

Universidad de las Ciencias Informáticas

**MODELO COMPUTACIONAL PARA LA RECOMENDACIÓN DE
ROLES EN EL PROCESO DE UBICACIÓN DE ESTUDIANTES
EN LA INDUSTRIA DE SOFTWARE**

Tesis en opción al grado científico de

Doctor en Ciencias Técnicas

Ing. Lizandra Arza Pérez

La Habana

2013

Universidad de las Ciencias Informáticas

**MODELO COMPUTACIONAL PARA LA RECOMENDACIÓN DE
ROLES EN EL PROCESO DE UBICACIÓN DE ESTUDIANTES
EN LA INDUSTRIA DE SOFTWARE**

Tesis en opción al grado científico de

Doctor en Ciencias Técnicas

Autor: **Ing. Lizandra Arza Pérez, Asistente.**

Tutores: **Dr.C. Edistio Yoel Verdecia Martínez, P.T.**

Dr.C. José Lavandero García, P.T.

La Habana

2013

A mami y papi por ser ejemplo de amor y entrega,

A mis hermanas y hermanos por su cariño,

A mi abuela que adoro con el alma por entenderme siempre,

A Isko y mi Claudita que son mi vida y mi razón de ser.

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que han apoyado en mi vida profesional y que han hecho posible esta tesis. Ha sido intenso el trabajo, días y noches de mucha tensión para alcanzar la meta. Gracias a todos en general por su apoyo.

A Edistio por creer en mí, por sus consejos y aliento en todo momento, porque a pesar de no estar aquí en la recta final, ha continuado siendo mi guía y apoyo. Por tu exigencia, gracias.

A Lavandero por sus sabios y oportunos consejos, por su ayuda en todo momento.

A mis padres que siempre me alientan a que cumpla las metas que me propongo.

A Isko, mi esposo, por su ayuda en la investigación. Por su apoyo incondicional, ser mi amigo y compañero, por comprenderme, por existir y compartir juntos nuestras vidas.

A Ailyn, por apoyarme durante toda mi formación, por sus consejos y ayuda constante, por ser amiga.

Al PEFCI, por darme la oportunidad de crecer como investigadora, a Vivian y Febles gracias.

A Marian, por ser mi mami UCI, gracias por estar siempre ahí.

A Rosa por sus sugerencias y apoyo, por todo el tiempo que me ha dedicado en la investigación.

A tío Luis y Sayli por ayudar en la concepción inicial de la investigación y sus buenas recomendaciones.

A Day, Yanet y Yusleidys, por ser amigas, compartir mi estrés y escucharme siempre. A Linet por su ayuda con Clau.

A mis tesisistas, en especial a Leane y Dianela, por su aporte a mi trabajo.

A Rosete y Daniel por sus sugerencias y señalamientos constructivos en la predefensa.

A todos los que participaron como expertos y en el grupo focal, y a los directores de Centros.

A los profesores que he tenido y que contribuyeron a mi formación.

A la UCI por las oportunidades que me ha dado para que realizar mi vida profesional.

A la Revolución.

SÍNTESIS

El presente documento describe los resultados de la investigación orientada a mejorar el proceso de ubicación de los estudiantes durante su Práctica Profesional en los roles de la industria de software, brindando los criterios necesarios para la elaboración de un plan de formación para el desarrollo de la práctica profesional adecuado a sus características. Este proceso de ubicación tiene puntos de contacto con el proceso de selección de personal, considerado como un proceso de toma de decisión multicriterio bajo incertidumbre. El modelo propuesto emplea técnicas de soft computing para manejar la incertidumbre y agregar la información que se tiene del recorrido académico, investigativo y productivo del estudiante; realiza la predicción de su comportamiento en cada rol, lo cual constituye uno de los principales aportes de la investigación. Los componentes del modelo son el pre-procesamiento de la información, la construcción de las funciones de agregación y la agregación, predicción y recomendación. Se diseña una metodología que permite concretar el modelo en distintos contextos de procesos de ubicación en roles. Los elementos fundamentales del sistema de ayuda a la toma de decisiones son descritos, al igual que los resultados obtenidos de su aplicación. La metodología y las herramientas informáticas constituyen los principales aportes prácticos. La novedad científica radica en la concepción de un modelo que permite predecir el comportamiento del estudiante en un rol a partir de la información acumulada sobre su desempeño previo. Para corroborar la pertinencia y valor científico, demostrar la fiabilidad, flexibilidad y aplicabilidad del modelo se aplicaron técnicas cuantitativas y cualitativas, como son el grupo focal, criterio de expertos, un cuasi experimento y la técnica de ladov. Con los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las técnicas se realizó una triangulación metodológica que permitió contrastar los resultados de cada una y validar la investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. LA TOMA DE DECISIONES BAJO INCERTIDUMBRE EN LOS PROCESOS DE SELECCIÓN DE PERSONAL	11
1.1 La selección de personal dentro de la gestión de recursos humanos	11
1.1.1 El proceso de selección de personal.....	12
1.1.2 La selección de personal en la ISWSI.....	14
1.1.3 La incertidumbre y la imprecisión en el proceso de selección de personal.....	17
1.2 La toma de decisiones bajo incertidumbre	18
1.3 La incertidumbre y su tratamiento en la toma de decisiones	21
1.3.1 Soft computing y la computación con palabras	21
1.3.2 Elementos fundamentales de la lógica borrosa.....	23
1.3.3 Modelado lingüístico borrosa	24
1.3.4 Agregación de información	26
1.3.5 Ordenamiento borroso	28
1.3.6 Modelos lingüísticos computacionales de ayuda a la toma de decisiones	29
1.4 Métodos de toma de decisión multicriterio y grupal	33
1.4.1 Búsqueda de consenso en la toma de decisión grupal	33
1.4.2 Análisis de los métodos de toma de decisión.....	35
Conclusiones del capítulo.....	38
CAPÍTULO II. PROPUESTA DE MODELO COMPUTACIONAL PARA LA RECOMENDACIÓN DE ROLES EN EL PROCESO DE UBICACIÓN DE ESTUDIANTES EN LA INDUSTRIA DE SOFTWARE	41
2.1 Diagnóstico del proceso de ubicación de estudiantes en roles en la UCI.....	41
2.2 Modelo computacional para la recomendación de roles en el proceso de ubicación de estudiantes en la industria de software	46
2.2.1 Principios del modelo	48
2.2.2 Definiciones y bases teóricas del modelo	48
2.2.3 Descripción general del modelo	49
2.2.4 Descripción de los componentes del modelo	52

2.3 Metodología para la ubicación de estudiantes en roles	65
2.3.1 Requisitos y descripción general de la metodología	65
2.3.2 Descripción de las fases	66
Conclusiones del capítulo.....	70
CAPÍTULO III. VALIDACIÓN DEL MODELO LINGÜÍSTICO COMPUTACIONAL DEL PROCESO DE	
UBICACIÓN DE ESTUDIANTES EN ROLES	73
3.1 Diseño de la validación	73
3.2 Aplicación del criterio de expertos.....	75
3.3 Aplicación de la técnica de grupos focales.....	79
3.4 Aplicación de la metodología para la ubicación del estudiante en un rol	82
3.4.1 SiRec – Sistema de recomendación de roles en la ubicación del estudiante.....	84
3.5 Cuasi-experimento.....	85
3.5.2 Aplicación de la técnica ladov	89
3.6 Triangulación metodológica de los métodos aplicados.....	91
3.7 Análisis del impacto económico de la propuesta	93
Conclusiones del capítulo.....	94
CONCLUSIONES	97
RECOMENDACIONES.....	99
BIBLIOGRAFÍA.....	100
GLOSARIO DE SIGLAS.....	110
PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR.....	111
ANEXOS.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Actividades del Proceso de resolución de problemas (Elaboración propia).....	19
Figura 1.2: Fases de un proceso de toma de decisiones [76].....	20
Figura 1.3: Esquema del proceso de toma de decisión en grupo con consenso [132]	34
Figura 1.4: Proceso de consenso [133].....	35
Figura 2.1: Esquema del proceso actual de ubicación del estudiante en un rol (Elaboración Propia)....	44
Figura 2.2: Modelo Computacional para la Recomendación de Roles (Elaboración propia).	50
Figura 2.3: Esquema para la obtención de la Matriz de Incidencia Agregada (Elaboración propia).	60
Figura 2.4: Algoritmo del Preprocesamiento de la información. (Elaboración propia).....	61
Figura 2.5: Algoritmo de Construcción de las funciones para la recomendación. (Elaboración propia)	63
Figura 2.6: Algoritmo de la Agregación, predicción y recomendación. (Elaboración propia)	65
Figura 2.7: Esquema de Fases de la Metodología. (Elaboración propia).....	66
Figura 2.8: Esquema de la Fase 1: Preparación. (Elaboración propia)	67
Figura 2.9: Esquema de la Fase 2: Preprocesamiento. (Elaboración propia).....	68
Figura 2.10: Esquema de la Fase 3: Construcción del modelo. (Elaboración propia)	69
Figura 2.11: Esquema de la Fase 4: Predicción y recomendación. (Elaboración propia)	69
Figura 2.12: Esquema de la Fase 5: Ubicación. (Elaboración propia).....	70
Figura 3.1: Información de procesos de ubicación y resultado de la aplicación de la metodología.....	85
Figura 4.1: Diseño del diagnóstico técnico.	117
Figura 4.2: Fragmento del resultado del diagnóstico técnico.....	117
Figura 4.3: Carga de la información.	142
Figura 4.4: Escoger estudiantes para la recomendación.	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Actividades del proceso de selección de personal (Elaboración propia)	14
Tabla 1.2: Comparación entre los modelos lingüísticos computacionales (Elaboración propia).....	30
Tabla 1.3: Tabla comparativa de los métodos de toma de decisión multicriterio (Elaboración propia) ..	38
Tabla 2.1. Comparación del proceso de selección de personal y de ubicación en roles (Elaboración propia).....	43
Tabla 3.1: Distribución de expertos según el nivel de competencia.	76
Tabla 3.2: Grado de concordancia por pregunta y relación con indicadores de validación.	77
Tabla 3.3: Criterios operacionales para las preguntas de los temas definidos.....	81
Tabla 3.4: Resultado de la aplicación de la técnica.	90
Tabla 3.5: Comportamiento de los indicadores según los resultados de cada método.....	92
Tabla 3.6: Resultados de la triangulación intermétodos.	93
Tabla 4.1: Cálculo del coeficiente de conocimiento para los expertos.	126
Tabla 4.2: Matriz de coeficientes de argumentación por experto.	127
Tabla 4.3: Nivel de competencia de los expertos.....	128
Tabla 4.4: Matriz del criterio de experto por indicador.	129
Tabla 4.5: Matriz del criterio de experto por indicador (base 100).....	130
Tabla 4.6: Información para el cuasi-experimento.....	143
Tabla 4.7: Datos para determinar efectividad del modelo (CU).....	143
Tabla 4.8: Datos para determinar efectividad del Decisor (CD).	143
Tabla 4.9: Cuadro lógico de ladov.....	144

INTRODUCCIÓN

La Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) es creada en el 2002 unos meses después de que el Comandante en Jefe Fidel Castro, el 15 de enero de 2002, afirmara: “el país vivirá en el futuro de sus producciones intelectuales”, en un encuentro en el Palacio de Convenciones de La Habana con trescientos (300) representantes de la comunidad científica por el Día de la Ciencia Cubana. La misión de la UCI declarada en su proyecto estratégico es: *“Formar profesionales comprometidos con su Patria y altamente calificados en la rama de la Informática. Desarrollar aplicaciones y servicios informáticos, a partir de la vinculación estudio-trabajo como modelo de formación. Servir de soporte a la industria cubana de la informática”* [1].

Según Castro Diaz-Balart [2], la UCI es considerada una “universidad productiva”, en la que resalta la integración del proceso productivo a los procesos sustantivos de la universidad a saber: formación e investigación. La producción puede considerarse parte de la extensión, sin embargo, en la UCI tiene características que hacen que tenga dimensión de proceso sustantivo [3].

Para cumplir su compleja misión la UCI ha buscado la manera de integrar sus procesos fundamentales: docencia, producción e investigación. Esta integración, desde la formación del profesional, se concreta en la vinculación de los estudiantes con los modos de actuación profesionales que se realiza desde la disciplina Práctica Profesional al desempeñar actividades propias de la industria de software como parte de un equipo de proyecto [4, 5].

La Industria del Software y los Servicios Informáticos (ISWSI), basa sus producciones en el empleo del conocimiento de los recursos humanos que la componen sobre las tecnologías existentes. El

desarrollo de software es un proceso que involucra a varias personas y en el cual es significativo la conformación del equipo, el establecimiento de roles dentro de los equipos de trabajo, la conceptualización de estos roles, la definición de las competencias para el desempeño de cada uno de ellos, y su evaluación [5, 6]. Se han realizado varias investigaciones sobre el proceso de desarrollo del software donde se hace referencia a la importancia de los Recursos Humanos y su selección como un proceso clave de éxito en esta industria [7-9].

El desarrollo de software en la UCI, como en la ISWSI, está respaldado por equipos de proyectos constituidos por profesores, especialistas y estudiantes, estos últimos como parte de su Práctica Profesional desempeñan un rol propio de la industria. Durante la Práctica Profesional el estudiante ocupa roles dentro de los equipos de desarrollo, estos roles pueden ser certificados y ello es un valor agregado del proceso de formación y una manera de acercar la evaluación a la forma en que se conciben estos procesos en la industria [10].

Las actividades relacionadas con la Práctica Profesional ocupan un mayor tiempo en el currículum a partir del tercer año de la carrera [4]. La relación entre los procesos de formación y producción mediante la ejecución de la Práctica Profesional impone la necesidad de realizar una ubicación intencionada de los estudiantes en los roles, que brinde los criterios que permitan el aprovechamiento de sus capacidades profesionales y posibilite elaborar un plan de formación ajustado a sus necesidades.

El estudiante durante su formación acumula un grupo de evidencias que permiten caracterizar su nivel de desarrollo. En la elaboración de esta caracterización intervienen los resultados de los diagnósticos, las evaluaciones realizadas y fundamentalmente los resultados obtenidos en las asignaturas del plan de estudio cursadas hasta el momento de la ubicación. Para realizar esta ubicación se cuenta además con el diseño de los perfiles por competencias de los roles, lo cual constituye un elemento importante a tener en cuenta, pues la predicción del comportamiento se debe

hacer a partir de los elementos definidos en los roles.

En el Proceso de Ubicación en Roles (PUR) se decide dónde ubicar al estudiante con el objetivo de fortalecer su formación profesional. A partir de los elementos estudiados en los procesos realizados en la industria como parte de la gestión de recursos humanos, se concluye que el proceso de ubicación de los estudiantes en roles tiene puntos de contacto con el proceso de selección de personal ya que tener como principal objetivo la ubicación del estudiante en un rol. La selección de personal es un proceso de Toma de Decisiones (TD) en el que intervienen en varios momentos la intención y el criterio de las personas, lo que hace que ocurran bajo incertidumbre. Es necesario buscar referencias que permitan identificar las mejores prácticas que se usan para este proceso en la industria.

Autores como André y Hussey [11, 12] plantean que a pesar de la importancia que se atribuye a los recursos humanos en ISWSI, esta sigue siendo una de las áreas de menor definición y tratamiento en las metodologías y procesos de desarrollo propuestos, haciéndose un mayor énfasis en los elementos técnicos del proceso. En este aspecto se destacan las definiciones que en People CMM se establecen para la Gestión de Recursos Humanos (GRH), asociados al establecimiento de un modelo de calidad en la ISWSI [13]. Otro referente que en esta industria se utiliza para la GRH es lo establecido en la Guía para la gestión de proyectos [14] donde, desde las actividades de la gestión de proyecto se establece el proceso asociado a la gestión de personal.

De la revisión de artículos e investigaciones realizadas sobre la GRH en la industria de software, se identifican soluciones a distintos problemas dentro del proceso de desarrollo de software; la conformación de los equipos [15-17]; el proceso de formación y certificación de roles [5, 18, 19]; la selección de personal para los roles dentro del equipo [6, 20] por solo citar algunas de las más recientes. Estas investigaciones están enfocadas a la industria o a la evaluación una vez que el estudiante se ha desempeñado en el rol. Existe un vacío teórico en la integración de los procesos de

selección dentro del proceso de formación profesional que permita proyectar el desempeño profesional de los estudiantes que facilite los resultados de la producción y formación a partir de aprovechar el vínculo estable con la industria.

El PUR debe ser un proceso intencionado que tome en consideración la información que se tiene del estudiante, a la vez proyecte su futuro desempeño, de acuerdo a múltiples factores y personas. El PUR coincide con las características del proceso de selección de personal, es un proceso de toma de decisiones bajo incertidumbre en el cual se define la ubicación de un estudiante en un rol. La TD es un marco que describe las actividades a realizar como parte de la resolución de problemas, abarcando las etapas de definición del problema, identificación de alternativas y criterios, evaluación de dichas alternativas y la decisión final [21].

A partir del estudio realizado se pudo constatar que existe variedad en los métodos matemáticos que han sido desarrollados para apoyar el proceso de TD y que son aplicados en diversos problemas [22-27]. Los métodos propuestos tienen, en su mayoría, variantes que permiten el tratamiento de la incertidumbre utilizando la lógica borrosa y el modelado lingüístico, estos constituyen un campo activo de investigación y de amplia utilización [28-35].

Actualmente, para la solución de problemas de selección de personal, existe una tendencia al empleo de métodos de Toma de Decisión Multicriterio (TDMC) con la utilización del modelado lingüístico como se evidencia en un gran número de artículos [25, 28, 36-43]. En estos procesos la información dada por los expertos se modela con palabras definidas como términos lingüísticos; la computación con palabras (CWW, Computer With Words) [44-48] facilita operar con estos términos. El empleo de técnicas que faciliten esta operatoria permite el tratamiento de la información cualitativa y de la incertidumbre para mantener en la medida de lo posible la naturaleza de la información.

Existen varios modelos para implementar la CWW, y en los últimos años se ha convertido en un

tópico donde se investiga activamente [44, 46, 49-51]. La relación de la CWW con la toma de decisión lingüística, a partir de que proporciona herramientas más cercanas a los procesos del razonamiento humano, es una de las áreas más tratadas en la actualidad [44], donde se definen modelos lingüísticos de ayuda a la toma de decisiones que tienen una amplia aplicación.

La evaluación de los modelos de ayuda a la decisión se realiza a partir su capacidad para brindar respuestas cercanas a las de un experto o grupo de expertos [52], lo que se conoce como fiabilidad; la incorporación del criterio de los expertos y tener en cuenta sus preferencias y actitudes [53], definido como flexibilidad, y por último la aplicabilidad, definida como la capacidad de que sea práctico, posible de utilizar y de adaptarse a las características de las organizaciones [24].

En Cuba se han realizado algunas investigaciones significativas en el área de la GRH en la industria de software, empleando técnicas computacionales entre las que destaca la propuesta de André [6], que brinda una solución para la selección de personal en las empresas que no incluye el tratamiento de la incertidumbre ni tienen en cuenta la necesidad de ser un proceso informado. André [6] realiza una propuesta para la conformación de equipos de desarrollo, a partir de considerar elementos técnicos y psicológicos que influyen en el éxito del funcionamiento del equipo, donde es significativa la forma en que relaciona estos elementos con la valoración de las competencias en el candidato. Como parte del trabajo se desarrolló una herramienta informática que implementa el modelo [54, 55]. Para determinar la situación del PUR, al inicio de la investigación se aplicaron varias técnicas como la entrevista y la encuesta. Como resultado se pudo constatar que se han desarrollado acciones aisladas y no sistémicas, lo que ha provocado que la universidad no cuente con un proceso establecido. En las propuestas revisadas no se tienen en cuenta las evidencias del estudiante y los perfiles de los roles que deben ocupar, ello hace que no se pueda establecer claramente un diagnóstico para continuar su formación desde el desempeño del rol y por tanto un mejor aprovechamiento de sus capacidades en la producción.

A raíz de estos elementos, se describe una situación en la que la ubicación de los estudiantes se realiza de manera empírica y donde no se hace un adecuado uso de la información que se tiene. Lo anterior trae consigo que los estudiantes sientan inconformidad con su ubicación, que ocupen roles para los que no están adecuadamente preparados y que la formación orientada a la profesionalización no sea una expresión de las necesidades del estudiante, todo ello provoca afectaciones al proceso productivo que se refleja en atrasos en los cronogramas de los proyectos, así como en una limitada formación profesional.

Teniendo en cuenta la situación antes señalada se identifica el **problema científico**: *Insuficiencias del proceso de ubicación de los estudiantes en roles que conllevan a un proceso no informado que desaprovecha las evidencias y capacidades del estudiante.*

El **objeto de la investigación** es el *proceso de toma de decisiones bajo incertidumbre con múltiples criterios y expertos en los procesos de selección de personal*. El **campo de acción** es el *proceso de toma de decisiones utilizando el modelado lingüístico en el proceso de ubicación de estudiantes en los roles de la industria de software*.

El **objetivo** de la presente investigación es: *desarrollar un modelo computacional para la recomendación de roles en el proceso de ubicación del estudiante en la industria de software*.

Los **objetivos específicos** son:

1. Caracterizar el proceso de selección de personal visto como un proceso de toma de decisiones, los métodos multicriterio y los modelos computacionales empleados para su solución. Estudiar el tratamiento de la incertidumbre con énfasis en el modelado lingüístico.
2. Diagnosticar el proceso de ubicación de los estudiantes en roles durante su práctica profesional en la Universidad de las Ciencias Informáticas.
3. Fundamentar y elaborar el modelo lingüístico computacional de ayuda a la toma de decisiones para la recomendación de roles en el proceso de ubicación de los estudiantes en

la industria de software.

4. Definir una metodología que basada en el modelo brinde el marco de actividades para realizar el proceso de ubicación de estudiantes en roles de la industria de software.
5. Implementar y validar el modelo propuesto.

La **hipótesis** de la investigación es: *Si se aplica un modelo computacional que recomiende los roles en el proceso de ubicación del estudiante en la industria de software que sea fiable, flexible y aplicable, se logrará utilizar la información asociada a su desempeño previo y una toma de decisiones informada, lo que facilita el aprovechamiento de sus evidencias y capacidades.*

Los **métodos y técnicas** empleados fueron los siguientes:

Métodos teóricos:

- El **Análisis - Síntesis**: Permitió llegar a conclusiones a partir del estudio realizado sobre los procesos de selección de personal y métodos de toma de decisiones.
- El **Inductivo - Deductivo**: Para realizar el tránsito de lo general a lo particular y viceversa al establecer los nexos entre las técnicas para el modelado lingüístico, los métodos de toma de decisiones y las evidencias de los estudiantes. Este método fue una importante vía científica para arribar a las generalizaciones a partir de los análisis particulares.
- El **Histórico - Lógico**: Para conocer el comportamiento y evolución de las diferentes posiciones respecto al estudio de los procesos de selección de personal y los métodos de toma de decisiones bajo incertidumbre, así como de la integración de estos dos elementos.
- La **Modelación sistémico-estructural-funcional**: Con el objetivo de lograr la interacción entre los diferentes elementos que conforman el modelo y la metodología.

Métodos empíricos:

- **Observación**: Para obtener información sobre el comportamiento y forma de razonamiento de los decisores durante el proceso de ubicación del estudiante en el rol. Esto permitió

caracterizar el proceso y el impacto que tiene en los recursos humanos, así como modelar los componentes del modelo.

- Las **Encuestas**: Para obtener información sobre la situación actual del proceso de ubicación, el criterio de los especialistas de la producción y los profesores sobre la incidencia de los atributos del estudiante en el desarrollo de las competencias de los roles, acerca de los elementos a tener en cuenta para ubicar un estudiante en un rol.
- El **Análisis documental**: En la consulta de la literatura especializada publicada a nivel nacional e internacional y de los documentos rectores del modelo de formación en la UCI, para extraer la información necesaria que permitió diseñar la metodología y definir el modelo.
- **Triangulación metodológica**: Para contrastar los resultados después de aplicar varios instrumentos, así como al analizar las coincidencias y divergencias en los indicadores.
- El **Criterio de expertos**: Para evaluar los principales elementos característicos de la metodología y el modelo propuestos.

Se utilizó el **análisis descriptivo** en el procesamiento de los resultados para determinar la frecuencia y el por ciento a partir de la información. Se emplearon además la **Técnica de ladov** para conocer el nivel de satisfacción de los decisores y la técnica de **Grupos Focales** para enriquecer el modelo y la metodología con criterios de personas involucradas y con experiencia en el proceso.

La **novedad científica** del trabajo se encuentra en la combinación sistémica de los métodos de toma de decisiones, el razonamiento con incertidumbre, la gestión de los recursos humanos y la computación con palabras, en un modelo que tiene en cuenta la información existente para transformarla en criterios para el proceso de ubicación de estudiantes en roles de la industria de software.

El **aporte teórico** lo constituye la construcción de una matriz de incidencia resultado de integrar en

una solución de consenso, el criterio de los expertos para transformar la información que existe del estudiante en una predicción del nivel de desarrollo de sus competencias, criterios utilizados para ubicar al estudiante en un rol de la industria de software.

Los **aportes prácticos** se concretan en la metodología sustentada en el modelo que contribuye a la ubicación de los estudiantes en roles de la industria de software durante su práctica profesional y en el grupo de herramientas informáticas desarrolladas para soportar la aplicación de la metodología.

La tesis consta de introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y un cuerpo de anexos. Como norma bibliográfica se utilizó la ISO 690-1. En el capítulo 1 se presentan los resultados del estudio que permitió establecer el marco teórico referencial de la investigación, este incluye: la toma de decisión bajo incertidumbre, los métodos multicriterios, los procesos de consenso, la selección de personal, el modelado lingüístico, entre otros.

En el segundo capítulo se establece como punto de partida el diagnóstico del estado actual del proceso de ubicación de estudiantes en roles en la UCI. Se presenta el modelo, sus fundamentos y su descripción. Se incluye además la descripción de la metodología a partir de sus prerequisites y marco de actividades. En el último capítulo se muestran los resultados de la validación, en función de la aplicación de diferentes técnicas como la consulta a expertos, la técnica de grupos focales y un cuasi-experimento apoyado por la técnica de ladov. El capítulo cierra con la triangulación metodológica de los resultados arrojados por las técnicas.

CAPÍTULO I

LA TOMA DE DECISIONES BAJO INCERTIDUMBRE EN LOS PROCESOS DE SELECCIÓN DE PERSONAL

CAPÍTULO I. LA TOMA DE DECISIONES BAJO INCERTIDUMBRE EN LOS PROCESOS DE SELECCIÓN DE PERSONAL

El objetivo del presente capítulo es caracterizar los principales elementos del proceso de selección de personal, a partir de sus puntos de contacto con la ubicación de los estudiantes en roles de la ISWSI. El proceso de selección de personal es un proceso de toma de decisiones que ocurre bajo incertidumbre, es por ello que el estudio del proceso de toma de decisiones, de los métodos de toma de decisión multicriterio y del tratamiento de la incertidumbre en ellos, son elementos significativos para modelar el problema identificado. El análisis de diferentes investigaciones sobre problemas de selección de personal permitió además identificar tendencias y buenas prácticas.

1.1 La selección de personal dentro de la gestión de recursos humanos

La GRH en una organización define los procesos y actividades relacionados con los recursos humanos [13, 14, 56-58]. Aunque definidas con diferentes nombres en algunos casos, los autores estudiados [56, 58-60] establecen de manera general como actividades del proceso: el reclutamiento y selección, la formación (capacitación), la evaluación y la remuneración.

El recurso humano es clave en el éxito de una organización, las personas realizan las actividades y ejecutan los procesos de producción o servicio según sea el caso. En la ISWSI las personas adquieren especial importancia, porque sus productos son principalmente intelectuales y en muchas ocasiones intangibles. En la propia definición del Proceso de Desarrollo de Software (PDS), Pressman [9], al señalar las 4-P claves de este proceso: Persona, Producto, Proceso y

Proyecto, resalta la importancia de las personas destacando que el orden de estos elementos que no es arbitrario.

1.1.1 El proceso de selección de personal

A partir de la revisión documental realizada sobre el proceso de selección de personal (PSP), se destaca la especial importancia que tiene para las empresas una adecuada selección de las personas para cada puesto de trabajo ya que influye en la productividad, el rendimiento y los resultados generales de la organización [6, 21, 37].

Chiavenato [56], a partir del estudio de algunos de los conceptos que se han dado por diferentes autores sobre el tema, brinda una definición que presenta el PSP como un proceso de decisión y de comparación. Además de la definición anterior se analizaron las dadas por Curtis [13], y Cuesta [57]. Como resultado de este estudio se resaltan aspectos relevantes relacionados con la naturaleza y los medios empleados en el proceso.

Relativo a su **naturaleza** se enmarca al PSP como [56, 60-63]:

- Un **proceso de comparación**: la comparación entre las exigencias del puesto y las características de los candidatos que optan por el puesto.
- Un **proceso de decisión**: los responsables deciden el candidato que ocupará el puesto de trabajo de acuerdo a los resultados de la comparación.

Relativo a los **medios** para obtener la información necesaria para el PSP se destacan:

- **Empleo de técnicas de selección** [56]: se emplean técnicas que permiten obtener la información necesaria de los candidatos para el proceso.
- **Empleo de los perfiles de los puestos de trabajo** [60-62]: se destaca el empleo de perfiles para establecer las características del puesto de trabajo a ocupar, con una

tendencia al empleo de los perfiles de competencia para ello.

- **Empleo de medidas o criterios** [56, 61, 62]: los criterios de los candidatos se obtienen mediante criterios, medidas o valoraciones que se utilizan para realizar la comparación con las características del puesto de trabajo.

Por su parte Cuesta [59] define el PSP como un proceso que es realizado mediante concepciones y técnicas efectivas, consecuente con la dirección estratégica de la organización y las políticas de GRH derivadas, con el objetivo de encontrar al candidato que mejor se adecue a las características requeridas presentes y futuras previsibles de un puesto de trabajo o cargo laboral y de una empresa concreta o específica. Los trabajos del propio autor [57, 59, 64] destacan la importancia de las descripciones de los puestos de trabajo para la GRH, así como el empleo de la gestión por competencias en este marco a partir de lo que pueden aportar a una organización competitiva.

Como parte del PSP se definen las actividades que conforman el marco adecuado para la realización de este proceso. Se coincide con los planteamientos de diferentes autores [14, 56, 62, 65] cuando señalan como un elemento clave en la obtención de información sobre los candidatos el empleo de técnicas de selección, destacan como algunas de las más empleadas la entrevista, las pruebas de conocimientos, las pruebas psicológicas y de habilidades, entre otras.

Chiavenato [56] establece que desde el interior de la organización dos partes se involucran en el proceso, la dirección de personal que se encarga de la ejecución del PSP paso a paso y el área donde se encuentra el puesto a cubrir, esta última debe garantizar la información del puesto, participar en algunos pasos del proceso que requieren de conocimientos técnicos y es la responsable de la selección del candidato a contratar. La tabla 1.1 contiene un análisis referido a

las actividades más comunes para el PSP.

Tabla 1.1: Actividades del proceso de selección de personal (Elaboración propia)

Actividades	Gil [62]	Chiavenato [56]	Wayne [58]	Alles [61]	Puchol [65]	Pino [60]
Descripción de las características del puesto	x	x		x	x	
Reclutamiento de candidatos		x				
Recopilación de información del candidato	x	x		x	x	
Aplicación de técnicas de selección	x	x	x	x	x	
Evaluar y clasificar los candidatos	x					
Decisión del candidato para el puesto		x	x	x	x	x
Información del resultado del proceso		x				

En las actividades definidas, están presentes en todo momento las evaluaciones o valoraciones dadas por el juicio humano. La decisión es tomada a partir de comparaciones que los decisores hacen entre los candidatos y las valoraciones que de ellos se tiene, lo que hace que sean diferentes los procesos de acuerdo a la experiencia y criterios de los decisores. En el Anexo 1 se muestra un mapa conceptual del PSP.

Gil [62] plantea un tratamiento diferente de la GRH y el proceso de selección de personal al incorporar los elementos subjetivos del proceso y tratarlo en un ambiente de incertidumbre, buscando una representación más adecuada a la realidad que rodea los criterios y el proceso de selección, considerándose por parte de la autora un tratamiento oportuno en esta área.

1.1.2 La selección de personal en la ISWSI

El desarrollo alcanzado por la ISWSI, la demanda cada vez mayor de productos complejos y especializados, así como la necesaria integración entre ellos, ha provocado que en la actualidad

este desarrollo no dependa de una sola persona. Se desarrolla en equipos de especialistas, en muchos casos multidisciplinarios, cada uno con sus responsabilidades y centrado en una parte de la tecnología requerida para entregar a tiempo la aplicación correcta y completa. La composición y especialización de estos equipos demanda de los desarrolladores conocimientos elevados en los dominios asociados a tecnologías y campos de aplicación. Las responsabilidades y tareas de los miembros del equipo definen los roles que son ocupados por las personas. Desde el punto de vista del PDS los roles son el resultado de la división de las responsabilidades de las personas durante el desarrollo de un proyecto de software.

Lo tratado en el epígrafe anterior se adecua a la ISWSI, no obstante se considera necesario profundizar en las características de los puestos de trabajo, su expresión y tendencias actuales en la selección de personal en esta industria particular. En un equipo de desarrollo de software, la célula fundamental de esta industria, la correcta interacción y definición de tareas es importante en la calidad de los productos y servicios. Por ello el PDS se define como un marco de trabajo de las tareas que se requieren para construir un software de alta calidad [9].

La definición de rol adoptada por la ISWSI [8] se corresponde con la concepción utilizada en reconocidos modelos de procesos y metodologías de desarrollo de software actuales: *“un rol, es un puesto que puede ser asignado a una persona o conjunto de personas que trabajan juntas en un equipo, y que requiere de habilidades y responsabilidades como: realizar determinadas actividades y desarrollar determinados artefactos”*. Esta definición coincide en muchos de sus elementos con otras menos formales, que aunque no están dadas desde el PDS, tienen en común que consideran al rol como: la función que alguien cumple en determinado contexto, una responsabilidad profesional o la manera en que una persona se desempeña en el cumplimiento

de una determinada tarea [5].

