

INTEGRACIÓN DE LA METODOLOGÍA CommonKADS Y LA LÓGICA DIFUSA
EN UN SISTEMA EXPERTO PARA APOYAR EL PROCESO DE SELECCIÓN DE
PERSONAL

ÁLVARO JARAMILLO FLÓREZ

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
ÁREA SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
ESPECIALIDAD SISTEMAS DE INFORMACIÓN
MEDELLÍN
2016

INTEGRACIÓN DE LA METODOLOGÍA CommonKADS Y LA LÓGICA DIFUSA
EN UN SISTEMA EXPERTO PARA APOYAR EL PROCESO DE SELECCIÓN DE
PERSONAL

ÁLVARO JARAMILLO FLÓREZ

Proyecto de grado para optar por el título de Maestría en Ingeniería

Directora
Mónica Henao Cálad, Ph D.

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
ÁREA SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
ESPECIALIDAD SISTEMAS DE INFORMACIÓN
MEDELLÍN
2016

Nota de aceptación

Firma del director

Firma del Jurado

Medellín, 18 de octubre de 2016

A mi esposa, Juliana, por su confianza y apoyo
en el desarrollo de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

La Dra. Mónica Henao Calad por sus sabias asesorías y sugerencias invaluable durante el desarrollo de este trabajo. Para mí ha sido un honor haber realizado este trabajo bajo su dirección y le estaré siempre muy agradecido.

A la Dra. Juliana Trujillo Rojas por su disposición para entregar su conocimiento, por haber facilitado todos los medios de su empresa E-Gestión, durante la realización de las actividades y por la confianza y colaboración para llevar a término este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	15
1. MARCO CONCEPTUAL	18
1.1 LA METODOLOGÍA CommonKADS.....	19
1.1.1 Modelos de Commonkads.....	19
1.1.2 Esquemas del modelo de conocimiento	24
1.1.3 Tareas intensivas en conocimiento.....	25
1.2 LÓGICA DIFUSA.....	29
1.2.1 Números difusos	32
1.2.2 Etiquetas lingüísticas.....	34
1.3 SISTEMAS EXPERTOS	35
1.3.1 Arquitectura de los sistemas expertos	37
1.3.2 Razonamiento con conjuntos difusos.	39
1.3.3 Ingeniería del conocimiento.....	41
1.3.4 Desarrollo de sistemas expertos	45
2. DISEÑO METODOLÓGICO	48
2.1 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA COMMONKADS	51
2.1.1 Análisis del contexto de la organización	51
2.1.2 Descripción conceptual del conocimiento	52
2.1.3 Modelado de diseño	53
2.2 INTEGRACIÓN DE COMMONKADS Y LÓGICA DIFUSA	53
2.2.1 Adquisición de conocimientos	54
2.2.2 Representación de conocimientos.....	56
2.2.3 Modelado del razonamiento con lógica difusa	57
2.3 DISEÑO DEL SISTEMA EXPERTO	58
3. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
3.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL CONTEXTO DE LA ORGANIZACIÓN.....	61
3.2 MODELO DE TAREAS.....	62
3.3 MODELO DE AGENTES Y ELECCIÓN DEL EXPERTO	64

3.4 MODELO DEL DOMINIO DE CONOCIMIENTOS	64
3.5 MODELO DE LA TAREA DE RAZONAMIENTO.....	72
3.6 INTEGRACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA	77
3.6.1 Construcción de bases de conocimiento difusos	77
3.6.2 Fusificación	78
3.6.3 Operación de correspondencia con lógica difusa	79
3.6.4 Des-fusificación	80
3.7 MODELO DE DISEÑO	83
3.7.1 Arquitectura del sistema	84
3.7.2 Especificación de la arquitectura	85
3.7.3 Requisitos del sistema.....	90
3.7.4 Casos de uso	92
3.7.5. Desarrollo del prototipo	93
3.7.6 Pruebas del sistema	94
3.7.7 Plataforma de desarrollo	94
4. CONCLUSIONES	97
REFERENCIAS	101

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Plantilla de la tarea de evaluación.....	28
Tabla 2. Relación entre los objetivos, los resultados y las metodologías empleadas	49
Tabla 3. Correlación entre los años de experiencia y el nivel de formación para establecer los niveles de experticia	64
Tabla 4. Estructura de la base de conocimientos para las restricciones de elección de candidatos	67
Tabla 5. Caracterización de la Tarea Analítica de Evaluación aplicado al proceso de selección.....	74
Tabla 6. Fragmento de la base de conocimientos con los conocimientos difusos del experto para determinar las competencias de las personas (BC a) y del perfil del cargo (BC b)	77
Tabla 7. Ejemplo de la decisión para un candidato al cargo de administrador	82
Tabla 8. Ejemplo de la plantilla utilizada para el levantamiento de los requisitos ..	91
Tabla 9. Descripción del caso sobre la interacción con el experto para solicitar explicación al sistema	933
Tabla 10. Principales componentes del prototipo.....	93
Tabla 11. Especificación del software con el cual se implanta el sistema	95

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Esquema de los diferentes modelos en la metodología Commonkads .	20
Figura 2. Temáticas que se analizan en el modelado de la organización.....	21
Figura 3. Temática que se analizan en el modelado de tareas	21
Figura 4. Temática que se analizan en el modelado de agentes o actores	22
Figura 5. Esquema de la integración de los tres primeros modelos	22
Figura 6. Temática en el modelado de conocimientos y de razonamientos	23
Figura 7. Temática que se analizan en el modelado de comunicaciones.....	23
Figura 8. Temática que se analizan en el modelado del sistema	24
Figura 9 Representación de las categorías de conocimiento	25
Figura 10 Tipos de tareas intensivas en conocimiento.....	26
Figura 11. Esquema del dominio de conocimiento para la tarea de evaluación. ...	29
Figura 12. Representación de transiciones según el tipo de lógica.....	32
Figura 13. Representación de número borroso trapezoidal.....	33
Figura 14. Representación de los bloques de un sistema experto difuso	35
Figura 15. Componentes típicos de un sistema experto	37
Figura 16. Ciclo de desarrollo exploratorio.....	46
Figura 17. Representación del ciclo de prototipado de sistema experto	47
Figura 18. Relación entre las variables en el proyecto de investigación	48
Figura 19. Descripción general de las hojas de trabajo para analizar el contexto de la organización	51
Figura 20. Temas de las hojas de trabajo para el modelado de conocimientos	53
Figura 21. Componentes para el modelado de diseño del sistema experto	53
Figura 22. Aspectos a tener en cuenta para seleccionar las técnicas de adquisición y representación del conocimiento.....	55
Figura 23. Elementos de la plantilla para el modelado de la tarea de evaluación .	56
Figura 24. Procesos primarios y secundarios donde se desarrolla el sistema.....	62
Figura 25. Flujo de datos entre los principales procesos de la tarea, base de datos y la relación con la tarea de evaluación	63
Figura 26. Diagrama de estado que representa los eventos y las respuestas dentro del proceso	63
Figura 27. Mapa mental que representa la clasificación de competencias que utiliza el experto para analizar los casos.....	65
Figura 28. Mapa conceptual de las características del proceso de selección de personal.....	66
Figura 29. Diagrama parcial de los principales contenidos de conocimiento que utiliza el experto para tomar decisiones	69
Figura 30. Diagrama que representa el orden de la ejecución de las actividades dentro del razonamiento	69

Figura 31. Diagrama de colaboración que indican el flujo de los mensajes entre los objetos de la tarea	70
Figura 32. Diagrama de secuencias de la interacción con base en tiempos	71
Figura 33. Agentes y sus relaciones en la interacción con la tarea de razonamiento	71
Figura 34. Componentes de la tarea de evaluación en selección de personal	72
Figura 35. Función trapezoidal o función PI para calcular el ajuste de las competencias	79
Figura 36. Relación de la base de conocimientos con las operaciones difusas	80
Figura 37. Flujo de los conocimientos dentro de la tarea de razonamiento	81
Figura 38. Arquitectura general del sistema con base en el Modelo-Vista-Controlador.....	84
Figura 39. Descomposición por subsistemas siguiendo la orientación por objetos	84
Figura 40. Secuencia de ejecución de los métodos de la tarea.	856
Figura 41. Categorías de las interfaces del sistema experto, modelo vista	889
Figura 42. Diagrama de contexto de caso de uso entre los actores y el sistema ..	92

GLOSARIO

AGENTE: es cualquier ser humano o software capaz de ejecutar una tarea dentro de cierto dominio.

BASE DE CONOCIMIENTOS: la base de conocimientos contiene el conocimiento y las experiencias de los expertos de un dominio determinado. Constituye una parte del sistema experto que trabaja conjuntamente con el motor de inferencias.

CommonKADS (Standard Knowledge Acquisition Design System): esta metodología consiste en modelar el conocimiento humano que se aplica en los procesos que impactan sobre la economía de la empresa, para desarrollar sistemas basados en conocimiento y sistemas expertos que apoyen los procesos productivos.

DOMINIO: es el campo de conocimiento de interés que puede ser jerárquicamente estructurado y que se usa para desarrollar una tarea.

EXPERTO: es la persona que tiene el dominio del conocimiento y es la encargada de gestionar la base de conocimientos. A esta persona se le realiza ingeniería del conocimiento con el fin de alimentar la base de conocimiento del sistema experto.

HEURÍSTICA: Método de razonamiento utilizado para resolver problemas rápidamente con base en otros problemas conocidos y que se aprende por la experiencia más que por el conocimiento científico.

LENGUAJE UNIFICADO DE MODELADO (UML): Técnica de representación, principalmente gráfica, utilizada para describir la estructura de un sistema mostrando sus clases, sus atributos, operaciones y las relaciones entre los objetos que la componen.

LÓGICA DIFUSA: es una rama de la inteligencia artificial que permite manejar información vaga e imprecisa. Es un sistema matemático que modela funciones no lineales con planteamientos lógicos que usan el razonamiento aproximado.

MOTOR DE INFERENCIAS: el mecanismo de inferencia (o motor de inferencia) de un Sistema Experto puede simular la estrategia de solución de un experto y controla el proceso de razonamiento que seguirá el sistema experto.

SISTEMA BASADO EN CONOCIMIENTO: es un sistema estructurado que contiene un motor del razonamiento y una base de conocimiento. La característica principal es que hay alguna representación explícita del conocimiento incluido en el sistema que requiere de técnicas de modelación especiales.

SISTEMA EXPERTO: programa informático diseñado para imitar las actividades de razonamiento de un humano durante la toma de decisiones en un dominio de conocimientos específico. Está compuesto por módulos entre los cuales se encuentran la base de conocimientos y el motor de inferencias.

