seleccionados coincidieron con los de la plataforma en todos los casos. Mediante el método Criterio de Expertos se pudo validar la aplicabilidad y la extensibilidad de la plataforma, siendo valorados de muy adecuados en la concepción de la misma estos dos indicadores por la mayoría de los expertos. El Test de ladov arrojó resultados satisfactorios con respecto a la aplicabilidad de la plataforma, permitiendo a los usuarios que probaron el sistema comprobar problemas de diferente dominio y obteniendo los mismo resultados que en los casos de estudio de los artículos seleccionados.

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de la presente investigación se logra llegar a las siguientes conclusiones finales:

- El proceso de toma de decisión se divide en dos fases: estructuración del problema y análisis del problema. Puede ser clasificado como multicriterio cuando existe más de un criterio de evaluación y como multiexperto cuando existe más de un experto para evaluar las alternativas.
- En los procesos de toma de decisión multiexperto existen dos fases: la fase de agregación donde se agregan los valores individuales de cada experto y la fase de explotación donde se utiliza una función de selección para elegir una alternativa. La incertidumbre presente en procesos de este tipo puede ser tratada utilizando conjuntos difusos. La utilización de un Sistema de Soporte a la Decisión permite la obtención de resultados a un bajo costo y en poco tiempo.
- La solución propuesta brinda facilidades a los decisores tales como la incorporación de nuevos métodos de solución a problemas de toma de decisión y el tratamiento de distintos tipos de conjuntos difusos.
- Se identificaron las herramientas, tecnologías y metodología necesarias para el correcto desarrollo del sistema, seleccionando Java como lenguaje de programación y NetBeans como IDE de desarrollo.
- Se diseñaron e implementaron las interfaces de usuario del sistema, así como las tareas definidas para cada una de las historias de usuario. Se realizaron las pruebas unitarias y las pruebas de aceptación donde se corrigieron las no conformidades que se detectaron en cada una de las iteraciones, obteniéndose un resultado satisfactorio.
- Se identificaron tres posibles indicadores para realizar cada una de las pruebas de la validación de la plataforma: veracidad, aplicabilidad y extensibilidad. Se desarrollaron tres métodos para la validación del sistema: las Pruebas de Veracidad, el método Criterio de Expertos y el Test de ladov.
- Las Pruebas de Veracidad verificaron que los métodos de solución seleccionados estén bien implementados. El método Criterio de Expertos permitió conocer el criterio de expertos de diferentes niveles con respecto a la investigación obteniendo la evaluación de muy adecuada tanto en la modelación teórica del proceso de toma de decisiones como en el diseño e implementación del sistema desarrollado. El Test de ladov permitió conocer el nivel de satisfacción de un grupo de usuarios que utilizaron la plataforma.

- La triangulación de métodos permitió verificar que las Pruebas de Veracidad arrojaron resultados satisfactorios con respecto a cada uno de los indicadores definidos, coincidiendo en el 100% de los resultados de los casos de estudio con los resultados obtenidos en la plataforma, utilizando artículos de diferente naturaleza en la plataforma e implementando nuevos métodos de solución como el F-TOPSIS-UVM. En el método Criterio de Expertos los expertos valoraron la plataforma de muy adecuada con respecto a la aplicabilidad y encontraron muy adecuada la opción de permitir la incorporación de nuevos métodos de solución. El Test de Iadov aplicado dio un resultado satisfactorio en función de la aplicabilidad.

RECOMENDACIONES

Para lograr una mejora en la plataforma desarrollada a partir de la presente investigación se propone:

- Adicionar nuevos métodos de solución de problemas para la toma de decisiones para lograr que los decisores tomen decisiones cada vez más informadas.
- Implementar nuevos tipos de conjuntos difusos a emplear en la solución de problemas de toma de decisión bajo incertidumbre para minimizar la pérdida de información.
- Formalizar el lenguaje de definición de problemas de toma de decisión permitiendo que esté abierto a la inclusión nuevos tipos de conjuntos difusos.
- Lograr que la adición de nuevos métodos a la plataforma pueda ser realizado en tiempo de ejecución; utilizar un mecanismo como el de la plataforma Weka.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **A. Krohling, Renato y C. Campanharo, Vinicius. 2010.** *Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea.*
2. **Aaby, Anthony. 2004.** *Introduction to Programming Languages.*
3. **Agudelo, O.Mauricio. 2001.** Introducción a la lógica difusa.
4. **Arza Pérez, Leanet y Borrego León, Dianela. 2012.** Sistema de soporte a la decisión para la ubicación del estudiante en un rol del proceso de desarrollo de software.
5. **Ashtiani, Behzad, y otros. 2008.** *Extension of fuzzy TOPSIS method based on interval-valued fuzzy sets.*
6. **Ayub, Mohammed, Kabir, Md. Jonaed y Rabiul Alam, Md. Golam. 2009.** *Personnel Selection Method Using Analytic Network Process (ANP) and Fuzzy Concept.*
7. **Barberis, G.F. y Ródenas, M.C.E. 2011.** La Ayuda a la Decisión Multicriterio: orígenes, evolución y situación actual.
8. **Behzadian, Majid, y otros. 2010.** *PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications.*
9. **Booch, G., Jacobson, I. y Rumbaugh, J. 2007.** El Lenguaje Unificado de Modelado.
10. **Brans, J.P. y Mareschal, B. 2005.** *Promethee Methods in Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys.*
11. **Buschmann, Frank. 2009.** *Pattern Oriented Software Architecture. A System of Patterns.*
12. **Cables, Elio, Socorro García-Cascales, M. y Lamata, M. Teresa. 2011.** *The LTOPSIS: An alternative to TOPSIS decision-making approach for linguistic variables.*
13. **Chan, W.K. y Tong, T.K.L. 2007.** *Multi-criteria material selections and end-of-life product strategy: Grey relational analysis approach.*
14. **Chen-Tung, Chen, Yuan-Chu, Hwang y Wei-Zhan, Hung. 2009.** *Applying Multiple Linguistic PROMETHEE Method for Personnel Evaluation and Selection.*
15. **Córdoba Padilla, Marcial. 2011.** Formulación y evaluación de proyectos.
16. **Cuccaro Goggi, Lucila Ana. 2010.** Adecuación de la metodología de desarrollo *Extreme Programming* a proyectos llevados a cabo en la materia Laboratorio III de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Austral.
17. **Doumpos, M. y Zopounidis, C. 2010.** *Preference disaggregation and statistical learning for multicriteria decision support.*
18. **Durand, R. 1971.** El método Delphi y la perspectiva del Hidrógeno.
19. **Edwards, W. y Barron, F.H. 1994.** *SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement.*
20. **F. Shipley, Margaret y Johnson, Madeline. 2009.** *A fuzzy approach for selecting project membership to achieve cognitive style goals.*
21. **Fábregas, Juan Llorens. 2005.** Gerencia de proyectos de tecnología de información.
22. **Fasanghari, Mehdi y Montazer, Gholam Ali. 2008.** *A Stock Portfolio Selection Method through Fuzzy Delphi.*

23. **Fernández Lanvin, Daniel. 2009.** Definición de una arquitectura de software para el diseño de aplicaciones web.
24. **Figueira, José, Salvatore, Greco y Ehrgott, Matthias. 2005.** *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys.*
25. **Gosling, James y McGilton, Henry. 2006.** *The Java Language Environment.*
26. **Haerer, W. 2000.** *Software review: Criterium Decision Plus 3.0. ORMS Today.* [En línea] 2000. [Citado el: 11 de Noviembre de 2014.] <http://www.orms-today.org/orms-2-00/swr.html>.
27. **Hansen, P. y Ombler, F. 2008.** *A new method for scoring additive multi-attribute value models using pairwise rankings of alternatives.*
28. **Hovanov, N., Kolari, J. y Sokolov, V. 2008.** *Deriving weights from general pairwise comparison matrices.*
29. **Hurtado, Bruno, T. y Gérard. 2005.** El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores.
30. **Hwang, C.L. y Yoon, K. 1981.** *Multiple attribute decision methods an applications.*
31. **Jadidi, O., y otros. 2008.** *TOPSIS and fuzzy multi-objective model integration for supplier selection problem.*
32. **Jahanshaloo, G.R., Hosseinzadeh Lotfi, F. y Davoodi, A.R. 2009.** *Extension of TOPSIS for decision-making problems with interval data: Interval efficiency.*
33. **Karimi, A.R., y otros. 2011.** *Using of the Fuzzy TOPSIS and Fuzzy AHP Methods for wastewater treatment process selection.*
34. **Kaufmann, Arnold y Gil Aluja, Jaime. 1993.** Introducción de la Teoría de los subconjuntos borrosos a la Gestión de las empresas.
35. **Kelemenis, Alecos M. y Askounis, D.Th. 2009.** *An extension of fuzzy TOPSIS for personnel selection.*
36. **Kelemenis, Alecos y Askounis, Dimitrios. 2009.** *A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection.*
37. **Kelemenis, Alecos, Ergazakis, Kostas y Askounis, Dimitrios. 2010.** *Support managers' selection using an extension of fuzzy TOPSIS.*
38. **Kuhn, D.L. 2009.** *Selecting and effectively using a computer aided software engineering tool.*
39. **Kuzmina, N.V. 1970.** *Metódicas investigativas de la actividad pedagógica.*
40. **Mareschal, B. y Brans, J.P. 1988.** *Geometrical representations for MCDA.*
41. **McGinley, P. 2012.** *Decision analysis software survey. ORMS Today.* [En línea] 2012. [Citado el: 11 de Noviembre de 2014.] <http://www.orms-today.org/surveys/das/das.html>.
42. **Munier, N. 2011.** *A Strategy for Using Multicriteria Analysis in Decision-making: A Guide for Simple and Complex Environmental Projects.*
43. **Netbeans.org. 2013.** *NetBeans IDE 6.9.1 Release Notes and System Requirements.* [En línea] 2013. [Citado el: 18 de Octubre de 2014.] <https://netbeans.org/community/releases/69/relnotes.html>.
44. **Peña Abreu, Marieta. 2012.** *Modelo para análisis de factibilidad.*
45. **Peña Táramo, Yanet. 2013.** *Implementación del método TOPSIS en un sistema de ayuda en el proceso de Toma de Decisiones Multicriterio.*
46. **Roubens, M. 1997.** *Fuzzy sets and decision analysis. Fuzzy sets and systems.*