Verdecia [5] demuestra que el rol en sí mismo es una competencia profesional de orden superior que contiene un grupo de conocimientos, requisitos, competencias específicas y genéricas. Este autor coincide con las tendencias actuales de la GRH donde se ha consolidado el uso de la gestión por competencias [61, 64, 66-68]. Se asume en la presente investigación la definición de competencia dada por Verdecia [5], por estar conceptualizada en el contexto de la universidad, e integrar elementos de la industria y de la formación.

En la UCI, el diseño de los roles que ocupan los estudiantes durante su proceso formativo, se definió a partir de perfiles de competencias [69-75] y se emplean en el proceso de certificación de roles aplicado en la universidad [5]. Estos roles se elaboraron a partir de consultas a profesionales de la industria y de la universidad. La autora considera adecuada la aplicación de este enfoque; la propia especialización de roles en los equipos de desarrollo y amplio perfil de conocimientos del ingeniero en Ciencias Informáticas, hacen que sea más adecuado y simple de manejar los recursos humanos con el empleo de las competencias y de sus elementos.

Las competencias son expresión del accionar de una persona concretadas en el desempeño. El desempeño en sí mismo permite ofrecer una valoración de la competencia de la persona, es por ello que en su propia definición se evidencia la incertidumbre que lo rodea. Las valoraciones de las competencias expresadas por los expertos y evaluadores de las personas se hacen mayormente de manera cualitativa. Estas afirmaciones se evidencian en investigaciones que asocian la GRH, la competencia y la incertidumbre [37-39, 46]. El diseño de los puestos de trabajo mediante perfiles de competencias y la gestión de estas en la empresa, hacen necesario el tratamiento de la incertidumbre en el PSP.

El proceso de selección de personal es característico de los procesos de gestión en las empresas, por lo que las buenas prácticas asociadas a su ejecución y las actividades que se definen están enfocadas a la evaluación y selección de los profesionales más calificados para ocupar el puesto de trabajo. La aplicación de un proceso como este para ubicar estudiantes en la industria durante su formación requiere contextualizar las actividades, así como la elección de técnicas que permitan valorar capacidades y predecir el desempeño actual y futuro del estudiante en los roles, de acuerdo a lo que plantea Chiavenato [56] en su definición del PSP.

1.1.3 La incertidumbre y la imprecisión en el proceso de selección de personal

Gil [62] realiza un análisis de la evolución en el tratamiento de problemas de decisión en la empresa que exigen la toma de decisiones, donde los objetivos a alcanzar, las limitaciones que se presentan y las consecuencias para cada alternativa, aparecen de manera imprecisa.

Se destacan en la presente investigación los siguientes elementos que conducen al tratamiento del PSP como un problema de toma de decisiones bajo incertidumbre:

- Se tienen en cuenta varios criterios para tomar la decisión, lo que hace que se considere como un problema de comparación y de selección entre un grupo de alternativas.
- Se manipula información de diferente naturaleza, cuantitativa y cualitativa.
- Se maneja información que puede ser considerada vaga e imprecisa, fundamentada en la expresión de valoraciones a partir de conceptos propios y de la experiencia de la persona.
- Las personas y el juicio humano están presentes en todas las actividades del proceso por lo que se presenta la incertidumbre con diferentes grados y niveles, a partir de las propias características de las personas.
- Es un proceso en el que intervienen varias personas y todos los criterios deben ser

considerados de acuerdo a las características y nivel de conocimiento de cada uno.

Teniendo en cuenta los elementos estudiados sobre el PSP y sus características fundamentales, se define el proceso de ubicación en roles como: *“un proceso de toma de decisión a partir de la predicción del comportamiento profesional del estudiante, donde intervienen varios expertos y criterios, y donde es necesario el tratamiento de la incertidumbre”*. Este proceso se caracteriza por recopilar y analizar información con el objetivo de ubicar al estudiante en el rol más adecuado de acuerdo a la predicción del estado de sus competencias, para ello toma como elementos los criterios resultantes de la comparación del posible desempeño del estudiante con el estado de las competencias deseadas para el puesto o cargo a través de un proceso de predicción y valoración, donde intervienen la aplicación de diferentes técnicas e instrumentos, así como la información que se tiene de los estudiantes.

Los aspectos estudiados hacen que como tendencia en las últimas décadas se planteen soluciones al PSP empleando modelos de toma de decisión. Con el objetivo de representar la imprecisión e incertidumbre se han utilizado los métodos de toma de decisión integrados a técnicas de soft computing y la computación con palabras, aumentando la capacidad para procesar la información cualitativa y de diversa naturaleza involucrada en el proceso.

1.2 La toma de decisiones bajo incertidumbre

Tomar decisiones es una actividad que se realiza de manera natural en la vida diaria de las personas, frecuentemente se enfrentan situaciones en las que se debe decidir entre algunas alternativas u opciones. Esta actividad humana es fundamental y puede ser determinante en muchas esferas de la vida y de las organizaciones.

La TD plantea las actividades a realizar por los involucrados o decisores en situaciones donde se

requiere decidir entre diferentes alternativas, desde el inicio hasta el fin de la decisión [21]. La toma de decisiones se asocia al Proceso de resolución de problemas que consta de siete fases, como muestra la figura 1.1, donde la toma de decisiones es el término que se asocia a las cinco primeras etapas de dicho proceso [21, 76, 77].

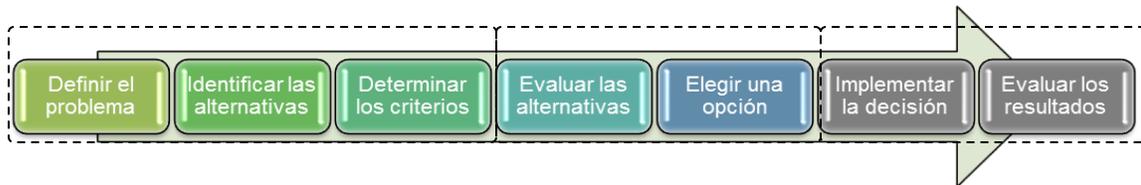


Figura 1.1: Actividades del Proceso de resolución de problemas (Elaboración propia).

La fase de análisis del proceso de toma de decisiones se hace integrando dos formas básicas: la cualitativa y la cuantitativa. El análisis cuantitativo se concentra en los hechos o datos asociados al problema y emplea expresiones matemáticas. El análisis cualitativo interpreta los resultados del análisis cuantitativo integrado fundamentalmente en el razonamiento y la experiencia del decisor.

Las situaciones que determinan el ambiente sobre el cual se desarrolla el proceso de toma de decisiones [21], se clasifica en:

- Ambiente de certidumbre: En él, el decisor conoce con absoluta seguridad el valor de utilidad de cada alternativa.
- Ambiente de riesgo: Se produce cuando el conocimiento del que se dispone referido a las alternativas consiste en sus distribuciones de probabilidad, una para cada alternativa.
- Ambiente de incertidumbre: Es la situación en la que no se conoce la probabilidad de las alternativas y la utilidad de cada una de ellas se determina de forma aproximada.

El ambiente sobre el cual se desarrolla el proceso de TD es importante para modelar la representación de la información y la selección del método de solución, ya sea empleando

técnicas deterministas, probabilísticas, de optimización, de inteligencia artificial u otras.

Otra clasificación importante en el proceso de toma de decisiones [76, 78] es la dada a partir de:

- Cantidad de criterios: Cuando en el problema de decisión solo se tiene en cuenta un criterio para el análisis de las alternativas se trata de toma de decisión de **único criterio**. Cuando intervienen varios criterios se denomina toma de decisión **multicriterio**.
- Cantidad de expertos: Cuando en el proceso de toma de decisiones participa un único experto o decisor se trata como **toma de decisión individual**. Cuando intervienen varios expertos o decisores se denomina **toma de decisión multiexperto o en grupo**.

En la práctica diaria los problemas más comunes se enmarcan en la toma de decisiones multicriterio. Roubens [79], desde el uso de técnicas computacionales, plantea la resolución de problemas multicriterio y/o multiexpertos en dos fases, según el esquema de la figura 1.2:

1. Fase de Agregación. Su objetivo es obtener un valor de preferencia colectivo a partir de los valores individuales dados por los expertos que participan, o por los criterios definidos para valorar las alternativas utilizando un operador de agregación de información.
2. Fase de Explotación. Su información de entrada son los valores colectivos obtenidos en la fase anterior. Su objetivo es seleccionar la mejor o las mejores alternativas a partir de los valores colectivos. Para ello se utilizan funciones o criterios de selección que permiten ordenarlas y seleccionarlas a partir de vectores de utilidad, relaciones de preferencia u otro mecanismo para analizar la factibilidad de la alternativa como solución al problema.

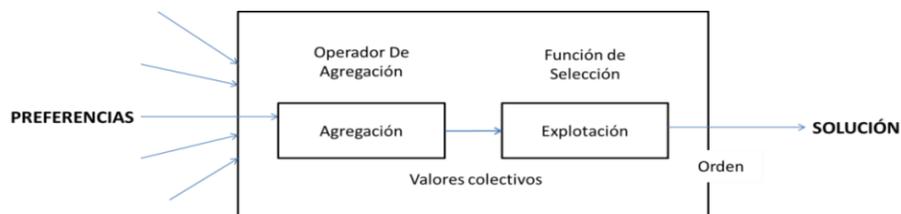


Figura 1.2: Fases de un proceso de toma de decisiones [76]

Esta definición brinda un esquema adecuado para enmarcar soluciones de TD y representa la lógica de los pasos a seguir cuando se emplean técnicas computacionales.

Retomando algunas de las clasificaciones analizadas, es interés de la presente investigación profundizar en la toma de decisiones multicriterio bajo incertidumbre, teniendo como base la definición dada sobre el PSP y el problema de la presente investigación.

Los modelos de toma de decisiones han evolucionado para permitir el tratamiento de la incertidumbre, se utilizan mayormente la Teoría de Conjuntos Borrosos (TCB) [80], los Conjuntos Aproximados [81], el modelado lingüístico [82-84] o la Computación con palabras (CWW) [48, 85].

1.3 La incertidumbre y su tratamiento en la toma de decisiones

La incertidumbre surge por la necesidad de modelar la imprecisión de conceptos e información involucrada en los problemas, para simular actividades propias del comportamiento y razonamiento humano, u otras inherentes a fenómenos que presentan falta de certidumbre.

Para los problemas de decisión en ambiente de incertidumbre, la teoría clásica de la decisión y sus métodos no permiten dar un tratamiento adecuado. Es por esto que la integración de métodos de toma de decisión, las técnicas de soft computing y la computación con palabras, brindan un marco adecuado para una representación más cercana a la realidad del problema, que pueda representar el razonamiento humano y permita incorporar sus valoraciones con tratamiento de la incertidumbre.

1.3.1 Soft computing y la computación con palabras

Hasta el momento de la definición de soft computing dada por Zadeh [86], la referencia a varias de las técnicas de la inteligencia artificial se hacía de manera independiente, indicando que además se utilizaba la teoría de conjuntos borrosos integrada a ellas. Otros autores y el propio

Zadeh [86-89] han hecho reflexiones o definiciones sobre soft computing que de una manera u otra redundan en los mismos conceptos. Se puede considerar soft computing como un enfoque multidisciplinario donde la teoría de conjuntos borrosos facilita la representación del razonamiento humano y su capacidad de aprender en un ambiente de incertidumbre e imprecisión. La definición de soft computing está dada por medio de distintos conceptos y técnicas que buscan superar las dificultades y barreras que surgen en los problemas reales derivados de un mundo impreciso, incierto y difícil de categorizar.

Una definición actual y acertada de soft computing, y en la cual se resume la esencia de lo que se pretende lograr con la investigación, es la dada por Verdegay, "...conjunto de técnicas y métodos que permitan tratar las situaciones prácticas reales de la misma forma que suelen hacerlo los seres humanos, es decir, en base a inteligencia, sentido común, consideración de analogías, aproximaciones, etc..." [88].

Un campo de investigación actual y una tendencia en el tratamiento de problemas de decisión es el uso de la computación con palabras. La CWW es uno de los paradigmas actuales para el tratamiento de la incertidumbre y la información lingüística [46, 49-51]. Mendel ha realizado varios artículos relacionados con la CWW [45, 51, 90, 91], este, junto a otros autores [45] brindan criterios sobre cuáles son sus puntos de vistas y consideraciones sobre su definición y otros elementos de interés para su implementación. Se resume que opera con palabras o sentencias definidas en un lenguaje natural o artificial y que pueden ser instanciadas con números, simulando el proceso cognitivo humano para tratar con problemas de decisión [44].

Zadeh [47] plantea que la computación con palabras es muy útil cuando la información es imprecisa y no es posible justificar el uso de números. Cambia el paradigma tradicional en que la

función de pertenencia es el elemento que guía el proceso de ordenamiento de las alternativas, la palabra es la guía del proceso.

Tanto la CWW como las técnicas de soft computing tienen su base en los conceptos asociados a la teoría de conjuntos borrosos, la lógica borrosa y el modelado lingüístico de la información. Por ello se hace necesaria una revisión de los principales conceptos y definiciones de estas áreas.

1.3.2 Elementos fundamentales de la lógica borrosa

La lógica borrosa introducida por Zadeh [80], amplía la capacidad de evaluación de un término en los conjuntos o clases y brinda la posibilidad de evaluar la pertenencia de un elemento a un subconjunto. Permite representar el razonamiento y el conocimiento común de las personas, que está dado mayormente por términos cualitativos, mediante un lenguaje matemático empleando la lógica borrosa.

El interés de la TCB se centra esencialmente en modelar aquellos problemas donde los enfoques de la Teoría de Conjuntos y la Teoría de Probabilidades resultan insuficientes o no operativos. El concepto base de la TCB es el de conjunto borroso.

Definición 1 [80]: Un conjunto borroso \tilde{A} en X se caracteriza por una función de pertenencia $f_{\tilde{A}}(x)$ que asocia a cada elemento de X un número real del intervalo $[0,1]$, $f_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0,1]$, donde el valor de $f_{\tilde{A}}(x)$ en x representa el “grado de pertenencia de x al conjunto \tilde{A} ”.

A diferencia de los conjuntos clásicos en los que un elemento pertenece o no a un conjunto, en los conjuntos borrosos los elementos pueden pertenecer con determinado grado. El elemento fundamental es la función de pertenencia. Se definen varios tipos de funciones de pertenencia [77, 92, 93] las que se utilizan en función de la complejidad y características del problema a tratar, siendo las más empleadas las triangulares y las trapezoidales.

Es válido aclarar que a estas representaciones de los conjuntos borrosos se les conoce como conjuntos borrosos de primer orden (de tipo 1), sin embargo en los últimos años se ha venido empleando la representación de los conjuntos de tipo 1 en conjuntos de 2 tuplas [44, 49, 50, 94] y los conjuntos borrosos de tipo 2 [46, 95-97], que permiten modelar adecuadamente determinados problemas. Varios autores [44, 45] plantean las limitaciones de los conjuntos de tipo 1 para representar las palabras, fundamentado en que utiliza funciones de pertenencia precisas y ellas guían a las palabras. Un elemento importante y que se introduce con la existencia de estas teorías y que tienen su base en la TCB es el modelado lingüístico.

1.3.3 Modelado lingüístico borrosa

Los métodos para la solución de problemas y la toma de decisiones han evolucionado en función de lograr una representación lo más cercana posible a la naturaleza real de la información involucrada y al razonamiento de los decisores. Son estos los elementos que dan base a la necesidad del modelado lingüístico en los problemas de toma de decisiones. Ocurre con frecuencia que la información que se maneja en la TD no se puede valorar de forma precisa sino mediante valoraciones cualitativas o en un intervalo. En estas situaciones es adecuado el uso de las variables lingüísticas (VL).

Definición 2 [82-84]: una variable lingüística es caracterizada por una quintupla $(N, T(N), U, G, M)$, donde N es el nombre, $T(N)$ es el conjunto de términos que constituyen los valores lingüísticos, U es el universo de discurso, G es la regla sintáctica para generar los términos en $T(N)$, y M es la regla semántica para asociar a cada término lingüístico X su significado.

Estas variables permiten expresar la división o clasificación de determinadas propiedades. El modelado lingüístico tiene como base la TCB y ha demostrado su eficacia para la representación

de información de naturaleza cualitativa.

En la definición de variable lingüística es importante la selección de las etiquetas y los conjuntos borrosos asociados a ellas, en estos se concentra un peso significativo en la obtención del ordenamiento de las alternativas y la solución más adecuada. En este sentido es importante definir la granularidad de la incertidumbre [86, 98], que se corresponde con la cardinalidad del conjunto de términos lingüísticos que se empleen para expresar y representar la información.

Granular es descomponer el universo en familias de subconjuntos llamados gránulos [99], en las variables lingüísticas los gránulos son las etiquetas o términos lingüísticos en los que se permite agrupar elementos del universo de discurso. Es preciso buscar una expresión de la cardinalidad que permita representar la información sin afectar la precisión y discriminación de algunos valores. La cardinalidad recomendada en los modelos lingüísticos es un valor impar entre 5 y 9, sin superar los 11 o 13 términos [100].

Una vez delimitados los términos lingüísticos se debe definir la semántica del conjunto de etiquetas y para ello existen varios enfoques. El más utilizado es el enfoque basado en funciones de pertenencia, que describe los conjuntos borrosos mediante funciones de pertenencia [77, 93, 100]. Para la representación de la información lingüística se han desarrollado varios modelos, los más reconocidos son los basados en los conjuntos borrosos de tipo 1 y en los conjuntos borrosos de tipo 2.

Independientemente del paradigma a utilizar en la operatoria y la representación de la información, es necesario, retomando las etapas del proceso de toma de decisiones que se muestran en la figura 1.2, estudiar operadores que permitan agregar la información y ordenar las alternativas.

1.3.4 Agregación de información

La agregación de información supone el uso operadores que permitan establecer una relación de preferencia colectiva. Existen diferentes operadores de agregación, algunos de ellos se utilizan como base para definir otros operadores de agregación para modelos y problemas más específicos.

Definición 3 [77]: Un operador de agregación es una función $F : [0,1]^n \rightarrow [0,1]$ que cumple las condiciones de contorno $F(0, \dots, 0) = 0$ y $F(1, \dots, 1) = 1$, debe ser continuo y monótono no decreciente.

Entre los tipos de operadores de agregación más utilizados se encuentran los basados en las t-norma (conjuntiva) y t-conorma (disyuntiva), los operadores OWA y la familia de operadores media [38, 77, 101, 102].

La t-norma se define por Karl Menger en 1942 [103], como una operación binaria T sobre el intervalo unitario $[0,1]$, $T: [0,1]^n \rightarrow [0,1]$ tal que $\forall x, y, z \in [0,1]$ se satisfacen los axiomas que se especifican por Rodríguez [104]. La t-conorma se define por Schweizer y Sklar en 1961 como operador dual de la t-norma, las cuales cumplen los tres primeros axiomas especificados para la t-norma [104]. La t-norma básica son el mínimo y el producto. En la t-norma el elemento neutro es el 1, en la t-conorma es el 0. Una de las familias de operadores más empleadas es la de los operadores media, definidos estos como:

Definición 4 [38, 77]: Una función $M: [0,1]^n \rightarrow [0,1]$ es un operador media de dimensión n si y solo si tiene las propiedades de idempotencia, monotonicidad y conmutatividad. Son operadores de agregación definidos como:

$$f_{\alpha}(x) = h^{-1} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h(x_i) \right], x \in I^n$$

Donde la función es $h : I \rightarrow \mathbb{R}$ y el generador f_{α} es continuo y estrictamente creciente. A partir de este operador media se definen otros operadores como son la media aritmética, armónica y otras [38, 77]. Estos operadores tienen variantes que incorporan a su definición pesos, que facilitan el tratamiento diferenciado de cada uno de los valores a agregar.

Una de las familias de operadores de más reciente definición y que esa ampliamente utilizada en los métodos de toma de decisiones para agregar la información, es la de los operadores OWA (Ordered Weighted Averaging) definidos por Yager [105-107]. Varios son los trabajos que utilizan estos operadores o definen otros que tiene los OWA como base [53, 77, 94, 107, 108]. El operador OWA es un tipo de media que proporciona una familia parametrizada de operadores de agregación que fluctúan entre el máximo y el mínimo [77].

Definición 5 [105, 106]: Una función $F: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ es un operador OWA de dimensión n si tiene un vector asociado W de dimensión n tal que sus componentes satisfacen: $w_j \in [0,1]$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ y $F(a_1, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j$, donde b_j es el j – ésimo más grande de los a_i .

El operador OWA es una media, por lo que cumple también con las propiedades de la familia de operadores media. A partir de la definición del operador OWA se han desarrollado investigaciones con operadores que modifican y dan tratamiento a situaciones particulares que se presentan en algunos problemas reales. Existe variedad de operadores de agregación, aunque en su mayoría se definen sobre la base de los presentados en este epígrafe.

La aplicación de operadores de agregación es importante en la TD pues permiten integrar la información de los expertos y deben ser considerados para formar los criterios para evaluar y

ordenar las alternativas. Se considera adecuado, luego del análisis realizado, el uso de alguno de estos operadores base para problemas que no tengan una complejidad elevada.

1.3.5 Ordenamiento borroso

El resultado que se obtiene al aplicar operadores de agregación y los pasos que se establecen en los modelos de TD para la evaluación de las alternativas y que constituyen criterios para ordenarlas y tomar la decisión, son generalmente conjuntos borrosos y/o etiquetas. El ordenamiento borroso es un área activa de investigación desde hace varias décadas, esto se evidencia en el estudio que se realiza por Socorro [109]. A partir del análisis realizado de varios métodos se agrupan los más empleados en:

- Basados en Distancias: determinan el orden entre números borrosos usando la distancia respecto a un punto (número borroso) definido como punto cero, las más utilizadas son la Distancia de Hamming y la distancia Euclidiana. Entre los trabajos que emplean métodos de distancia están [29, 37, 39, 41, 110, 111].
- Basados en máximos y/o mínimos borrosos: mediante medidas e índices establecidos a partir de los máximos y/o mínimos borrosos [32, 112, 113].
- Empleando α -cortes: métodos que plantean funciones o índices empleando los α -cortes para determinar el orden entre conjuntos borrosos [114, 115].
- Basados en la teoría de la posibilidad: proponen funciones o índices para el ordenamiento y establecer las relaciones entre los conjuntos borrosos [92, 116].

Todos estos métodos han demostrado ser válidos y tienen aplicación en diferentes ámbitos, puede ser adoptado uno de ellos o definirse una función o índice que tenga como base alguna de las tendencias presentadas y que se ajuste al problema particular al que se da solución. Estos

métodos de ordenamiento se emplean independientemente de la representación que se utilice, debido a que existen extensiones que definen los métodos para casos particulares. El más empleado es el ordenamiento utilizando distancias, se entiende distancia como:

Definición 6 [93]: La función $dist(A, B)$ que muestra dos variables A y B ambas del mismo conjunto X dentro de los números reales no negativos, se llama distancia (entre A y B). Deben cumplirse las siguientes propiedades: Positivismo: $dist(A, B) \geq 0$ y $dist(A, B) = 0$ si y solo si $A = B$, Simetría: $dist(A, B) = dist(B, A)$ y Desigualdad triangular: $dist(A, B) + dist(B, C) \geq dist(A, C)$.

Todos los elementos, el modelado lingüístico, los operadores de agregación y los métodos de ordenamiento, se integran en propuestas de modelos y métodos de ayuda a la toma de decisiones que brindan marcos de solución para distintos problemas de toma de decisiones donde la incertidumbre y la imprecisión están presentes.

1.3.6 Modelos lingüísticos computacionales de ayuda a la toma de decisiones

A partir de la amplia aplicación del modelado lingüístico y la lógica borrosa a los problemas de decisión multicriterio, se han desarrollado modelos generales que permiten la representación de información, el procesamiento y ordenamiento de las alternativas.

El modelado lingüístico trae consigo la necesidad de operar con etiquetas lingüísticas usando técnicas computacionales como operadores de agregación, comparación, negación y otros. En la literatura se encuentran dos enfoques de modelos computacionales que utilizan información lingüística [76], en los que al operar con términos lingüísticos se produce pérdida de información [76, 117]: Modelos basados en el Principio de Extensión y Modelos Simbólicos.

Basados en estos enfoques se definen modelos lingüísticos computacionales para la TD [44]:

1. Modelo lingüístico computacional basado en funciones de pertenencia. (MLCFP) [118-121]
2. Modelo lingüístico computacional basado en conjuntos borrosos de tipo 2. (MLCCBT2) [51, 95, 97, 122, 123]
3. Modelo lingüístico computacional simbólico basado en escalas ordinales. (MLCSEO) [124-126]
4. Modelo lingüístico computacional basado en 2 tuplas. (MLC2T) [49, 76, 102, 127, 128]

De cada modelo se describe la representación y operatoria por Martínez [44]. Las características distintivas de estos modelos a partir de los análisis realizados se resumen en la tabla 1.2.

Tabla 1.2: Comparación entre los modelos lingüísticos computacionales (Elaboración propia)

Modelo	Representación	Operaciones	Elementos de análisis
MLCFP	Representación lingüística de acuerdo a la definición de Zadeh. Basado en funciones de pertenencia.	Se definen las operaciones sobre las funciones de pertenencia, usando el principio de extensión.	El resultado es un número borroso. Se realiza un proceso de aproximación para dar la respuesta en términos lingüísticos que produce pérdida de información.
MLCCBT2	Representación basada en los conjuntos borrosos de tipo 2.	Reduce los esfuerzos computacionales para operar con conjuntos de tipo 2.	El resultado se aproxima a un término lingüístico por lo que existe pérdida de información. Facilita la implementación de la CWW.
MLCSEO	Representación lingüística de la información. Basado en el enfoque simbólico.	Se utilizan operadores de agregación basados en modelos simbólicos	Este modelo es muy utilizado en el paradigma de la CWW. El resultado se aproxima y por tanto hay pérdida de información.
MLC2T	Modela información lingüística basada en el concepto de traslación simbólica. Representación utilizando 2-tuplas.	Se utilizan operadores de agregación simbólica y operadores numéricos redefinidos para operar con 2-tuplas.	La representación empleando 2 tuplas permite mantener la desviación del valor real respecto al valor que se aproxima y por tanto evita la pérdida de información.

Del análisis resumido en la tabla 1.2 se evidencia que en todos los casos es necesario realizar un proceso de aproximación que permite dar los resultados expresados en términos lingüísticos a partir de lo obtenido al aplicar operadores de agregación.

Entre ellos destaca el modelo de representación en 2-tuplas, que aunque realiza el proceso de aproximación, en su representación muestra la desviación del valor aproximado al valor real, lo cual permite reducir la pérdida de información en pasos intermedios del proceso, así como una mayor precisión en los resultados.

El modelo de representación en 2-tuplas facilita la implementación de la computación con palabras en problemas cuya complejidad no requiera la representación con conjuntos de tipo 2. Este modelo minimiza la pérdida de información por lo que puede ser adecuado en los casos donde se expresen los criterios a analizar de manera cualitativa en su propia naturaleza y se quiera obtener niveles de precisión en los resultados que faciliten la distinción de casos similares.

1.3.6.1 Modelado lingüístico borroso basado en 2-tuplas

El modelo de 2-tuplas, basado en el modelo simbólico, es un modelo continuo de representación de la información que permite reducir la pérdida de información que ocurre al modelar la toma de decisiones con otros enfoques [76]. Esta propuesta define el modelo computacional asociado.

En el modelo simbólico para operar se utiliza la estructura ordenada de los conjuntos de términos lingüísticos, $S = \{S_0, \dots, S_n\}$ donde $S_i < S_j, i < j$. Los resultados intermedios de estas operaciones son valores numéricos $\beta \in [0, g]$, que son aproximados en cada paso del proceso utilizando una función de aproximación $app_2(\cdot)$ para obtener un valor $app_2(\beta) \in \{0, 1, \dots, g\}$, tal que, indique el índice del término lingüístico asociado, $S_{app_2(\beta)} \in S$ [76].

Para definir el modelo de representación basado en 2-tuplas se parte del concepto básico de

traslación simbólica. Siendo $S = \{S_0, \dots, S_n\}$ un conjunto de términos lingüísticos, y $\beta \in [0, g]$ un valor obtenido por un método simbólico operando con información lingüística [76].

Definición 7 [76]: La traslación simbólica de un término lingüístico S_i es un número valorado en el intervalo $[-0,5, 0,5]$ que expresa la “diferencia de información” entre una cantidad de información expresada por el valor $\beta \in [0, g]$ obtenido en una operación simbólica y el valor entero más próximo, $i \in \{0, \dots, g\}$, que indica el índice de la etiqueta lingüística (S_i) más cercana en S .

A partir de este concepto, Martínez [76] desarrolla un modelo de representación para la información lingüística que utiliza como base la representación 2-tuplas, (r_i, α_i) , $r_i \in S$ y $\alpha_i \in [-0,5, 0,5]$, donde: r_i representa la etiqueta lingüística, y α_i es un número que expresa el valor de la distancia desde el resultado original al índice de la etiqueta lingüística r_i más cercana en el conjunto de términos lingüísticos S , es decir, su traslación simbólica.

En la representación basada en 2-tuplas, se ha desarrollado toda una operatoria asociada a ella, definiéndose la comparación, negación y operadores de agregación. Varias investigaciones definen operadores de agregación para el trabajo con 2-tuplas [50, 76, 108, 129, 130].

Este modelo define operaciones que facilitan la implementación de la CWW. Se considera importante resaltar que la facilidad de controlar la desviación del valor obtenido respecto al resultado de la aproximación permite operar con los valores reales en cada momento y por tanto reduce la pérdida de información en la agregación.

A partir de la aplicación de estos métodos a los problemas de toma de decisiones, el pretender representar todas las situaciones ha conducido a estudios y propuestas de extensiones y nuevas operaciones en los modelos definidos. Algunos de estos elementos son:

1. Modelación lingüística de las preferencias multigranular [130]: Cada decisor (experto) usa un conjunto de términos lingüísticos (S) diferente. S difiere en cardinalidad y en la semántica de los términos para cada decisor.
2. Modelación lingüística desbalanceada de las preferencias [94]: Los términos lingüísticos no se distribuyen uniformemente alrededor del término central.
3. Información heterogénea para expresar las preferencias [120, 121]: Valoraciones sobre las alternativas en forma numérica y lingüística.
4. Información lingüística incompleta [131]: El experto o decisor: no tiene una opinión clara sobre la alternativa, no es capaz de comparar las alternativas o prefiere evitar dar evaluaciones que introducen inconsistencias en la preferencias.

1.4 Métodos de toma de decisión multicriterio y grupal

Los métodos de toma de decisión multicriterio y grupal brindan mecanismos para integrar las opiniones de varios expertos y decisores de manera que pueda seleccionarse una de las alternativas. Figueira [23] muestra el resultado de un estudio del arte sobre los métodos de análisis multicriterio, los métodos más utilizados, sus principales extensiones y aplicaciones.

En las distintas clasificaciones del proceso de toma de decisiones, la característica asociada a la decisión grupal está dada por la participación de un grupo de personas en varias actividades del proceso. Con el objetivo de lograr soluciones que integren adecuadamente el criterio de todos los decisores y expertos es importante el estudio de métodos para buscar consenso.

1.4.1 Búsqueda de consenso en la toma de decisión grupal

En la toma de decisión grupal un elemento importante es lograr que los decisores que participan estén de acuerdo en la decisión final. Utilizar múltiples decisores supone entonces buscar

consenso, obtener soluciones que tengan la característica de representar el consenso del grupo de expertos o decisores que participan. Un esquema del proceso de toma de decisiones en grupo con consenso se presenta en la figura 1.3.

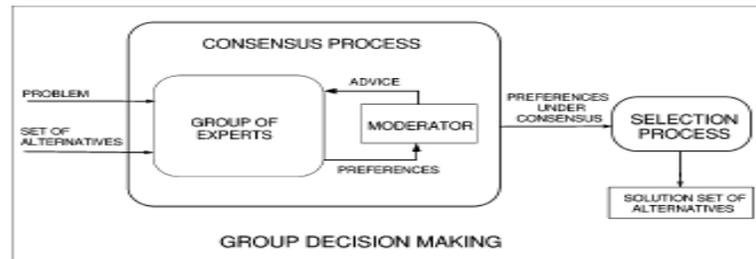


Figura 1.3: Esquema del proceso de toma de decisión en grupo con consenso [132]

En el esquema de la figura 1.3 se plantea un proceso que supone interacción en varios momentos entre los expertos con la presencia de un moderador, lo cual hace que no pueda ser un proceso totalmente automatizado. Otro enfoque del proceso de consenso es el planteado por Cabrerizo [133], donde a partir del esquema de la figura 1.4 describe las tendencias y posibles técnicas a utilizar para desarrollar los pasos del proceso.

Para obtener el consenso se puede utilizar alguno de los siguientes enfoques: Tundjungsari [134] para obtener el consenso define un decisor principal y calcula el grado de centralidad respecto a este; Liu [135] utiliza un modelo basado en el operador P-A (Power Averaging) y busca cumplir con un grado mínimo de consenso a partir de este; por otra parte Herrera-Viedma [136], define un modelo que determina el consenso entre los criterios dados por un grupo de personas basado en dos criterios: la medida de consenso y la medida de proximidad. Para calcular el grado de consenso alcanzado se coincide en la idea de medir la similitud entre las preferencias dadas por los expertos, las variantes para determinar esta similitud [133] son:

- Cálculo de distancia: utilizar medidas de distancia para determinar la diferencia entre las preferencias de los expertos.

- Cálculo de coincidencias: consiste en medir el grado de coincidencia entre las preferencias de los expertos. Puede emplearse como criterio la coincidencia rígida (coincide o no), o la coincidencia flexible teniendo en cuenta la proximidad de los valores.

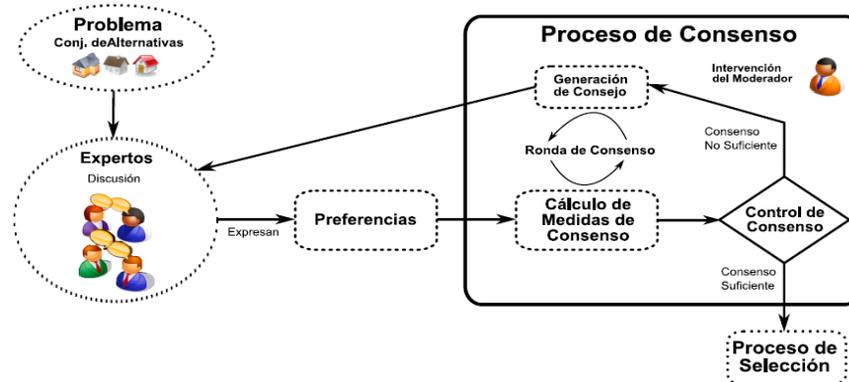


Figura 1.4: Proceso de consenso [133]

Una vez obtenido el grado de consenso se define el umbral de consenso que representa el valor mínimo que debe alcanzar el grado de consenso para finalizar el proceso y seleccionar las alternativas [133]. Este umbral debe tener un valor en el intervalo $[0,1]$ y depende del tipo de problema. Definir valores de consenso por debajo de 0,5 no es adecuado, ya que significa que no estarían de acuerdo con la solución más del 50% de los expertos [133].