TAREA DE RAZONAMIENTO: es un trabajo mental que necesita ser hecho por un agente y que requiere de conocimiento para ser realizada.

RESUMEN

El presente trabajo muestra la integración entre la metodología CommonKADS y la lógica difusa, para el procesamiento de conocimiento impreciso con un sistema experto. Se describen los métodos de inferencia de la Tarea de Evaluación, al utilizar una base de conocimientos con variables lingüísticas difusas. Cuando la base de conocimientos de un sistema experto contiene conocimiento ambiguo, es necesario usar una lógica basada en cuantificadores de cualidad, ya que este conocimiento presenta características difíciles de procesar con los métodos basados en reglas con contenido discreto. Para lograr este propósito, se utilizan las hojas de trabajo que propone la metodología CommonKADS como guía para construir los diferentes modelos de la organización, del conocimiento y del sistema y, por medio de las técnicas y herramientas para capturar y representar el conocimiento del experto, se detalla el algoritmo de lógica difusa para operar este tipo de conocimiento. Con los modelados UML (Lenguaje Unificado de Modelado) para representar las etapas de desarrollo, se incorporan funcionalmente todos estos modelos en un sistema informático. Con esta integración, se plantea una estrategia para procesar conocimiento difuso para aplicarlos en los ámbitos donde se presentan inconsistencias en las decisiones por lo inespecífico del conocimiento, como, por ejemplo, en las ciencias sociales o en los entornos administrativos. Con el fin de demostrar la funcionalidad de esta propuesta, se diseña un sistema experto en una firma de caza-talentos, para apoyar el proceso de selección de personal, automatizar la toma de decisiones en procedimientos no estructurados, obtener resultados regulares y formalizar las tareas de razonamiento del experto.

Palabras Claves: Sistemas expertos, Lógica difusa, CommonKADS, Algoritmo trapezoidal, base de conocimientos

ABSTRACT

This paper shows the integration between CommonKADS methodology and fuzzy logic for processing imprecise knowledge with an expert system. Here is a description of methods of inference of the evaluation task, when it contains a knowledge base with fuzzy linguistic variables. When the knowledge base of an expert system contains ambiguous knowledge, it is necessary to use a logic based on quality quantifiers, because this knowledge presents difficult processing characteristics with methods based on discrete content rules. To achieve this goal, are used worksheets of the methodology CommonKADS, as a guide to build the different models of organization, knowledge and system and using the techniques and tools to capture and represent knowledge expert, fuzzy logic algorithm is detailed to operate this type of knowledge. With UML (Unified Modeling Language) modeled to represent developmental stages, all these models are incorporated into a computer system. With this integration, a strategy is proposed for processing fuzzy knowledge to apply in areas where inconsistencies in decisions presented by the non-specific knowledge, as, for example, in the social sciences or in administrative environments. In order to demonstrate the functionality of this proposal, an expert system is designed on a firm headhunter, to support the process of recruitment, automate decision making, get regular results, to support the process of recruitment and formalize the expert reasoning tasks.

Key words: Expert systems, Fuzzy logic, CommonKADS, Trapezoidal algorithm, Knowledge base.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas expertos que incluyen la tarea de razonamiento de evaluación con el modelo CommonKADS, entregan por lo general categorías de decisión duales, tales como “si/no”, “cumple/no cumple”, “ajustado/no ajustado”¹, y en ocasiones este tipo de salidas, no corresponden con las mismas expresiones verbales del experto humano cuando toma decisiones.

Los sistemas expertos se adaptan mejor en entornos donde las decisiones son categóricas, deterministas y poco flexibles. Los sistemas expertos que procesan conocimientos que incluyen variables cuantificadas con la forma de triplas concepto-atributo-valor y disponen de datos reales numéricos como “20 %”, “5 puntos”, “entre 25 y 30 grados”², se operan con reglas que tienen la forma *si...entonces*, pero la estructura de la base de conocimientos no se ajusta con facilidad al conocimiento impreciso.

Según el ámbito del conocimiento que posee el experto, éste puede dar conclusiones de categorías más amplias y tolerantes, siguiendo la forma “algo ajustado”, “muy adecuado”, “tibio”, “casi compatible”, siendo estas conclusiones más flexibles que las que entregan la tarea estándar de evaluación.

En los ámbitos donde las decisiones no son tan radicales como para concluir con categorías duales extremas, es necesario adaptar el sistema experto para que entregue resultados flexibles y puedan ser más pertinentes con la realidad del conocimiento inespecífico de la vida cotidiana del experto.

Cuando la base de conocimientos de un sistema experto contiene variables difusas como “*muy alto*”, “*medio*”, “*algo*”, es necesario procesarlas con una lógica que permita operar cuantificadores de cualidad. Por esta razón es necesario buscar un método para adaptar un sistema experto al procesamiento de conocimiento, no estrictamente definido, impreciso o subjetivo cuando realiza la tarea de evaluación.

El mundo real funciona con expresiones del tipo “hace mucho frío”, “es muy largo”, “tiene dolor leve” y modelar estas estimaciones subjetivas con la lógica difusa permite que aplicaciones informáticas procesen conocimiento difícil de definir.

La metodología CommonKADS tiene guías que orientan en el análisis de los diferentes aspectos del desarrollo de un sistema experto. Con estas guías se obtienen modelos del sistema a los que se les pueden incluir las estrategias de la lógica difusa, para procesar conocimiento cualitativo.

¹ SCHREIBER, A.; AKKERMANS, J.; ANJEWIERDEN, A., et al. CommonKADS, Engineering of Knowledge. The CommonKADS Methodology. The United States of America. The MIT Press: 2000.

² ESCOLANO, Francisco, et al. Inteligencia Artificial. Modelos, técnicas y áreas de aplicación. Madrid: Thomson Editores, 2003.

Las reglas típicas de un sistema experto tienen la forma SI (antecedente) ENTONCES (consecuente). Adaptándolas, con reglas heurísticas difusas donde el antecedente y el consecuente son también conjuntos difusos, se pueden incorporar en el motor de inferencias del sistema experto³.

El planteamiento de esta estrategia de integración puede ser aprovechado para desarrollar sistemas expertos que operen en ambientes donde las conclusiones son cualitativas, con la seguridad de que el sistema se adapta pertinentemente con el dominio de conocimiento donde es aplicado.

Se utiliza la lógica difusa porque es útil para procesos no lineales altamente complejos y donde es difícil identificar modelos matemáticos precisos. Es una rama de la inteligencia artificial que le permite a una computadora analizar información del mundo real, en una escala entre lo verdadero y lo falso, y permite a los ingenieros construir dispositivos que procesan conocimiento difícil de definir⁴.

En la lógica difusa se definen operaciones de conjuntos difusos para determinar una función de pertenencia entre sus elementos e indican en qué medida un elemento forma parte de un conjunto difuso. Las formas de las funciones de pertenencia más típicas son trapezoidal, lineal y curva. El algoritmo trapezoidal es utilizado en este trabajo para integrarlo con el desarrollo de un sistema experto y ofrecer una solución para el tratamiento de conocimiento borroso.

Esta optimización de un sistema experto proviene de la Inteligencia Computacional, en cuanto la lógica difusa ofrece una modelización de la vaguedad del discurso del experto, para incorporarlo en el motor de inferencia en el proceso de desarrollo de un sistema experto.

Con base en lo anterior, el presente trabajo plantea una integración entre la metodología CommonKADS con la lógica difusa, para desarrollar un sistema experto que facilite el procesamiento de conocimiento cualitativo, en un proceso del ámbito administrativo y mejorar la validez en las decisiones.

Esto se logró a través de tres objetivos: 1) la identificación y uso de los componentes de la metodología CommonKADS para analizar y estructurar el desarrollo del sistema experto dentro de la organización, 2) la incorporación de la lógica difusa en la base de conocimientos y en la tarea de razonamiento para operacionalizar y precisar la toma de decisiones con conocimiento difuso y 3) el diseño de un sistema experto para automatizar el proceso de selección de personal.

³ LUGER, George F. Artificial Intelligence: structures and strategies form complex problema solving. USA. Pearson Education, 2009.

⁴ BENITO, Matias DURÁN, Tamara y VICENTE, María Isabel. Lógica Borrosa. 2011. Disponible en: <http://ingtecnologia.files.wordpress.com/2011/06/logica-difusa2pdf.pdf>

Se utilizó la metodología CommonKADS porque suministra las guías para desarrollar sistemas basados en conocimiento, vinculándolo con el modelo del negocio, porque orienta en la caracterización del conocimiento de los expertos y detalla los aspectos a tener en cuenta para el desarrollo de un sistema experto.

Para lograr esta integración, en primer lugar, se identificaron los componentes de las hojas de trabajo que propone la metodología CommonKADS y se utilizaron para analizar la organización, en la que se aplicaría el sistema, se modelaron los procesos y las tareas donde se desempeña el experto, se caracterizó el conocimiento y el razonamiento del experto y se diseñó la arquitectura del sistema con los parámetros de la metodología para el desarrollo de sistemas expertos. Estos modelados se complementaron con representaciones en UML.

En segundo lugar, se utilizaron las técnicas y herramientas de la ingeniería del conocimiento, para adquirir y representar el conocimiento del experto y modelar el proceso de razonamiento. Se modeló la tarea de evaluación con reglas difusas y se construyó una base de conocimiento con variables lingüísticas para dar tratamiento a este tipo de conocimiento.

En tercer lugar, se diseñó un prototipo de sistema experto para probar el modelo del sistema con casuística propuesta por el experto. Se desarrolló el sistema de forma incremental hasta el nivel de utilidad para el usuario final. Durante la especificación de los métodos de inferencia, para la toma de decisiones en la tarea de evaluación, se realizó un análisis en espiral hacia adentro, detallando cada vez más los métodos de la tarea de razonamiento hasta llegar al nivel "atómico" expresados en reglas.

Los productos de este trabajo arrojaron los modelos de la organización y de los procesos donde se ejecuta la tarea de evaluación. Se diseñaron varios diagramas para entender el flujo de los datos dentro de la tarea y se hicieron representaciones de conocimientos con mapas mentales, conceptuales, diccionarios, tablas de conocimiento difuso, entre otros.

Se detalló cada uno de los métodos de inferencia de la tarea de evaluación y se complementó con el algoritmo trapezoidal. Se programaron las etapas de fusificación, las operaciones difusas y la defusificación y se hizo el prototipo del sistema para realizar las pruebas.