47. **Saaty, Thomas L. 2008.** *Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors - The Analytic Hierarchy/Network Process.*
48. **Sánchez González, Idel Jorge y González Landeiro, Adrián Román. 2013.** Implementación de los métodos Proceso de Análisis Jerárquico y Proceso Analítico en Red en un sistema de soporte a la toma de decisiones multicriterio.
49. **Sánchez González, Idel Jorge, y otros. 2013.** Sistema de Soporte a la toma de decisiones multicriterio Multidecision PAAT.
50. **Sánchez Nievares, Adrián, Luis Díaz, Heidy y Berrillo Borrero, Sael José. 2012.** Aplicación al proceso de selección de personal del método TOPSIS difuso utilizando umbrales de veto y voto mayoritario.
51. **Sánchez, S.P.J. 2009.** Modelos para la combinación de preferencias en toma de decisiones: Herramientas y aplicaciones.
52. **Sinnexus. 2012.** *Sinnexus.* [En línea] 2012. [Citado el: 17 de Octubre de 2014.] http://www.sinnexus.com/business_intelligence/sistemas_soporte_decision.aspx.
53. **Siraj, S., Mikhailov, L. y Keane, J.A. 2013.** *PriEsT: an interactive decision support tool to estimate priorities from pairwise comparison judgments.*
54. **Sommerville, Ian. 2005.** Ingeniería de software.
55. **Tam, C.M., Tong, T.K.L. y Wong, Y.W. 2004.** *Selection of Concrete Pump Using the Superiority and Inferiority Ranking Method.*
56. **Torres Estol, Reinier y Padrón Del Pico, Javier Enrique. 2013.** Implementación del método PROMETHEE en un sistema de ayuda a la toma de decisión multicriterio.
57. **Turban, E. y Aronson, J. 2001.** *Decision Support Systems and Intelligent Systems.*
58. **UTPL. 2008.** Universidad Tecnica Particular de Loja. [En línea] 13 de 2 de 2008. [Citado el: 3 de 11 de 2014.] <http://www.utpl.edu.ec/blog/zamora/2008/02/13/arquitectura-por-capas/>.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. **Agudelo, O. Mauricio. 2001.** Introducción a la lógica difusa.
2. **Barberis, G. F. y Ródenas, M. C. E. 2011.** La Ayuda a la Decisión Multicriterio: orígenes, evolución y situación actual.
3. **Booch, G., Jacobson, I. y Rumbaugh, J. 2007.** El Lenguaje Unificado de Modelado.
4. **Buschmann, Frank. 2009.** *Pattern Oriented Software Architecture. A System of Patterns.*
5. **Cuccaro Goggi, Lucila Ana. 2010.** Adecuación de la metodología de desarrollo *Extreme Programming* a proyectos llevados a cabo en la materia Laboratorio III de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Austral.
6. **Kaufmann, Arnold y Gil Aluja, Jaime. 1993.** Introducción de la Teoría de los subconjuntos borrosos a la Gestión de las empresas.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AHP: Del inglés *Analytic Hierarchy Process* que significa Proceso Analítico Jerárquico.

ANP: Del inglés *Analytic Network Process* que significa Proceso Analítico en Redes.

ETL: Del inglés *Extract, Transform and Load* que significa Extraer, Transformar y Cargar. Es el proceso que permite a las organizaciones mover datos desde múltiples fuentes, reformatearlos, limpiarlos y cargarlos en otra base de datos.

MCDM: Del inglés *Multi-Criteria Decision-Making* que significa Toma de Decisiones Multicriterio.

PAPRIKA: Del inglés *Potentially All Pairwise rankings of all possible Alternatives* que significa Posibles posiciones de todos los pares de posibles alternativas.

PROMETHEE: Del inglés *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation* que significa Método de organización y posicionamiento por preferencia de enriquecimiento de evaluaciones.

TOPSIS: Del inglés *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* que significa Técnica para ordenar las preferencias mediante la similitud a la solución ideal.

XML: Del inglés *eXtensible Markup Language* que significa Lenguaje de Marcas Extensible. Es un lenguaje de marcas que permite definir la gramática de lenguajes específicos para estructurar documentos grandes.