1.4.2 Análisis de los métodos de toma de decisión

Entre los Métodos de Toma de Decisión Multicriterio (MCDM) más empleados en soluciones para el PSP se encuentran: el AHP (Analitical Hierarchical Process) [137], TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) [31, 34] y PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) [22, 41, 138]. Algunas de las investigaciones desarrolladas brindan soluciones híbridas que integran algunos de estos métodos y el empleo de técnicas de soft computing [33, 139, 140]. Estos métodos ofrecen mecanismos a partir de los cuales se pueden ordenar las alternativas y brindar criterios para tomar la decisión.

1.4.2.1 AHP

El AHP propuesto por Saaty en 1980 [137] se basa en la idea de que la complejidad inherente a un problema de toma de decisiones con criterios múltiples se puede resolver mediante la jerarquización. Es un método matemático que interpreta los datos y la información directamente mediante la realización de juicios y medidas en una escala de razón dentro de una estructura jerárquica establecida. Permite la selección de alternativas en función de un grupo de criterios o variables. Vaidya [141] describe los resultados de un estudio realizado sobre las diferentes aplicaciones que tiene el método AHP. En la selección de personal ha sido empleado integrado a la TCB [29, 30, 33, 142, 143] como método para la selección de personal y en otros casos para la determinación de los pesos de expertos.

1.4.2.2 Método TOPSIS

El método TOPSIS, desarrollado por Hwang y Yoon [144], es un MCDM que identifica las soluciones dentro de un conjunto finito de alternativas y busca 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. En combinación con la teoría de conjuntos borrosos es uno de los métodos más empleados en el PSP [25, 26, 29, 145]. Se han definido extensiones del método TOPSIS que permiten el tratamiento de la incertidumbre e información lingüística [31, 34]. El método utiliza para el ordenamiento de las alternativas la distancia, aunque como parte de la presente investigación se realizó una propuesta combinando varias aplicaciones del método con un esquema de voto mayoritario [146].

1.4.2.3 Familia de métodos PROMETHEE

Los métodos multicriterios de la familia PROMETHEE basan el análisis en la comparación entre los diferentes pares de alternativas [22, 138]. El método busca establecer un orden jerárquico determinado por un flujo neto, este se compone del flujo entrante y saliente 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 [41].

La diferencia entre las versiones I y II del PROMETHEE es que en la primera se efectúa un ordenamiento parcial de las alternativas, dando lugar así a la posible aparición de situaciones donde no es posible comparar; mientras que en la segunda se obtiene un preorden completo de las alternativas. En este último caso se pierde información verdaderamente útil, pero por otra parte todas las alternativas participan en el ordenamiento final. Otras variantes del método PROMETHEE (III, IV, V y VI) plantean soluciones para situaciones más sofisticadas de decisión, en particular problemas con un componente estocástico [147]. El método PROMETHEE se emplea integrado a la TCB para solucionar diversos problemas [32, 41, 147, 148].

1.4.2.4 Comparación de los métodos de toma de decisión multicriterio

Para identificar tendencias en el ordenamiento y la agregación de información, así como la forma en que se modela la solución al problema, se realiza un análisis comparativo de los métodos estudiados en función de elementos que aportan criterios para el problema que se trata en la investigación. Los resultados se muestran en la tabla 1.3. Los elementos analizados son:

1. Punto de partida: información inicial para realizar la evaluación de las alternativas.
2. Permite múltiples criterios: (Sí/No) si el método permite el tratamiento de múltiples criterios.

3. Permite múltiples expertos: (Sí/No) si el método permite el trabajo con múltiples expertos, que facilite integrar las opiniones y tenga en cuenta las características de los expertos.
4. Tratamiento de la incertidumbre: (Sí/No) si el método da tratamiento a la incertidumbre.
5. Modelado lingüístico: (Sí/No) si el método usa variables lingüísticas.
6. Método de ordenamiento: método que se utiliza para el ordenamiento de las alternativas.
7. Uso de operadores de agregación: (Sí/No) si emplea operadores de agregación.

Tabla 1.3: Tabla comparativa de los métodos de toma de decisión multicriterio (Elaboración propia)

I	AHP	TOPSIS	PROMETHEE
1	Evaluaciones de los criterios para la decisión para cada alternativa.		
2	Sí	Sí	Sí
3	Se puede aplicar el método con múltiples expertos, no deja explícitamente establecida la forma de integrar los criterios de los expertos, no da tratamiento al consenso (el propio operador de agregación define el consenso) y la decisión en grupo.		
4	Sí	Sí	Sí
5	Sí	Sí	Sí
6	Se establece una jerarquía de los criterios y su relación con las alternativas; aplicando un operador de agregación se consolida la información.	Se establece un ideal positivo y un ideal negativo a partir de un índice que combina la distancia de cada alternativa a los ideales y se ordenan en función de ese índice.	Se propone un orden entre las alternativas utilizando medidas de distancia para determinar la influencia negativa y positiva de una alternativa en función de cuáles son mejores o peores que ella.
7	Sí	Sí	Sí

Del análisis del comportamiento de estos métodos se destaca que para la toma de decisiones se emplean operadores de agregación para la consolidación de los criterios y el método de ordenamiento más empleado es la distancia. La principal insuficiencia es la ausencia de mecanismos que permitan emplear información que ya existe y que pueda ser útil en el proceso de TD, lo que dificulta la aplicación de estos métodos en determinados contextos.

Conclusiones del capítulo

1. La selección de personal se define como un proceso de comparación y de decisión y es

- adecuado su tratamiento como un problema de toma de decisiones bajo incertidumbre.
2. El proceso de toma de decisiones bajo incertidumbre brinda un marco apropiado para el tratamiento del problema de selección de personal, tal como se evidencia en los artículos e investigaciones estudiadas.
 3. Para la agregación de información y el ordenamiento existen operadores y métodos sobre los cuales se definen nuevas funciones al modelar problemas específicos. Se considera adecuado el uso de métodos de distancia y la familia de operadores media.
 4. La modelación lingüística, los modelos lingüísticos computacionales y la computación con palabras permiten integrar las técnicas adecuadas para modelar una solución que trate las características distintivas del proceso de ubicación de estudiantes en roles.
 5. El uso del modelado lingüístico empleando la representación en 2-tuplas se considera la más acertada, a partir de que minimiza la pérdida de información asociada al proceso de agregación de información y aproximación que se realiza durante la toma de decisiones, así como las facilidades para la implementación de la computación con palabras.
 6. Los métodos de toma de decisión multicriterio estudiados tienen como principal insuficiencia la ausencia de mecanismos que permitan transformar información que existe en criterios para la TD, elemento que es significativo para la presente investigación.

CAPÍTULO II

PROPUESTA DE MODELO COMPUTACIONAL PARA LA RECOMENDACIÓN DE ROLES EN EL PROCESO DE UBICACIÓN DE ESTUDIANTES EN LA INDUSTRIA DE SOFTWARE

CAPÍTULO II. PROPUESTA DE MODELO COMPUTACIONAL PARA LA RECOMENDACIÓN DE ROLES EN EL PROCESO DE UBICACIÓN DE ESTUDIANTES EN LA INDUSTRIA DE SOFTWARE

En el presente capítulo se exponen los resultados del diagnóstico aplicado con el objetivo de caracterizar su situación actual del proceso de ubicación en roles en la UCI. Se fundamenta y describe el modelo lingüístico computacional de apoyo a la toma de decisiones en el proceso de ubicación. Este modelo ofrece una recomendación del orden de los roles para ubicar los estudiantes en la práctica profesional, la recomendación se fundamenta en la predicción del desempeño en los roles a partir de transformar la información acumulada en la formación del estudiante. Se presenta además una metodología basada en el modelo que brinda un marco de actividades para desarrollar el proceso de ubicación.

2.1 Diagnóstico del proceso de ubicación de estudiantes en roles en la UCI

El PUR es uno de los elementos claves de la vinculación de los estudiantes a los proyectos. Este proceso, respecto al PSP, tiene la particularidad de ser considerado como ubicación y no selección de los más aptos. Es importante considerar que los estudiantes están en un proceso de formación que debe aprovechar las ventajas que supone trabajar en la industria [5].

El objeto en el PUR es el estudiante en formación, que no cuenta con un desarrollo de las competencias necesarias para el rol, pero que sí ha desarrollado determinadas habilidades y adquirido conocimientos que le permiten ejercer con mayor o menor éxito estos roles. Es importante señalar que el principal objetivo en la universidad es la formación del profesional y que la

participación del estudiante en los proyectos debe ofrecer beneficios en los dos sentidos, su formación desde la Práctica Profesional y el apoyo como ente activo del proceso productivo.

La Práctica Profesional es la disciplina principal integradora de la Ingeniería en Ciencias Informáticas, se imparte desde el primer año y el vínculo directo a la producción es en el segundo año en el rol de Probador. En esta primera experiencia el estudiante se inserta en el Laboratorio Industrial de Pruebas de Software, en este caso no se realiza un proceso de ubicación ya que está definido que todos los estudiantes deben ejercer este rol en su segundo año de la carrera.

La incorporación a los proyectos de desarrollo se hace en el tercer año de la carrera, y a partir de este momento la ubicación puede realizarse en distintos momentos, al comenzar cada semestre o de acuerdo a las necesidades del proyecto. Este proceso debe de manera natural brindar criterios para la elaboración del plan de formación del estudiante en el rol que se ubica. La integración de la ubicación con la certificación a partir de la utilización de los perfiles y el diseño de los planes de formación, proporciona un marco para diseñar rutas de aprendizaje que garanticen el éxito de la certificación.

Juega un papel fundamental en el PUR la información registrada sobre el desempeño del estudiante y los perfiles por competencia de los roles. El desempeño del estudiante está asociado fundamentalmente a los resultados académicos y a los diferentes diagnósticos que se realizan en la universidad [149]. En los perfiles de competencias de los roles que se definieron en la UCI [69-75] se considera información útil los conocimientos, requisitos y las competencias.

Las actividades que se realizan para la ubicación del estudiante tienen su paralelo, algunas, en las estudiadas en el PSP previamente caracterizado en el capítulo anterior. En el PUR las actividades de selección de personal son útiles para la evaluación, la obtención de criterios y la decisión de la ubicación, con la característica distintiva de ser necesario ubicar a todos los estudiantes. En la tabla

2.1 se muestra un análisis en función de las semejanzas y diferencias entre estos procesos.

Tabla 2.1. Comparación del proceso de selección de personal y de ubicación en roles (Elaboración propia)

	PSP	PUR
Semejanzas	Se selecciona una persona para un puesto. Se tienen en cuenta varios criterios en la TD. La decisión se toma a partir de criterios de expertos. Se emplean técnicas para recopilar información. En el proceso participan varios expertos.	
Diferencias	El candidato es un profesional. Se escoge la persona más preparada, se realiza el reclutamiento para buscar a los candidatos, pueden quedar candidatos sin puesto de trabajo o incluso pueden no satisfacerse las necesidades de la organización. Una vez seleccionado, la formación es complemento pero no necesariamente fundamental para su trabajo.	Los estudiantes están en un proceso de formación. Todos los estudiantes deben ser ubicados en un rol. No se busca la persona más preparada, sino una relación que combine la formación y el rendimiento en la producción. Una vez ubicado, la formación en el rol es clave para el desarrollo del estudiante. Se refuerza la formación profesional.

Para caracterizar el PUR se aplicó la encuesta que se muestra en el Anexo 2. El análisis de sus resultados muestra que:

- De los encuestados el 85% no conoce o aplica algún proceso para la ubicación de los estudiantes en roles en su área.
- De los profesores que manifiestan conocer algún proceso de ubicación en su área, el 87,3% plantea que no se aplica de manera sistemática y señalan como los principales factores que influyen en ello: no estar informatizado, la necesidad de manejar gran cantidad de información, la cantidad de estudiantes a ubicar, la diferencia de criterios para la ubicación y el poco tiempo en que debe ser ejecutado el proceso de ubicación.
- La mayoría de los encuestados está de acuerdo en la necesidad de definir un proceso para la ubicación del estudiante que tenga en cuenta la información que se existe, como principal ventaja para el aprovechamiento de los recursos humanos en la formación y la producción.

Se han desarrollado algunas propuestas para el proceso de ubicación en la universidad destacando

la presentada por Torres [150], que tiene como principal objetivo la conformación de equipos y asigna personas al rol más adecuado, a partir de la información de un currículum que llena el estudiante. Los elementos que se tienen en cuenta están relacionados con experiencias anteriores y el conocimiento que tienen los estudiantes. Se consideran como deficiencias fundamentales no usar las evidencias del desempeño que acumula el estudiante y la definición de las actividades de un proceso de selección sin considerar el proceso de formación donde está ubicada la selección.

A partir de ese análisis se puede concluir que actualmente el PUR se realiza de manera empírica, los estudiantes son asignados a un proyecto y se decide el rol que deben desempeñar sin existir un proceso claramente definido. Se considera oportuno representar en un esquema el resultado del análisis sobre cómo se realiza en la actualidad la ubicación del estudiante en un rol:

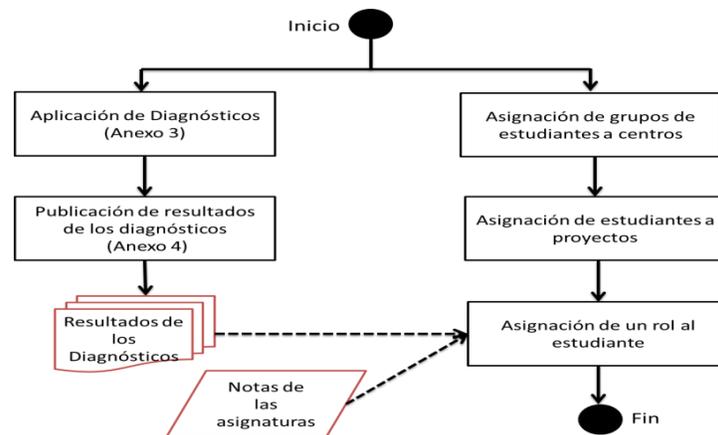


Figura 2.1: Esquema del proceso actual de ubicación del estudiante en un rol (Elaboración Propia)

Los responsables del proceso, en ocasiones, tienen en cuenta los resultados académicos y valoran de acuerdo a su experiencia cómo estos resultados influyen en el desempeño en un rol determinado. Es importante subrayar que no existe un proceso formalizado, el esquema de la figura 2.1 ha sido elaborado como resultado de la información que se ha obtenido de las entrevistas, encuestas y de la observación del fenómeno por la investigadora. Algunos de los elementos que caracterizan el proceso actual de acuerdo a las actividades planteadas en el esquema son:

- La forma en que se brindan los resultados del diagnóstico no facilita el análisis para la ubicación. Un ejemplo de la hoja de resultados se puede ver en la figura 8.2 del Anexo 3.
- La asignación de los estudiantes a los centros y proyectos se realiza teniendo como única variable la cantidad necesaria, sin haber realizado un análisis previo de las capacidades del estudiante. La tendencia ha sido asignar grupos en el primer año a los centros de desarrollo.
- La asignación al rol no es un proceso intencionado. Solo algunos profesores tienen en cuenta elementos que permiten valorar al estudiante y definir una ubicación adecuada a sus capacidades.
- El proceso de ubicación no brinda información para la elaboración de un plan de formación ajustado al estudiante que permita el fortalecimiento de su formación profesional.

Los elementos mencionados conllevan a que los estudiantes se desempeñen en roles para los que no están preparados, lo que influye negativamente en su formación y en el desarrollo del proceso productivo, elemento que se verifica en las afectaciones a los cronogramas pactados y en la tipología de las actividades asignadas a los estudiantes.

Un elemento que caracteriza al PSP y que de igual manera debe ser considerado en el PUR es el tratamiento de la incertidumbre. En el PUR una fuente de la incertidumbre proviene del juicio emitido por los expertos sobre la incidencia que tiene la información del estudiante (resultados de asignaturas y diagnósticos) sobre las competencias definidas para los roles, en la valoración de los niveles de desarrollo deseados para cada uno de los roles, así como en el conocimiento y experiencia de los decisores. En este proceso intervienen múltiples criterios (las notas, los resultados de los diagnósticos, la motivación, etc.) y múltiples decisores o expertos (especialistas, profesores, jefes de proyecto, compañeros de estudio, etc.).

Los elementos expresados permiten caracterizar el proceso de ubicación como un proceso de toma

de decisiones bajo incertidumbre debido a la falta de información, conceptos imprecisos y dependencia del juicio humano que tienen las actividades que se realizan en este proceso [151].

De las deficiencias descritas anteriormente se deriva la necesidad de establecer métodos que permitan analizar la información del desempeño previo, involucrando el criterio de las personas de mayor experiencia y conocimiento sobre el proceso para lograr una mayor flexibilidad. Es necesario además establecer los pasos y las actividades a realizar que garanticen que el proceso pueda ser aplicable en distintos contextos y momentos, incorporando los criterios de los expertos, dándole mayor flexibilidad y fiabilidad al proceso.

2.2 Modelo computacional para la recomendación de roles en el proceso de ubicación de estudiantes en la industria de software

El proceso de ubicación de los estudiantes en un rol es un proceso de selección de personal con características particulares donde es importante el tratamiento de la incertidumbre en la solución a considerar de acuerdo a lo identificado en los estudios realizados por la autora.

En la decisión multicriterio, se tienen un grupo de alternativas y criterios sobre los cuales los expertos establecen sus preferencias para escoger una de las alternativas. La información brindada por estos expertos se agrega, y se escoge entonces la alternativa de mayor preferencia. Para un estudiante se tiene un grupo de alternativas que son los roles, para evaluar estas alternativas se tienen las competencias definidas para cada rol y que constituyen los criterios, por tanto se hace necesario contar con la evaluación del estudiante en esas competencias.

En un problema de TDMC tradicional se construye una matriz con la evaluación de expertos para cada competencia del estudiante. La necesidad fundamental del PUR es poder emplear la información que existe del estudiante para obtener una valoración o predicción del nivel de desarrollo de sus competencias. A partir de los puntos de contacto con el PSP es necesario antes de

tomar la decisión, ordenar las alternativas de acuerdo a su cercanía con cada rol. La ubicación del estudiante no es un proceso en el que se seleccione el estudiante más apto para el rol; es un problema que debe satisfacer las necesidades de la producción en el aprovechamiento de las capacidades del estudiante y las necesidades de la formación que suponen la vinculación de todos los estudiantes al proceso productivo como parte de su Práctica Profesional. Estos elementos llevan a la necesidad de un modelo para la recomendación de roles en el proceso de ubicación de estudiantes que permita aprovechar la información de su desempeño previo.

Planteamiento del problema

En el PUR se tiene un grupo de estudiantes $C = \{C_1, \dots, C_m\}$, $m > 0$, $m \in \mathbb{N}$, de los que se conoce información que lo caracteriza. Para el estudiante C_j sería un conjunto de atributos:

$$C_j = \{c_{j,1}, c_{j,2}, \dots, c_{j,p}\}, p > 0, p \in \mathbb{N}, 1 \leq j \leq m \quad (1)$$

cada atributo define las evaluaciones obtenidas por el estudiante en ese criterio.

Además se cuenta con el grupo de roles en los que se ubica a los estudiantes definidos como $R = \{R_1, \dots, R_n\}$, $n > 0$, $n \in \mathbb{N}$. Cada rol R_i cuenta con atributos que representan los aspectos del perfil de competencias, requerimientos para la decisión que se denotan como:

$$R_i = \{r_{i,1}, r_{i,2}, \dots, r_{i,q}\}, q > 0, q \in \mathbb{N}, 1 \leq i \leq n \quad (2)$$

cada atributo se define en el dominio de los niveles de desarrollo deseados para cada competencia.

Para el rol se cuenta con los niveles de certificación, los que se definen a partir de diferentes combinaciones de niveles de desarrollo requeridos. Los niveles se expresan como:

$$R_i^l = \{r_{i,1}^l, \dots, r_{i,q}^l\}, 1 \leq i \leq n, l > 0, l \in \mathbb{N} \quad (3)$$

donde l representa uno de los niveles deseados del rol, i es el Rol al que se refiere.

En el PUR interviene un grupo de expertos $E = \{E_1, \dots, E_u\}$, $u > 0$, $u \in \mathbb{N}$, con sus creencias,

conocimientos y experiencias, lo que propicia diferencias al emitir las valoraciones o criterios.

A partir de la caracterización del PUR y los estudios realizados sobre la TD y la computación con palabras, se propone un modelo de ayuda a la TDMC bajo incertidumbre que a partir de una predicción del desempeño del estudiante en los roles, recomienda un orden para su asignación. Esta predicción se realiza utilizando las evidencias de su desempeño y transformándolas en una proyección de su desempeño en el rol. Las primeras ideas del modelo [152] sirvieron de base para el desarrollo de un modelo computacional para la recomendación de roles en el proceso de ubicación de los estudiantes (MCR).

2.2.1 Principios del modelo

El modelo elaborado se sustenta sobre los siguientes principios:

- 1. Modelación lingüística de la información.** Permite tratar la información cualitativa y la incertidumbre que representa la presencia de criterios de expertos.
- 2. Utilización de operadores de agregación.** Permite integrar información de diversas fuentes y obtener valoraciones de los criterios de decisión para lograr una decisión de consenso.
- 3. Utilización de ponderación en la agregación.** Para garantizar la fiabilidad y flexibilidad del modelo es necesario considerar las diferencias de los expertos, sin desechar ningún criterio.
- 4. Utilización de métodos de ordenamiento o índices de comparación.** En los métodos de decisión para la selección de la mejor alternativa es usual el empleo de métodos de ordenamiento, estos permiten recomendar en función de los criterios definidos.
- 5. La recomendación se expresa con palabras:** el resultado estará expresado en palabras para que pueda ser interpretado de manera natural por los decisores.

2.2.2 Definiciones y bases teóricas del modelo

Según los principios definidos, el análisis de la información útil para el proceso [153], el estudio

realizado en el primer capítulo sobre las tendencias en la solución del PSP [154], las técnicas de soft computing [155], los métodos de toma de decisión y la computación con palabras, se arriba a conclusiones que permiten establecer los fundamentos teóricos del modelo sobre la base de la teoría de la decisión y el modelado lingüístico.

- **Para el modelado de la información:** Teoría de conjuntos borrosos [80], definición de Conjuntos Borrosos (Definición 1), definición de Variable Lingüística (Definición 2), las técnicas de soft computing y la computación con palabras tratado en el epígrafe 1.3.1 y el modelado lingüístico tratado en los epígrafes 1.3.3 y 1.3.6 del capítulo 1.
- **Para la operatoria:** definición de Operador de Agregación (Definición 4), definición de Operador Media (Definición 5) y definición de Distancia (Definición 7).
- **Para el consenso:** elementos estudiados en el epígrafe 1.4.1 del capítulo 1.
- **Para el ordenamiento:** métodos de ordenamiento basados en distancia (Definición 7) y lo tratado en el epígrafe 1.3.5 del capítulo 1.

2.2.3 Descripción general del modelo

Se toma como referencia para la construcción del modelo el esquema planteado por Herrera [128], que describe las actividades a desarrollar como parte de un modelo lingüístico de decisión para operar con palabras. La representación gráfica del MCR se muestra en la figura 2.2.

El **objetivo principal** del MCR es brindar la recomendación del orden de los roles a partir de representar el razonamiento de los decisores al analizar la información existente del desempeño del estudiante y su predicción del desempeño en los roles.

Las **funciones principales** están relacionadas con brindar un marco de trabajo que permita el análisis de la información que aparece como resultado de la formación del estudiante para predecir su desempeño en el rol; este se concreta en la cercanía a los niveles deseados en cada rol. Brindar

los criterios de ayuda a la toma de una decisión informada en la ubicación del estudiante, que contribuya al desarrollo de sus competencias profesionales: esto se concreta en la predicción del estado en cada atributo del rol, la cual puede ser tomada como un diagnóstico inicial que describe la brecha entre el nivel del estudiante y el deseado para el rol. Contar con esta información permite el diseño de planes de formación ajustados a las necesidades del estudiante.

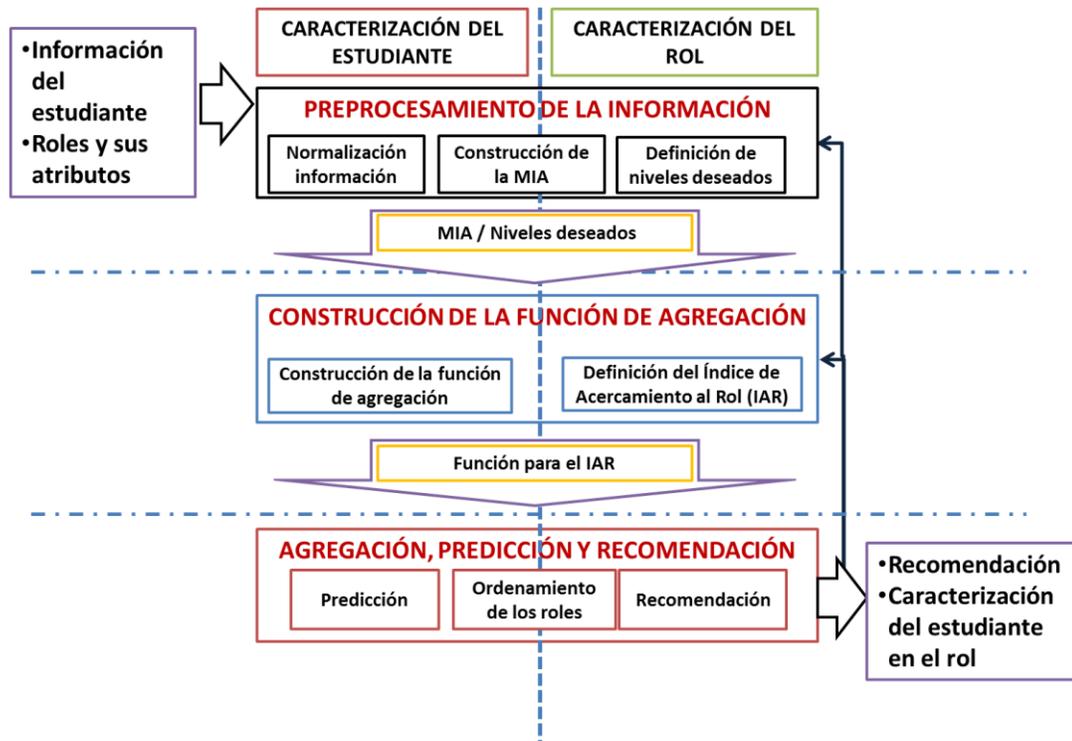


Figura 2.2: Modelo Computacional para la Recomendación de Roles (Elaboración propia).

La información de entrada y salida del modelo

Las entradas del modelo son los elementos que componen la caracterización de los estudiantes y los roles. La **caracterización de un estudiante** se define en sus atributos según (1). La información de todos los estudiantes se almacena en una matriz donde las filas representan los estudiantes y las columnas sus atributos, en la intersección se almacena $c_{j,s}$, valor del atributo s para el estudiante j .

$$\begin{matrix}
C_1 \\
C_2 \\
\vdots \\
C_m
\end{matrix}
\begin{bmatrix}
c_1 & c_2 & \dots & c_p \\
c_{1,1} & c_{1,2} & \dots & c_{1,p} \\
c_{2,1} & c_{2,2} & \dots & c_{2,p} \\
\vdots & \vdots & \dots & \vdots \\
c_{m,1} & c_{m,2} & \dots & c_{m,p}
\end{bmatrix}
\text{ donde } p > 0 \text{ y } m > 0 \quad (4)$$

La información de entrada referente a la **caracterización del rol** se representa mediante los atributos de los roles según (2).

Como salidas se obtiene la **recomendación de los roles**, según el Índice de Acercamiento al Rol (IAR) calculado. El IAR, definido en la presente investigación, indica la medida en que el estudiante valorado se acerca o se parece a los niveles deseados para cada rol. Es calculado un IAR del estudiante respecto al rol y se hace corresponder con la variable lingüística Nivel de Cercanía al Rol (NCR) que se define empleando el lenguaje de los decisores. Se ordena de menor a mayor en función del rol al que el estudiante esté más cercano, representando esta cercanía el nivel de éxito que pueda tener. Se obtiene para cada estudiante el orden de la recomendación de los roles representado por: $(R_i, NCR_{j,i})$, donde R_i es el rol y $NCR_{j,i}$ es el nivel de cercanía para el candidato j . Los elementos de la fila se ordenan de menor a mayor según el segundo elemento de la tupla. Para el candidato j la recomendación sería:

$$\{(R_i, NCR_{j,i})\} \text{ donde } 1 \geq j \geq m, 1 \geq i \geq 0 \quad (5)$$

Caracterización del estudiante en el rol: según la valoración realizada en cada rol se establece una caracterización conformada por la predicción de los niveles de desarrollo de cada atributo del rol para el estudiante, estos elementos definen un punto de partida para elaborar su plan de formación.

$$CR_i^j = \{r_{i,1}^j, r_{i,2}^j, \dots, r_{i,q}^j\} \quad (6)$$

donde $r_{i,t}^j$ es el Nivel de Desarrollo (ND) del estudiante j en la competencia t del rol i . Esta caracterización puede ser tomada como un diagnóstico inicial.

Variables lingüísticas involucradas en el modelo

Se proponen las variables lingüísticas:

- **Evaluación (EVA):** representa la información de entrada que caracteriza al estudiante, la evaluación que tiene el estudiante en cada uno de sus atributos.
- **Nivel de Desarrollo (ND):** describe los niveles de desarrollo de los criterios del rol.
- **Nivel de Incidencia (NI):** representa los niveles de incidencia que tienen los atributos del estudiante en el desarrollo de los criterios del rol. Esta relación de incidencia permite transformar la información a una valoración del nivel de desarrollo.
- **Nivel de Cercanía al Rol (NCR):** representa la cercanía del estudiante respecto a los niveles deseados para cada rol. Describe la distancia obtenida en el IAR.

Las variables se describen sin especificar su representación ya que el modelo propuesto se abstrae de la representación utilizada para las variables, así como de los términos lingüísticos definidos. La restricción impuesta para esta definición es que se determinen los términos en el universo de discurso $[0,1]$. Esto debe ser ajustado de acuerdo al contexto en que se aplique el modelo. A partir de estos elementos se describen los componentes del MCR.

2.2.4 Descripción de los componentes del modelo

La relación entre los diferentes componentes del modelo se establece a partir de la información que se define como entrada y salida en cada uno de ellos, para lograr realizar la función principal del modelo y cumplir con su objetivo.

El primer componente del modelo es el **Preprocesamiento de la información** en el que se realizan las siguientes acciones:

- **Normalizar la información del estudiante:** transformar la información a un mismo dominio, de manera que puedan ser empleados operadores de agregación.

- **Obtener la Matriz de Incidencia Agregada (MIA):** Se obtiene una matriz que integra en una solución de consenso el criterio de los expertos sobre la incidencia de la información existente (atributos del estudiante) sobre los criterios de decisión (atributos del rol).
- **Definir los niveles deseados en cada rol:** se definen para cada rol que puede ocupar el estudiante los niveles de desarrollo deseados en cada competencia, esto es utilizado en la comparación para obtener una valoración del nivel del estudiante en el rol y la recomendación para la ubicación.

La **normalización de la información del estudiante** se realiza solo en casos donde la información de entrada no está modelada sobre una única variable lingüística.

Generalmente la información con que se cuenta es heterogénea, pueden ser valores numéricos y cualitativos. Es necesario transformar la información a un único dominio representado por la variable lingüística Evaluación, la cual está definida en el intervalo [0,1]. Si existe información cualitativa, la definición de esta variable debe estar en función de los términos empleados en estos atributos, en caso contrario se definen los términos según se considere adecuado para el problema.

Según estos elementos es necesario realizar la normalización de los atributos numéricos solamente, para lo cual se definen dos pasos basados en el algoritmo para la agregación de información heterogénea planteado por Martínez [76]:

- Convertir los valores numéricos en valores en el intervalo [0,1].
 - Asociar el valor numérico a la variable lingüística Evaluación.
- a) Para convertir el valor numérico de entrada en un valor en el intervalo [0,1], se define una función para la normalización por el valor máximo:

$$cn_{j,s} = \frac{c_{j,s}}{c_{\max_s}} \quad (7)$$

donde $cn_{j,s}$ es el valor normalizado del atributo s del candidato j , $c_{j,s}$ es el valor del atributo s del candidato j y el c_{\max_s} es el valor máximo posible del atributo s .

- b) La asociación del valor numérico obtenido al término lingüístico de la variable Evaluación se realiza mediante el empleo de las funciones de pertenencia. La representación del término estará en correspondencia las definiciones asociadas al contexto de aplicación del modelo.

Toda esta información se organiza en $C_j = \{c_{j,1}, \dots, c_{j,s}, \dots, c_{j,p}\}$, siendo $c_{j,s}$, el valor normalizado del atributo p del estudiante j obtenido de (7), estos valores se expresan en los términos de la variable lingüística EVA.

La **construcción de la Matriz de Incidencia Agregada (MIA)**, constituye uno de los principales aportes de la investigación, basada en las insuficiencias de los MCDM identificadas en el capítulo 1. Es un paso clave en la valoración de las competencias. Para realizar esta valoración es necesario establecer la relación que existe entre los atributos del estudiante y los del rol, representado por el nivel de incidencia que tiene c_s sobre cada $r_{i,t}$, considerado el nivel de incidencia.