En la etapa de implementación se levantaron los requisitos y la diagramación de casos de uso, para asegurar el cumplimiento de la funcionalidad y de la calidad del sistema. Se diseñó la arquitectura según el modelo estándar de CommonKADS, se desarrolló la base de conocimientos, se diseñaron las interfaces y se instaló el sistema, según las especificaciones de la plataforma de hardware y el software probado por el prototipo.

El sistema se aplicó en el proceso de selección de una empresa de consultoría con el fin de probar su utilidad. Se eligió este proceso, ya que en él se utilizan expresiones de tipo cualitativo como “muy ajustado” “algo adaptado”, “cumple en parte” y es adecuado para realizar este modelamiento. El experto realizó múltiples pruebas con el sistema para validar y aprobar cada una de las decisiones. En la actualidad, el sistema experto se encuentra activo comercialmente desde el año 2013 a través de la página web E-Talento (www.etalento.co).

El presente trabajo contiene los siguientes apartes: el capítulo uno se refiere al marco conceptual en el que se basa este proyecto e incluye los fundamentos de la metodología CommonKADS, los conceptos básicos de la lógica difusa y las bases teóricas de los sistemas expertos.

El capítulo dos describe el diseño metodológico empleado para el desarrollo del proyecto, donde se detalla la aplicación de la metodología CommonKADS, la forma en que se integra la lógica difusa al sistema y la estrategia empleada para el modelado del sistema experto.

El capítulo tres se refiere a la presentación y análisis de los resultados, donde se muestran el análisis del contexto de la organización, los modelos de tareas, de agentes, del dominio del conocimiento, de la tarea de razonamiento y los algoritmos de la lógica difusa empleados en la tarea de evaluación. También se detalla el modelo del sistema informático con todos sus artefactos.

En el capítulo cuatro, se presentan las conclusiones y en el capítulo cinco, se indica la bibliografía empleada.

1. MARCO CONCEPTUAL

El presente capítulo está compuesto por tres partes donde se muestran los fundamentos teóricos en los que se basa el proyecto: la primera introduce los aspectos metodológicos de CommonKADS en lo referente al contexto, el conocimiento y el diseño; la segunda explica en qué consiste la lógica difusa, los algoritmos y sus etapas para el procesamiento difuso; en la tercera parte se presenta lo que son los sistemas expertos, su arquitectura y las técnicas para su desarrollo.

1.1 LA METODOLOGÍA CommonKADS

CommonKADS es una metodología para el análisis y construcción de sistemas de conocimiento donde se especifica todo el ciclo de desarrollo de sistemas expertos, y comprende el modelado del conocimiento y el razonamiento que posee un experto en un dominio específico con el propósito de desarrollar un sistema que resuelva los problemas tal como lo hace el experto humano. Es una metodología que se soporta en la ingeniería y en la gestión del conocimiento para construir sistemas de conocimiento⁵.

Esta metodología ofrece un conjunto de herramientas para modelar sistemas basados de conocimiento en el cual interviene un experto al que se le extrae su conocimiento con el apoyo de la ingeniería del conocimiento⁶.

La ingeniería del conocimiento es una disciplina de la Inteligencia Artificial que suministra herramientas y técnicas para la adquisición y representación del conocimiento y el modelado del razonamiento humano. El encargado de extraer el conocimiento de los expertos se llama ingeniero de conocimientos, quien lo codifica para que pueda ser procesado. La metodología CommonKADS estructura los procesos de la ingeniería del conocimiento para el desarrollo de un sistema experto⁷.

1.1.1 Modelos de Commonkads

La construcción del sistema basado en conocimiento se basa en la elaboración de varios modelos que analizan diferentes aspectos de la aplicación del sistema. Los modelos se enfocan en tres niveles de análisis: análisis del contexto donde se aplica el sistema, análisis y formalización del conocimiento aplicado en una tarea específica y modelo de los aspectos técnicos en la implementación del sistema experto⁸.

⁵ SCHREIBER, A.; AKKERMANS, J.; ANJEWIERDEN, A., et al. CommonKADS, Engineering of Knowledge. The CommonKADS Methodology. The United States of America. The MIT Press: 2000.

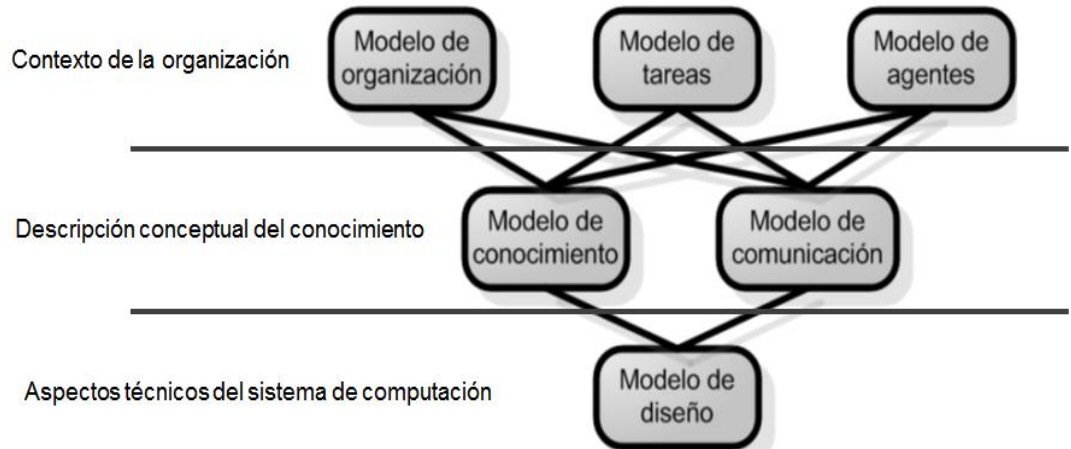
⁶ PAJARES MARTINSANZ, Gonzalo y SANTOS PEÑAS, Matilde. Inteligencia Artificial e Ingeniería del conocimiento. Madrid: Alfaomega Grupo Editores, 2006.

⁷ Ibid, p. 35

⁸ SCHREIBER, Op. cit

A continuación, se muestra la Figura 1 que representa los modelos y sus grupos.

Figura 1. Esquema de los diferentes modelos en la metodología Commonkads



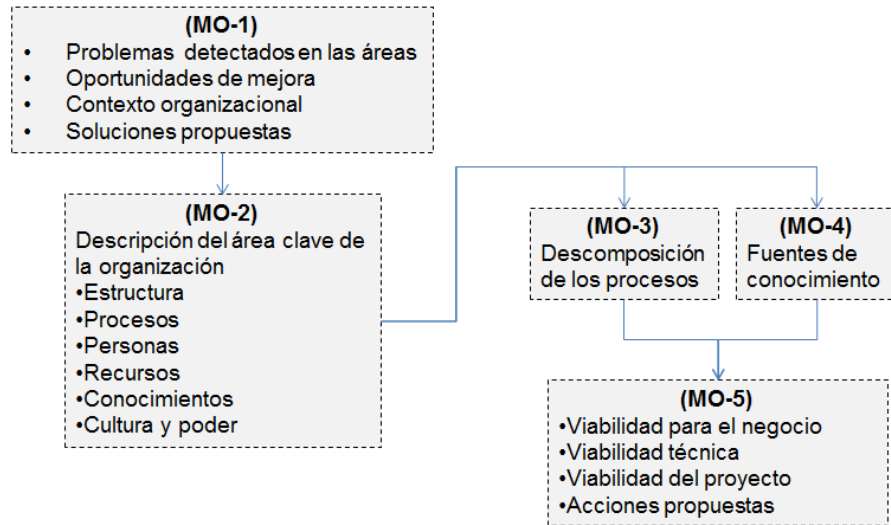
Fuente: Schreiber

Cada modelo⁹ tiene el propósito de acercarse a los problemas críticos de productividad y estudiar la viabilidad para resolverlos y analizar qué herramientas de conocimientos se utilizarán para mejorar los procesos. Las características principales de los modelos son:

- En el modelo de organización se analizan las oportunidades para implementar los sistemas del conocimiento. Se establece su viabilidad y se determina el impacto que puede ejercer sobre la empresa. Los temas que se analizan en este modelado se muestran en la Figura 2.

⁹ Ibid

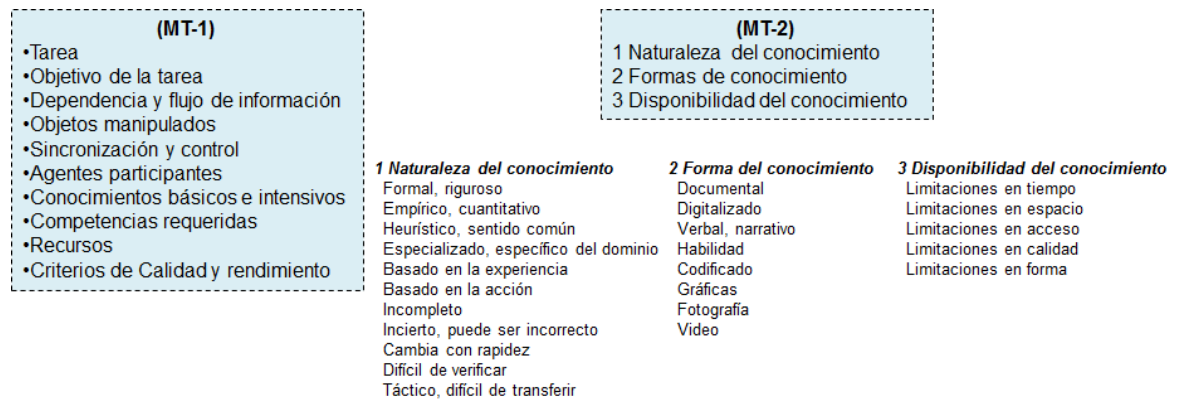
Figura 2. Temáticas que se analizan en el modelado de la organización



Fuente: Diseño propio basado en Schreiber, 2000

- En el modelo de tarea se analiza la disposición global de los procesos, sus entradas y las salidas, las relaciones con el entorno y los recursos y capacidades de respuesta de la producción. Las tareas son las subpartes relevantes de un proceso de negocio.

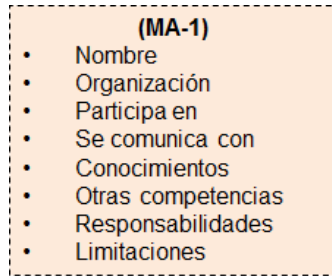
Figura 3. Temática que se analizan en el modelado de tareas



Fuente: Schreiber, 2000

- El modelo del agente describe las características de los agentes, en particular, sus capacidades y autoridad para actuar. Los agentes son ejecutores de una tarea. Un agente puede ser humano, un sistema de información o cualquier otra entidad capaz de realizar una tarea.

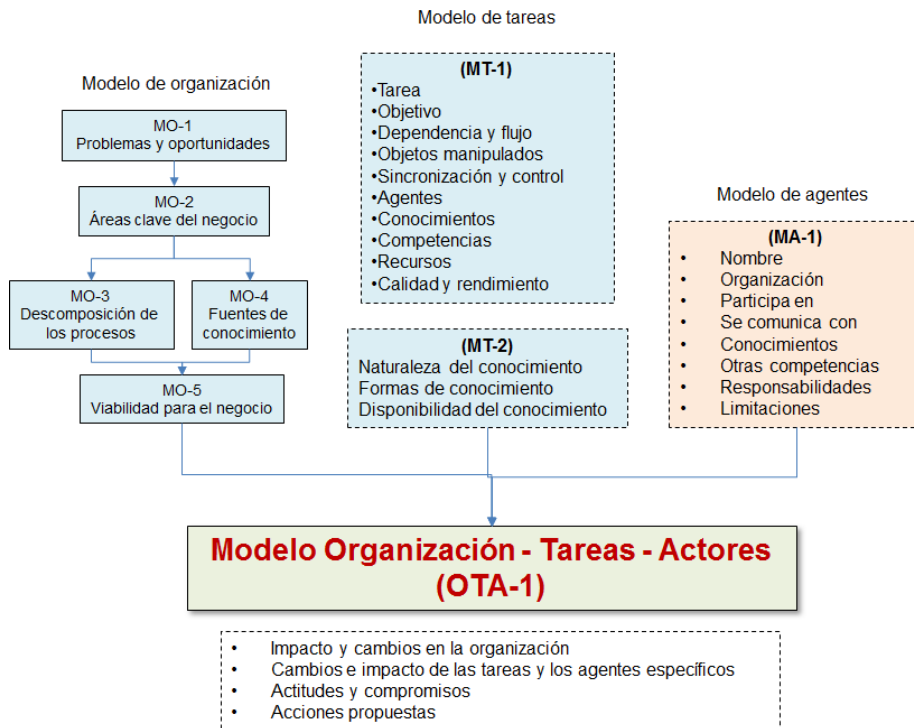
Figura 4. Temática que se analizan en el modelado de agentes o actores



Fuente: Schreiber, 2000

Los tres primeros modelos (Modelo de Organización, Modelo de Tareas y Modelo de Actores) se integran en un documento (OTA-1) que sirve para tomar decisiones sobre la continuación del proyecto y proponer los cambios necesarios en la organización para que el sistema se adapte. El esquema siguiente muestra los componentes principales de esta integración¹⁰.

Figura 5. Esquema de la integración de los tres primeros modelos



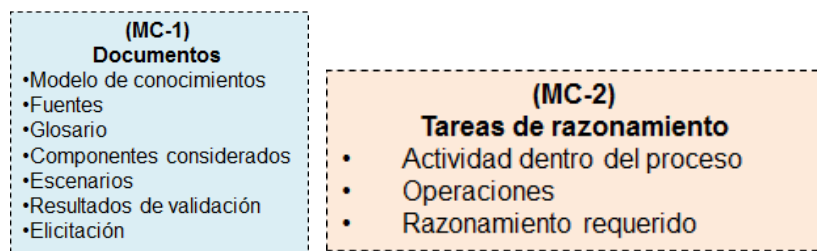
Fuente: Diseño propio con base en Schreiber, 2000

¹⁰ Ibid

Esta integración deriva en el modelo conceptual que involucra la formalización del conocimiento y la comunicación entre los agentes.

- El propósito del modelo del conocimiento es explicar detalladamente los tipos y las estructuras del conocimiento usado en la ejecución de una tarea dentro de un proceso, así como los procesos de razonamiento empleados por los expertos para resolver los problemas presentados en los procesos. Este modelado representa la tarea, las inferencias, el esquema de dominio de conocimientos y la base de conocimientos del sistema experto.

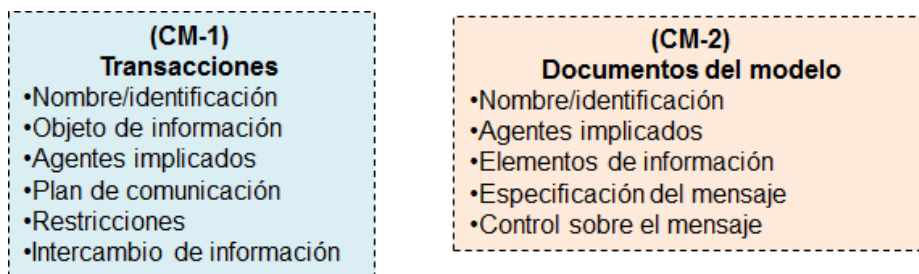
Figura 6. Temática en el modelado de conocimientos y de razonamientos



Fuente: Schreiber, 2000

- El modelo de comunicación modela las transacciones comunicativas entre los agentes implicados en el desarrollo del proceso y en el modelo de diseño se reúnen todos los modelos anteriores, para conformar las especificaciones técnicas en términos de la arquitectura de los mecanismos de cómputo necesarios, para poner las funciones de los modelos del conocimiento y de la comunicación.

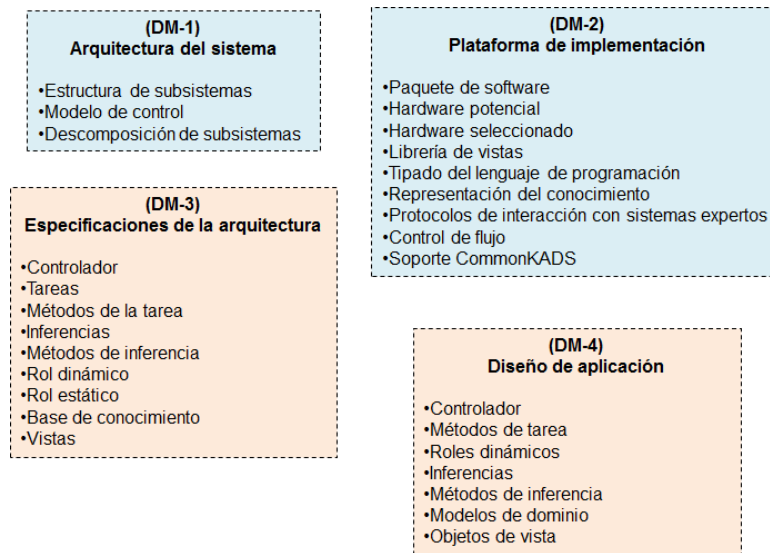
Figura 7. Temática que se analizan en el modelado de comunicaciones



Fuente: Schreiber, 2000

- El modelo de diseño se utiliza para describir la arquitectura y el diseño técnico del sistema basado en conocimiento como paso previo a su implementación.

Figura 8. Temática que se analizan en el modelado del sistema



Fuente: Schreiber, 2000

1.1.2 Esquemas del modelo de conocimiento

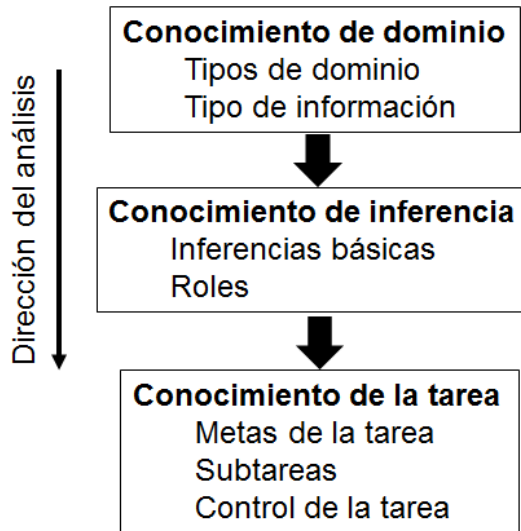
El modelo de conocimiento se representa en tres partes¹¹:

- El conocimiento del dominio: Se describe la información específica en forma de esquemas utilizando los diagramas UML y la tripletas concepto-atributo-valor.
- El conocimiento de inferencia: Se describe los pasos requeridos para usar el dominio de conocimientos. Son bloques funcionales que representan las unidades para reproducir el razonamiento artificial.
- El conocimiento de tarea: Describe las metas y las estrategias para alcanzarlas. También especifica el control sobre las funciones de las tareas y sobre el uso del conocimiento del sistema.

En la figura 9, se muestra gráficamente la relación entre estas tres categorías.

¹¹ PAJARES Martinsanz, Gonzalo, SANTOS PEÑAS, Matilde. Inteligencia Artificial e Ingeniería del conocimiento. Madrid: Alfaomega Grupo Editores. 2006)

Figura 9 Representación de las categorías de conocimiento



Fuente: Diseño propio con base en Pajares, 2006

Una tarea define un razonamiento complejo y está compuesto por funciones y métodos organizados de forma jerárquica, donde el nivel inferior se relaciona con las inferencias declarativas. Los métodos se describen a través de una descomposición en subfunciones y su control de ejecución describe el orden en el que las funciones se llevan a cabo. Según la meta de la tarea, se clasifican en tareas analíticas y tareas sintéticas¹².