Para la obtención del nivel de incidencia, considerando el diagnóstico realizado al PUR en el que se identifica el análisis que algunos decisores hacen sobre los resultados académicos, es necesario extraer el criterio de los expertos que responde a la pregunta *¿En qué medida el experto k considera que el desarrollo del atributo s puede influir en el desempeño de la competencia t del rol i ?*. Esto se registra en una matriz de incidencia (MI) por cada experto, representada según (8), donde el valor de $ni_{t,s}^k$ $1 \leq s \leq q$, $1 \leq t \leq p$ responde a la pregunta:

$$MI_k = \begin{matrix} & & c_1 & c_2 & \dots & c_p \\ \begin{matrix} r_{1,1} \\ r_{i,t} \\ \vdots \\ r_{n,q} \end{matrix} & \left[\begin{matrix} ni_{1,1}^k & ni_{1,2}^k & \dots & ni_{1,p}^k \\ ni_{t,1}^k & ni_{t,2}^k & \dots & ni_{t,p}^k \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ ni_{q,1}^k & ni_{q,2}^k & \dots & ni_{q,p}^k \end{matrix} \right] \end{matrix} \quad (8)$$

Del procesamiento de las MI_k agregando la información se obtiene la Matriz de Incidencia Agregada (MIA), niveles de incidencia que se utilizan en la transformación de la información. Esta matriz se representa como:

$$MIA = \begin{matrix} & & c_1 & c_2 & \dots & c_p \\ \begin{matrix} r_{i,1} \\ r_{t,2} \\ \vdots \\ r_{i,q} \end{matrix} & \begin{bmatrix} NIA_{1,1} & NIA_{1,2} & \dots & NIA_{1,p} \\ NIA_{t,1} & NIA_{t,2} & \dots & NIA_{t,p} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ NIA_{q,1} & NIA_{q,1} & \dots & NIA_{q,p} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (9)$$

Para la construcción de la MIA a partir de la información dada por los expertos se deben tener en cuenta los siguientes elementos:

- Diferencias de conocimientos y experiencias de los expertos: en función de esto se captura la información de las personas que conocen del proceso en distintas escalas valorativas y se define un mecanismo que permite dar un peso diferenciado a los expertos.
- Se debe tener consenso en los criterios de la MIA obtenida: en función de esto se define un algoritmo que determina un nivel de consenso y el umbral que se requiere cumplir para aceptar la solución.
- Un experto puede no tener criterio sobre la incidencia de todos los atributos por lo que se analiza la necesidad de completar la información ausente.

Para la obtención de la MIA intervienen en el proceso varios expertos $E = \{e_1, \dots, e_t\}$, en función de tener en cuenta los distintos niveles de conocimiento y experiencia cada $e_k, 1 \leq i \leq t$, se facilita que escoja su escala valorativa propia para expresar su criterio. Se considera que la escala valorativa está conformada por un conjunto de términos lingüísticos ordenados, estas escalas valorativas constituyen varias definiciones de la variable lingüística Nivel de Incidencia:

$$EV = \{tl_1, \dots, tl_n\}, n > 1 \text{ e impar} \quad (10)$$

la escala valorativa de e_k se denota como EV_k . Cada e_k proporciona una matriz como la (8)

conformada de acuerdo a su EV_k . La matriz de incidencia de e_k se denota por MI_k , $1 \leq k \leq u$.

En la construcción de esta matriz el primer paso consiste en obtener la información de los expertos.

Se entrega un instrumento como el que se muestra en el Anexo 4 en el cual el experto define la escala valorativa a utilizar para opinar sobre la incidencia de los atributos y expresa su criterio. La posibilidad de emplear distintas escalas valorativas conlleva a la necesidad de tratar información multigranular. Es necesario unificar los términos lingüísticos, para lo que se propone utilizar el algoritmo presentado por Herrera [130]. Este define que para realizar la unificación de los términos lingüísticos se realizan tres pasos [132], de los cuales se proponen en el MCR:

- a) Escoger el conjunto base de términos lingüísticos (BLTS) para unificar la información lingüística multigranular: para el conjunto base de términos lingüísticos se escoge el de mayor cardinalidad de las escalas valorativas EV_k de los expertos, o uno de cardinalidad mayor a todos los que se utilizaron, de manera que se transforme hacia este conjunto, el BLTS se denomina Nivel de Incidencia NI_t .
- b) Transformar la información lingüística multigranular en conjuntos borrosos en el BLTS: la transformación se hace mediante el principio de extensión o la traslación simbólica. A partir de la representación que se haya decidido utilizar se debe definir una función que permita esta transformación:

$$h(EV_k, NI_t) \tag{11}$$

Para la agregación de las MI_k es necesario tener en cuenta las diferencias entre los expertos suponiendo para ello dos alternativas. Una alternativa es agregar la información que se tiene considerando a los expertos como un grupo homogéneo, lo cual entraría en contradicción con el tercer principio del modelo. La alternativa más adecuada de acuerdo a los principios del modelo es dar un peso diferenciado a los expertos de acuerdo a sus conocimientos y experticia.

Para determinar la Matriz de Incidencia Agregada (MIA) se agrega la información que cada experto brindó sobre la relación de los atributos del estudiante y del rol. La construcción de la MIA se hace a partir de un operador de agregación que determine el nivel de incidencia agregada $NIA_{t,s}$. La función que determina el $NIA_{t,s}$ se define empleando un operador media aritmética ponderada:

$$NIA_{t,s} = \frac{\sum_{k=1}^u ni_{t,s}^k w_k}{\sum_{k=1}^u w_k} \quad (12)$$

donde $NIA_{t,s}$ es el nivel de incidencia agregada, $ni_{t,s}^k$ es el criterio expresado por el experto k y w_k el peso del experto.

Esta debe ser una solución que muestre un grado de consenso adecuado. A partir de los elementos estudiados en el capítulo 1, se debe definir un grado de consenso adecuado a los requisitos del problema que se modele, para lo que se recomiendan seguir las sugerencias identificadas en el estudio mostrado en el capítulo 1 sobre establecer grados de consenso por encima 0,5, de manera que más del 50% de los expertos refieran consenso en la información obtenida.

Para determinar el grado de consenso en el MCR se emplea el método que propone un decisor principal (central) y una medida de proximidad basada en la distancia respecto al decisor principal. Las opiniones del decisor principal se construyen a partir de la media de los criterios de los expertos para lo que se utiliza la expresión definida en (12), según esta ecuación es necesario definir un peso para cada experto. Hasta este momento no se tienen elementos para determinar el peso, por lo que se agrega considerando a todos los expertos por igual, determinado por:

$$w_k = \frac{1}{u} \quad (13)$$

donde u es la cantidad de expertos.

La distancia para determinar el grado de consenso se define tomando como base Hamming:

$$D(MI_k, MIA_g) = \frac{\sum_{s=1}^p \sum_{t=1}^q d(ni_{t,s}^k, NIA_{s,t})}{CA_k} \quad (14)$$

donde MIA_g es la MIA obtenida dentro del grupo.

En la relación de los atributos del estudiante y los atributos del rol generalmente los expertos opinan sobre grupos de atributos asociados a elementos formativos o del proceso productivo y no sobre todos los atributos de la matriz, por lo que los expertos pueden agruparse según estos grupos de atributos. El consenso y el peso de los expertos deben ser considerados dentro de estos grupos que es donde los expertos se encuentran en igualdad de condiciones para ser analizados.

Los grupos de expertos representan las partes en las que se puede subdividir la matriz de incidencia de acuerdo a los atributos sobre cuya incidencia opinan, esta opinión se representa por un vector donde el valor de x_i , $1 \leq i \leq u$ contiene 1 si el experto opinó sobre ese criterio y 0 en caso contrario. La matriz contendría la información de todos los expertos y se denomina matriz de opinión $MO_{u \times p}$, $q > 0$, $p > 0$.

$$MO = \begin{matrix} & & c_1 & \cdots & c_p \\ e_1 & [& x_{1,1} & \cdots & x_{1,p}] \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_u & [& & \cdots & x_{u,p}] \end{matrix} \quad (15)$$

A partir de esta matriz se conforman los grupos de expertos utilizando un algoritmo de agrupamiento que puede ser jerárquico, de particionamiento u otro, según sean las características del problema [156]. Uno de los más recomendados es el uso de K-Means o algunas de sus variantes [157]. El K-Means es el empleado en el MCR. Dentro de estos grupos se debe determinar la medida de consenso que es comparada con el umbral definido así como el peso de los expertos para la obtención de la MIA.

Para determinar el consenso y el peso de los expertos, una vez creados los grupos de expertos, se realiza una primera agregación con el peso inicial determinado en (13) empleando la expresión (12).

Como resultado se obtiene una Matriz de Incidencia Agregada por cada grupo MIA_g , donde g representa el grupo.

En la agregación se considera que deben ser ignorados los datos ausentes, teniendo en cuenta los estudios realizados sobre el tratamiento de información ausente. Esta decisión se fundamenta en que sustituir un criterio puede influir en los resultados de la incidencia que relaciona dos atributos e ignorarlo no tiene implicaciones significativas en el resultado.

Dentro de cada grupo se toma como decisor principal la MIA_g y se determina el grado de consenso mediante la expresión (14); mientras este grado de consenso sea menor al definido para el problema se continua la interacción con los expertos. Una vez obtenido un grado de consenso superior o igual al definido se considera que la solución que se obtendrá en la MIA es una solución de consenso.

Para determinar el peso de los expertos se define una función que utiliza la distancia determinada para el grado de consenso, considerando que a menor distancia, mayor semejanza en el criterio y por tanto mayor peso para el experto:

$$w_k = 1 - D(MI_k, MIA_g) \quad (16)$$

A partir de la determinación de los w_k se construye la MIA, con las MI_k y la función definida en (12). La matriz de incidencia obtenida describe la relación de incidencia de c_s sobre r_t de acuerdo a la pregunta planteada a los expertos. El esquema general se muestra en la figura 2.3.

Esta matriz constituye uno de los principales aportes de la investigación. Facilita la transformación de la información existente en valoraciones de los criterios de decisión, a la vez que permite, en el contexto del problema planteado, establecer una relación entre el desempeño académico y el desempeño profesional del estudiante a partir de representar el proceso que ejecutan los decisores en su mente cuando se enfrentan a la pregunta: ¿cuál será el desempeño en este rol si ha obtenido estos resultados?. En el Anexo 5 se describen los algoritmos en pseudocódigo.

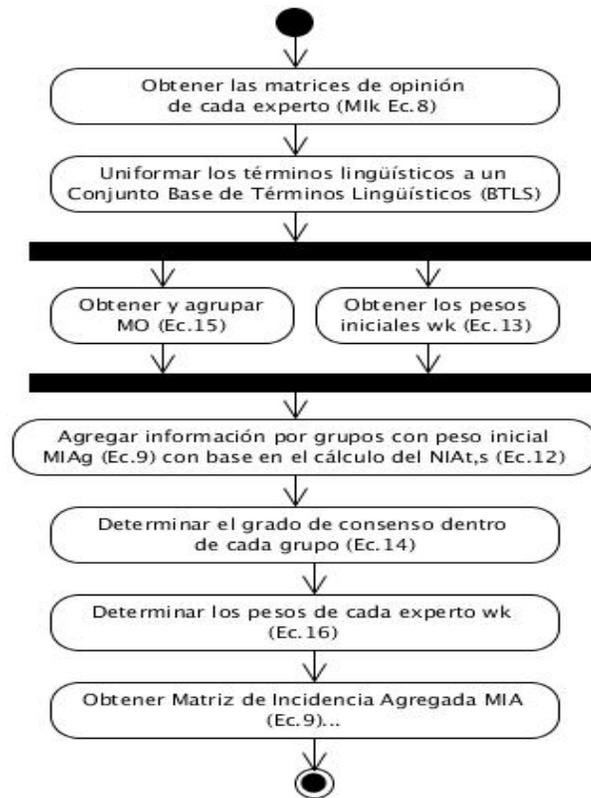


Figura 2.3: Esquema para la obtención de la Matriz de Incidencia Agregada (Elaboración propia).

Obtenida la MIA es necesario definir de los niveles de desarrollo deseados para cada competencia en cada rol, en función de los cuales se determinará el índice de acercamiento. El nivel deseado para un rol se expresa según la expresión (3). Para cada rol pueden definirse varias combinaciones de niveles deseados. Los niveles deseados de todos los roles se representan en una matriz.

$$\begin{matrix}
 & ar_1 & ar_2 & \dots & ar_q \\
 R_i^1 & \left[\begin{matrix} r_{i,1}^1 & & \dots & r_{i,q}^1 \end{matrix} \right. \\
 R_i^2 & \left[\begin{matrix} r_{i,1}^2 & & \dots & r_{i,q}^2 \end{matrix} \right. \\
 \vdots & \left[\begin{matrix} \vdots & \vdots & \dots & \vdots \end{matrix} \right. \\
 R_i^l & \left[\begin{matrix} r_{i,1}^l & & \dots & r_{i,q}^l \end{matrix} \right.
 \end{matrix} \quad \text{donde } q > 0, i > 0 \text{ y } l > 0 \quad (17)$$

En esta matriz las filas representan los niveles deseados para el rol, las columnas, los atributos del rol y la intersección el nivel de desarrollo del atributo para ese nivel deseado expresado en ND.

Como salida del componente se tienen los atributos del estudiante normalizados, MIA y la matriz con los niveles deseados para cada rol. El esquema de la figura 2.4 muestra el algoritmo de este

componente del modelo.

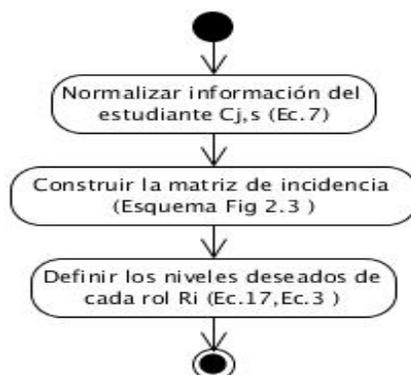


Figura 2.4: Algoritmo del Preprocesamiento de la información. (Elaboración propia)

Como resultado del componente se tiene normalizada la información de entrada en función de la variable lingüística Evaluación, se construye la matriz de incidencia agregada que relaciona los atributos del estudiante con los atributos del rol y se definen los niveles deseados para cada rol.

Componente Construcción de las funciones para la recomendación

El objetivo principal del componente es la construcción de las funciones que se necesitan para el procesamiento de la información y obtención de criterios para la recomendación.

- **Construir la función de agregación**, permite transformar los valores de los atributos del estudiante en una predicción de su estado actual respecto a los atributos del rol. Se construye una función por cada rol y una función por cada atributo del rol.
- **Definir el Índice de Acercamiento al Rol ($IAR_{j,i}$)**, función que define cuán cerca o lejos está el estudiante del rol i -ésimo; se calcula a partir de los niveles deseados y de la valoración realizada de cada atributo.

Para comparar la situación actual del estudiante con los niveles deseados y establecer un orden y recomendación de los roles, es necesario transformar la información de los estudiantes en una valoración de cuál puede ser su comportamiento en el rol. Para ello se construye una función que permite la transformación de los atributos del estudiante en una valoración de los atributos del rol.

Las funciones definidas para esta transformación constituyen aportes importantes de la investigación, son las que permiten obtener valoraciones de las alternativas en los criterios de decisión a partir de información que existe y es útil para ello. Para realizar esta transformación se agrega la información del estudiante a partir de la relación de incidencia obtenida en MIA; esta incidencia actúa como un peso en la agregación.

$$f(C_j) = C_i^j \quad (18)$$

f recibe los valores de todos los $c_{j,s}$ y los transforma en valoraciones de los $r_{i,t}$:

$$f(c_{j,1}, c_{j,2}, \dots, c_{j,p}) = (r_{i,1}^j, r_{i,2}^j, \dots, r_{i,q}^j) \quad (19)$$

Esta transformación se realiza a partir de la obtención de cada $r_{i,t}$ para el estudiante j :

$$r_{i,t}^j = g_{i,t}^j(c_{j,1}, c_{j,2}, \dots, c_{j,p}) \quad (20)$$

La función $g_{i,t}^j(C_j)$ que permite esta transformación se define sobre la base de un operador media:

$$r_{i,t}^j = g_{i,t}^j(C_j) = \frac{\sum_{s=1}^p (c_{j,p} \times NIA_{t,s})}{\sum_{s=1}^p (NIA_{t,s})} \quad (21)$$

donde $g_{i,t}^j(C_j)$ es una función que se construye para cada atributo del rol y agrega el resultado de la incidencia obtenida en MIA con los valores del estudiante en sus atributos. Como resultado de esta transformación se obtiene una predicción del desempeño del estudiante en los atributos del rol que se representa según la expresión (6).

El próximo paso es ordenar los roles por cercanía a los niveles deseados, para lo cual propone emplear un método basado en distancia. A partir de la predicción del desempeño del estudiante en los atributos del rol expresada según (6) y los niveles deseados para cada rol según (17), el $IAR_{j,i}$ se define como la medida de cercanía del estudiante j a los niveles deseados para el rol i . Con base en las propuestas que Gil [62] describe para la selección de personal empleando la lógica borrosa,

se define el $IAR_{j,i}$ mediante una función de similitud. En el planteamiento del problema y la descripción de la actividad de definición de los niveles deseados se especifica la posibilidad de tener varias combinaciones para un mismo rol. De acuerdo a estos elementos se define el $IAR_{j,i}$ como:

$$IAR_{j,i} = \frac{\sum(IAR_{j,i}^l)}{cd} \quad (22)$$

$$IAR_{j,i}^l = \delta(C_i^j, R_i^l) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n d(r_{i,t}^j, r_{i,t}^l) \quad (23)$$

$$d(r_{i,t}^j, r_{i,t}^l) = \begin{cases} 0, & r_{i,t}^j \geq r_{i,t}^l \\ r_{i,t}^j - r_{i,t}^l, & r_{i,t}^j < r_{i,t}^l \end{cases} \quad (24)$$

Siendo cd la cantidad de niveles deseados y l el nivel deseado para el rol i .

La expresión del $IAR_{j,i}$ se puede redefinir de acuerdo a las características del problema que se solucione, pudiendo determinarse por el máximo o el mínimo de los $IAR_{j,i}$. La información resultante se expresa en términos lingüísticos para una mejor comprensión por los decisores y respetar así los principios del modelo. Asociado al IAR se define la variable lingüística NCR que describe el nivel de cercanía de acuerdo al índice obtenido.

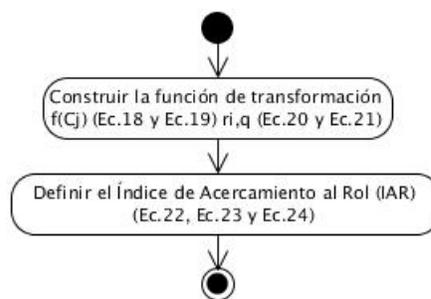


Figura 2.5: Algoritmo de Construcción de las funciones para la recomendación. (Elaboración propia)

Componente Agregación, predicción y recomendación

El objetivo es la transformación, predicción y recomendación de los roles de los estudiantes.

- Transformar la información del estudiante en valoraciones que predicen su desempeño

profesional: Se evalúan las funciones que permiten la transformación de la información del estudiante en valoraciones que predicen su nivel en las competencias del rol.

- **Predecir el desempeño del estudiante respecto a cada rol:** Se evalúa la función definida para el cálculo del IAR.
- **Ordenar los roles en función del IAR:** Se ordenan los roles para los estudiantes de acuerdo al IAR obtenido.
- **Conformar la recomendación y caracterización del estudiante:** Se conforma una caracterización del estudiante que contiene la valoración del desempeño en las competencias obtenida a partir de la transformación de la información del estudiante. Se asocia el valor de *IAR* a la variable NCR para conformar la recomendación.

Para realizar la transformación es necesario evaluar la función (19) y (21), como resultado se obtiene un valor que representa la predicción del desempeño del estudiante en las competencias del rol. Estos elementos constituyen la caracterización del estudiante (6).

Para predecir su desempeño en el rol, expresado mediante la cercanía del estudiante a los niveles deseados del rol, se calcula el $IAR_{j,i}$ evaluando (22), (23) y (24).

El orden de los roles se obtiene de la comparación entre los $IAR_{j,i}$. Este proceso ordena de menor a mayor, mientras menor sea el $IAR_{j,i}$ menor es la distancia entre la predicción del estado actual del estudiante y los niveles deseados, siendo $\{1, 2, \dots, n\}$ el orden de los roles y se expresa como:

$$IAR_{j,i}^1 \geq IAR_{j,i}^2 \geq \dots \geq IAR_{j,i}^n \quad (25)$$

La asociación con el NCR parte del valor obtenido del $IAR_{j,i}$, se realiza de acuerdo a la función de pertenencia escogida para la variable lingüística y la representación definida.

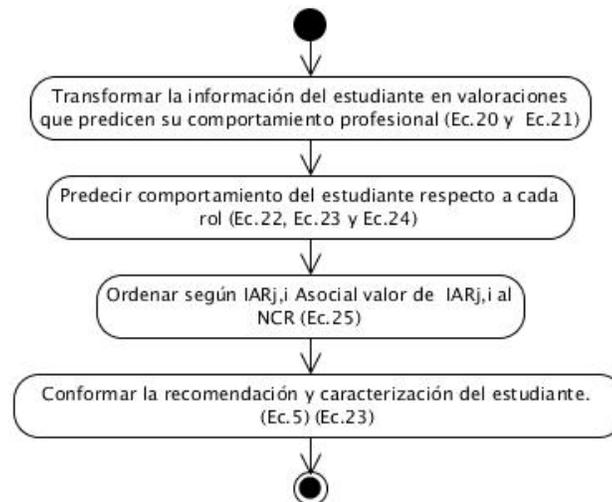


Figura 2.6: Algoritmo de la Agregación, predicción y recomendación. (Elaboración propia)

La recomendación se conforma a partir del orden de los roles. La caracterización del estudiante está formada por la valoración obtenida de cada atributo del rol, resultado de la evaluación de la función de transformación (19) y (21). De esta forma se obtienen las salidas del modelo representadas según las expresiones (5) y (6). El algoritmo del componente se presenta en la figura 2.6.

2.3 Metodología para la ubicación de estudiantes en roles

A partir del modelo se elaboró una metodología para la ubicación de estudiantes en roles (MUERP) que define un conjunto de fases y actividades que están en correspondencia con las entradas, salidas y componentes del modelo. Esta metodología brinda el marco para la realización del proceso de ubicación de estudiantes empleando la información resultante del modelo.

2.3.1 Requisitos y descripción general de la metodología

Para la aplicación de la metodología es necesario se cumplan con los siguientes **requisitos**:

- Que exista una industria donde ubicar al estudiante.
- Contar con las evidencias del estudiante que constituyen sus atributos.
- Existencia de los perfiles de competencia de los roles que pueden ocupar los estudiantes.
- Contar con el grupo de expertos que brinde los criterios para construir la MIA.

- Contar con la aplicación informática que implemente los algoritmos definidos en MCR.

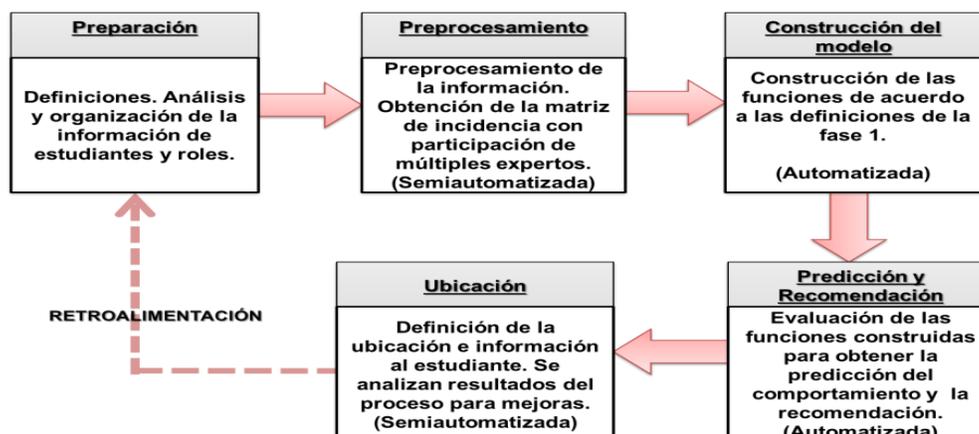


Figura 2.7: Esquema de Fases de la Metodología. (Elaboración propia)

Las fases de la metodología son: **Preparación, Preprocesamiento, Construcción del modelo, Predicción y recomendación y la fase de Ubicación.** Estas fases se definen en función de realizar las actividades del proceso de ubicación que utiliza el modelo para predecir el desempeño profesional del estudiante y recomendar los roles a partir de los resultados obtenidos durante la formación.

Las actividades que se definen en cada una de las fases de la metodología no necesariamente tienen que ser realizadas en cada proceso de ubicación, algunas están definidas para contextualizar los elementos del modelo que es necesario adecuar o definir para cada problema en particular. Estas actividades solo se requiere realizarlas la primera vez que se aplica la metodología y en posteriores procesos donde sea necesario introducir cambios.

2.3.2 Descripción de las fases

Fase1: Preparación

Entradas: Evidencias del estudiante (asignaturas, diagnósticos), perfiles de competencia de los roles, lista de roles en los que deben ser ubicados.

Salidas: Lista de atributos del estudiante, lista de roles y sus atributos.

Descripción general: Se garantizan la información para la realización del proceso de ubicación y las entradas requeridas por el modelo. Se realiza su revisión en función de garantizar que la información a tener en cuenta para la ubicación sea suficiente.

Esquema:

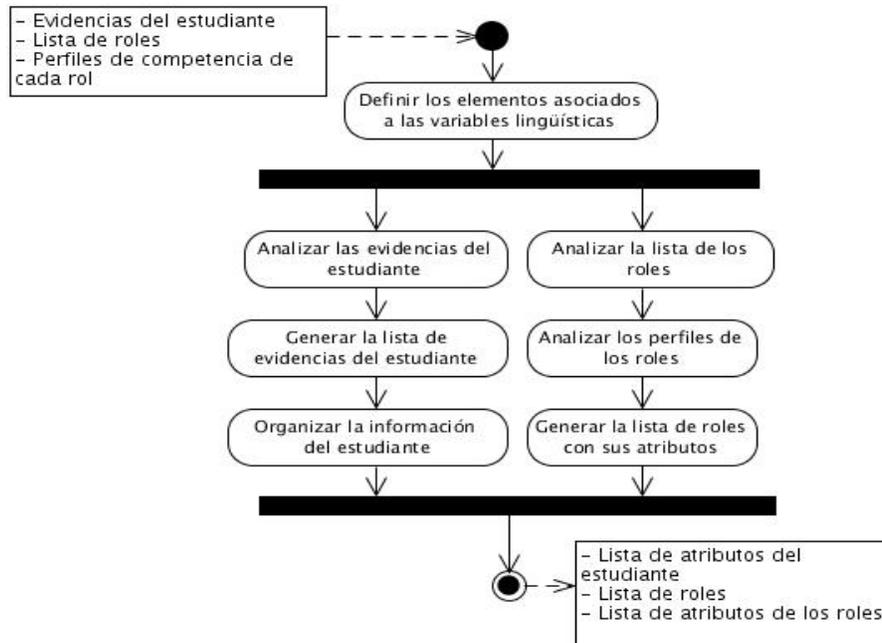


Figura 2.8: Esquema de la Fase 1: Preparación. (Elaboración propia)

Fase 2: Preprocesamiento

Entradas: Atributos del estudiante, Atributos del Rol, Lista de roles.

Salidas: Niveles deseados de cada rol, Matriz de Incidencia Agregada, Atributos normalizados del estudiante.

Descripción general: En esta fase se realizan las actividades relacionadas con el componente de preprocesamiento de la información definido en el modelo. La información del estudiante se normaliza y se establecen los niveles deseados de cada rol. Se construye la matriz de incidencia agregada resultado del consenso de los expertos respecto a la incidencia de los atributos del estudiante sobre los atributos del rol. Esta fase debe ser semiautomatizada ya que durante ella se

debe interactuar con los expertos hasta obtener un umbral de consenso que se considere adecuado.

Esquema:

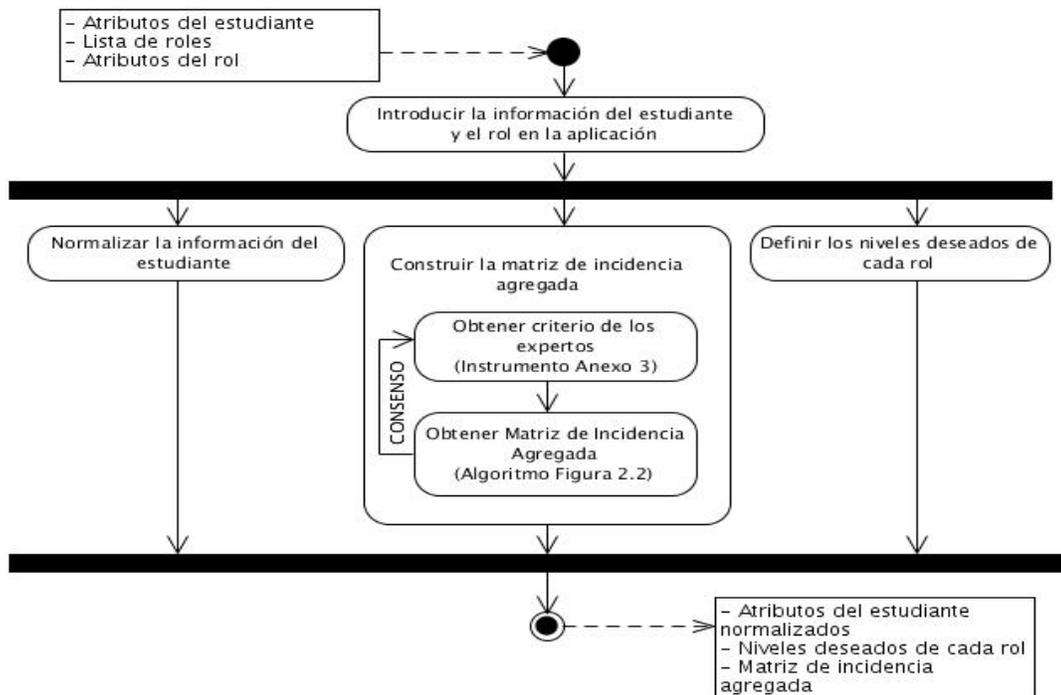


Figura 2.9: Esquema de la Fase 2: Preprocesamiento. (Elaboración propia)

Fase 3: Construcción del modelo

Entradas: Atributos del estudiante, atributos del Rol, Lista de roles y Matriz de Incidencia Agregada.

Salidas: Función de transformación y función para determinar el IAR.

Descripción general: Esta fase es totalmente automatizada. A partir de la información de los atributos del estudiante, atributos del rol y la MIA se construyen las funciones a partir de lo establecido en el modelo para ello y las definiciones de las actividades de la primera fase de la metodología.

Esquema:

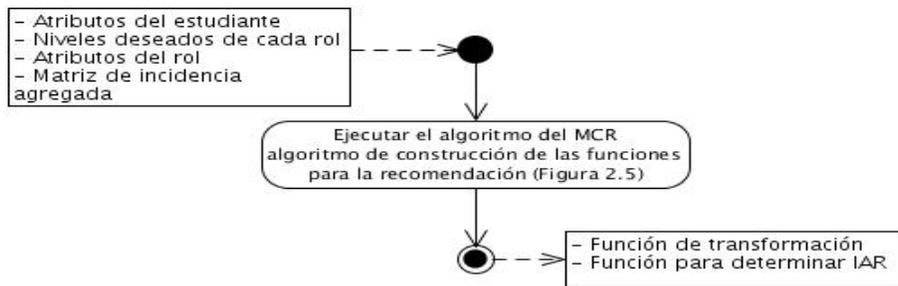


Figura 2.10: Esquema de la Fase 3: Construcción del modelo. (Elaboración propia)

Fase 4: Predicción y Recomendación

Entradas: Función de transformación, función para determinar el IAR, atributos del estudiante normalizados, Niveles deseados para cada rol, Matriz de Incidencia Agregada.

Salidas: Caracterización del estudiante en el rol, Recomendación de roles para el estudiante.

Descripción general: Esta fase es automatizada. Se evalúan las funciones construidas en la fase anterior según los valores que se tienen. Se realiza el cálculo del IAR, se asocia al NCR para determinar la cercanía del estudiante a cada uno de los roles. Se elabora la recomendación a partir de ordenar los IAR de menor a mayor, brindando los roles ordenados y su NCR.

Esquema:

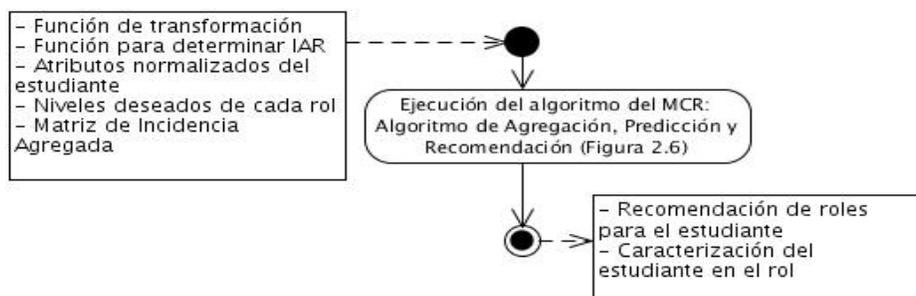


Figura 2.11: Esquema de la Fase 4: Predicción y recomendación. (Elaboración propia)

Fase 5: Ubicación

Entradas: Recomendación de roles para el estudiante, Caracterización del estudiante en el rol.

Salidas: Rol en que se ubica el estudiante, caracterización del estudiante en el rol.

Descripción general: De acuerdo a la recomendación y caracterizaciones obtenidas, así como otros

elementos relacionados con las necesidades de los proyectos y obtenidos de la entrevista realizada a los estudiantes, los decisores definen el rol en el que se ubica al estudiante. La caracterización brinda los criterios de la predicción del nivel de desempeño en cada competencia del rol como elemento para su plan de formación.