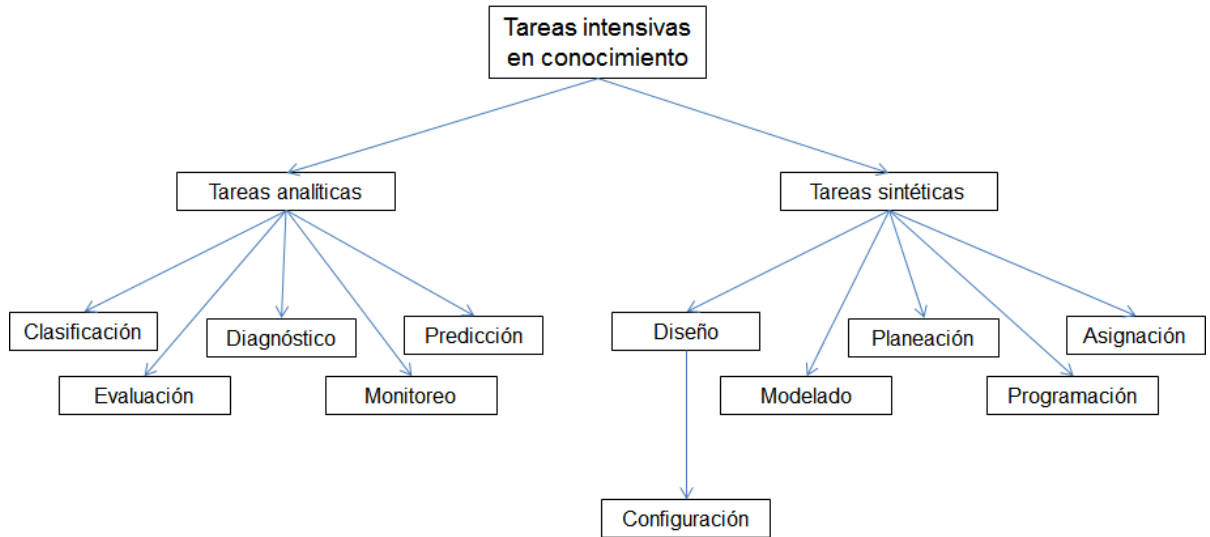
1.1.3 Tareas intensivas en conocimiento

Las investigaciones en esta metodología han encontrado que el procesamiento de conocimiento, llamado Tarea Intensiva en Conocimiento (TIC), es independiente del dominio del contenido y cada tarea de razonamiento tiene métodos, según los propósitos o metas que quiere cumplir con los dominios de conocimiento. Al modelar las tareas de razonamiento que son intensivas en conocimiento, se formalizan los procesos de razonamiento en algoritmos que transforman entradas en salidas¹³.

¹² Ibid,

¹³ SCHREIBER, A.; AKKERMANS, J.; ANJEWIERDEN, A., et al. CommonKADS, Engineering of Knowledge. The CommonKADS Methodology. The United States of America. The MIT Press, 2000

Figura 10 Tipos de tareas intensivas en conocimiento



Fuente: Schreiber, 2000.

Son dos conjuntos de tareas de razonamiento que utiliza el experto cuando toma decisiones: las tareas analíticas y las tareas sintéticas. En las primeras, el objeto (sistema) sobre el cual opera la tarea de razonamiento, existe previamente pero su conocimiento es incompleto. De este objeto se toman algunos datos para operacionalizarlos y dar otros datos como salidas. En las tareas sintéticas el objeto no existe y el propósito del experto es construirlo a través de descripciones que parten de requisitos y entrega un sistema construido o modelado como salida. A continuación se definen las tareas propuesta por la metodología CommonKADS¹⁴.

- Clasificación: la tarea consiste en categorizar un objeto según la clase a la cual pertenece. Los conocimientos del objeto restringen en valores las características del objeto.
- Diagnóstico: la salida es una categoría de falla descrita en forma causal sobre un mal funcionamiento del sistema. El conocimiento típicamente contiene conocimiento acerca del comportamiento normal del sistema.
- Evaluación: consiste en caracterizar un caso en términos de una clase de decisión. La salida es una clase de decisión como "sí /no". El conocimiento típicamente consta de un conjunto de normas o criterios que sirven para la evaluación.

¹⁴ BREUKER, Joost; VAN DE VELDE, Walter CommonKADS Library for Expertise Modelling: Reusable Problem Solving Components. Reusable problem solving components. IOS Press. Amsterdam: 1994, p. 147, 168-170, 185-193

- **Monitoreo:** en esta tarea el objeto de análisis tiene una dinámica en curso. La tarea revisa periódicamente el comportamiento del objeto para comparar los datos con un patrón normal. Si se encuentra una discrepancia, entrega una salida informativa sobre esta diferencia.
- **Predicción:** consiste en el análisis del comportamiento actual de un objeto o sistema para construir una descripción del estado de sistema en algún punto futuro en el tiempo.
- **Diseño:** el sistema u objeto a ser construido es algún artefacto físico donde los componentes están predefinidos. En ocasiones toma la forma de configuración.
- **Asignación:** se tiene dos conjuntos de objetos que se deben relacionar entre sí, según unas restricciones y preferencias.
- **Planificación:** descripción de una secuencia de actividades para cumplir un objetivo y sus dependencias en el tiempo. Las actividades deben estar bien definidos.
- **Programación:** a las secuencias de las actividades se le asignan recursos durante un cierto espacio de tiempo. La salida es un mapeo entre actividades, recursos y espacios de tiempo que operan según restricciones.
- **Modelaje:** al modelar se construye una descripción abstracta de un sistema para explicar o predecir ciertas propiedades del sistema o fenómeno.

El modelado del conocimiento tiene la ventaja de generar la reusabilidad, ya que permite la posibilidad de generar un modelo genérico independiente de la aplicación llamada Plantilla de Tarea en la que se especifican las inferencias y los conocimientos de la tarea. El ingeniero de conocimientos la puede usar en otras aplicaciones para luego realizar el análisis de conocimiento.

Los componentes principales de la plantilla son:

- **La caracterización general:** describe las partes típicas de la tarea, tales como la entrada, la salida, la meta, la terminología y la relación con otras tareas.
- **El método de la tarea:** describe los roles, las subfunciones y el control interno que se utiliza para la solución del problema. Incluye la estructura de inferencias de las operaciones en un nivel detallado.
- **Las variaciones del método:** Los métodos pueden incluir operaciones o subfunciones anexas que se deben tener en cuenta en el modelado.

- El esquema del dominio: Se describe la estructura general del conocimiento sin especificar los contenidos del dominio. El esquema solo determina los requerimientos de conocimiento que se utiliza durante la aplicación del método de la tarea.

A la manera de ejemplo, se muestra la plantilla de la tarea de evaluación con la descripción detallada de sus componentes. Se elige esta tarea ya que es la que utilizó el desarrollo del proyecto.

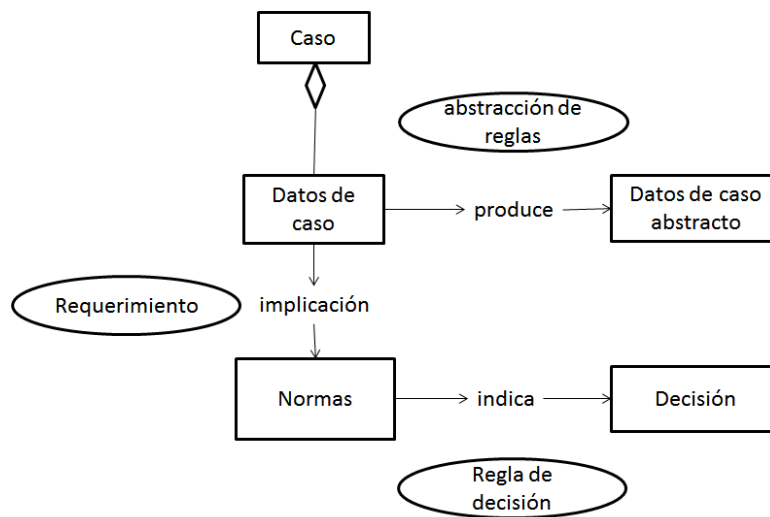
Tabla 1. Plantilla de la tarea de evaluación

Objetivo	Encontrar una categoría de decisión para un caso basado en un conjunto de normas específicas del dominio.	
Terminología	Caso	El caso para ser valorado
	Categoría de decisión	Si/no, pasa/no pasa, adecuado/no adecuado, ajustado/no ajustado, cumple/no cumple
	Normas	Dominio de conocimiento que se usa para tomar la decisión
Entradas	Datos sobre el caso (siempre deben estar presentes). Normas específicas del caso (no siempre están presentes)	
Salidas	Una categoría de decisión	
Características	Es similar a la tarea de monitoreo, solo que se hace una vez.	
Método	<p>Caso abstracto. Los elementos o componentes del caso se abstraen en conceptos predefinidos.</p> <p>Normas: Después de la abstracción, se generan las normas o criterios que se utilizarán para el caso de entrada. En ocasiones, algunos casos conllevan a algunas normas de forma dependiente y pasan a ser también parte de la entrada.</p> <p>Seleccionar norma: se selecciona por lo menos una norma para evaluación. De forma simple se selecciona una norma de forma aleatoria, pero el conocimiento del dominio orienta en el orden que se le dará a las normas para ser seleccionadas.</p> <p>Evaluar la norma: se aplica la norma seleccionada a los datos del caso. Esta función produce un valor de verdad para la norma.</p> <p>Corresponder: para ver si se puede encontrar una solución. Esta inferencia verifica si los resultados de la evaluación conducen a una decisión. Algunas veces el valor de verdad de una norma es suficiente para llegar a una decisión.</p>	

Fuente: Schreiber y Crandall et al

El *Esquema del Dominio* muestra el conocimiento mínimo del dominio requerido para la ejecución de la tarea de razonamiento, que para la tarea de evaluación se identifican 4 tipos de conocimiento: los datos del caso, el conocimiento sobre el caso abstracto, el conocimiento sobre las normas de evaluación, el conocimiento sobre las categorías de decisión. Se representa gráficamente sin detallar el tema del dominio sino las estructuras generales del conocimiento. En la figura 11, se muestra el esquema del dominio de la tarea de evaluación.

Figura 11. Esquema del dominio de conocimiento para la tarea de evaluación.



Fuente: Schreiber, 2000

Los *Métodos* de las tareas de razonamiento se describen en forma de pseudocódigo como guías para programar el sistema utilizando algún lenguaje de programación. También sirve como plantilla al que se le cambia de base de conocimientos para aplicar la tarea en diferentes contextos. El detalle del método de evaluación en forma de pseudocódigo contiene varias partes: Las entradas (el caso), las salidas (la decisión), el método (la abstracción, la selección, la correspondencia) y la estructura de control.

1.2 LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa es un método de investigación que utiliza la inteligencia artificial para hacer que un computador analice información del mundo real manipulando conceptos del tipo “muy caliente” o “húmedo” y permitir configurar dispositivos para que operen información difícil de definir. Es una técnica de la inteligencia

computacional que ayuda o permite trabajar con información que es imprecisa y que no está bien definida¹⁵.

La lógica difusa o lógica borrosa es un tipo de lógica basada en la teoría de conjuntos que trata de copiar el método de razonamiento que utilizan los humanos en la vida diaria. Es un sistema lógico que formaliza los modos de razonamientos aproximados. Es una lógica multivaluada donde las proposiciones no son únicamente de tipo Falso o Verdadero¹⁶.

Los computadores operan datos en estados de unos y ceros y proposiciones que pueden ser ciertas o falsas, mientras que el cerebro humano puede razonar con información que involucra incertidumbre y sentido común en ambientes donde las cosas son parcialmente ciertas¹⁷.

Expresiones como “Muy alto”, “La mayoría”, “Lentamente”, “Cercano”, “Relevante”, “Mucho mayor que”, se explican mejor cuando se aplica la lógica difusa. Estos términos son vagos y no son fáciles de transferir a lenguajes de las computadoras utilizando la lógica convencional. Cuando el tipo de información disponible está compuesto de términos inexactos, imprecisos y subjetivos, la lógica difusa ayuda para procesar esa información¹⁸.

La idea general de esta lógica es que permite que se pueda representar el conocimiento, que es principalmente lingüístico, de tipo cualitativo y no tanto cuantitativo, en un lenguaje matemático, mediante los conjuntos difusos y funciones características asociadas a ello. Este lenguaje permite trabajar con datos numéricos y también con términos lingüísticos que, aunque son más imprecisos que los números, muchas veces son más fáciles de entender para el razonamiento humano¹⁹.

¹⁵ SII, How-Sing. et al. (2014). Application of fuzzy logic approaches to safety assessment in Maritime engineering applications. Accedido el 8/6/2014. Disponible en:

https://phps.portals.mbs.ac.uk/Portals/49/docs/jyang/SiiWangRuxtonYang_Fuzzy_Logic_in_JMET.pdf

¹⁶ MALLO, Paulino, et al. La distribución triangular y los números borrosos triangulares. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales - Universidad Nacional de Mar del Plata: 2009, [citado 2014-05-23], disponible en:<http://nulan.mdp.edu.ar/897/1/00178.pdf>

¹⁷ PONCE, Pedro (2010). Inteligencia Artificial con aplicaciones a la ingeniería. México: Alfaomega Grupo Editores.

¹⁸ MORENO Arreche, Andrés (2009). La Lógica Borrosa. Instrumento para el análisis de las fases entrópicas de la realidad político-social. Publicado por Teódulo López Meléndez en mayo 25, 2009, disponible en: <http://teodulolopezmelendez.wordpress.com/2009/05/25/la-logica-borrosa-instrumento-para-el-analisis-de-las-fases-entropicas-de-la-realidad-politico-social/>

AFSHARI, Ali Reza; NILOLIC, Milan; COCKALO, Dragan. (2014). Applications of fuzzy decision making for personnel selection problem - a review. Journal of engineering management and competitiveness. Vol. 4, No. 2, 2014, pp 68-77. Consultado el 11 de octubre de 2016. Disponible en: <http://www.tfzr.rs/jemc/files/Vol4No2/V4N22014-02.pdf>

¹⁹ BENITO, Matias DURÁN, Tamara y VICENTE, María Isabel. Lógica Borrosa. 2011. Disponible en: <http://ingtecnologia.files.wordpress.com/2011/06/logica-difusa2pdf.pdf>

Los principales conceptos relacionados con este tema son:

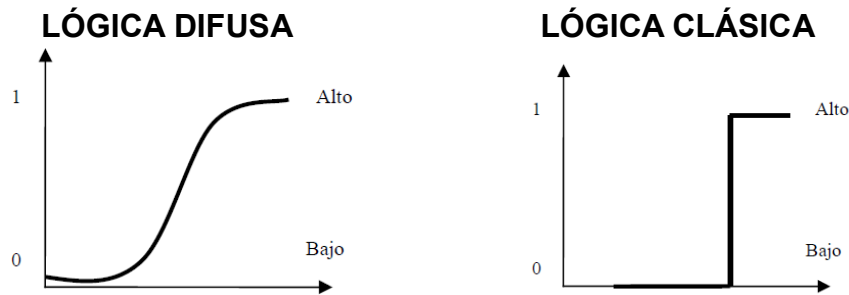
- *Conjuntos difusos (Fuzzy Sets)*: un conjunto difuso A se define como una Función de Pertenencia que enlaza o empareja los elementos de un dominio o Universo de discurso X con elementos del intervalo $(0,1)$.
- *Grado de Pertenencia*: establece el punto de transición entre 0 y 1 entre las condiciones del conjunto difuso. Cuanto más cerca esté $A(x)$ del valor 1, mayor será la pertenencia del objeto x al conjunto A . Los valores de pertenencia varían entre 0 (no pertenece en absoluto) y 1 (pertenencia total).
- *Variable Difusa*: cualquier valor que está basado en la percepción humana más que en valores precisos de medición ej. “presión excesiva” en una caldera, “cantidad excesiva de sal” en una tortilla, “elevada velocidad” del tren, etc.
- *Variable lingüística*: noción o concepto que se califica de forma difusa. Por ejemplo: la altura, la edad, el error, la variación del error. Se aplica el adjetivo “lingüística” porque se definen sus características mediante el lenguaje hablado.
- *Universo de discurso*: rango de valores que pueden tomar los elementos que poseen la propiedad expresada por la variable lingüística.

El grado de pertenencia de una variable lingüística a un conjunto difuso determinado, se puede expresar con un valor que permite la posibilidad de pertenencia parcial del elemento al conjunto, de tal manera que cuanto mayor sea el valor de la función de pertenencia, mayor es el grado de pertenencia del elemento al conjunto.

Para hacer esta redefinición de la variable lingüística en números de pertenencia (números borrosos), se representan gráficamente en un plano cartesiano donde la abscisa es la distribución gradual de las variables y la ordenada representa el grado de pertenencia. La transición entre alto y bajo con la lógica difusa es una curva con cambios no abruptos mientras que, con la lógica clásica, el paso de bajo a alto o viceversa es brusco²⁰.

²⁰ Ibid

Figura 12. Representación de transiciones según el tipo de lógica



Fuente: Benito, 2011, con adaptación propia.

Los cuantificadores borrosos como “mucho”, “poco”, “algunos”, etc., se pueden trasladar a números del intervalo entre 0 y 1, de tal manera que aplicando operaciones para definir cada uno de estos cuantificadores, se logran tratar estas variables lingüísticas. Estas operaciones son las mismas que sustentan la teoría de conjuntos borrosos.

1.2.1 Números difusos

Por números borrosos se entiende un subconjunto de elementos con valores de confianza α con respecto a un conjunto referencial dado, quien define su grado de pertenencia y que se mide a través de funciones de pertenencia ($\mu(\chi)$) lineales²¹.

Un número borroso puede expresarse de tres maneras:

- a) Intervalos de Confianza
- b) por la forma α -cortes
- c) mediante la Función de Pertenencia.

A su vez, los Intervalos de Confianza se pueden expresar de tres maneras:

$[a_1, a_2]$	Forma binaria
$[a_1, a_2, a_3]$	Forma terciaria o triangular
$[a_1, [a_2, a_3], a_4]$	Forma cuaternaria o trapezoidal

Los números borrosos trapezoidales son aquellos cuyas funciones de pertenencia son lineales y tienen un intervalo de confianza en el máximo de presunción. Se

²¹ CANÓS, Lourdes, et al. Modelos flexibles de selección de personal basados en la valoración de competencias. Universidad Politécnica de Valencia, 2008. Consultado en octubre de 2016. Disponible en: http://www.asepuma.org/recta/ordinarios/9/9_4.pdf

representa por medio de 4 valores en forma de tripleta de confianza ampliada o cuádruplo de confianza (forma cuaternaria)²².

$$A = (a_1, [a_2, a_3], a_4)$$

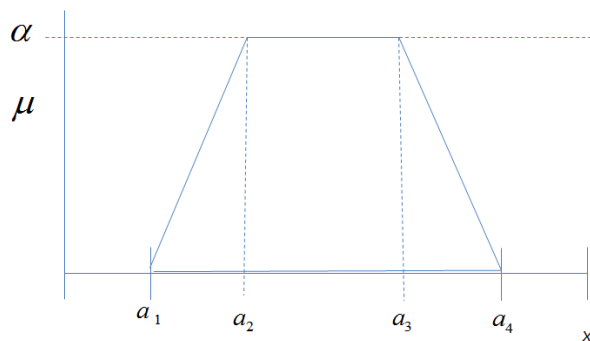
Los grados de pertenencia dependen de la siguiente forma²³ :

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3} & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0 & x \geq a_4 \end{cases}$$

Se tiene un intervalo para el cual la pertenencia tiene el valor de uno y un rango por encima y otro por debajo que equivale a valores proximales a uno, entre 0 y 1, donde se representan los grados de pertenencia al intervalo unitario.

Gráficamente se representa así:

Figura 13. Representación de número borroso trapezoidal



Fuente: Elaboración propia con base en Mallo, 2009, Ponce, 2010 y García 2013.

Esta función se emplea cuando hay un intervalo de valores ideal, alrededor del cual las condiciones no son del todo adecuadas, son proximales, difusas.

²² PONCE, Pedro Inteligencia Artificial con aplicaciones a la ingeniería. México: Alfaomega Grupo Editores, 2010.

²³ Ibid

1.2.2 Etiquetas lingüísticas

Las etiquetas lingüísticas equivalen a los adverbios en el lenguaje natural. En el modelo difuso estos enunciados se corresponden con una función de pertenencia con una operación aritmética. Por ejemplo, el adverbio *muy* puede corresponder al cuadrado de una función de pertenencia de base. Decir “*ella es muy alta*” equivaldría a decir:

$$\mu_{muy_alto}(x) = (\mu_{alto}(x))^2$$

Se interpreta, si el grado de pertenencia de una persona a la clase *alto* es 0.5 el grado de pertenencia a la clase *muy_alto* es de 0.25 ($0.5^2 = 0.25$)

De este modo, si el grado de pertenencia de una persona a la clase *alto* es 0.5 el grado de pertenencia a la clase *algo_alto* es de 0.707 ya que:

$$\mu_{algo_alto}(x) = \sqrt{\mu_{alto}(x)}$$

Cuando se traduce el lenguaje humano al contexto de la lógica clásica, se pierde la riqueza de la expresión tipo “hace mucho frío” o “es muy costoso”. Esta pérdida se puede ver reflejada en disminución de la calidad del funcionamiento del sistema experto. El paradigma del “es” y “no es”, es una limitación al construir sistemas expertos de control²⁴.

Los juicios humanos y conocimientos de dominio pueden ser representados en forma de reglas, que se basan normalmente en variables lingüísticas, ya que son más naturales y expresivas que las expresiones numéricas. La lógica difusa proporciona un marco matemático para procesar información lingüística (Yang, 2006). Es apropiada para integrarla con reglas heurísticas del tipo IF-THEN, donde el antecedente y el consecuente son también conjuntos difusos²⁵.