Esquema:

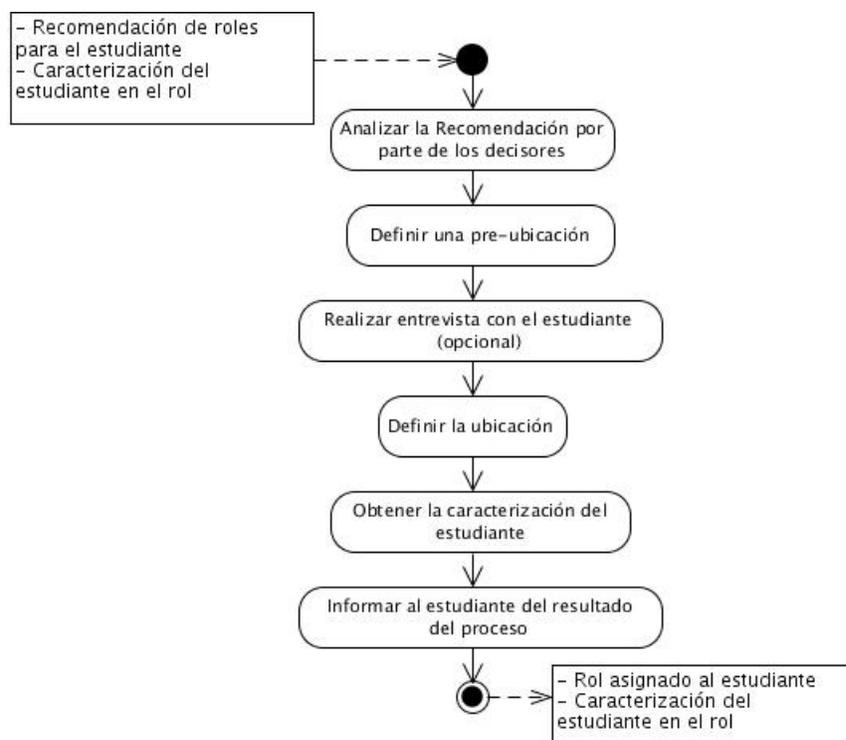


Figura 2.12: Esquema de la Fase 5: Ubicación. (Elaboración propia)

La descripción de las actividades de cada una de las fases se encuentra detallada en el Anexo 6.

Conclusiones del capítulo

1. El diagnóstico realizado sobre el proceso de ubicación permitió constatar sus principales deficiencias y las consecuencias que trae no tener un proceso sistematizado que integre las experiencias de los decisores con el empleo de las evidencias del estudiante en la valoración de su comportamiento profesional.
2. Se define el modelo MCR que permite la transformación de las evidencias del

comportamiento académico del estudiante en valoraciones de su comportamiento profesional. Se utiliza el modelado lingüístico para el tratamiento adecuado de la información, operadores de agregación que permiten la integración y transformación de la información y la medida de distancia para el ordenamiento de los roles en la recomendación.

3. A partir del modelo se diseña una metodología que define cinco fases estrechamente relacionadas con los componentes del modelo y que establece parámetros superiores para la ubicación cumpliendo con las actividades básicas de un proceso de selección de personal. Esta metodología permite sistematizar un proceso para la ubicación del estudiante en roles de la industria.

CAPÍTULO III

VALIDACIÓN DEL MODELO COMPUTACIONAL DE RECOMENDACIÓN DE ROLES EN EL PROCESO DE UBICACIÓN DE ESTUDIANTES EN LA INDUSTRIA DE SOFTWARE

CAPÍTULO III. VALIDACIÓN DEL MODELO LINGÜÍSTICO COMPUTACIONAL DEL PROCESO DE UBICACIÓN DE ESTUDIANTES EN ROLES

En el capítulo se describen los resultados de la validación del modelo y la metodología a partir del empleo de varios métodos y de la aplicación de la propuesta. Se presentan los resultados del método criterio de expertos y la técnica de grupos focales lo que permite tener una valoración de expertos y decisores sobre los principales elementos del modelo y la metodología. Se describen los resultados de la aplicación de la metodología y el sistema informático desarrollado. Se analizan los resultados de un cuasi experimento donde se aplicó la metodología en dos casos. Estos resultados fueron validados por personas involucradas en el proceso mediante la aplicación del Test de ladov. El capítulo finaliza con la triangulación metodológica intermétodo.

3.1 Diseño de la validación

El problema planteado se caracterizó como un problema de toma de decisiones y la solución dada se concentra en el desarrollo de un modelo que brinde los criterios para esta decisión. Los modelos de ayuda a la toma de decisión deben permitir a los decisores una mayor comprensión del problema y posibilitar la tomar de decisión informada [158]. Entre sus características se encuentran la Fiabilidad [52], Flexibilidad [53] y Aplicabilidad [24] siendo considerados los indicadores principales de la validación de estos modelos. Como se mencionó en la introducción se definen los indicadores:

- Fiabilidad: capacidad para brindar respuestas cercanas a las de un experto o grupo de expertos [52].
- Flexibilidad: la incorporación del criterio de los expertos teniendo en cuenta sus preferencias

y actitudes [53].

- Aplicabilidad: la capacidad de que sea práctico, posible de utilizar y de adaptarse a las características de las organizaciones [24].

Uno de los elementos que reviste mayor importancia en los modelos de ayuda a la toma de decisión es la capacidad que brinde de ser interpretable y comprensible, lo que implica que, aun con el rigor matemático que tiene este campo, es importante la validación cualitativa, pasando por la inclusión de juicios subjetivos [101].

Al implementar la metodología basada en el modelo se da solución a los problemas del proceso de ubicación de estudiantes relacionados con el inadecuado uso de la información existente, que provoca la falta de información en el proceso y desaprovecha las capacidades del estudiante.

A partir de lo expresado anteriormente, se integran en la validación métodos cuantitativos, cualitativos y experimentales, de manera que se validen aquellos aspectos relacionados con las principales consecuencias del problema, lo subjetivo y lo humano presente en él, además de los indicadores que debe cumplir un modelo de ayuda a la toma de decisiones. Para la validación se emplearon los métodos y técnicas siguientes.

- Criterio de expertos empleando el Método Delphi: Obtener el criterio de expertos en los temas tratados en la investigación para validar los indicadores propuestos y la solución de los problemas detectados.
- Técnica de grupos focales: Obtener opiniones que permitan conocer los criterios de grupos de personas involucradas en el proceso de ubicación sobre los indicadores definidos y la solución que brinda el modelo y la metodología a los problemas identificados inicialmente.
- Cuasi-experimento: Se realiza a partir de los resultados de la aplicación práctica de la metodología. Se emplea el modelo como un clasificador y se validan los indicadores mediante

la medida de efectividad resultado de su comportamiento. Se combina con la técnica de ladov para medir la satisfacción de los decisores sobre los resultados obtenidos.

Luego de aplicar los métodos de manera independiente se concibió una triangulación metodológica para contrastar los resultados y así obtener una valoración integral sobre el modelo y la metodología.

3.2 Aplicación del criterio de expertos

El método criterio de experto permite obtener valoraciones de expertos sobre temas relacionados con las propuestas de la investigación. Como método para el procesamiento estadístico de estos criterios o evaluaciones se utiliza mayormente el método Delphi [159].

Los indicadores seleccionados para ser evaluados por los expertos pueden observarse en la Sección II, del cuestionario del Anexo 7. Además se definen las personas que, a criterio del investigador, cumplen los requisitos de expertos y que están asociados a los temas relacionados con la base teórica y práctica de la investigación realizada.

Se seleccionaron 64 especialistas a los que se les envió el cuestionario y un resumen del modelo y la metodología, de ellos contestaron 51, que cumplen los requisitos de expertos y además tienen experiencia en actividades relacionadas con el proceso que se modela. 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 determina 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 las tablas del Anexo 8. 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 3.1.

Tabla 3.1: Distribución de expertos según el nivel de competencia.

Nivel de competencia	Cantidad	Por ciento
Alta	41	80,39
Media	10	19,61
Baja	0	-
Total	51	100,00

Al analizar el comportamiento de los niveles de competencia se determinó escoger aquellos cuyo nivel es Alto (41 expertos). La caracterización de los expertos es: 55% posee la categoría de Máster en Ciencias en especialidades afines a la informática o la computación, el 35% ostenta el grado científico de Doctor en Ciencias. El 49% posee la categoría principal de Profesor Titular, el 30% de Profesor Auxiliar y el 11% es Asistente. La media de años de experiencia en la producción o los servicios es de 10 años. El 100% de los expertos está vinculado a la docencia, solamente el 33% se dedica exclusivamente a las labores docentes y el 67% se encuentra vinculado a la producción. El 80% de los consultados pertenece a la UCI.

Las preguntas del cuestionario diseñado (Anexo 7) están enfocadas a obtener las valoraciones de los expertos en función de los indicadores definidos y los problemas identificados. Estas preguntas representan diez (10) aspectos relevantes de la metodología y el modelo. 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, esta escala posteriormente es convertida a 100.

En la tabla 8.4 del Anexo 8 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 (tabla 8.5, Anexo 8). Se determinó para cada indicador (C_j) evaluado el coeficiente de concordancia (C). El nivel de consenso o concordancia (C) se determina mediante:

$$C = 100 \cdot (1 - Df) \quad (26)$$

donde:

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^{24} CE_i}{24} \quad (27)$$

$$D_s = \sqrt{\left(\frac{1}{n} - 1\right) \sum_{i=1}^{24} (X_i - X_m)^2} \quad (28)$$

$$D_f = \frac{D_s}{X_m} \quad (29)$$

Se determina el grado de concordancia por indicador. En la tabla 3.2 se muestra la relación entre cada una de las preguntas del cuestionario y los indicadores definidos para la validación del modelo y la metodología, flexibilidad (FLEX), fiabilidad (FIAB) y aplicabilidad (APLI).

Tabla 3.2: Grado de concordancia por pregunta y relación con indicadores de validación.

No	Pregunta	FLEX	FIAB	APLI	C _j
1	Cómo evalúa la participación de los expertos en el modelo.	X	X		88.77
2	Cómo evalúa usted el modelo lingüístico de ayuda a la decisión en la ubicación de estudiantes en un rol profesional.	X	X	X	89.72
3	Cómo evalúa usted la concepción de los componentes del modelo.	X	X	X	85.64
4	Cómo valora usted el uso de información existente en la ubicación como parte del modelo de toma de decisiones.	X	X	X	89.72
5	Cómo valora la utilidad de la información de salida del modelo en el proceso de ubicación y la elaboración del plan de formación.		X	X	88.77
6	Cómo valora usted la flexibilidad del modelo ante los cambios que se pueden presentar en el diseño de los roles y en la información que se utiliza para la decisión.	X		X	91.22
7	Cómo evalúa usted la metodología para la ubicación de los estudiantes en un rol en la UCI.	X	X	X	88.29
8	Cómo evalúa usted la aplicabilidad de la metodología.			X	93.55
9	Cómo evalúa usted la flexibilidad de la metodología.	X	X	X	91.22
10	Existe coherencia entre el modelo y la metodología.	X	X		91.22

Al analizar los resultados se destaca que en la muestra de 41 expertos, los diez indicadores son

evaluados como Muy Adecuado o Adecuado, validando en estas opiniones su comportamiento acertado. Para los indicadores en todos los casos se obtuvo un grado de concordancia por encima del 88%, lo que se considera un resultado satisfactorio.

El nivel de concordancia o consenso total (Ct) del modelo y la metodología fue de 100% ya que no se registraron votos negativos como se demuestra en el Anexo 8. Se consideran como tal 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 Ct se puede afirmar que el nivel de consenso entre los expertos respecto a la valoración del modelo y la metodología permite corroborar su factibilidad y validez. 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:

- El modelado de la participación de los expertos es adecuado al permitir capturar sus opiniones según escalas valorativas propias y lograr una solución de consenso.
- El modelo representa el razonamiento de los decisores en el proceso de ubicación del estudiante en un rol, incorporando mejoras significativas a partir de integrar e incorporar mayor cantidad de información que la que se utiliza actualmente. La información que resulta de su aplicación se considera útil en el proceso de ubicación y de elaboración de un plan de formación para el estudiante.
- El modelo propuesto es pertinente para la elaboración de metodologías que proyecten la dinámica del PUR. Dicho modelo representa un proceso complejo de procesamiento de información de diferente naturaleza que requiere ser transformada para convertirse en información útil para la decisión a partir de la importante participación de los expertos.
- La metodología elaborada permite realizar un proceso de toma de decisiones informada,

necesaria en la ubicación del estudiante en un rol, logrando una relación adecuada entre los procesos de producción y formación en que se encuentra involucrado el estudiante.

- La concreción del modelo en la metodología permite la validación de su aplicabilidad al ser posible su adecuación a las características de una organización en particular, siempre que se cumplan sus requisitos.
- Existe correspondencia entre la metodología y el modelo a partir de las definiciones de las fases en función de garantizar las entradas y salidas, así como los componentes definidos en el modelo.
- Los indicadores flexibilidad, fiabilidad y aplicabilidad han sido evaluados positivamente. Se evidencia que el modelo propuesto, al ser utilizado mediante la aplicación de la metodología, permite empleando el criterio de expertos y modelando el razonamiento, obtener criterios que satisfacen las necesidades de los decisores.

3.3 Aplicación de la técnica de grupos focales

La aplicación de grupos focales para la validación en la presente investigación es importante debido a que el modelo propuesto pretende representar el razonamiento y accionar de las personas que realizan la ubicación del estudiante. La aplicación de esta técnica permite conocer los criterios e introducir mejoras en la propuesta, a partir del intercambio con personas que pueden aportar criterios y valoraciones importantes sobre la solución dada al problema de la investigación y fomenta que se expresen abierta y claramente en este sentido.

El Grupo Focal es una técnica que consiste en la discusión por grupos pequeños de personas, donde se expresan libre y espontáneamente acerca un tema, la discusión es guiada por un moderador y se registran todos los criterios que se emiten [160, 161]. La técnica se empleó para validar la factibilidad y pertinencia, así como los indicadores definidos para la validación del modelo y

de la metodología.

Para lograr resultados satisfactorios en cuanto al interés de las personas a participar en los grupos, así como su compromiso con los criterios a expresar, se prepararon varios elementos relacionados con la realización de estos grupos focales. Se elaboró una guía de temas a partir de la cual se confeccionó un formulario de preguntas. La guía facilitó abordar los aspectos relacionados con la percepción y criterios sobre los indicadores para la valoración del modelo y la metodología (Anexo 9). Estas preguntas también permiten describir las coincidencias y divergencias de criterios sobre los indicadores para dar respuesta a los objetivos de la investigación.

La selección de los participantes en cada grupo focal efectuado, se realizó tomando en consideración la homogeneidad entre sus miembros con el propósito de mantener la simetría de la relación de los componentes del grupo. La conformación de los grupos se hizo considerando el número total de grupos, la cantidad de participantes por grupo y los atributos para seleccionar los participantes. En cuanto a estos aspectos se optó por ocho (8) especialistas como tamaño del grupo focal, organizando tres (3) grupos, por lo que se obtuvo información de veinticuatro (24) especialistas.

Se agruparon las personas según su experiencia y desempeño de acuerdo a tres criterios: experiencia en la formación de profesionales de la informática y que a la vez se desempeñan en actividades productivas, experiencia profesional en los roles de la ISWSI y experiencia en el desarrollo del proceso de ubicación del estudiante en el rol. Ninguno de los grupos conformados es puro, existe intersección de criterios lo cual es válido para el objetivo de la investigación. La distribución de los grupos se muestra en el Anexo 9. A estas personas se les envió un resumen del modelo y la metodología para que estuvieran familiarizados y pudieran brindar criterios útiles a partir de un estudio de la propuesta.

El grupo de trabajo quedó constituido por una Profesora Asistente, Ingeniera Informática; moderadora y responsable de la investigación, una Máster en Gestión de Proyectos y un Máster en Informática Aplicada como relatores y observadores.

Se realizó una sesión para cada grupo focal en un ambiente favorable para el debate. Las opiniones brindadas por los participantes se registraron escritas en primera persona, respetando el orden y la forma en que se expresaron y acotando las manifestaciones extra-verbales de los integrantes.

En el Anexo 10 se muestran los criterios operacionales, el informe final y el resumen de la discusión, así como los acuerdos que describen las coincidencias y divergencias de criterios para la valoración del modelo y la metodología.

El comportamiento de los criterios operacionales se resume en la siguiente tabla:

Tabla 3.3: Criterios operacionales para las preguntas de los temas definidos.

Tema	Pregunta	Criterio operacional
Clasificación del proceso de ubicación de los estudiantes en un rol.	1	Unanimidad de criterios
Valoración del modelo	1	Unanimidad de criterios
	2	Mayoría de criterios
	3	Unanimidad de criterios
	4	Mayoría de criterios
	5	Unanimidad de criterios
Valoración de la metodología	1	Unanimidad de criterios
	2	Mayoría de criterios
	3	Mayoría de criterios
	4	Unanimidad de criterios
Coherencia entre el modelo y la metodología.	1	Unanimidad de criterios

Los criterios recogidos permitieron corregir algunos elementos del modelo y la metodología asociados a la necesidad de automatización del proceso y de reforzar los elementos a tener en cuenta para la ubicación:

- Se ajustaron en cuanto a redacción los principios uno, dos y cinco del modelo.
- Se incorporó como parte de la última fase de la metodología la realización de una

entrevista al estudiante, que se realiza de manera opcional por parte de los decisores.

Esta entrevista puede ayudar a tomar la decisión final de su ubicación.

- Se definió la construcción de la matriz de incidencia como una actividad independiente en la descripción del primer componente del modelo.

Se puede resumir que los criterios ofrecidos por los profesionales que participaron, validan un adecuado comportamiento de los indicadores en el modelo a partir de las consideraciones sobre la participación de los expertos y la representación de los componentes del modelo.

3.4 Aplicación de la metodología para la ubicación del estudiante en un rol

En la aplicación de la metodología se ejecutaron las fases y actividades propuestas según lo descrito en el epígrafe 2.3 y en el Anexo 6. En la definición de la metodología se propone la automatización de algunas fases y actividades, dada la complejidad de los cálculos en el modelo y para solucionar uno de los problemas identificados relacionado con la cantidad de información a procesar.

Se desarrolló una aplicación informática de ayuda a la toma de decisiones [162] llamada SiRec que implementa los algoritmos necesarios para la automatización de las fases y actividades que la metodología sugiere. Se describen a continuación los elementos fundamentales de la aplicación de la metodología, así como la aplicación informática desarrollada.

En la Fase de Preparación se definieron las variables lingüísticas involucradas así como su representación; se emplean funciones de pertenencia triangulares y el modelo de representación en 2-tuplas. Las operaciones básicas y las funciones de agregación para el trabajo con 2-tuplas, así como los elementos del modelo que se instancia en la aplicación informática desarrollada se encuentran en el Anexo 11.

Se definieron siguiendo las recomendaciones de la literatura las variables lingüísticas: Evaluación de atributos del estudiante (EVA), Nivel de desarrollo (ND), Nivel de incidencia (NI) y Nivel de cercanía

al rol (NCR). La definición de estas variables se encuentra en el Anexo 11. El resto de las actividades de esa fase se enfoca en la organización de la información a emplear en el PUR.

Se identificaron como atributos de los estudiantes las notas de las asignaturas del plan de estudios y los resultados de los diagnósticos aplicados por el Centro de Innovación y Calidad de la Educación (CICE) [149]. Esta información se encuentra disponible en el Sistema de Gestión Académica y en el Sistema para la Gestión de Encuestas en el CICE [153].

Para determinar los roles y sus atributos se realizó una revisión documental de investigaciones realizadas en la universidad [69-75] que formalizan los perfiles de competencias para los roles que ocupan los estudiantes y que fueron utilizadas por Verdecia [5] en el proceso de certificación. Los resultados de este análisis fueron formalizados en una guía para el análisis de la información en un proceso de ubicación de estudiantes en roles [153].

En la Fase de Preprocesamiento se automatizan algunas de sus actividades. Para definir los niveles deseados de cada uno de los roles se tomó como referencia lo establecido en la metodología de certificación [5]. En ella se establecen cuatro (4) niveles (No certificado, Básico, Intermedio y Avanzado), cada uno con su combinación de niveles de desarrollo para las competencias y sus elementos, los cuales constituyen los casos para realizar la comparación y establecer la cercanía del estudiante al rol.

Para obtener las MI de los expertos y la MIA se aplicó un instrumento como el que se muestra en el Anexo 12. Para aplicar el instrumento se identificaron grupos de expertos, profesores de los departamentos docentes, profesionales que se desempeñan en los roles de la industria y personas que han realizado el proceso de ubicación, particionando el instrumento y entregando solo los elementos asociados a los atributos o roles con los que está familiarizado el experto. Estas MI se ingresan a una aplicación que implementa el algoritmo de la figura 2.3 definido en el modelo y se

procesan para obtener la MIA. Una partición de la MIA obtenida se muestra en el Anexo 12.

Las actividades restantes de la Fase de Preprocesamiento, las correspondientes a las Fases de Construcción de Funciones y de Predicción y Recomendación, así como algunas de las definidas en la Fase de Ubicación, se automatizan en el sistema SiRec. Las actividades de la fase de ubicación relacionadas con la decisión del rol donde se ubica al estudiante se ejecutaron como parte de la técnica de ladov para valorar la satisfacción de los decisores.

3.4.1 SiRec – Sistema de recomendación de roles en la ubicación del estudiante

La aplicación desarrollada posibilita la obtención de la información del estudiante que se encuentra dispersa en varios sistemas (Sistema de gestión académica, Sistema de encuestas, Repositorio Institucional, etc.) además de la entrada de los roles y competencias que se desean analizar. Se obtienen como salidas la recomendación de los roles para cada uno de los estudiantes, que brinda la información del nivel de cercanía que tiene respecto a cada rol y la caracterización del estudiante que proporciona el estado de cada competencia del rol. Estas salidas pueden ser exportadas a ficheros en formato “.pdf” para su uso posterior por el personal del proyecto u otros dirigentes docentes.

Para el desarrollo de SiRec se empleó como plataforma de desarrollo J2EE y como sistema gestor de base de datos el Postgres [162]. En el Anexo 11 se describen los elementos de instanciación del modelo en las aplicaciones desarrolladas.

Se desarrolló una aplicación para la obtención de la Matriz de Incidencia Agregada, expresión del criterio de los expertos sobre la relación entre los componentes de la formación y los que describen el desempeño profesional del estudiante. Esta aplicación importa desde un fichero de MS Excel™ las matrices de los expertos, las procesa según el algoritmo definido para ello en el modelo. La MIA puede ser exportada en fichero “.xml” y utilizada en el sistema de ayuda a la toma de decisiones

para la ubicación del estudiante. La aplicación alerta cuando no se cumple el umbral definido para el consenso, de manera que pueda comenzarse el proceso nuevamente. Un fragmento de la MIA obtenida se muestra en el Anexo 13.

Con el desarrollo de estas aplicaciones se logra minimizar el tiempo y esfuerzo dedicado al análisis de la información para la ubicación del estudiante, además de lograr la integración de la experiencia de varios decisores en el proceso. En el Anexo 14 se muestran imágenes de la aplicación, la carga de la información, el procesamiento y las salidas.

La aplicación se ejecutó procesando la información de los estudiantes de 3er y 4to año de cursos anteriores, a los que ya se les realizó el proceso de ubicación, además se ejecutó con la información de un grupo de 3er año del actual curso en un centro de desarrollo, los que fueron ubicados empleando los resultados arrojados por el sistema implementado. En la tabla 8.6 del Anexo 15 se muestra un fragmento de la información de los estudiantes procesados.

3.5 Cuasi-experimento

Como resultado de la aplicación informática se obtuvo la recomendación de los roles y la caracterización en cada uno de ellos para 120 estudiantes de 3er y 4to año de cursos anteriores. Se cuenta además con la información del proceso de ubicación y de certificación de estos 120.

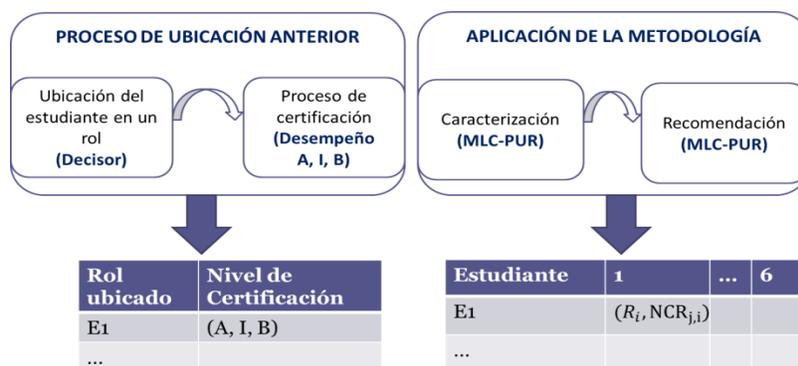


Figura 3.1: Información de procesos de ubicación y resultado de la aplicación de la metodología.

Con esta información se realiza un cuasi experimento para validar los indicadores a partir de los

resultados que puedan obtenerse. Se escoge este tipo de experimento ya que no es posible realizar un experimento puro, los cuasi experimentos se diferencian de los experimentos en que la asignación de participantes a los grupos no se hace aleatoriamente, ni por emparejamiento. Ocurre cuando los grupos están previamente confeccionados (grupos intactos) [163].

Al considerar la información con que se cuenta se plantea para el cuasi-experimento el uso del MCR como un clasificador y comparar los resultados utilizando la medida de efectividad.

Los clasificadores son sistemas que tienen como objetivo la clasificación de objetos de acuerdo a un grupo de clases definidas a partir de información que tienen almacenada. Un clasificador es una función f que a cada N – *uplo* de atributos X asocia la clase a la cual debe pertenecer.

EL modelo definido puede funcionar como un clasificador considerando que su objetivo es recomendar los roles para un estudiante, a partir de buscar el nivel de cercanía que tiene respecto a los niveles deseados. En este objetivo se pueden homologar los componentes de los sistemas de clasificación con los elementos que definen a un clasificador:

- Los roles constituyen las clases en las que se clasifica al estudiante.
- Los estudiantes constituyen los casos u objetos a clasificar.
- El método para buscar la cercanía en el MCR es el método por distancia, por lo que pudiera suponer que es el motor de inferencia del clasificador.

Para la evaluación y validación de un clasificador se utilizan casos cuya clase es conocida, se establece la medida de efectividad a partir de los casos clasificados correctamente:

$$\text{Efectividad} = \frac{CC}{\text{Total}} \times 100 \quad (30)$$

donde: CC son los casos clasificados correctamente por el clasificador y $Total$ es el total de casos.

En función de la información que se tiene se definieron dos clasificadores: un clasificador es el

decisor que ubicó al estudiante (CD) y el otro el modelo, empleando los resultados del sistema SiRec (CU). Para el desarrollo del cuasi-experimento se emplean los resultados de información según la figura 3.2. Se determina la efectividad de cada clasificador y se analizan los resultados en función de validar los indicadores definidos para el modelo.

3.5.1.1 Descripción del desarrollo del cuasi-experimento

Como primer paso se analiza la muestra de los estudiantes para ser clasificados; se tiene la información de 120 estudiantes de procesos anteriores. Estos estudiantes son de tres (3) centros de desarrollo de 2 facultades. Los 120 estudiantes son de 3^{er} y 4^{to} año, de manera que pueda ser validado el modelo en dos momentos distintos del proceso de formación, donde los atributos no son los mismos, de esta forma se valida la aplicabilidad.

La composición de las facultades en la UCI es uniforme; la distribución de los estudiantes se realiza mediante atendiendo a su procedencia y provincia de residencia y se estudia la misma carrera en las siete (7) facultades. La principal diferencia radica en el campo de aplicación de los sistemas informáticos que desarrollan. Considerando estos elementos, se valida que el comportamiento del modelo como resultado del cuasi-experimento en una facultad puede ser considerado similar en el resto de las facultades. La muestra de 120 estudiantes representa el 32,7% de la matrícula de 3^{er} y 4^{to} año de la facultad seleccionada.

Para el desarrollo del cuasi experimento, en función de validar la efectividad del clasificador del modelo, se definen diferentes situaciones que manejan los elementos subjetivos que pueden haber estado presentes en los procesos anteriores de los que se tiene la información.

El análisis de la información en cada caso se hace considerando, del modelo, aquellos roles que son recomendados con los dos mayores niveles de cercanía. En el caso de la información de procesos anteriores se tiene en cuenta el resultado del proceso de certificación realizado y se considera que

en aquellos casos en que el estudiante certificó el nivel avanzado del rol, las condiciones iniciales al ser ubicado eran adecuadas para el rol, por lo que, aunque la decisión hubiera estado en función de las necesidades del proyecto, se puede considerar correcta la decisión.

Teniendo en cuenta estos elementos se determina la efectividad del CU respecto a la muestra. Se muestra un fragmento de la información procesada en las tablas del Anexo 15.

Como resultado para **CU** se tiene: $CC = 78$ para un $Total = 120$ y una **Efectividad = 65**

Se determina la efectividad de CD respecto a la muestra.

Como resultado para **CD** se tiene: $CC = 56$ para un $Total = 120$ y una **Efectividad = 46**

Además, se determina la efectividad de CU respecto a los casos correctamente clasificados por CD.

Como resultado para **CU** se tiene: $CC = 48$ para un $Total = 56$ y una **Efectividad = 85,7**

3.5.1.2 Análisis de los resultados

A partir de los resultados obtenidos, se realiza el análisis del comportamiento del modelo mediante la efectividad del clasificador CU:

- **Fiabilidad:** coincidencia en las decisiones del decisor y el MCR. Considerando que la ubicación del decisor puede haber estado determinada por otros elementos que no son solo las capacidades del estudiante, se valida este criterio a partir de los resultados de efectividad del clasificador CU respecto a los casos correctamente clasificados por el decisor, es decir, aquellos donde su decisión se corresponde con niveles adecuados de la capacidad del estudiante para desempeñarse en el rol. La efectividad de CU en este caso es de un 85,7% de coincidencia con las decisiones del decisor, lo cual se considera un comportamiento satisfactorio.
- **Flexibilidad:** incorporación del criterio y experiencia de los expertos. Respecto a la muestra total, el CU tiene una efectividad del 65%, 20 puntos mayor que la efectividad del CD (46%),

este comportamiento está dado por la capacidad del modelo de procesar mayor cantidad de información que las personas, además del modelado realizado que permite integrar el conocimiento y experiencia de varios expertos en el proceso. Otro elemento que valida este indicador resulta del análisis del resto de los casos (64) en que el CD no clasificó correctamente respecto a la muestra, en ellos se obtiene que CU ubica al estudiante en un rol distinto al que definió el decisor en 33 estudiantes.

- **Aplicabilidad:** Aplicación de la metodología y procesamiento con estudiantes de distintos años. En este sentido, se ejecutó el modelo mediante la aplicación de la metodología y el software en 2 centros de desarrollo y con estudiantes de 2 años diferentes que no tienen en cuenta los mismos atributos, estos elementos no influyeron en la obtención de los resultados.

3.5.2 Aplicación de la técnica ladov

La información relacionada con 30 estudiantes de un centro de desarrollo se introdujo en la aplicación para obtener la recomendación de los roles y la caracterización. Estos resultados se mostraron a un grupo de profesionales responsables de realizar el proceso de ubicación. La ubicación de estos estudiantes se definió tomando los resultados del modelo como criterio y siguiendo las actividades de la metodología.

A partir de esto se aplicó la técnica de ladov para medir el nivel de satisfacción de los decisores respecto a los resultados arrojados por el sistema. Una parte de estos usuarios son los responsables de la ubicación en el centro de desarrollo del que se tomaron 30 estudiantes para ejecutar el modelo, en este caso el proceso de ubicación se realizó teniendo como criterios estos resultados.

ladov es una técnica que permite el estudio del grado de satisfacción de los involucrados en un proceso o actividad objeto de análisis. Esta técnica ha sido ampliamente utilizada por su carácter genérico [164]. 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 decisores sobre el MCR y la metodología MUERP. 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. En el Anexo 16 se muestra los resultados.

Para medir el grado de satisfacción se tomó una muestra de 24 usuarios en la UCI, teniendo en cuenta los años de experiencia vinculados a proyectos productivos, como jefe de proyecto o en cargos de dirección del área de producción, profesores de práctica profesional, y otros. El resultado de la evaluación de la satisfacción individual fue el siguiente, según las categorías empleadas:

Tabla 3.4: Resultado de la aplicación de la técnica.

Nivel de satisfacción	Cantidad	%
Máxima satisfacción	21	87,5
Más satisfecho que insatisfecho	2	8,3
No definida	1	4,16

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:

$$ISG = \frac{A(+1) + B(+0.5) + C(0) + D(-0.5) + E(-1)}{N} \quad (31)$$

donde: *A, B, C, D, E*, representan el número de sujetos con índice individual 1; 2; 3 ó 6; 4; 5. 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 (33) se obtiene un grado de satisfacción de 0,89 lo que significa una clara satisfacción y reconocimiento sobre la mejora

significativa que puede introducir la aplicación de la metodología en el PUR en la UCI.

Se formularon dos (2) preguntas abiertas que se encuentran en el Anexo 16, obteniendo como criterios:

- Se considera muy útil la existencia de la metodología, con especial énfasis en la posibilidad que brinda al procesar la información que se tiene del estudiante.
- Se señala positivamente la facilidad que brinda el modelo para la elaboración del plan de formación a partir de la caracterización del estudiante en el rol.
- Los decisores destacan la construcción de la MIA como un aporte importante en la relación de los elementos de la formación y los relacionados con el desempeño profesional.
- Se considera adecuado incluir la realización de entrevistas al estudiante que permitan al decisor obtener otros criterios a partir de la recomendación que brinda el sistema.
- Se destaca como elemento positivo la generalidad del modelo y la flexibilidad para incorporar nuevos atributos del estudiante.

La aplicación de la técnica de ladov ha aportado datos significativos respecto al grado de satisfacción de los decisores en el proceso de ubicación de los estudiantes. Los criterios expresados en las preguntas abiertas, validan alguno de los obtenidos en otras técnicas y fueron considerados para introducir mejoras a la metodología. En función de los indicadores, el resultado de satisfacción y los criterios validan la fortaleza de la propuesta en cuanto a la flexibilidad, fiabilidad y aplicabilidad.

3.6 Triangulación metodológica de los métodos aplicados

A partir de la aplicación de los métodos anteriormente expuestos se realiza la triangulación metodológica intermétodo de los resultados. Esto permite contrastar los resultados obtenidos, de manera que se puedan determinar las coincidencias y divergencias de los resultados. Esto constituye un criterio integrador sobre la validez del modelo respecto a las características que se

debe cumplir, a saber: fiabilidad, flexibilidad y aplicabilidad. Analizando los resultados, se resume en la tabla 3.5 el comportamiento de los indicadores.