Se pueden utilizar varias fuentes para crear las bases de reglas difusas. Pueden proceder de estudios estadísticos de incidentes ocurridos en el ámbito del conocimiento o de grandes bases de datos sobre el tema. La literatura científica puede suministrar información para la creación de éstas reglas y los expertos humanos calificados suministran también conocimiento intuitivo y cualitativo. Las reglas difusas son una plataforma natural para registrar la abstracción basada en las opiniones de expertos ya que les permite expresar en forma lingüística, en lugar de variables numéricas, su conocimiento²⁶.

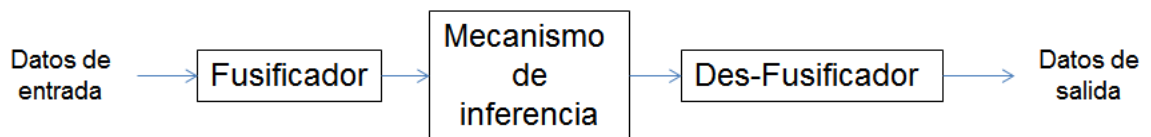
²⁴ PONCE, Op cit

²⁵ Ibid,

²⁶ Sij, Op cit.

La estructura de un sistema experto con reglas difusas, típicamente está constituida por tres bloques principales: el de transformación de los valores numéricos en valores de lógica difusa, el motor de inferencia que emplea las reglas y el bloque de conversión de los valores de la lógica difusa en valores numéricos. Con este tipo de sistemas se transforman los datos o valores numéricos de la entrada al dominio de las reglas intuitivas y lingüísticas de la lógica difusa, para realizar el tratamiento de los mismos y después convertir los resultados en valores numéricos para darles la representación tradicional²⁷.

Figura 14. Representación de los bloques de un sistema experto difuso



Fuente: Benito, Tamara, 2011 con adaptación propia.

Utilizando reglas difusas se procesan relaciones entre variables difusas y se producen salidas difusas. Y nuevamente partiendo de estas salidas difusas, se puede llegar a cantidades binarias y cantidades continuas. El tratamiento de estos datos se puede realizar con reglas de inferencia, que transforman los resultados en datos cuantitativos fáciles de tratar por las demás etapas de procesamiento, dando resultados no solamente con unos y ceros, sino con fracciones tales como²⁸ 0.03 o 0.

1.3 SISTEMAS EXPERTOS

Un sistema experto es una aplicación informática que contiene el conocimiento de un experto humano en un dominio específico y usa técnicas de razonamiento simbólico para resolver problemas especializados pertenecientes al mismo dominio. El conocimiento que utiliza es subjetivo y cambiante y la eficiencia del sistema es comparable a la del experto humano²⁹.

Una característica importante del sistema es la separación entre el propio conocimiento y los procedimientos que lo manipulan para resolver los problemas.

²⁷ DARAMOLA, J.O.; OLADIPUPO, O.O. and MUSA, A.G. A fuzzy expert system (FES) tool for online personnel recruitments. Int. J. Business Information Systems, Vol. 6, No. 4, 2010. Consultado en octubre de 2016. Disponible en: http://eprints.covenantuniversity.edu.ng/6414/1/FES_Paper_9.pdf

²⁸ PONCE, Op cit

²⁹ CORREDOR, Martha Vitalia (2000). Principios de inteligencia artificial & sistemas expertos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Los sistemas expertos incorporan conocimiento en forma modular que se puede modificar para actualizarlo³⁰.

Los sistemas expertos contienen un base de conocimientos compuesto por reglas y hechos o memoria de trabajo. Un hecho es toda información que está demostrada dentro del dominio de aplicación. Los hechos pueden ser introducidos previamente o inferidos a partir de las reglas. Las reglas relacionan hechos para inferir otros nuevos hechos³¹.

Los sistemas expertos generalmente tienen cientos de reglas de la forma *si...entonces* (antecedente→consecuente), que se aplican en una situación, por lo que debe tener un mecanismo de control para decidir qué regla aplicar. El motor de inferencias programado con lógica proposicional controla la selección de las reglas a ser aplicadas y evita los conflictos que se puedan presentar entre las reglas.

La modificación de una regla no afecta el sistema en su globalidad. Las reglas pueden ser adicionadas, eliminadas o modificadas sin causar cambios representativos en el funcionamiento de todo el sistema. La fácil modificación de la base de conocimientos es uno de las principales capacidades de los sistemas expertos³².

Los sistemas expertos se construyen para resolver una amplia gama de problemas en dominios específicos como la medicina, la ingeniería, la química, las ciencias de la computación, la educación, entre otros. Realizan operaciones complejas para resolver problemas tales como predicción, interpretación, diagnóstico, diseño, planeación, monitoreo, control inteligente y mucho más³³.

En los sistemas expertos basados en reglas existen dos mecanismos básicos de encadenamiento de reglas³⁴.

- El encadenamiento hacia adelante: el motor de inferencias busca unas reglas cuyos antecedentes contengan los hechos de entrada en un momento dado. Si tal regla existe, se aplica el consecuente. Este tipo de procesamiento es guiado por los hechos. La eficiencia en este tipo de encadenamiento depende del orden de selección de las reglas, para lo cual se puede utilizar diferentes sistemas de control, como por ejemplo, seleccionar las reglas según el orden en la cual está almacenada en la base de conocimiento, seleccionar las reglas con mayor número de antecedentes, seleccionar las reglas con los hechos de entrada más

³⁰ PAJARES, Op. cit

³¹ GARCÍA MARTÍNEZ, Ramón. Ingeniería del conocimiento. Curso de doctorado. Instituto de investigación y desarrollo de informática avanzada. Argentina. 2006. Disponible en: <http://www.iidia.com.ar/rgm/CD-IC/Ingenieria-del-Conocimiento.pdf>

³² LUGER, George F. Artificial Intelligence: structures and strategies form complex problema solving. USA. Pearson Education, 2009.

³³ Ibid

³⁴ PAJARES, Op cit.

recientes, las que tengan más conclusiones, selección aleatoria, selección de reglas según el nivel de prioridad, control borroso, entre otras técnicas.

- El encadenamiento hacia atrás: es un mecanismo orientado por los objetivos de forma recursiva. Se inicia con una hipótesis que se quiere demostrar y se busca en la base de conocimientos las reglas que contengan los hechos en sus consecuentes, al encontrarlas, las reglas se seleccionan (reglas candidatas) para ser activadas.

La elección del mecanismo de inferencia depende del tipo de problema. Por ejemplo, las tareas de diagnóstico se resuelven mejor con encadenamiento hacia atrás, mientras que las tareas de supervisión y control se realizan mejor con el encadenamiento hacia delante³⁵.

En la programación con reglas, al sistema no se le dice lo que debe hacer, sino cuál es el conocimiento que debe utilizar para resolver el problema. Esto facilita el crecimiento del conocimiento, su reorganización y la corrección de errores en su contenido³⁶.

1.3.1 Arquitectura de los sistemas expertos

La separación del conocimiento del mecanismo de inferencias fue uno de los grandes descubrimientos que dan impulso al desarrollo moderno de los sistemas expertos. El almacenamiento del conocimiento de un dominio específico en una unidad separada es la clave para la construcción de sistemas que resuelven problemas como los humanos³⁷.

A continuación, se muestran los componentes típicos de un sistema experto y se describen sus características principales³⁸.

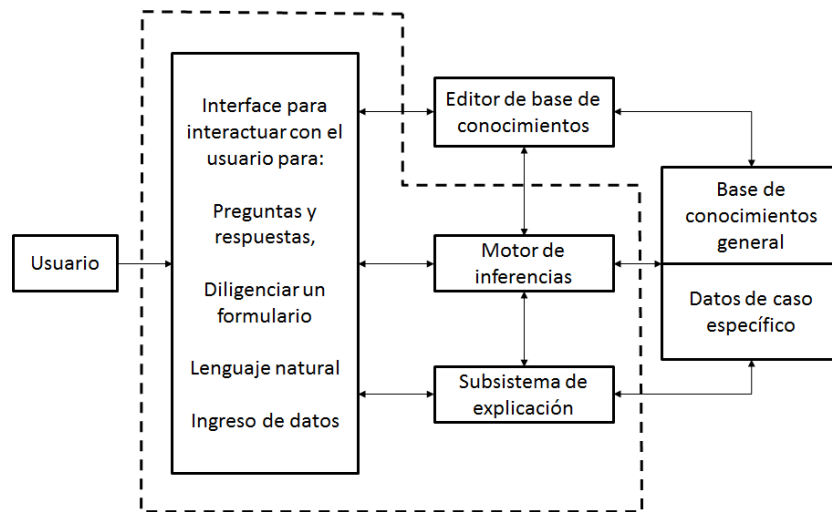
Figura 15. Componentes típicos de un sistema experto

³⁵ GUIARRATANO, Joseph y RILEY, Gary (2001). Sistemas Expertos. Principios y programación. México: Thomson Editores.

³⁶ GARCIA, Op cit

³⁷ GUIARRATANO, Op cit

³⁸ PAJARES, Op cit.



Fuente: Luger, 2009.

- **La base de conocimiento.** Contiene el conocimiento del dominio para resolver el problema. que puede representarse en forma de reglas, de redes semánticas, de árboles de decisión u otros sistemas de representación. Abarcan las leyes, las teorías, los hechos y las heurísticas nacidas de la experiencia de los expertos para resolver problemas³⁹.
- **El motor de inferencia.** Gran parte de la solución de los problemas pueden expresarse con reglas de producción del tipo *si...entonces*. El proceso de seleccionar las reglas más apropiadas y activarlas de manera prioritaria para dar solución al problema corresponde al *motor de inferencia*⁴⁰. El motor de inferencia aplica el conocimiento para la solución del problema. Es esencialmente el intérprete de la base de conocimientos⁴¹.

En un sistema experto el orden de escritura de las reglas no determina la forma en que se ejecuta. El sistema opera como un programa paralelo, en donde las reglas se activan como procesadores de conocimiento independientes y sin un orden determinado⁴².

El motor de inferencia selecciona las reglas que satisfacen los hechos de entrada y organiza las reglas por prioridad para ser ejecutadas (Agenda).