Tabla 3.5: Comportamiento de los indicadores según los resultados de cada método.

Indicador	Resultados de los métodos
Fiabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • En el cuestionario los expertos encontraron muy adecuado el modelado del razonamiento de los decisores en el PUR. • En el grupo focal se expresaron criterios relacionados con la lógica de razonamiento del modelo propuesto, en función de dar soluciones cercanas a las de los decisores. • El comportamiento de la efectividad de CU respecto a los decisores tuvo un comportamiento por encima de 60, siendo adecuado este valor.
Flexibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • En el cuestionario los expertos encontraron muy adecuado el tratamiento de las preferencias de los expertos. • En el grupo focal se destacan significativamente la participación de los expertos y cómo esto fue modelado en la propuesta. Se hace énfasis en la adecuada modelación para la obtención de la MIA. • CU tiene una efectividad superior a CD. Esto evidencia la adecuada incorporación del criterio de varios expertos para la toma de decisiones en el MLC-PUR.
Aplicabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Los expertos en la validación de los indicadores valoran de muy adecuado el modelo propuesto, en función de lograr su aplicabilidad. Igualmente señalan la correspondencia de la MUERP con el MLC-PUR. • En el grupo focal se evidencia la conformidad con la capacidad del modelo para ser aplicable en otras organizaciones o procesos donde puedan ser creadas las condiciones para ello. Se destaca la correspondencia de la MUERP con el MLC-PUR en función de permitir su concreción en distintos ambientes. • En el cuasi-experimento se emplean datos de estudiantes que cursan diferentes años de la carrera, sin influencia en el resultado de efectividad obtenido.

Se hace un análisis de los indicadores a partir de los cuales se evaluaron los métodos de toma de decisiones que han sido utilizados en problemas de selección de personal, mostrado en la tabla 1.3 del capítulo 1, donde se detecta como la principal insuficiencias la ausencia de mecanismos que permitieran el uso de información existente. Este aspecto se soluciona en el MCR a partir del proceso de obtención de MIA y la construcción de la función de transformación definida en la

ecuación (20), lo que constituye el principal aporte de la presente investigación.

Realizando la triangulación de métodos cualitativos, cuantitativos y experimentales se obtiene:

Tabla 3.6: Resultados de la triangulación intermétodos.

Objetivo	Métodos cualitativos	Métodos experimentales	Métodos cuantitativos
<p>Evaluar la pertinencia del Modelo y metodología desarrollados, validando su:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad • Fiabilidad • Aplicabilidad <p>Evaluar la utilidad de las salidas del modelo para la ubicación del estudiante y la elaboración de su plan de formación.</p>	<p>Grupo focal: para obtener valoraciones y criterios de personas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Criterios positivos expresados por unanimidad o mayoría de criterios. <p>Criterio de expertos: para obtener valoraciones de la propuesta dada por expertos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En todos los casos se obtuvo un grado de concordancia por encima del 88%. 	<p>Cuasi experimento: para comprobar la validez de los resultados de la aplicación de la metodología y el modelo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valores de efectividad obtenidos que validan el comportamiento adecuado del modelo y la metodología. 	<p>Test de ladov: para comprobar el nivel de satisfacción de los usuarios con los resultados del modelo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Índice de satisfacción grupal obtenido de 0,89.

3.7 Análisis del impacto económico de la propuesta

La correcta aplicación del modelo desarrollado mediante la implementación de la metodología tiene un impacto positivo en el cumplimiento de las políticas establecidas por el país. Realizando un análisis de los lineamientos de la política económica, se destaca el impacto de la propuesta el lineamiento número 145 del capítulo VI Política Social, referido a la Educación establece: "... Lograr una mejor utilización y aprovechamiento de la fuerza de trabajo y de las capacidades existentes." El modelo permite establecer un diagnóstico inicial del estudiante, de manera que sea ubicado en el rol para el cual está más preparado.

El modelo puede ser implementado, mediante la metodología, en otras universidades con carreras

que requieran de una especialización durante su práctica profesional, en empresas de la industria de software, así como en la ubicación laboral de los egresados de la universidad, para ello es necesario tener las condiciones establecidas en los requerimientos de la metodología.

El aporte fundamental desde el punto de vista económico, para aquellas empresas, universidades o entidades que implementen la propuesta, está dado en el ahorro que implica no tener que diseñar los instrumentos adecuados a la empresa, sino que con sus propios recursos puede establecer la relación entre la información del candidato y los requisitos del puesto de trabajo para realizar la selección, teniendo el valor agregado de la información que se brinda sobre las fortalezas y debilidades del candidato seleccionado respecto a ese puesto. La información que brinda el modelo facilita establecer acciones de capacitación ajustadas a las necesidades de los trabajadores una vez contratados, lo que se convierte en un criterio para emplear correctamente los presupuestos asociados a la capacitación del personal.

Conclusiones del capítulo

1. Se aplicó la metodología validada mediante el diseño e implementación de una aplicación informática que permitió probar los algoritmos definidos, desarrollar un cuasi experimento con los resultados, así como determinar el nivel de satisfacción de los usuarios mediante la técnica de ladov.
2. Se valida la fiabilidad del modelo a partir de los criterios expresados en el grupo focal y el método de expertos relacionados con la modelación del razonamiento de los decisores en el PUR. El comportamiento de la efectividad de CU respecto a los decisores se corresponde con un 60% de coincidencia con las decisiones del decisor.
3. Se valida la flexibilidad a partir de los criterios expresados por expertos y participantes en el grupo focal encontrando muy adecuado el tratamiento de las preferencias de los expertos y

cómo esto fue modelado en la propuesta, destacando la adecuada modelación para la obtención de la MIA. En el cuasi-experimento CU tiene una efectividad superior a CD, lo cual evidencia la adecuada incorporación del criterio de varios expertos para la toma de decisiones en el MCR

4. Se valida la aplicabilidad del modelo a partir de los criterios expresados en el grupo focal y por los expertos que lo valoran de muy adecuado, en función de lograr su aplicabilidad. Igualmente señalan la correspondencia de la metodología con el MCR, destacando que puede ser aplicado a otras organizaciones. En el cuasi-experimento se emplean datos de estudiantes que cursan diferentes años de la carrera, sin influencia en el resultado de efectividad obtenido.
5. Se valoran positivamente los resultados que brinda el modelo en función de lograr una ubicación que aproveche las capacidades del estudiante, así como brindar la información necesaria para elaborar su plan de formación a partir de los criterios obtenidos en el grupo focal y el índice de satisfacción resultado de la aplicación de la técnica de ladov.
6. En la triangulación metodológica intermétodo se evidencia que en los criterios obtenidos de cada uno de los métodos, no existe contradicción y sí uniformidad de criterios al evaluar cada uno de los indicadores.
7. El MCR cubre las deficiencias encontradas en los métodos de toma de decisión multicriterio sobre la capacidad de emplear en el análisis la información que existe sobre las alternativas.

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La principal insuficiencia de los métodos de toma de decisión multicriterio para la solución del problema de investigación es la carencia de mecanismos para emplear información existente sobre los candidatos y su transformación en los criterios empleados para tomar la decisión.
2. La implementación de la computación con palabras mediante los modelos lingüísticos computacionales resultó un referente importante en el modelo obtenido, porque facilitó la decisión de las técnicas a integrar en el modelo.
3. La caracterización del proceso de selección de personal y sus actividades constituyeron la base de la metodología desarrollada por la autora, porque permitió definir las actividades de manera coherente y contextualizar el proceso de selección al proceso de ubicación. La caracterización dada al proceso de ubicación de estudiantes en roles en la UCI, a partir de identificar sus deficiencias y puntos de contacto con el proceso de selección de personal, permitió modelar adecuadamente el razonamiento de los decisores en el modelo.
4. Se validan la flexibilidad, fiabilidad y aplicabilidad del Modelo computacional para la recomendación de roles en el proceso de ubicación de estudiantes en la industria de software, que brinda la posibilidad del uso de información ya existente y que puede ser útil en el proceso de ubicación. El modelo integra de manera sistémica varias técnicas que facilitan el procesamiento del criterio de varios expertos, la transformación de la información y la recomendación.
5. La metodología utilizada obtenida como parte del proceso de investigación realizado, brinda el marco para la concreción del modelo mediante la implementación de sus fases y actividades

según los resultados obtenidos en el cuasi experimento desarrollado.

6. La herramienta informática desarrollada y validada ayuda al proceso de toma de decisiones, porque implementa los algoritmos del modelo y las actividades y fases que fueron definidas en la metodología, ahorrando tiempo y ganando en precisión de los resultados.

RECOMENDACIONES

Las principales recomendaciones derivadas del trabajo realizado son:

1. Incorporar al modelo algoritmos que permitan el tratamiento de información incompleta.
2. Continuar el estudio del modelo en función de evaluar otros métodos para determinar el Índice de Acercamiento al Rol.
3. Continuar los estudios sobre el modelo que permitan la incorporación de métodos para el análisis de las relaciones entre los estudiantes, incluyendo esto como criterio útil para la ubicación, partiendo de que se incorporan como parte de un equipo de desarrollo.
4. Continuar la investigación para abordar el problema de la asignación desde técnicas computacionales empleando como criterios la recomendación y caracterización dadas por el modelo.
5. Sistematizar la aplicación de la metodología diseñada en todas las facultades y centros de desarrollo de la UCI.
6. Aplicar la metodología en otras carreras donde se cumplan los requisitos para su implementación.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Institucional, D.d.D., *Objetivos de trabajo para el año 2013 y metas hasta el 2016*. 2013, Universidad de las Ciencias Informáticas: Ciudad de La Habana.
2. Díaz-Balart, F.C., *Ciencia, tecnología y sociedad: Hacia un desarrollo sostenible en la Era de la Globalización*. 2003: Editorial Científico-Técnica.
3. Horruitiner, P., *La universidad cubana: el modelo de formación*. 2006, Ciudad de la Habana: Felix Varela.
4. Lavandero, G.J., et al., *El Modelo de Integración de la Formación, la Producción y la Investigación: fundamento de la elevación de la calidad del egresado en la UCI*, in *Universidad 2012*. 2012: La Habana, Cuba.
5. Verdecia, M.E., *Metodología para la certificación formativa de roles desde la práctica profesional*, in *Departamento de Programación*. 2011, Universidad de las Ciencias Informáticas: La Habana.
6. André, A.M., *Un modelo para la asignación de recursos humanos a equipos de proyectos de software*, in *Centro de Estudios de Ingeniería y Sistemas. Facultad de Ingeniería Informática*. 2009, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría: Ciudad de la Habana.
7. Group, T.S., *Reporte CHAOS*. 2009.
8. Jacobson, I., G. Booch, and J. Rumbaugh, *El proceso unificado de desarrollo de software*, ed. T.A.-W.O.T. Series. 2004: Félix Varela.
9. Pressman, R.S., *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill Science, 2004.
10. Verdecia, M.E., et al., *Propuesta de metodología para la certificación de roles durante la formación del ingeniero en ciencias informáticas*, in *Tenth LACCEI Latin American and*

- Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2012)* 2012: Ciudad Panamá, Panamá.
11. André, M., M.G. Baldoquín, and J. Soler, *Gestión de recursos humanos por competencias en los proyectos de software*. 2011.
 12. Hussey, M., B. Wu, and X. Xu, *Software Industry-Oriented Education Practices and Curriculum Development: Experiences and Lessons*. 2011: Igi Global.
 13. Curtis, B., Hefley, W.E., Miller, S.A. , *People CMM. A Framework for Human Capital Management*. 2009: Adison Wesley.
 14. PMI, P.M.I., *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide), 4th edition*. 2009, Pennsylvania: Newtown Square, PMI Publications.
 15. Downey, J., *A framework to elicit the skills needed for software development*, in *Proceedings of the 2005 ACM SIGMIS CPR conference on Computer personnel research*. 2005, ACM: Atlanta, Georgia, USA. p. 122-127.
 16. Guasch, R., Anton, J., *Análisis de roles de trabajo en equipo: un enfoque centrado en comportamientos*, in *Departamento de Sicología de Salud y Sicología Social*. 2006, Universidad Autónoma de Barcelona: Barcelona, España.
 17. Yang, H.-L. and J.-H. Tang, *Team structure and team performance in IS development: a social network perspective*. *Inf. Manage.*, 2004. **41**(3): p. 335-349.
 18. André, A.M., *Estrategia para la formación de roles en la carrera de Ingeniería Informática basado en la gestión por competencias, Parte 1*, in *Reporte de Investigaciones del Centro de Estudio de Ingeniería y Sistemas*. 2007, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría: La Habana.

19. Wilford, I., *Proceso de Formación de Roles en la carrera de Ingeniería Informática. Aplicación de la Minería de Datos*, in *Centro de Estudios de Ingeniería y Sistemas, Facultad de Ingeniería Informática*. 2006, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría: La Habana, Cuba.
20. Andre, A.M., Baldoquin, M.G, Acuña, S.T., Rosete, A., *A formalized model for assignment of human resources to software projects*, in *XIV Latin Ibero-American Congress on Operations Research CLAIO 2008*. 2008: Cartagena de Indias, Colombia.
21. Burstein, F. and C.W. Holsapple, *Handbook on Decision Support Systems 1*. 2008: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
22. Brans, J.P. and B. Mareschal, *Promethee Methods*, in *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. 2005, Springer New York. p. 163-186.
23. Figueira, J., S. Greco, and M. Ehrgott, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. 2005: Springer.
24. Iqbal, M.A., A.M. Zaidi, and S. Murtaza. *A New Requirement Prioritization Model for Market Driven Products Using Analytical Hierarchical Process*. in *Data Storage and Data Engineering (DSDE), 2010 International Conference on*. 2010.
25. Kelemenis, A., Askounis, D., *A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection*. *Expert Systems with Applications*, 2010. **37**(7): p. 4999-5008.
26. Kelemenis, A., Ergazakis, Kostas, Askounis, Dimitrios *Support managers' selection using an extension of fuzzy TOPSIS*. *Expert Systems with Applications*, 2011. **38**.
27. Yu-Lung Hsu, C.-H.L., V.B. Kreng, *The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection*, in *Expert Systems with Applications*. 2010. p. 419–425.

28. Ayub, M., M.J. Kabir, and M.G.R. Alam. *Personnel selection method using Analytic network Process (ANP) and fuzzy concept*. in *Computers and Information Technology, 2009. ICCIT '09. 12th International Conference on*. 2009. Dhaka, Bangladesh.
29. Büyüközkan, G., J. Arsenyan, and D. Ruan, *Logistics tool selection with two-phase fuzzy multi criteria decision making: A case study for personal digital assistant selection*. *Expert Systems with Applications*, 2012. **39**(1): p. 142-153.
30. Caballero, M.A. and M.A.M. Gento, *Toma de decisiones multicriterio, con incertidumbre, en el ámbito de los recursos humanos*, in *V Congreso de Ingeniería de Organización Valladolid*. 2003: Valladolid, España.
31. Cables, E., M.S. García-Cascales, and M.T. Lamata, *The LTOPSIS: An alternative to TOPSIS decision-making approach for linguistic variables*. *Expert Systems with Applications*, 2012. **39**(2): p. 2119-2126.
32. Chen-Tung Chen, Wei-Zhan Hung, and H.-L. Cheng, *Applying linguistic PROMETHEE method in investment portfolio decision-making*. *International Journal of Electronic Business Management*, 2011. **9**: p. 139-148.
33. Huang, D.K., et al., *A fuzzy multi-criteria decision making approach for solving a bi-objective personnel assignment problem*. *Computers & Industrial Engineering*, 2009. **56**(1): p. 1-10.
34. Krohling, R.A. and V.C. Campanharo, *Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea*. *Expert Systems with Applications*, 2011. **38**(4): p. 4190-4197.
35. Rodríguez, B.S., *Toma de decisión multicriterio con AHP, ANP y lógica difusa*. 2008, Universidad Nacional de Colombia: Colombia.

36. Caballero, M.A.I., A.M.M. Gento, and C.A. Redondo, *Selección de Personal utilizando Lógica Borrosa*, in *IX Congreso de Ingeniería de Organización*. 2005: Gijón
37. Canós, L., et al., *Personnel selection based on fuzzy methods*, in *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*. 2011. p. 177–192.
38. Canós, L., et al., *Un algoritmo fuzzy para la selección de personal basado en agregación de competencias*, in *XV Jornadas de ASEPUMA y III Encuentro Internacional*. 2007.
39. Canós, L., et al., *Modelos flexibles de selección de personal basados en la valoración de competencias*. 2008.
40. Chávez, R.R., González Santoyo F., Flores Romero B y Vargas Uribe G., *Toma de decisiones en función de los criterios empleados para la selección de personal*, in *2° Taller Latino Iberoamericano de Investigación de Operaciones*. 2007: Acapulco, México.
41. Chen-Tung, C., H. Yuan-Chu, and H. Wei-Zhan. *Applying multiple linguistic PROMETHEE method for personnel evaluation and selection*. in *Industrial Engineering and Engineering Management, 2009. IEEM 2009. IEEE International Conference on*. 2009.
42. Dursun, M. and E.E. Karsak, *A fuzzy MCDM approach for personnel selection*. *Expert Syst. Appl.*, 2010. **37**(6): p. 4324-4330.
43. Kelemenis, A.M.A., D. T. *An extension of fuzzy TOPSIS for personnel selection*. in *Systems, Man and Cybernetics, 2009. SMC 2009. IEEE International Conference on*. 2009.
44. Martínez, L., D. Ruan, and F. Herrera, *Computing With Words in Decision Support Systems: An overview on Models and Application*. *International journal of computational intelligence systems*. *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, 2010. **3**(4): p. 382 - 395.
45. Mendel, J.M., et al., *What Computing with Words Means to Me [Discussion Forum]*. *Computational Intelligence Magazine, IEEE*, 2010. **5**(1): p. 20-26.

46. Safarzadegan, G.S., M.H. Sebt, and V. Shahhosseini, *Computing with words for hierarchical competency based selection of personnel in construction companies*. Applied Soft Computing, 2012. **12**(2): p. 860-871.
47. Zadeh, L.A., *Fuzzy logic = computing with words*. Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, 1996. **4**(2): p. 103-111.
48. Zadeh, L.A., *From Computing with Numbers to Computing with Words*. Annals of the New York Academy of Sciences, 2001. **929**(1): p. 221-252.
49. Jin-Hsien, W. and H. Jongyun, *A new version of 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words*. Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, 2006. **14**(3): p. 435-445.
50. Martínez, L. and F. Herrera, *An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges*. Information Sciences, 2012. **207**(0): p. 1-18.
51. Mendel, J.M., *An Architecture for making judgement using computing with words*. International Journal of Applied Mathematics and Computer Sciences, 2002. **12**(3): p. 325-335.
52. Lamy, J.B., et al., *Testing Methods for Decision Support Systems*. Decision Support Systems. 2010: Chiang S. Jao.
53. Sadiq, R., M.J. Rodríguez, and S. Tesfamariam, *Integrating indicators for performance assessment of small water utilities using ordered weighted averaging (OWA) operators*. Expert Syst. Appl., 2010. **37**(7): p. 4881-4891.
54. André, A.M. and d.I.P.M.G. Baldoquín, *Un sistema de soporte a la decisión para la asignación de recursos humanos a equipos de proyectos de software*. Revista Investigación Operacional, 2010. **31**(1): p. 61-69.

55. Infante, A.A.L., L. Rampersaud, and A.M. André. *Algoritmos metaheurísticos aplicados al problema de la asignación de RH a proyectos de software*. in *Informática 2011*. 2011. La Habana.
56. Chiavenato, I., *Gestión del Talento Humano*. 2002, Bogotá. Colombia: Editorial Mc Graw Hill Interamericana S.A.
57. Cuesta, A., *Sistema y tecnologías de gestión de recursos humanos*. 2007, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría: La Habana.
58. Wayne, R.M. and J.B. Mondy, *Human resource management*. 2009, Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
59. Cuesta, S.A., *Tecnología de Gestión de Recursos Humanos*, ed. E. Academia. 2005, La Habana.
60. Pino, M.A.M., M.C. Sánchez, and M.L.Q. Pino, *Recursos Humanos*. 2008: Editorial Editex, S.A.
61. Alles, M.A., *Selección por competencias*. 2006: Grancia, Ediciones, S.A.
62. Gil, A.J. and A. Kauffman, *Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de las empresas*. 3ra ed, ed. Milladoiro. 1993.
63. Gil-Aluja, J., *Fuzzy Sets in the Management of Uncertainty*. 2004: Springer.
64. Cuesta, A., *La gestión por competencias*, ed. Academia. 2001, La Habana.
65. Puchol, L., *Dirección y gestión de recursos humanos*. 2007: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
66. Boyatzis, R.E., *The Competent Manager: A Model for Effective Performance*. 1982: Wiley.
67. Levy-Leboyer, C., C. Lévy-Leboyer, and J.M. Prieto, *Gestión de Las Competencias: Cómo Analizarlas, Cómo Evaluarlas, Cómo Desarrollarlas*. 2003: Gestion 2000.
68. Mertens, L., *La gestión por competencia laboral en la empresa y la formación profesional*. 1998: Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

69. Blanco, R.M., Hernández, S., Pérez, M., González, H., *Diseño de los Perfiles de Competencias para los Roles Administrador de Gestión de Configuración y Asegurador de la Calidad de Software en la Facultad 3*, in *Facultad 3*. 2009, Universidad de las Ciencias Informáticas: La Habana, Cuba.
70. Díaz, H.L.P., G.H., Dientau, B.D., Osorio, R.A. , *Diseño del perfil de competencias para el rol Diseñador de Base de Datos. Facultad 3*, in *Facultad 3*. 2010, Universidad de las Ciencias Informáticas: La Habana, Cuba.
71. Hernández, M.E.T., H.D.C., Bacallao, M.M., Palenzuela, F.Y. , *Diseño del perfil de competencia para el rol de Analista*. 2009, Universidad de las Ciencias INformáticas: La Habana, Cuba.
72. Morales, E.Y.S., Pérez, G.H., Dientau, B.D. , *Rediseño del perfil de competencias para los roles: Administrador de la Calidad, Diseñador de Pruebas y Probador*, in *Facultad 3*. 2010, Universidad de las Ciencias Informáticas: La Habana, Cuba.
73. Rodríguez, R.M., Oliva, A.A., Pérez, G.H., *Diseño del perfil de competencias para los roles: Planificador y Líder de proyecto en la Facultad 3*, in *Facultad 3*. 2009, Universidad de las Ciencias Informáticas: La Habana, Cuba.
74. Ruiz, V.M., Barrera, G.Y., Verdecia, M.E. , *Propuesta de perfil por competencias para el rol de Diseñador de interfaz de usuario.*, in *Facultad 1*. 2010, Universidad de las Ciencias Informáticas: La Habana, Cuba.
75. Zaldivar, W., B.D. Dientau, and H.D. Tejera, *Diseño del Perfil por competencias para el rol de Programador en la Facultad 3*, in *Facultad 3*. 2009, Universidad de las Ciencias Informáticas: La Habana, Cuba.

76. Martínez, L., *Un nuevo modelo de representación de información lingüística basado en 2-tuplas para la agregación de preferencias lingüísticas*, in *Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial*. 1999, Universidad de Granada: Granada, España.
77. Merigó, L.J.M., *Nuevas extensiones a los operadores OWA y su aplicación en los métodos de decisión*, in *Facultad de Economía y Empresa*. 2008, Universidad de Barcelona: Barcelona.
78. Sánchez, S.P.J., *Modelos para la combinación de preferencias en toma de decisiones: Herramientas y aplicaciones.*, in *E.T.S. de Ingeniería Informática. Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial*. 2009, Universidad de Granada: Granada, España.
79. Roubens, M., *Fuzzy sets and decision analysis*. *Fuzzy Sets and Systems*, 1997. **90**(2): p. 199-206.
80. Zadeh, L.A., *Fuzzy sets*. *Information and Control*, 1965. **8**(3): p. 338-353.
81. Pawlak, Z., *Rough Sets*. *International journal of Computer and Information Sciences*, 1982. **11**: p. 341-356.
82. Zadeh, L., *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Parte 1*. *Information Sciences*, 1975a. **8**(3): p. 199-249.
83. Zadeh, L., *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Parte 2*. *Information Sciences*, 1975b. **8**(4): p. 301-357.
84. Zadeh, L., *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Parte 3*. *Information Sciences*, 1975c. **9**(1): p. 43-85.
85. Zadeh, L., Kacprzyk, J., *Computing With Words in Information / Intelligent Systems 1*. 1999.
86. Zadeh, L.A., *Some reflections on soft computing, granular computing and their roles in the conception, design and utilization of information/intelligent systems*. *Soft Computing - A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*, 1998. **2**(1): p. 23-25.

87. Keukelaar, J.H.D., *Topics in Soft Computing*, in *Department of Numerical Analysis and Computer Science*. . 2002, Royal Institute of Technology.: Stockholm.
88. Verdegay, J.L., *De los conjuntos fuzzy a la soft computing*. Vol. 24. 2005, Santiago de Compostela, ESPAGNE: Universidade de Santiago de Compostela. 20.
89. Zadeh, L.A., *Soft computing and fuzzy logic*. Software, IEEE, 1994. **11**(6): p. 48-56.
90. Mendel, J.M., *Computing with words and its relationships with fuzzistics*, in *Information Sciences*. 2007.
91. Mendel, J.M., *Computing with Words: Zadeh, Turing, Popper and Occam*. Computational Intelligence Magazine, IEEE, 2007. **2**(4): p. 10-17.
92. Dubois, D., Prade, Henry, *Fuzzy Sets and Systems. Theory and Application*, ed. I. Academic Press. 1980.
93. Wierman, M.J., *An Introduction to the Mathematics of Uncertainty*, ed. C. University. 2010.
94. Ming Li, Y.Z., *The OWA-VIKOR method for multiple attributive group decision making in 2-tuple linguistic setting*. Journal of Convergence Information Technology, 2012. **7**.
95. Mendel, J.M., *Type-2 fuzzy sets and systems: an overview*. Computational Intelligence Magazine, IEEE, 2007. **2**(1): p. 20-29.
96. N. Karnik, N. and J. M. Mendel, *Operations on type-2 fuzzy sets*. Fuzzy Sets and Systems, 2001. **122**(2): p. 327-348.
97. Türksen, I.B., *Type 2 representation and reasoning for CWW.*, in *Fuzzy Sets and Systems*. 2002. p. 17 - 36.
98. Bello, R. and R. Falcón, *Granular Computing: At the Junction of Rough Sets and Fuzzy Sets*. 2008: Springer.

99. Zadeh, L.A., *Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic*. Fuzzy Sets and Systems, 1997. **90**(2): p. 111-127.
100. Bonissone, P.P. and K.S. Decker. *Selecting Uncertainty Calculi and Granularity: An Experiment on Trading-off Precision and Complexity*. in *Uncertain in Artificial Intelligence*,. 1986. North Holland.
101. Doumpos, M.a.C.Z., *Preference disaggregation and statistical learning for multicriteria decision support: A review*. . European Journal of Operational Research, 2010. **209**(3): p. 203-214.
102. Herrera, F.H.-V., E., and Martinez, L. , *A fuzzy linguistic methodology to deal with unbalanced linguistic term sets*, in *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2008. p. 354-370.
103. Menger, K., *Statistical metric spaces*, in *Proc. Nat. Acad. Sci.* 1942: Estados Unidos de América. p. 235-237.
104. Rodríguez, S.Y., *Generalización de la métrica basada en la diferencia de valores (VDM) para variables lingüísticas y su aplicación en sistemas basados en el conocimiento*., in *Departamento de Ciencias de la Computación*. 2007, Universidad Central de Las Villas: Santa Clara.
105. Yager, R., *On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making*, in *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*. 1988. p. 183-190.
106. Yager, R.R., *Families of OWA operators*. Fuzzy Sets and Systems, 1993. **59**(2): p. 125-148.
107. Yager, R.R., *OWA aggregation over a continuous interval argument with applications to decision making*. Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on, 2004. **34**(5): p. 1952-1963.
108. Herrera, F., Herrera-Viedman, E., *Aggregation Operators for Linguistic Weighted Information*, in *IEEE trans. on Systems, Man and Cibernetics - Part A: Systems and Humans*. 1997.

109. Socorro, G.-C.M., *Métodos para la comparación de alternativas mediante un sistema de ayuda a la decisión*, in *Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y Proyectos*. 2009, Universidad Politécnica de Cartagena: Cartagena.
110. Canós, L., Liern, V., *Soft computing-based aggregation methods for human resource management*, in *European Journal of Operational Research*. 2007.
111. Yager, R.R., *Fuzzy Screening Systems, Fuzzy Logic: State of the Art*. 1992, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
112. Wang, X. and E.E. Kerre, *Reasonable properties for the ordering of fuzzy quantities (II)*. *Fuzzy Sets and Systems*, 2001. **118**(3): p. 387-405.
113. Wang, X. and E.E. Kerre, *Reasonable properties for the ordering of fuzzy quantities (I)*. *Fuzzy Sets and Systems*, 2001. **118**(3): p. 375-385.
114. Adamo, J.M., *Fuzzy decision trees*. *Fuzzy Sets and Systems*, 1980. **4**(3): p. 207-219.
115. Buckley, J.J., Chanas, S., *A fast method of ranking alternatives using fuzzy numbers*, in *Fuzzy Sets and Systems*. 1989. p. 337-339.
116. Tsukamoto, Y., Nikiforuk, P. N., Gupta, M. M., *On the comparison of fuzzy sets using fuzzy chooping*, in *Control Science and Technology for Progress of society*. 1983.
117. Carlsson, C., R. Fullér, *Benchmarking and Linguistic Importance Weighted Aggregations*. *Fuzzy Sets and Systems*, 1999.
118. Delgado , M., Herrera, F, Herrera-Viedman, E., martínez, L., *Combining numerical and linguistic information in group decision making*, in *Information Sciences*. 1998. p. 145-149.
119. Fu, G., *A fuzzy optimization method for multicriteria decision making: an application to reservoir flood control operation*. *Expert Systems with Applications*, 2008. **34**(1): p. 145-149.

120. Martin, O., Klir, G., *On the problem of the retranslation in computing with perceptions*. International Journal of General Systems, 2006. **35(6)**: p. 655-674.
121. Yager, R., *On the retranslation process in Zadeh's paradigm of computing with words*, in *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics*. 2004. p. 1184-1195.
122. Mendel, J.M., *Perceptual reasoning for perceptual computing*, in *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2008. p. 1550-1564.
123. Türksen, I.B., *Meta-linguistic axioms as a foundation for computing with words*. Information Sciences, 2007. **177(2)**: p. 332–359.
124. Delgado, M., Verdegay, J., Vila., *On aggregation operations of linguistic labels*. International Journal of Intelligent Systems, 1993. **8(3)**: p. 351-370.
125. Yager, R., *A new methodology for ordinal multiobjective decisions based on fuzzy sets*, in *Decision Sciences*. 1981. p. 589-600.
126. Yager, R., *Aggregation of ordinal information*, in *Fuzzy Optimization and Decision Making*. 2007. p. 199-219.
127. Chen-Tung Chen, P.-F.P., Wei-Zhan Hung, *A two-phase fuzzy decision-making method based on multigranular linguistic assessment*. African Journal of Business Management, 2012. **6**.
128. Herrera, F., Martínez, L., *A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words*, in *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2000. p. 746-752.
129. Herrera, F., Herrera-Viedman, E., , *Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problem under linguistic information.*, in *Fuzzy Sets and Systems*. 2000. p. 67-82.
130. Herrera, F., Herrera-Viedma, E. , Martínez, L., *A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making.* , in *Fuzzy Sets and Systems*. 2000. p. 43-58.

131. Alonso, S., et al., *Group decision making with incomplete fuzzy linguistic preference relations*. International Journal of Intelligent Systems, 2009. **24**(2): p. 201-222.
132. Mata, F., L. Martinez, and E. Herrera-Viedma, *An Adaptive Consensus Support Model for Group Decision-Making Problems in a Multigranular Fuzzy Linguistic Context*. Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, 2009. **17**(2): p. 279-290.
133. Cabrerizo, L., F. J., *Nuevos modelos de toma de decisión en grupo con información lingüística difusa*, in *Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial*. 2008, Universidad de Granada: Granada.
134. Tundjungsari, V., Eko Istiyanto, Jazi , Winarko, Edi , Wardoyo, Retantyo *Achieving consensus with individual centrality approach*. International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), 2012. **4**(1).
135. Liu, J., et al., *Minimum Cost Consensus Model under Power Average Operator*. Journal of Computational Information Systems 2012. **8**(9).
136. Herrera-Viedma, E., F. Herrera, and F. Chiclana, *A consensus model for multiperson decision making with different preference structures*. Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on, 2002. **32**(3): p. 394-402.
137. Saaty, T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, ed. McGraw-Hill. 1980, New York, NY.
138. Brans, J.P., Mareschal, B., Vincke, P. H. , *PROMETHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis*, in *Operational Research '84*. 1984, J. P. Brans (ed.).
139. Sun, C.-C., *A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods*. Expert Systems with Applications, 2010. **37**(12): p. 7745-7754.

140. Vidal, L.-A., F. Marle, and J.-C. Bocquet, *Using a Delphi process and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the complexity of projects*. Expert Systems with Applications, 2011. **38**(5): p. 5388-5405.
141. Vaidya, O.S. and S. Kumar, *Analytic hierarchy process: An overview of applications*. European Journal of Operational Research, 2006. **169**(1): p. 1-29.
142. Maurtua, O.D.E., *Criterios de Selección de Personal mediante el uso del proceso de análisis jerárquico. Aplicación en la selección de personal para la Empresa Exotic Foods S.A.C.* 2006, Universidad Nacional Mayor de San Marcos: Lima, Perú.
143. Sarkis, J. and I. Seol, *An Analytic Network Process Model for Internal Auditor Selection*, in *Applications of Management Science: In Productivity, Finance, and Operations* 2006, Emerald Group Publishing. p. 215-234.
144. Hwang, C.L., Yoon, K, *Multiple attribute decision methods an applications*, ed. Springer. 1981, Berlin.
145. Dejiang, W. *Extension of TOPSIS Method for R&D Personnel Selection Problem with Interval Grey Number*. in *Management and Service Science, 2009. MASS '09. International Conference on*. 2009.
146. Arza, P.L., M.E.Y. Verdecia, and M.J.H. Hernández. *A New Fuzzy TOPSIS Approach to Personnel Selection with Veto Threshold and Majority Voting Rule*. in *Artificial Intelligence (MICAI), 2012 11th Mexican International Conference on*. 2012.
147. Fernández, B., G.M., *Extensión a los métodos PROMETHEE de nuevas estructuras de preferencia para la toma de decisiones multicriterio discretas*. 1991, Universidad de Alcalá de Henares: Madrid.

148. Behzadian, M., et al., *PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications*. European Journal of Operational Research, 2010. **200**(1): p. 198-215.
149. Martínez, L.O.L., Martínez, C.D., Serrano, P.W., *Estrategia de Caracterización Integral en el marco del Modelo de Integración de la Formación, la Producción y la Investigación en la Universidad de las Ciencias Informáticas*, in *Universidad 2012*. 2012: Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echevarría". La Habana.
150. Torres, S.L., P.P. Piñero, and J.T.G. González, *Un modelo de asignación de roles en proyectos de software basado en selección por competencias*, in *Evento de base Universidad 2012, Universidad de las Ciencias Informáticas*. 2011: Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana.
151. Arza, P.L., M.E.Y. Verdecia, and G.J. Lavandero, *Propuesta de Método para la Evaluación de Candidatos en un Proceso de Selección de Personal*, in *Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2012)* 2012: Ciudad Panamá, Panamá.
152. Arza, P.L., M.E.Y. Verdecia, and G.J. Lavandero, *Modelo para la ubicación de los estudiantes en roles del proceso de desarrollo de software en la universidad de las ciencias informáticas*, in *6ta Conferencia Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas. UCIENCIA*. 2012: La Habana.
153. Arza, P.L., M.E.Y. Verdecia, and G.J. Lavandero, *El conocimiento y la información en la asignación de roles profesionales a un estudiante durante su formación*, in *Revista Ciencias de la Información*. 2013: La Habana.
154. Arza, P.L., G.J. Lavandero, and M.E. Verdecia. *Empleo de métodos matemáticos en el proceso de ubicación de estudiantes en un rol del proceso de desarrollo de software en la universidad*

- de las ciencias informáticas. in *V Conferencia Científica Internacional Universidad de Holguín*. 2011. Cuba.
155. Arza, P.L., M.E.Y. Verdecia, and G.J. Lavandero, *El empleo de métodos de toma de decisión y técnicas de soft computing en la selección de personal.*, in *Revista Cubana de Ciencias Informáticas (RCCI)*. 2012.
156. Sun, J.-g., J. Liu, and L.-y. Zhao, *Clustering Algorithms Research*. 2008.
157. Verma, M., Srivastava, Mauly , Chack, Neha , Kumar, Atul Diswar, Gupta, Nidhi *A Comparative Study of Various Clustering Algorithms in Data Mining*. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), 2012. **2**(3): p. 1379-1384.
158. Singh, A., *Architecture value mapping: using fuzzy cognitive maps as a reasoning mechanism for multicriteria conceptual design evaluation*. 2011, Missouri university of science and technology.
159. Durand, R., *El método Delphi y la perspectiva del Hidrógeno.*, in *Revista Metra*. 1971.
160. Galeano, E., *Curso Especializado en la Modalidad a Distancia sobre Investigación en las Ciencias Sociales, Modulo 5, La Investigación Cualitativa, Teoría*. 1993, ICFES, INER,Universidad de Antioquia: Medellín.
161. Gibbs, A., *Focus Group. Social Research Update*. 1997.
162. Arza, P.L. and L.D. Borrego, *Sistema de soporte a la decisión para la ubicación del estudiante en un rol del proceso de desarrollo de software*, in *Facultad 3*. 2012, Universidad de las Ciencias Informáticas: La Habana.
163. Grau, R., Correa, C., Rojas M., *Metodología de la investigación (Segunda Edición)*. 2004: UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ CORUNIVERSITARIA.
164. Kuzmina, N.V., *Metódicas investigativas de la actividad pedagógica.*, ed. E. Leningrado. 1970.

165. Zhang, H., *The multiattribute group decision making method based on aggregation operators with interval-valued 2-tuple linguistic information*. *Mathematical and Computer Modelling*, 2012. **56**(1–2): p. 27-35.
166. MES, *Reglamento para el Trabajo Docente Metodológico de la Educación Superior*, in 210, M.d.E. Superior, Editor. 2007.

GLOSARIO

GLOSARIO DE SIGLAS

AHP	Proceso de Análisis Jerárquico (Analytical Hierarchical Process)
BTLS	Conjunto Base de Términos Lingüísticos
CD	Clasificador Decisor
CICE	Centro de Innovación y Calidad de la Educación
CU	Clasificador SiRec
CWW	<u>Computer With Words</u> (Computación con Palabras)
EVA	Evaluación
GRH	Gestión de Recursos Humanos
IAR	Índice de Acercamiento al Rol
ISG	Índice de Satisfacción Grupal
ISWSI	Industria del Software y los Servicios Informáticos
MCDM	Multicriteria Decision Making (Métodos de Toma de Decisión Multicriterio)
MCR	Modelo Computacional para la Recomendación de roles en el Proceso de Ubicación de estudiantes en la industria de software
MIA	Matriz de Incidencia Agregada
MLC2T	Modelo lingüístico computacional basado en 2 tuplas
MLCCBT	Modelo lingüístico computacional basado en conjuntos borrosos de tipo 2
MLCFP	Modelo lingüístico computacional basado en Funciones de Pertenencia
MLCSEO	Modelo lingüístico computacional simbólico basado en escalas ordinales
MUERP	Metodología para la ubicación de estudiantes en roles de la industria de software
NCR	Nivel de Cercanía al Rol
ND	Nivel de Desarrollo
OWA	Ordered Wiegthed Averaging
PDS	Proceso de Desarrollo de Software
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
PSP	Proceso de Selección de Personal
PUR	Proceso de Ubicación en Roles
TCB	Teoría de Conjuntos Borrosos
TD	Toma de Decisión
TDMC	Toma de Decisión Multicriterio
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UCI	Universidad de las Ciencias Informáticas

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR

Publicaciones en memorias de eventos

Arza, P. L., Lavandero, G. J., & Verdecia, M. E. (2011). *Empleo de métodos matemáticos en el proceso de ubicación de estudiantes en un rol del proceso de desarrollo de software en la universidad de las ciencias informáticas*. Paper presented at the V Conferencia Científica Internacional Universidad de Holguín, Cuba.

Arza, P. L., Verdecia, M. E. Y., & Lavandero, G. J. (2012). *Proceso de ubicación de estudiantes en un rol del proceso de desarrollo de software*. Paper presented at the 6ta Conferencia Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas. UCIENCIA, La Habana.

Arza, P. L., Verdecia, M. E. Y., & Lavandero, G. J. (2012). *Modelo para la ubicación de los estudiantes en roles del proceso de desarrollo de software en la universidad de las ciencias informáticas*. Paper presented at the 6ta Conferencia Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas. UCIENCIA, La Habana.

Arza, P. L., Verdecia, M. E. Y., & Lavandero, G. J. (2012). *Propuesta de Método para la Evaluación de Candidatos en un Proceso de Selección de Personal*. Paper presented at the Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2012) Ciudad Panamá, Panamá.

Arza, P. L., Verdecia, M. E. Y., & Lavandero, G. J. (2013). *Propuesta de modelo lingüístico computacional para la ubicación de estudiantes en roles profesionales*. Paper presented at the II Conferencia Internacional de Ciencias Computacionales e Informáticas (CICCI' 2013). Convención Informática 2013. La Habana.

Arza, P. L., Verdecia, M. E. Y., & Martínez, H. J. (2012, Oct. 27 2012-Nov. 4 2012). A New Fuzzy TOPSIS Approach to Personnel Selection with Veto Threshold and Majority Voting Rule. Paper presented at the Artificial Intelligence (MICAI), 2012 11th Mexican International Conference on.

Publicaciones en Revistas

Arza, P. L., Verdecia, M. E. Y., & Lavandero, G. J. (2012). El empleo de métodos de toma de decisión y técnicas de soft computing en la selección de personal. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas (RCCI)*, 6(3).

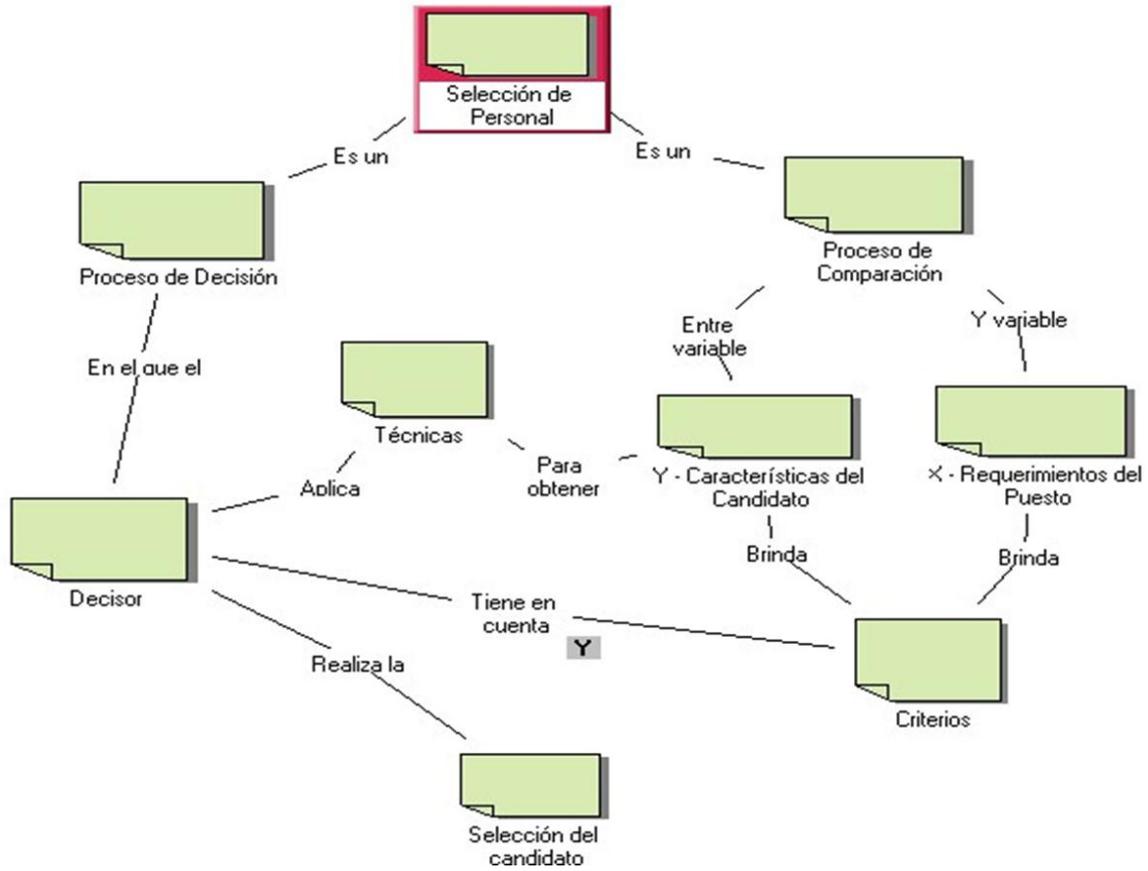
Arza, P. L., Verdecia, M. E. Y., & Lavandero, G. J. (2013). El conocimiento y la información en la asignación de roles profesionales a un estudiante durante su formación. *Revista Ciencias de la Información*, 44.

Arza, P. L., Verdecia, M. E. Y., & Lavandero, G. J. (2013). Metodología para ubicar estudiantes en roles del proceso de desarrollo de software. *Revista de Ingeniería Industrial*, 4.

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1. Mapa conceptual del proceso de selección de personal



Anexo 2. Encuesta diagnóstico del proceso de ubicación de estudiantes en un rol en la UCI

Encuesta para determinar la situación actual del proceso de ubicación de los estudiantes en un rol del proceso de desarrollo de software en la UCI

Usted ha sido seleccionado para colaborar con la investigación que se realiza con el objetivo de elaborar un **Modelo para la ubicación de un estudiante en un rol del proceso de desarrollo de software**. En tal sentido se elabora esta encuesta con el objetivo de: **Diagnosticar la situación actual del proceso de ubicación de los estudiantes en los roles del proyecto y conocer sus criterios sobre la importancia de una metodología para este proceso, así como los elementos que se pudieran tener en cuenta para su elaboración.**

Gracias por su ayuda

Facultad / Dirección / Centro: _____

Cargo (si está ocupando alguno): _____

Proyecto: _____

Rol: _____

Pregunta # 1: ¿Existe definido en su área algún proceso para la ubicación de los estudiantes en un rol del proyecto?

SI () NO () NO SE ()

1.1 ¿Se ejecuta el proceso diseñado?

SI () NO () NO SE ()

1.2 Marque con una cruz cuáles considera factores de fracaso en el proceso de ubicación de los estudiantes en un rol

Falta de informatización del proceso	
Dificultad en el manejo de la información para la toma de decisiones	
Falta de un método que aporte los criterios para la toma de decisiones	
Gran volumen de estudiantes a ubicar	
Poco tiempo para la decisión	
Falta de instrumentos para la obtención de información sobre los estudiantes a ubicar	

Pregunta # 2: ¿Conoce usted las bases de la aplicación del nuevo modelo de integración docencia-producción-investigación?

SI () NO ()

Pregunta # 3: Sobre el currículum del estudiante responda:

3.1 ¿Conoce usted qué elementos del plan de estudio pueden aportar criterios para la ubicación y trabajo del estudiante durante su práctica profesional?

SI () NO ()

3.2 Marque los elementos que considera puedan utilizarse como criterios para la ubicación del estudiante en un rol del proyecto, puede agregar elementos en los espacios en blanco de la tabla:

Resultados académicos	
Diagnóstico entrada a la UCI	

Diagnóstico integral de cierre del ciclo básico	
Evaluaciones semestrales de los estudiantes	
Criterios de comportamiento	

3.3 ¿Considera útil y práctica para la ubicación del estudiante en la práctica profesional la forma en la que se brinda la información como resultado de los diagnósticos que se aplican?

SI () NO ()

3.4 ¿Conoce usted algún método mediante el cual se defina el rol que puede ocupar el estudiante?

SI () NO ()

3.5 Describa brevemente cómo se define la ubicación del estudiante en rol en su proyecto

Pregunta # 4: Sobre la necesidad de un proceso para la ubicación del estudiante en un rol dentro de un proyecto responda:

4.1 ¿Cree usted necesario contar con un proceso que permita definir la ubicación del estudiante en un rol dentro del proyecto?

SI () NO ()

4.2 ¿Desea expresar algo sobre el proceso de ubicación del estudiante en un rol del proyecto que no se recoja en las preguntas de esta encuesta y que considere es importante tener en cuenta?

Muchas gracias por su colaboración

Anexo 3. Diagnóstico técnico

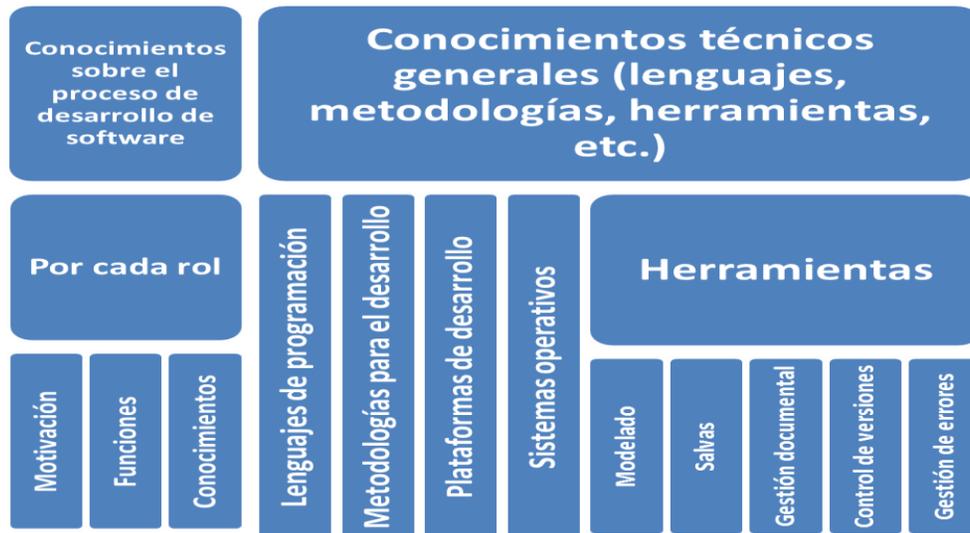


Figura 4.1: Diseño del diagnóstico técnico.

Habilidad para trabajar en forma autónoma.					X	X	
Compromiso con la calidad.					X	X	

Diagnóstico Técnico Integral (4to Año)

Total de puntos en la encuesta : 334/798

Título	Mensaje
Total	Mal

Grupo	Puntos	Título	Mensaje
Sección II. El proceso de desarrollo de software (conocimientos generales).	35/79	Proceso de desarrollo de software	Mal
Sección II: Rol del analista	94/178	Rol Analista	Mal
Sección II: Rol de Administrador de bases de datos.	91/171	Rol Administrador de Base Datos	Mal
Sección II: Rol de programador.	61/182	Rol Programador	Mal
Sección II: Rol de Probador.	37/100	Rol Probador	Mal
Sección II: Rol de Gestor de la configuración y cambios	16/88	Gestor de la Configuración y Cambios	Mal

Motivación por roles

Orden de pref.	Rol	Tiempo de desempeño del rol	Nivel de conocimiento
2	Diseñador de Base de Datos	nunca	Medio

Figura 4.2: Fragmento del resultado del diagnóstico técnico.

Anexo 4. Instrumento para obtener la opinión de los expertos en la incidencia de los atributos del estudiante sobre los atributos del rol

Especifique el nivel de incidencia que considera tienen los atributos del estudiante en la formación de las competencias requeridas para cada uno de los roles que deben desempeñar en la PP. De acuerdo a sus conocimientos y experiencia escoja una de las siguientes escalas valorativas (EV) para brindar sus criterios:

EV 1		EV 2		EV 3	
Nivel de Incidencia	Sigla	Nivel de Incidencia	Sigla	Nivel de Incidencia	Sigla

Atributos de los roles		Atributos del estudiante						
		ac 1	ac2	ac3	ac4	acp
Ri	ar1							
	ar2							
	ar3							
	...							
	arq							

Anexo 5. Algoritmos para la obtención de MIA.

Algoritmo 1: Obtención de la Matriz de Incidencia Agregada MIA.

Entrada(s): Matrices de incidencia de los k expertos, $MI_k = [ni_{s,t}^k]_{q \times p}$

Salida(s): Matriz de incidencia agregada MIA = $[NIA_{s,t}]_{q \times p}$

Inicio

Convertir al BTLS (Algoritmo 2)

Asignar pesos iniciales (13)

Agrupar por matrices de opinión

Por grupos

Agregar matrices de expertos MI_k (Algoritmo 3)

Determinar grado de consenso (14)

Terminar = falso

Mientras no terminar

Si grado de consenso menor al deseado **entonces**

Preguntar si continuar o no

Si continuar **entonces**

Reajustar pesos (16)

Agregar matrices de expertos MI_k (Algoritmo 3)

Sino

Terminar = verdadero

Fin Si

Sino

Terminar = verdadero

Fin Si

Fin Mientras

Retornar

Fin.

Algoritmo 2: Convertir al BTLS.

Entrada(s): Matrices de incidencia de los k expertos, $MI_k = [ni_{s,t}^k]_{q \times p}$

Salida(s): Matrices de incidencia en el BTLS de los k expertos, $MI_k = [ni_{s,t}^k]_{q \times p}$

Inicio

Para s=1 **hasta** cantidad de expertos **hacer**

Recorrer las columnas de la matriz

Recorrer las filas

Transformar el $ni_{s,t}^k$ a un tl del BTLS (11)

Fin mover por la fila

Fin mover por las columnas

Fin Para

Retornar MI_k

Fin.

Algoritmo 3: Agregar matrices.

Entrada(s): Matrices de incidencia de los k expertos, $MI_k = [ni_{s,t}^k]_{q \times p}$

Salida(s): Matriz de incidencia agregada $MIA = [NIA_{s,t}]_{q \times p}$

Inicio

Inicializar variable para término agregado NIA

Inicializar matriz agregada MIA

$W = 0$

Recorrer las columnas de la matriz (t)

Recorrer por las filas (s)

Para $k=1$ **hasta** cantidad de expertos **hacer**

Si $ni_{s,t}^k$ mayor al menor tl del BTLS

Agregar en NIA ($ni_{s,t}^k \times w_k$)

Sumar en W w_k

Fin **Si**

Fin **Para**

Fin mover por la fila

Poner en $MIA_{s,t}$ el valor NIA/W

Fin mover por las columnas

Retornar MIA

Fin.

Anexo 6. Descripción de las actividades de la metodología.

Descripción de las actividades de la Fase 1:

- Inicio de la fase: Se organiza la información que es necesario analizar y se distribuyen las tareas entre los involucrados; además se establece el cronograma para realizar la ubicación.
- Definición de los elementos asociados a las variables lingüísticas: Se definen los elementos asociados a las variables lingüísticas definidas para operar en el modelo.
- Análisis de las evidencias del estudiante: Se organiza la información que puede ser tomada en cuenta como evidencia del desempeño del estudiante, se analiza si es importante tenerla en cuenta para la ubicación.
- Generación de la lista de atributos del estudiante: En función del análisis realizado en la actividad anterior se elabora la lista con los atributos a tener en cuenta del estudiante y la fuente de donde se puede obtener.
- Análisis de los roles: Se analiza la lista de los roles en los que puede ser ubicado el estudiante para analizar si realmente deben ser esos.
- Análisis de los perfiles de los roles: Se analizan las competencias específicas y generales, así como los conocimientos definidos en el perfil de competencia de cada rol, en función de determinar cuáles son las que se deben tener en cuenta para la ubicación.
- Generación de la lista de roles con sus atributos: En función del análisis realizado en las actividades anteriores se elabora la lista con los roles y sus atributos a tener en cuenta para la ubicación.
- Organización de la información del estudiante: Una vez definidos los atributos del estudiante a tener en cuenta en la ubicación, se debe organizar la información de los valores de esos atributos, interacción con otros sistemas como Gestión Académica y Sistema de Encuestas y la forma de intercambio de información de estos sistemas con el sistema implementado para la recomendación.
- Cierre de la fase: se organiza la información generada en las actividades realizadas, se analiza el cumplimiento del cronograma y se planifica la siguiente fase.

De las actividades definidas en esta fase, las relacionadas con las definiciones necesarias para la contextualización del modelo, así como las definiciones asociadas a los roles y los estudiantes pueden ser realizadas la primera vez que se aplica la metodología y posteriormente se realizan si es necesario hacer cambios. Por lo que después de la primera aplicación de la metodología se realizarían las actividades de inicio, organización de la información del estudiante y cierre de manera obligatoria.

Descripción de las actividades de la Fase 2:

A partir de esta fase se presupone que existe la herramienta informática que implementa los algoritmos del modelo, tal como se plantea en los requisitos para la aplicación de la metodología.

- Inicio de la fase: Se organiza la información que es necesario analizar y distribuyen las tareas entre los involucrados, además se establece el cronograma para realizar la ubicación.
- Introducción de la información del estudiante y el rol en la aplicación: se introduce la información que se tiene del estudiante manualmente o mediante la importación de datos.
- Normalización de la información del estudiante: Esta actividad debe estar automatizada. Se evalúa la ecuación (7) con la información del estudiante.
- Construcción de la matriz de incidencia agregada: para la obtención de la matriz de incidencia agregada es necesario:
 - La obtención del criterio de los expertos sobre la incidencia de los atributos del estudiante en los

atributos del rol, se obtiene a partir de la aplicación del instrumento que se describe en el Anexo 4. Se obtienen las MI_k tal como se representa en (8). En este paso es recomendado que la recopilación del criterio de los expertos se haga a partir de una caracterización de estos expertos respecto a los atributos sobre los que puede opinar, de manera que el experto no sienta la necesidad de forzar su criterio sobre algún atributo, esto además facilita el proceso de agrupamiento que se hace como parte del algoritmo definido para la obtención de la *MIA*.

- Se construye la *MIA* como resultado de un proceso de agregación de información con consenso. La construcción de esta matriz debe ser automatizada, implementando el algoritmo que se propone en la figura 2.3.
- Definición de los niveles deseados de cada rol: se define una o varias combinaciones de niveles deseados de las competencias para cada uno de los roles se describe mediante (3) y (17). Estos niveles deseados se introducen en la aplicación informática.
- Cierre de la fase: se organiza la información generada en las actividades realizadas, se analiza el cumplimiento del cronograma y se planifica la siguiente fase.

De las actividades definidas en esta fase, las actividades relacionadas con *MIA* y los niveles deseados para cada rol solo se realizan la primera vez que se aplica la metodología y luego en función de la necesidad de introducir cambios en estos valores, pero pueden ser datos que se utilicen en varios procesos de ubicación sin necesidad de modificación.

Descripción de las actividades de la Fase 3:

- Inicio de la fase: Se organiza la información que debe ser introducida para que se construyan las funciones de transformación, agregación y para el IAR.
- Ejecución del algoritmo del MCR representado en la figura 2.5: Con la información de entrada construyen las funciones para procesar la información y obtener los criterios de la recomendación.
- Cierre de la fase: Al tener construidas las funciones se revisa la consistencia de todos los datos que se tienen hasta el momento y se planifica la siguiente fase.

Descripción de las actividades de la Fase 4:

- Inicio de la fase: Se inicia considerando si se tienen creadas todas las condiciones para evaluar las funciones a partir de las que se obtendrá la recomendación.
- Ejecución del algoritmo del MCR representado en la figura 2.6: Con la información resultante de la fase 3 se tienen construidas las funciones que se necesita evaluar; estas funciones son evaluadas con los datos obtenidos de las fases 1 y 2. Se obtiene la recomendación de los roles según (5).
- Cierre de la fase: Se analizan los resultados obtenidos en la fase y se planifican las actividades de la siguiente.

Descripción de las actividades de la Fase 5:

- Inicio de la fase: Se organiza la información de la recomendación obtenida de la fase anterior, así como la relacionada con las necesidades de los proyectos para cada uno de los roles.
- Análisis de la Recomendación por parte de los decisores: Se organiza la información que se obtiene del modelo, la recomendación y caracterización, en función de realizar la siguiente actividad.

- Definición de una preubicación: Se define una preubicación por parte de los decisores teniendo como criterio el análisis de la recomendación dada según el MCR, la caracterización dada al estudiante en cada rol y las necesidades de los proyectos. Se considera adecuado realizar esta preubicación para luego confrontar la decisión con los resultados de las entrevistas en los casos que se defina realizarla, además como un elemento para analizar con la participación de otras personas, si se considera necesario, antes de tomar la decisión de la ubicación.
- Realización de entrevista con el estudiante: Esta actividad es opcional, se realiza de acuerdo al criterio de los decisores, teniendo en cuenta los elementos de la preubicación. Permite tener contacto directo con los estudiantes y conocer otros elementos que pueden ser importantes para la decisión y que no hayan sido analizados en el MLC-PUR, como puede ser la motivación y su expectativa.
- Definición de la ubicación: Se analizan los resultados de las entrevistas realizadas, la preubicación y necesidades del proyecto, además es posible que se consulten estos con otras personas involucradas en el proceso o con mayor experiencia. Como resultado se reajusta la preubicación realizada, definiendo el rol en el que debe ser ubicado el estudiante.
- Obtención de la caracterización del estudiante en el rol: A partir de los resultados parciales del MLC-PUR donde se evalúa al estudiante en los atributos del rol se genera la caracterización del estudiante en el rol donde se ubicó. Esta caracterización es entregada a su tutor para que se tenga en cuenta en la elaboración de su plan de formación. Esta actividad debe ser automatizada.
- Información al estudiante del resultado del proceso: se informa al estudiante el rol que debe desempeñar como parte de su vinculación a la producción.
- Cierre de la fase: Se cierra la fase y la metodología con el análisis de los resultados obtenidos de la ejecución de la metodología. Se elabora el documento de las lecciones aprendidas y sugerencias de mejora que debe ser analizado para próximas implementaciones de la metodología.

Anexo 7. Cuestionario a expertos.

Estimado experto (a): la presente encuesta forma parte de una investigación que está dirigida al perfeccionamiento del proceso de ubicación de estudiantes en un rol del proceso de desarrollo de software. Por cuanto estamos convencidos de que sus valoraciones acerca de los asuntos que sometemos a su consideración nos servirán de ayuda, le solicitamos la más responsable atención a esta consulta.

I- Datos generales del encuestado:

Institución y departamento donde labora: _____

Título universitario: _____

Categoría científica: _____ Categoría docente: _____

Años de experiencia en la docencia: _____

Años de experiencia en la producción o los servicios: _____

Según resultados obtenidos en diferentes investigaciones realizadas con anterioridad, hemos extraído los siguientes indicadores que someteremos a su consideración en esta consulta para juzgar su efectividad en la medición de las variables de la tesis.

Es por ello que el objetivo de la presente encuesta consiste en que usted evalúe cada uno de los indicadores que se le presentarán. Para expresar su evaluación, por favor, luego de analizar cuidadosamente el material que se adjunta, evalúe a cada uno de los indicadores que se le presentan en la tabla de la subsiguiente sección II, colocando las siglas en la casilla correspondiente y teniendo en cuenta para ello las siguientes categorías de clasificación:

MA: MUY ADECUADO; **BA:** BASTANTE ADECUADO; **A:** ADECUADO; **PA:** POCO ADECUADO; **I:** INADECUADO.

II- Lista de indicadores a valorar:

No	Indicador	Valoración
1	Cómo evalúa la participación de los expertos en el modelo.	
2	Cómo evalúa usted el modelo lingüístico de ayuda a la decisión en la ubicación de estudiantes en un rol profesional.	
3	Cómo evalúa usted la concepción de los componentes del modelo.	
4	Cómo valora usted el uso de información existente en la ubicación como parte del modelo de toma de decisiones.	
5	Cómo valora la utilidad de la información de salida del modelo en el proceso de ubicación y la elaboración del plan de formación.	
6	Cómo valora usted la flexibilidad del modelo ante los cambios que se pueden presentar en el diseño de los roles y en la información que se utiliza para la decisión.	
7	Cómo evalúa usted la metodología para la ubicación de los estudiantes en un rol en la UCI.	
8	Cómo evalúa usted la aplicabilidad de la metodología.	
9	Cómo evalúa usted la flexibilidad de la metodología.	
10	Existe coherencia entre el modelo y la metodología.	

III- Si desea exponer cualquier otra opinión, por favor, exprese en el espacio disponible a continuación.

IV- Como parte del método de procesamiento de los datos obtenidos por medio de la presente encuesta, necesitamos caracterizar estadísticamente la competencia del conjunto de expertos del cual usted forma parte, por lo que finalmente le rogamos nos ayude respondiendo lo más fielmente posible al siguiente **TEST**

DE AUTOVALORACIÓN DEL CONSULTADO:

a) Evalúe su nivel de dominio acerca de la esfera sobre los métodos de decisión multicriterio bajo incertidumbre marcando con una cruz sobre la siguiente escala (1: dominio mínimo; 10: dominio máximo)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

b) Evalúe la influencia de las siguientes fuentes de argumentación en los criterios valorativos aportados por usted.

Fuentes de argumentación	Grado de influencia de las fuentes de argumentación		
	Alto	Medio	Bajo
Análisis teóricos realizados por usted			
Su propia experiencia			
Trabajos de autores nacionales			
Trabajos de autores extranjeros			
Su conocimiento del estado del problema en el extranjero			
Su intuición			

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN.

Código_____

Tabla 4.2: Matriz de coeficientes de argumentación por experto.

Experto	Fuente de argumentación					
	1	2	3	4	5	6
1	M	A	B	M	M	A
2	A	M	M	A	A	M
3	A	A	M	A	A	M
4	A	B	M	B	B	M
5	B	A	B	M	B	B
6	A	M	A	M	A	M
7	B	A	B	M	B	M
8	M	A	M	M	M	M
9	M	A	A	A	A	M
10	A	A	B	A	B	A
11	M	A	M	A	M	B
12	B	A	A	A	M	M
13	A	M	A	M	A	M
14	B	A	B	M	B	M
15	M	A	M	M	M	M
16	M	A	A	A	A	M
17	A	A	B	A	B	A
18	M	A	M	A	M	B
19	B	A	A	A	M	M
20	A	M	A	M	A	M
21	B	A	M	M	B	B
22	M	M	M	B	M	M
23	A	M	M	A	A	M
24	A	A	A	M	M	A
18	A	M	A	A	A	M
19	A	A	M	B	B	A
20	A	M	A	A	M	M
21	B	A	A	A	B	M
22	M	A	A	M	M	M
23	A	A	B	A	A	A
24	A	B	B	A	B	B
25	M	M	A	B	M	A
26	M	A	B	M	A	M
27	A	A	M	M	B	A
28	B	A	B	A	B	M
29	M	M	A	M	B	M
30	A	A	B	A	M	A
31	M	A	A	M	B	M
32	A	M	A	M	M	A
33	A	M	A	A	A	M
34	M	A	A	M	A	A
35	B	A	M	M	B	M
36	A	M	B	B	B	A
37	A	B	M	M	B	M
38	M	M	M	M	M	B
39	M	M	A	M	B	M
40	A	A	B	A	M	A
41	M	A	A	M	B	M
42	A	M	A	M	M	A
43	A	M	A	A	A	M
44	M	A	A	M	A	A
45	B	A	M	M	B	M
46	A	M	B	B	B	A
47	A	B	M	M	B	M
48	M	M	M	M	M	B
49	A	B	M	M	B	M
50	M	M	M	M	M	B
51	A	A	B	M	B	A

Tabla 4.3: Nivel de competencia de los expertos.

Experto	Kc	Ka	K	Nivel de competencia
1	0,60	0,86	0,73	Media
2	1,00	0,88	0,94	Alta
3	1,00	0,98	0,99	Alta
4	1,00	0,74	0,87	Alta
5	0,90	0,73	0,82	Alta
6	0,90	0,88	0,89	Alta
7	0,70	0,74	0,72	Media
8	1,00	0,86	0,93	Alta
9	0,80	0,89	0,85	Alta
10	0,90	0,96	0,93	Alta
11	0,80	0,86	0,83	Alta
12	0,50	0,78	0,64	Media
13	0,80	0,88	0,84	Alta
14	0,90	0,74	0,82	Alta
15	0,70	0,86	0,78	Media
16	0,90	0,89	0,90	Alta
17	0,80	0,96	0,88	Alta
18	0,80	0,86	0,83	Alta
19	0,80	0,78	0,79	Media
20	0,90	0,88	0,89	Alta
21	0,90	0,74	0,82	Alta
22	0,90	0,75	0,83	Alta
23	0,90	0,88	0,89	Alta
24	0,80	0,98	0,89	Alta
25	1,00	0,89	0,95	Alta
26	0,90	0,95	0,93	Alta
27	0,70	0,88	0,79	Media
28	1,00	0,77	0,89	Alta
29	1,00	0,87	0,94	Alta
30	1,00	0,98	0,99	Alta
31	0,70	0,74	0,72	Media
32	1,00	0,77	0,89	Alta
33	1,00	0,86	0,93	Alta
34	1,00	0,96	0,98	Alta
35	1,00	0,75	0,88	Alta
36	1,00	0,76	0,88	Alta
37	1,00	0,97	0,99	Alta
38	1,00	0,86	0,93	Alta
39	0,80	0,88	0,84	Alta
40	1,00	0,89	0,95	Alta
41	1,00	0,89	0,95	Alta
42	1,00	0,75	0,88	Alta
43	1,00	0,84	0,92	Alta
44	0,80	0,75	0,78	Media
45	0,70	0,75	0,73	Media
46	0,70	0,76	0,73	Media
47	0,80	0,97	0,89	Alta
48	1,00	0,86	0,93	Alta
49	1,00	0,88	0,94	Alta
50	0,90	0,89	0,90	Alta
51	1,00	0,89	0,95	Alta

Tabla 4.4: Matriz del criterio de experto por indicador.

Experto	Indicador									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	4	5	5	4	5	5	5	5	4	5
3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	5	5	4	5	4	4	5	4	5	5
8	4	4	5	5	4	5	4	5	5	4
9	5	5	4	4	5	4	5	5	5	5
10	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5
11	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
13	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5
14	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5
16	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
17	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5
18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
20	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5
21	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
22	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
23	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
24	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5
25	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5
26	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5
28	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
29	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5
30	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5
32	5	3	4	5	5	5	5	5	4	5
33	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
34	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5
35	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5
36	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
37	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
38	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
39	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5
40	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5
41	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
42	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5
43	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5
47	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5
48	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5
49	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
50	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5
51	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5

Tabla 4.5: Matriz del criterio de experto por indicador (base 100).

Experto	Indicador									
	1	2	3	4	5	6	7	8	7	8
2	80	100	100	80	100	100	100	100	80	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	100	100	80	100	80	80	100	80	100	100
8	80	80	100	100	80	100	80	100	100	80
9	100	100	80	80	100	80	100	100	100	100
10	100	100	100	100	80	100	100	100	100	100
11	100	100	100	100	100	100	80	100	100	100
13	100	80	100	100	100	80	100	100	100	100
14	100	100	80	100	100	100	80	100	100	100
16	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
17	100	100	80	100	100	100	100	100	80	100
18	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	80	80	80	100	100	100	100
21	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
22	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
23	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
24	100	80	100	100	100	100	100	100	80	100
25	100	100	80	100	100	100	100	100	100	100
26	100	80	100	100	100	80	100	100	100	100
28	100	100	100	100	100	100	80	100	100	100
29	100	100	100	100	100	100	100	80	100	100
30	100	80	100	100	100	100	100	80	100	100
32	100	60	80	100	100	100	100	100	80	100
33	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
34	100	100	100	100	80	100	100	100	100	100
35	100	100	100	80	80	80	100	100	100	100
36	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
37	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
38	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
39	100	100	100	100	100	100	100	100	80	100
40	100	100	80	100	100	100	100	100	100	100
41	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
42	100	80	100	100	100	100	100	100	80	100
43	100	100	80	100	100	100	100	100	100	100
47	100	100	100	100	100	100	100	100	80	100
48	100	100	80	100	100	100	100	100	100	100
49	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
50	100	80	100	100	100	100	100	100	80	100
51	100	100	80	100	100	100	80	100	100	100
Suma	780	760	740	780	760	760	740	800	780	780
Xm	78	76	74	78	76	76	74	80	78	78
Ds	7,1	9,3	10,4	7,1	9,3	9,3	10,4	0,0	7,1	7,1
Ds/Xm	0,09	0,12	0,14	0,09	0,12	0,12	0,14	0,00	0,09	0,09
$V_m=(1-D_m/X_m)*100$	90,93	87,82	86,01	90,93	87,82	87,82	86,01	100,00	90,93	90,93

Anexo 9. Guía y composición para grupos focales.

Tema 1: Clasificación del proceso de ubicación de los estudiantes en un rol profesional.

1. ¿Cómo evalúa usted la clasificación dada al proceso de ubicación como un problema de toma de decisión multicriterio bajo incertidumbre?

Tema 2: Valoración del modelo lingüístico computacional de ayuda a la decisión en la ubicación de los estudiantes en un rol profesional.

1. ¿Qué opina del modelo lingüístico de ayuda a la decisión en la ubicación de los estudiantes en un rol profesional?
2. ¿Cómo evalúa usted los principios del modelo?
3. ¿Cómo evalúa usted el empleo de los criterios de los expertos en el modelo?
4. ¿Cómo evalúa usted la concepción y componentes del modelo?
5. ¿Considera útil la información de salida del modelo para realizar la ubicación del estudiante en un rol y elaborar su plan de formación?

Tema 3: Valoración de la metodología para la ubicación de los estudiantes en un rol profesional

1. ¿Cómo valora usted la metodología propuesta?
2. ¿Cómo valora usted la concepción de las fases y actividades de la metodología?
3. ¿Cuáles son los elementos que a su entender pueden limitar la implementación de la metodología?
4. ¿Cómo valora usted la flexibilidad de la metodología ante los cambios que se puedan realizar en la formalización de los roles?

Tema 4: Coherencia entre el modelo y la metodología.

1. ¿Cómo evalúa usted la coherencia entre el modelo y la metodología?

Composición de los grupos focales

Grupo	Integrantes	Observaciones
A	Ocho docentes, un doctor en ciencias técnicas e investigador, dos máster en ciencias en especialidades de informática (gestión de proyectos, informática aplicada), cinco especialistas en computación o informática, ocho vinculados a tiempo parcial a la actividad productiva.	Promedio de años experiencia en la docencia: 10 años. Promedio de años de experiencia en la producción: 6 años.
B	Ocho profesionales, un Doctor en Ciencias Técnicas, dos docentes a tiempo parcial, tres máster en especialidades afines a la informática, todos vinculados a la producción a tiempo completo.	Todos son graduados de Informática o especialidades afines y se desempeñan en un rol como miembro de un equipo de proyecto de desarrollo de software.
C	Ocho profesionales, dos directores de Centros de Desarrollo de Software (CDS), seis con experiencia como jefes de proyectos de software, cuatro son Jefes de Departamento en CDS.	Todos participan como decisores en el proceso de asignación de los estudiantes a un rol productivo.

Anexo 10. Criterios operacionales e informe resumen de los grupos focales

Criterios operacionales:

Unanimidad de criterios	Se consideró cuando todos los grupos focales coincidieron en la misma respuesta, y las opiniones que se dieron dentro del grupo tuvieron consenso.
Mayoría de Criterios	Fue considerada cuando dos de los grupos y más de la mitad de los miembros de cada grupo coincidían en la respuesta.
Minoría de Criterios	Cuando menos de dos grupos y menos de cinco miembros por grupo coincidían con el mismo tipo de respuesta.

Informe

El informe que se muestra a continuación resume los elementos fundamentales abordados en la aplicación de la técnica de grupo focales y justifican los criterios operacionales en el caso de cada una de las preguntas.

Tema 1: Clasificación del proceso de ubicación de los estudiantes en un rol profesional.

1.1 ¿Cómo evalúa usted la clasificación dada al proceso de ubicación como un problema de toma de decisión multicriterio bajo incertidumbre?

Al debatir sobre la clasificación dada al problema, los profesionales que participaron en los tres grupos focales expresaron estar de acuerdo con ella. La participación de los expertos es importante en el problema. Manifiestan que la decisión en el proceso de ubicación debe hacerse de manera consciente, empleando y analizando toda la información involucrada en él, de manera que cumpla el objetivo formativo que se quiere en el estudiante. El tratamiento de la incertidumbre fue uno de los elementos que se destacaron como importantes dentro de la clasificación, por brindar la posibilidad de dar un tratamiento más real a la información involucrada en el proceso, a la vez que se considera adecuado para la evaluación de términos de competencias.

Criterio operacional: Unanimidad de criterios

Tema 2. Valoración del modelo lingüístico computacional de ayuda a la decisión en la ubicación de los estudiantes en un rol profesional.

2.1. ¿Qué opina del modelo lingüístico computacional de ayuda a la decisión en la ubicación de los estudiantes en un rol profesional?

Los grupos focales evaluaron como muy acertado el modelo teórico que se propone, enfatizando en la novedad de los métodos utilizados, la necesidad de organizar y sistematizar este proceso empleando todas las evidencias que se tienen del estudiante. Fue comentado como uno de los elementos más significativos, el uso de información existente y su transformación en valoraciones de los criterios de decisión, destacando el papel de los expertos como se plantea se manejen en el

modelo. Se destacó la certeza con que se modela la representación del razonamiento de los decisores en el modelo teórico diseñado. Fue tema de discusión la complejidad de modelar el desarrollo de competencias a partir de los elementos del currículum como los resultados de las asignaturas que desarrollan las habilidades en los estudiantes. Se expresaron criterios en los tres grupos que expresan que tal como está diseñado el modelo es posible su utilización en otras carreras siempre que existan o puedan ser creadas las condiciones para su aplicación. En uno de los grupos se expresó que este modelo puede ser utilizado para la ubicación laboral del estudiante al graduarse, si se tuvieran los diseños de los puestos de trabajo que se ofertan.

Criterio operacional: Unanimidad de criterios.

2.2. ¿Cómo evalúa usted los principios del modelo?

Los participantes en los grupos focales evaluaron los principios propuestos en el modelo, una minoría de los miembros de los grupos A y C consideraron que se debían revisar los principios número uno, dos y cinco, en cuanto a su escritura y redacción para que quede más clara su intención, por ejemplo el principio uno no redactarlo en función del uso de variables lingüísticas, sino de modelación o representación lingüística de la información, buscando mayor generalidad. Se considera muy acertada la inclusión de los elementos que conllevan al tratamiento de la incertidumbre y que por tanto hacen de este modelo un modelo lingüístico computacional, destacando la posibilidad de una mayor aplicabilidad a partir de ser libre la selección del tipo de representación de la incertidumbre.

Criterio operacional: Mayoría de criterios, de manera general coincidieron las opiniones brindadas por los integrantes de los grupos, siendo similares y conteniendo un grupo de elementos comunes. Sin embargo, debido a los planteamientos de los miembros de los grupos A y C no se puede considerar la unanimidad en los criterios, siendo mayoría los miembros que realizan planteamientos sobre modificaciones a los principios.

Acuerdo 1. Revisar los principios del modelo teórico propuesto, principalmente los identificados con uno, dos y cinco.

2.3. ¿Cómo evalúa usted el empleo de los criterios de los expertos en el modelo?

Los miembros participantes en los grupos realizados expresaron su conformidad con la modelación de la participación de expertos en el proceso de decisión que se modela. Destacan con especial atención el hecho de que los expertos definan los términos en los cuales expresan sus criterios. Se destaca que es importante el criterio de los expertos en este proceso, fundamentalmente para poder transformar las evidencias de los estudiantes en valoraciones de las competencias para su ubicación. Este elemento brinda la posibilidad de que se realice un tratamiento más real de la incertidumbre y de las diferencias entre las características de los expertos consultados.

Criterio operacional: Unanimidad de criterios.

2.4. ¿Cómo evalúa usted la concepción y componentes del modelo?

Los grupos focales al evaluar la concepción y componentes del modelo de manera general concuerdan con el diseño realizado. Una minoría de los participantes en el grupo B plantea que debe revisarse el componente uno, fundamentando la posible necesidad de separar la obtención de la matriz de incidencia como actividad independiente en el modelo. Se expresa que el diseño del modelo se corresponde con el razonamiento que los decisores hacen para ubicar al estudiante, incorporando la mejora de poder procesar mayor cantidad de información y homogenizar el proceso. El diseño teórico tiene un nivel general que permite que se pueda adaptar este modelo para ser utilizado en otras universidades y para otros procesos de selección de personal o de ubicación.

Criterio operacional: Mayoría de criterios. Se fundamenta la mayoría de criterio a partir de que en dos de los tres grupos se obtuvo consenso en lo expresado. En el grupo B se coincide con los planteamientos de los grupos A y C pero sugiere la revisión de la distribución de los componentes.

Acuerdo 2: Revisar la posibilidad de destacar la obtención de la matriz de incidencia como una actividad independiente en el primer componente del modelo.

2.5. ¿Considera útil la información de salida del modelo para realizar la ubicación del estudiante en un rol y elaborar su plan de formación?

Los participantes en los grupos focales expresaron su conformidad con la información que se brinda como salida del modelo. La recomendación de todos los roles en el orden de cercanía facilita la decisión de la ubicación a partir de que brinda un orden y el nivel de cercanía del estudiante a ese rol. Otro criterio expresado es que la caracterización permite diferenciar a los estudiantes que tienen recomendación similar. Esta caracterización puede ser tomada como un diagnóstico inicial, brecha entre la situación actual y los niveles deseados, lo que permite elaborar un plan de formación adecuado a sus necesidades.

Criterio operacional: Unanimidad de criterios.

Tema 3. Valoración de la metodología para la ubicación de los estudiantes en un rol profesional.

3.1. ¿Cómo valora usted la metodología propuesta?

La metodología se valora de positiva en la mayoría de los grupos focales. Se debate sobre los elementos del modelo que son especificados como parte de la metodología. Entre los elementos más debatidos se encuentran las definiciones de las variables lingüísticas, y la especificación de las actividades relacionadas con la obtención del criterio de los expertos para la transformación de las evidencias. Los criterios y elementos debatidos en cada uno de los grupos coinciden en una adecuada definición de la metodología. Los participantes destacan la descripción de la metodología a partir de fases y actividades descritas adecuadamente, además de su esquema, como uno de los elementos positivos importantes para el entendimiento y aplicación de la misma. La metodología ha

permitido concretar la aplicación del modelo diseñado, esto se señala como positivo por los participantes, permitiendo la realización del proceso en la universidad.

Criterio operacional: Unanimidad de criterios.

3.2. ¿Cómo valora usted la concepción de las fases y actividades de la metodología?

En los grupos se analizaron las fases de la metodología y las actividades propuestas dentro de cada una de ellas. Sobre estos elementos los participantes en todos los grupos manifiestan criterios coincidentes en cuanto a las fases de la metodología, las cuales consideran adecuadas. En todos los grupos se expresa que se evidencia una correspondencia entre las actividades propuestas y lo que en la actualidad realizan los decisores involucrados en este proceso, además, se corresponden de manera general, con las actividades del proceso de selección de personal. Algunos participantes de los grupos A y B plantean que pudiera incluirse una actividad que permita entrevistar a los estudiantes después de tener los resultados de la predicción y antes de decidir la ubicación final.

Criterio operacional: Mayoría de criterios.

Acuerdo 3. Analizar y valorar la posible incorporación de una actividad en la metodología para la realización de una entrevista al estudiante antes de ubicarlo.

3.3. ¿Cuáles son los elementos que a su entender pueden limitar la implementación de la metodología?

En los grupos A y B el elemento que consideran que puede limitar la implementación de la metodología es la necesidad de establecer la relación entre las evidencias del estudiante y las competencias de los roles ante cada cambio que se realice en alguno de ellos. En los tres grupos los participantes consideran que se necesita de un sistema o aplicación informática que implemente algunas de las fases, tal como se especifica en la metodología, de manera que facilite el manejo de grandes volúmenes de información y un rápido procesamiento del modelo matemático.

Criterio operacional: Mayoría de criterios.

3.4. ¿Cómo valora usted la flexibilidad de la metodología ante los cambios que se puedan realizar en la formalización de los roles?

En todos los grupos se valora la forma acertada en la que se prevén actividades en la metodología que permiten la revisión de cada uno de sus elementos antes de comenzar su implementación. Por otra parte se destacan las actividades relacionadas con la retroalimentación en función de poder realizar mejoras e incluir nuevos elementos. En los tres grupos se expresó el criterio de la posibilidad que tiene la metodología para ser empleada en otras instituciones.

Criterio operacional: Unanimidad de criterios.

Tema 4. Coherencia entre el modelo y la metodología.

4.1. ¿Cómo evalúa usted la coherencia entre el modelo y la metodología?

Los participantes en los tres grupos focales valoraron de acertada y coherente la correspondencia entre la metodología definida y el modelo teórico. Se señala de manera positiva este aspecto, destacando que ello hace que ambos resultados posean las características requeridas de flexibilidad y aplicabilidad que se requiere.

Criterio operacional: Unanimidad de criterios.

Resumiendo los resultados del grupo focal, en relación con los indicadores definidos para la validación se puede expresar:

- Flexibilidad: A partir de los criterios expresados por los participantes en cada uno de los grupos se valida la flexibilidad del modelo. Esto se fundamenta en los criterios relacionados con las preguntas 1.1, 2.1, 2.2, 2.3, 2.5, 3.1 y 3.3, en las que las personas comentan sobre el diseño adecuado de la participación de los expertos, la posibilidad de que sean tratados según sus características y sin desechar ninguna opinión. Este es uno de los elementos que se destacan como significativos en el modelo.
- Fiabilidad: De la lectura de las opiniones dadas por los participantes se puede comprobar el comportamiento adecuado de este indicador. Se fundamenta esta afirmación a partir de los criterios expresados en las preguntas 2.1, 2.4, 3.1 y 3.3. Se señala positivamente la modelación del proceso como una mejora al que actualmente se hace y mantiene la participación y criterios de los expertos como elemento distintivo. La posibilidad de tener en cuenta toda la información existente del estudiante permite obtener criterios más acertados para la ubicación en un rol.
- Aplicabilidad: Se considera por los participantes que este modelo puede ser aplicado en las instituciones que puedan garantizar las condiciones necesarias para ello. Igualmente puede ser empleado en otros procesos de selección de personas en los que se requiera analizar información que existe sobre el candidato. Esto se evidencia en los criterios expresados en las preguntas 2.1, 2.2, 2.4, 3.1 y 3.2.

Anexo 11. Elementos del modelo computacional basado en 2 tuplas. Variables Lingüísticas.

Los elementos que se describen en este anexo se obtienen de varios de los trabajos presentados por los autores de esta representación lingüística de 2-tuplas [44, 50, 76, 108, 128-130].

Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos, y $\beta \in [0, g]$ un valor obtenido por un método simbólico operando con información lingüística.

Definición 4.1: La Traslación Simbólica de un término lingüístico β es un número valorado en el intervalo $[-.5, .5)$ que expresa la diferencia de información entre una cantidad de información expresada por el valor $\beta \in [0, g]$ obtenido en una operación simbólica y el valor entero más próximo, $i \in \{0, \dots, g\}$ que indica el índice de la etiqueta lingüística s_i más cercana en S .

A partir de este concepto se desarrolló un modelo de representación para la información lingüística usando como base de representación 2-tuplas (r_i, α_i) , $r_i \in S$ y $\alpha_i \in [-0,5,0,5)$:

1. r_i representa la etiqueta lingüística, y
2. α_i es un número que expresa el valor de la distancia desde el resultado original β al índice de la etiqueta lingüística más cercana r_i en el conjunto de términos lingüísticos S , es decir, su traslación simbólica.

Se define a continuación cómo convertir una etiqueta lingüística clásica en su equivalente 2-tupla y cómo se construye una 2-tupla a partir de valor numérico β , $\beta \in [0; g]$, obtenido en una operación simbólica.

Definición 4.2: Sea $s_i \in S$ un término lingüístico, su representación mediante una 2-tupla equivalente se obtiene mediante la función θ :

$$\theta: S \rightarrow (S \times [-0,5,0,5))$$

$$\theta(s_i) = (s_i, 0) / s_i \in S$$

Definición 4.3: Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos, y $\beta \in [0, g]$ un valor que representa el resultado de una operación simbólica, entonces la 2-tupla lingüística que expresa la información equivalente a β se obtiene usando la siguiente función:

$$\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-0,5,0,5)$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ con } \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, & \alpha \in [-0,5,0,5) \end{cases}$$

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

Definición 4.4: Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y (s_i, α) una 2-tupla lingüística. Existe la función Δ^{-1} , tal que, dada una 2-tupla (s_i, α) esta función devuelve su valor numérico equivalente $\beta \in [0, g]$:

$$\Delta^{-1}: S \times [-0,5,0,5) \rightarrow [0, g]$$

$$\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha = \beta$$

Zhang [165] cita las definiciones de las funciones Δ y Δ^{-1} para la transformación de un valor numérico, que tiene como restricción que este debe estar comprendido en el intervalo $[0,1]$.

Definición 4.5: Suponga un conjunto de términos lingüísticos $S = \{s_i \mid i = 0, 1, 2, \dots, g\}$ un y un número β ($\beta \in [0, 1]$) puede ser transformado a una variable lingüística 2-tupla mediante la siguiente función:

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ con } \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta * g) \\ \alpha = \beta - i/g, & \alpha \in [-0,5/g, 0,5/g) \end{cases}$$

Por el contrario, la 2-tupla lingüística puede ser convertida en un valor numérico β ($\beta \in [0, 1]$) según:

$$\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i/g + \alpha = \beta$$

Modelo computacional:

Comparación de 2-tuplas

Sean (s_k, α_1) y (s_l, α_2) dos 2-tuplas, cada una representando una cantidad de información, entonces:

- Si $k < l$ entonces (s_k, α_1) es menor que (s_l, α_2)
- Si $k = l$ entonces puede ocurrir que:
 1. Si $\alpha_1 = \alpha_2$ entonces (s_k, α_1) y (s_l, α_2) representan la misma información.
 2. Si $\alpha_1 < \alpha_2$ entonces (s_k, α_1) es menor que (s_l, α_2)
 3. Si $\alpha_1 > \alpha_2$ entonces (s_k, α_1) es mayor que (s_l, α_2)
- Si $k > l$ entonces (s_k, α_1) es mayor que (s_l, α_2)

Operadores de agregación para 2-tupla basados en operadores de agregación numéricos

La adaptación de los operadores de agregación numéricos se realiza teniendo como base el uso de las funciones Δ y Δ^{-1} definidas. Δ^{-1} es utilizada para obtener a partir de 2-tuplas un valor numérico, la función Δ es empleada para transformar el resultado numérico de la agregación en una representación en 2-tuplas. Los operadores que se emplean en el MLC-PUR se basan en la media aritmética ponderada, para la cual se define el operador extendido.

Definición 13.5: Sea $x = ((r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n))$ un conjunto de 2-tupla y $w = ((w_1, \alpha_1), \dots, (w_n, \alpha_n))$ el vector de pesos lingüísticos asociado. La media ponderada extendida \bar{x}_l será:

$$\bar{x}_l = \Delta \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(r_i, \alpha_i) \Delta^{-1}(w_i, \alpha_i)}{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(w_i, \alpha_i)} \right) = \Delta \left(\frac{\sum_{i=1}^n \beta_i \beta_{wi}}{\sum_{i=1}^n \beta_{wi}} \right)$$

Definición de las variables lingüísticas para la aplicación de la metodología

Variable lingüística	Descripción	Términos lingüísticos	Observaciones
Evaluación Atributos Estudiantes (EVA)	Es la clasificación de los valores que pueden tomar los atributos del estudiante	{NE: No Evaluado, M: Mal, R: Regular, B: Bien, E: Excelente}	Evaluaciones cualitativas establecidas por la Educación Superior en la Resolución 210/2007 [166]
Nivel de Desarrollo (ND)	Representa los niveles de desarrollo que pueden tener las competencias o atributos de los roles.	{NE: No Evaluado, ND: No Desarrollado, DB: Desarrollo Bajo, DM: Desarrollo Medio, DA: Desarrollo Alto}	Nivel de desarrollo de las competencias definido para la certificación de los roles [5]

Nivel de Incidencia (NI)	Representa las distintas escalas valorativas en las que los expertos pueden expresar el nivel de incidencia del atributo del rol sobre el atributo del estudiante.	{MA, A, CA, M, B, MB, NI} {MA, A, M, B, NI} {A, M, NI} MA: Muy Alto, A: Alto, CA: Casi Alto, M: Medio, B: Bajo, MB: Muy Bajo, NI: No Incide	Se definen en función de brindar a los expertos la posibilidad de expresar sus criterios según su nivel de conocimiento y de experticia, escogiendo su propia escala valorativa.
Nivel de Cercanía al Rol (NCR)	Permite representar el nivel de cercanía que tiene el estudiante a cada uno de los roles.	{SN: Sin Nivel, MB: Muy Bajo, B: Bajo, M: Medio, A: Avanzado}	Se definió a partir de los niveles definidos para certificar el rol [5]. Se especifican en mayor detalle los rangos relacionados con los niveles de menor acercamiento, por tratarse de personal en formación.

Instanciación del modelo en la aplicación informática desarrollada

Algunos elementos de la instanciación del modelo en la aplicación desarrollada pasan por la incorporación de las modificaciones necesarias en las funciones definidas para emplear la representación en 2-tuplas. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Modelo	Aplicación
$NIA_{t,s} = \sum_{k=1}^u ni_{t,s}^k w_k$	$NIA_{t,s} = \Delta \left(\sum_{k=1}^u \Delta^{-1}(ni_{t,s}^k) \times w_k \right)$
$D(MI_k, MIA^l) = \frac{\sum_{s=1}^p \sum_{t=1}^q d(ni_{t,s}^k, NIA_{s,t})}{CA_k}$	$d(ni_{t,s}^k, NIA_{s,t}) = \Delta^{-1}(ni_{t,s}^k) - \Delta^{-1}(NIA_{s,t})$
$r_{i,t}^j = g_{i,t}^j(C_j) = \frac{1}{CAR(r_t)} \times \frac{\sum_{s=1}^p (c_{j,p} \times NIA_{t,s})}{\sum_{s=1}^p (NIA_{t,s})}$	$g_{i,t}^j(C_j) = \Delta \left(\frac{1}{CAR(r_t)} \times \frac{\sum_{s=1}^p (\Delta^{-1}(c_{j,p}) \times \Delta^{-1}(NIA_{t,s}))}{\sum_{s=1}^p \Delta^{-1}(NIA_{t,s})} \right)$
$IAR_{j,i}^l = \delta(C_i^j, R_i^l) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n d(r_{i,t}^j, r_{i,t}^l)$	$IAR_{j,i}^l = \delta(C_i^j, R_i^l) = \Delta \left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n d(\Delta^{-1}(r_{i,t}^j), \Delta^{-1}(r_{i,t}^l)) \right)$

Anexo 14. Aplicación informática desarrollada

FACULTAD: Facultad 1 GRUPO: 1301

CANDIDATOS SIN SELECCIONAR

NOMBRE	AREA
Lissette Valdes Garcia	1301
Ernesto Camue Verdesia	1301
Yasiel Espinosa Cabrera	1301
Miriela Velazquez Arias	1301
Misleidys Hernandez Senrra	1301
Dayana Pardo Roque	1301
Carlos Enrique Matos Lezcano	1301
Yander Morfa Gonzalez	1301
Alexei Alayo Rondon	1301
Teidy Tanda Luis	1301
Adrian Hernandez Barrios	1301
Aralys Castellano Ferro	1301
Total	24

> >> < <<

CANDIDATOS SELECCIONADOS

NOMBRE	AREA
Adolfo Alonso Corona	1301
Eliena Jimenez Pardo	1301
Jaciel Tellez Cantillo	1301
Total	3

Recomendar

Figura 4.3: Selección de estudiantes para la recomendación.

RESULTADO DEL PROCESAMIENTO

NOMBRE	AREA	ROL 1	ROL 2	ROL 3	ROL 4	ROL 5	ROL 6
Idailis Gutierrez Reyes	4305	Soporte, EP,0.052	Analista, EP,0.123	Desarrollador, MC,0.130	Admin BD, MC,0.161	Admin GCC, MC,0.162	Probador, MC,0.181
Lazaro Gerardo Borroto Garcia	4305	Soporte, EP,0.033	Analista, EP,0.107	Desarrollador, EP,0.122	Admin GCC, MC,0.140	Admin BD, MC,0.183	Probador, MC,0.186
Yania Ortega Fuster	4305	Soporte, MC,0.127	Analista, MC,0.201	Desarrollador, MC,0.219	Admin BD, MC,0.224	Probador, MC,0.229	Admin GCC, MC,0.231
Luis Tomas Flores Ladron de Guevara	4305	Soporte, EP,0.114	Analista, MC,0.145	Admin GCC, MC,0.161	Probador, MC,0.163	Desarrollador, MC,0.163	Admin BD, MC,0.171
Ovidio Jose Castellon Martin	4305	Soporte, EP,0.099	Analista, MC,0.176	Desarrollador, MC,0.188	Probador, MC,0.198	Admin GCC, MC,0.203	Admin BD, MC,0.220
Jose Alejandro Castellanos Loaces	4305	Soporte, EP,0.056	Analista, MC,0.133	Desarrollador, MC,0.150	Admin GCC, MC,0.183	Probador, MC,0.186	Admin BD, MC,0.188
Victor Manuel Montero Alvarez	4305	Soporte, MC,0.151	Analista, MC,0.209	Probador, MC,0.237	Desarrollador, MC,0.238	Admin BD, MC,0.246	Admin GCC, MC,0.253
Liena Diaz Vega	4305	Soporte, MC,0.151	Desarrollador, MC,0.231	Probador, MC,0.232	Analista, MC,0.233	Admin GCC, MC,0.242	Admin BD, MC,0.245
Angel Rivero Avila	4305	Soporte, EP,0.030	Desarrollador, EP,0.113	Analista, MC,0.126	Admin GCC, MC,0.145	Admin BD, MC,0.146	Probador, MC,0.167
Ruby Hernandez Gonzalez	4305	Soporte, EP,0.079	Analista, MC,0.201	Desarrollador, MC,0.223	Admin GCC, MC,0.253	Admin BD, MC,0.254	Probador, MC,0.268
Alejandro Ramon Olalde Calzada	4305	Soporte, EP,0.078	Analista, MC,0.208	Desarrollador, MC,0.214	Admin BD, MC,0.242	Admin GCC, MC,0.253	Probador, MC,0.275
Jose Luis Estrabao Gonzalez	4305	Soporte, MC,0.151	Analista, MC,0.241	Admin BD, MC,0.266	Desarrollador, MC,0.266	Admin GCC, MC,0.281	Probador, MC,0.284
Raul Noa Pedroso	4305	Soporte, EP,0.043	Analista, EP,0.098	Desarrollador, MC,0.129	Admin BD, MC,0.158	Admin GCC, MC,0.158	Probador, MC,0.186
Daniel Aguilar Reyes	4305	Soporte, EP,0.071	Analista, EP,0.105	Desarrollador, MC,0.148	Probador, MC,0.159	Admin GCC, MC,0.159	Admin BD, MC,0.181
Geovelsi Tamayo Alvarez	4305	Soporte, MC,0.148	Analista, MC,0.236	Desarrollador, MC,0.268	Probador, MC,0.290	Admin GCC, MC,0.291	Admin BD, MC,0.303
Total	20						

Exportar a PDF

Figura 4.4: Escoger estudiantes para la recomendación.

Anexo 15. Información empleada en el cuasi-experimento

Tabla 4.6: Información para el cuasi-experimento.

Id	Atributos del estudiante							Proceso de Ubicación		Resultado UBICAR	
	AE	IS1	IP	...	M 1	SO	TL1	Rol	Nivel certificado	Roles	Nivel de Cercanía
EH05106	3	3	3		4	2	3	Programador	B	Programador, Soporte	M y A
EH07478	3	3	3		3	3	3	Revisor	M	Analista	M
EH07458	4	5	4		4	5	4	Configuración	A	Soporte, Configuración	A y M
...
EH03112	4	5	5		4	3	5	Soporte	B	Analista	A
EH06410	4	4	5		3	3	3	Soporte	A	Soporte	M

Tabla 4.7: Datos para determinar efectividad del modelo (CU).

Id	Clase Real	Clase según CU
EH05106	Programador	Programador, Soporte
EH07478	Revisor	Analista
EH07458	Configuración	Soporte, Configuración
...
EH03112	Soporte	Analista
EH06410	Soporte	Soporte

Tabla 4.8: Datos para determinar efectividad del Decisor (CD).

Id	Clase real	Clase según CD
EH05106	No Programador	Programador
EH07478	Revisor	Revisor
EH07458	Configuración	Configuración
EH06081	Programador	Programador
...
EH03112	No Soporte	Soporte
EH06410	Soporte	Soporte

Anexo 16. Cuadro lógico de ladov

La escala de satisfacción está dada por los criterios: 1 - Clara satisfacción, 2 - Más satisfecho que insatisfecho, 3 - No definida, 4 - Más insatisfecho que satisfecho, 5 - Clara insatisfacción, 6 – Contradictoria.

Tabla 4.9: Cuadro lógico de ladov.

¿Las salidas del modelo, recomendación y caracterización, satisfacen sus necesidades para la ubicación y elaboración del plan de formación?	¿Considera usted que se debe continuar realizando la ubicación del estudiante sin una metodología que permita el análisis de las evidencias de su desarrollo?								
	No			No Sé			Sí		
	¿Utilizaría usted el modelo y la metodología desarrollados en el proceso de ubicación del estudiante en los roles de la industria?								
	Si	No Se	No	Si	No Se	No	Si	No Se	No
Me gusta mucho	1	2	6	2	2	6	6	6	6
No me gusta mucho	2	2	3	2	3	3	6	3	6
Me da lo mismo	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Me disgusta más de lo que me gusta	6	3	6	3	4	4	3	4	4
No me gusta nada	6	6	6	6	4	4	6	4	6
No sé qué decir	2	3	6	3	3	3	6	3	4

Las preguntas abiertas que se formularon fueron:

1. ¿Considera útil la posibilidad de predecir el comportamiento del estudiante a partir de sus evidencias como criterio para su ubicación en un rol y la elaboración de su plan de formación?
2. ¿Qué elemento usted adicionaría al modelo o la metodología que se proponen?