³⁹ LUGER. Op cit

⁴⁰ GUIRRATANO, Op cit

⁴¹ LUGER. Op cit

⁴² GUIARRATANO, Op cit

- *El módulo de explicación.* Todo *sistema* experto tiene los mecanismos para justificar sus conclusiones (el por qué llegó a cierta conclusión). Este módulo analiza la estructura del razonamiento realizado por el sistema y da una explicación al usuario. Esta explicación facilita la revisión del razonamiento y posibilita su corrección o aceptación por parte del experto⁴³. Cuando el sistema no responde como el experto o el ingeniero de conocimientos lo esperan, se utiliza el módulo de explicación para encontrar los conocimientos y las inferencias que causan la discrepancia. Este módulo ayuda al equipo a su corrección en las etapas de desarrollo⁴⁴.
- *Módulo de actualización de conocimientos.* Es una interface que le facilita al experto introducir conocimientos en el sistema⁴⁵. En vista de que el sistema experto basa su potencia en las bases de conocimiento que utiliza, es importante que estas bases sean lo más completas y precisas. Este módulo permite adquirir nuevos conocimientos y modificar los antiguos ⁴⁶.

Éste módulo permite además la búsqueda de posibles inconsistencias o información incompleta de la base de conocimientos para ser ajustada por el experto⁴⁷.

- *Interfaz de usuario.* Para facilitar la interacción entre el usuario y el sistema se diseñan interfaces que permiten el ingreso de los hechos, el reporte de las conclusiones, la explicación de sus razonamientos y la actualización de su base de conocimientos⁴⁸.

Las interfaces se diseñan en torno al problema que quieren resolver. Para facilitar la comunicación entre el usuario y el sistema, en ocasiones se utilizan íconos, mouse, menús, ventanas de diálogos, gráficas y pantallas táctiles⁴⁹.

1.3.2 Razonamiento con conjuntos difusos.

La lógica difusa ofrece mecanismos de inferencia a partir de información en estados de incertidumbre. Un conjunto de reglas de inferencia borrosas conforma el razonamiento aproximado. Las proposiciones borrosas son afirmaciones sobre un objeto que incluyen predicados borrosos, éstas tienen la forma⁵⁰ (Pajares, 2006):

si x es A Y y es B entonces z es C

⁴³ RUSSELL Norvig, S.J. Inteligencia artificial. Un enfoque moderno. Madrid: Pearson Educación., 2004

⁴⁴ NILSSON, Op cit

⁴⁵ GUITARRATANO, Op cit

⁴⁶ RICH, Elaine y Knight, Kevin (. Inteligencia Artificial. México: McGraw-Hill, 1991

⁴⁷ NILSSON, Op cit

⁴⁸ GUIRRATANO, Op cit

⁴⁹ CORREDOR, Op cit

⁵⁰ PAJARES, Op cit

donde A, B, C, son conjuntos difusos.

El mecanismo de inferencia en un sistema difuso utiliza dos tipos de reglas de inferencia⁵¹.

- El Modus Tollens Generalizado: se parte de una hipótesis y a través de un condicional se puede deducir la pertenencia de un objeto a un conjunto borroso similar al conjunto borroso que utiliza la hipótesis. La siguiente forma describe este mecanismo:

$$\begin{array}{l} \text{premisa 1: } y \text{ es } B' \\ \text{premisa 2: } \text{si } x \text{ es } A \text{ entonces } y \text{ es } B \\ \hline \text{conclusión: } x \text{ es } A' \end{array}$$

donde A, A', B, B' son conjuntos borrosos asociados a los valores lingüísticos de las variables x e y

- El Modus Ponens Generalizado: Se parte de la declaración de que un objeto pertenece a un conjunto borroso y a través de un condicional se deduce la pertenencia de otro objeto a otro conjunto borroso similar. Si los antecedentes son iguales, entonces los consecuentes también son iguales en cierto grado. Se utiliza para encadenamiento hacia adelante.

La forma es la siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{premisa 1: } x \text{ es } A' \\ \text{premisa 2: } \text{si } x \text{ es } A \text{ entonces } y \text{ es } B \\ \hline \text{conclusión: } y \text{ es } B' \end{array}$$

La representación del conocimiento en forma de reglas difusas ha permitido tratar problemas con incertidumbre y simular el razonamiento aproximado propio del ser humano.

⁵¹ Ibid

1.3.3 Ingeniería del conocimiento

Al proceso de construir un sistema experto se le llama *Ingeniería del Conocimiento* y consiste en la adquisición del conocimiento de un especialista humano y codificarlo en un sistema informático⁵².

La ingeniería del conocimiento facilita la comprensión de las estructuras mentales y de los procesos de razonamiento usados por los expertos para reproducirlos en sistemas informáticos, como los sistemas expertos. Además, propone diferentes instrumentos para analizar y estructurar el proceso de conocimiento y permiten reflejar la estructura de los procesos de razonamiento en aquellas tareas que exigen experiencia y conocimiento profundo⁵³.

La primera actividad en el desarrollo del sistema experto es la *Adquisición del conocimiento*, que consiste en la aplicación de técnicas y herramientas para capturar el conocimiento que tiene un experto, o un grupo de expertos, en un dominio específico para modelarlo y codificarlo en una base de conocimientos. Es una serie de procesos encadenados por los que se extrae, estructura, organiza y codifica el conocimiento experto, con ayuda de personal cualificado⁵⁴.

Si la adquisición se realiza desde fuentes estáticas (libros, artículos, manuales, guías, entre otros) se le llama extracción de conocimientos, pero si la adquisición se realiza desde fuentes dinámicas, como la que tiene el experto, se le llama educación de conocimientos⁵⁵.

El uso general de las técnicas para la adquisición del conocimiento, sigue varias acciones⁵⁶.

- Realizar la entrevista inicial con el experto.
- Transcribir las entrevistas y analizar los protocolos resultantes y los tipos de conocimiento encontrados.
- Representar estos elementos del conocimiento usando los modelos más apropiados tales como: árboles, tablas, diagramas de redes, etc.

⁵² GUIARRATANO, Op cit

⁵³ SCHREIBER, Op cit

⁵⁴ RODRÍGUEZ, Abraham. et al. Ingeniería del conocimiento. Adquisición del conocimiento. Volumen 2. Facultad de informática. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. España, 2006.

⁵⁵ HENAO CÁLAD, Mónica CommonKADS-RT. Una metodología para el desarrollo de sistemas basados en el conocimiento en tiempo real. España. U. Politécnica de Valencia, 2001

⁵⁶ FIRLEJ, Maureen y HELLENS, Dave Knowledge Elicitation. A practical Handbook. UK. Prentice Hall International, 1991.

- Usar los modelos de conocimiento resultantes para aplicar las técnicas como solución de problemas, repertorio de preguntas, mallas de conocimiento, etc.
- Repetir el análisis, la construcción de los modelos y las sesiones de adquisición hasta que el experto y el ingeniero de conocimiento estén satisfechos con los avances del proyecto.
- Validar el conocimiento con otros expertos y hacer modificaciones si es necesario.

El ingeniero de conocimientos utiliza varias técnicas para la adquisición del conocimiento del experto. A continuación, se describen algunos⁵⁷.

- Cuestionarios: se usa para descubrir variables, para combinar experticias de diferentes expertos, para establecer intervalos de los valores de variables, etc.
- Listas de conceptos: sirven para diseñar un diccionario de términos clave sobre el dominio. Se categorizan para dar un panorama más general del campo donde se aplica el conocimiento.
- Ordenación de conceptos por medio de tarjetas; el experto ordena los conceptos en términos de jerarquía, prioridades, dependencias, similitudes, con el fin de encontrar las temáticas más críticas o las categorías más relevantes del dominio.
- Cuadrícula de variables: donde se relacionan los conceptos con respecto a sus posibles valores como la unidad de medida, la intensidad, la complejidad, etc.
- Traza de procesos: durante la sesión el experto explica la solución al problema mientras el ingeniero de conocimientos la graba para analizarlo posteriormente.
- Retro-enseñanza: el ingeniero de conocimiento describe la parte del conocimiento que se ha adquirido durante sesiones anteriores o de otras fuentes. Luego el experto comenta respecto a lo que está describiendo el ingeniero de conocimiento para aclarar mal entendidos en la información recogida.
- Observación: se toma nota durante la observación sobre como el experto resuelve el problema, por ejemplo, en un día normal de trabajo. Se puede combinar con otras técnicas.

⁵⁷ RODRIGUEZ , Op cit

- Proceso restringido: consisten en limitar el tiempo o limitar la información al experto al realizar determinada tarea, con el fin de observar la forma en que utiliza su repertorio de experticia para resolverla.
- Simulación de problemas: el ingeniero de conocimiento investiga un problema ya resuelto por otro experto y se lo presenta al experto para que éste lo resuelva.

El resultado general de la etapa de adquisición de conocimientos es un diccionario de conocimientos, grabaciones de las sesiones, documentos generados por las sesiones, dibujos, mapas mentales, diagramas, cuadros, notas, transcripción de las sesiones, descripciones de reglas, documentos anexos de apoyo, entre otros⁵⁸.

Después de la adquisición, sigue la etapa de *Representación del Conocimiento*, donde el ingeniero de conocimiento traduce el conocimiento del experto en una representación que refleja los procesos mentales que sigue el experto para tomar las decisiones (modelado de conocimientos). El ingeniero realiza una clasificación, organización e identificación de elementos del conocimiento y hace un modelado conceptual a través de gráficas, para relacionar los conceptos en una estructura que permitirá el diseño de la base de conocimientos.

El modelado del conocimiento incluye varios niveles de abstracción⁵⁹:

- Conocimientos fácticos: descripción de los objetos conceptuales del universo del discurso del dominio de conocimiento. Se utilizan normalmente tablas de variables con la descripción de sus atributos y valores y un diccionario con la definición de conceptos clave.
- Conocimientos tácticos: describe la relación de causalidad entre los conceptos, a partir de los valores de los atributos. El modelado de este conocimiento se realiza a través de reglas.
- Conocimiento estratégico: se refiere a la manera en que se aplican las partes del dominio de conocimientos para resolver la tarea. Con este conocimiento se identifica lo que hay que hacer, las condiciones previas (precondiciones) sobre las cuales debe hacerse y las condiciones resultantes (poscondiciones), que se crean después de aplicar el conocimiento. Se utilizan diagramas jerárquicos de tareas para representar este tipo de conocimientos.

Una de las capacidades que debe tener el ingeniero de conocimiento es la de seleccionar las herramientas adecuadas para representar el conocimiento del experto. Existen planteamientos que clasifican las técnicas de representación según las fases del proyecto, el tipo de conocimiento a adquirir y el producto de

⁵⁸ RODRIGUEZ, Op cit

⁵⁹ GARCIA MARTINEZ, Op cit

conocimiento a obtener. Esta clasificación sirve de guía al ingeniero de conocimiento para seleccionar las herramientas de adquisición y representación⁶⁰.

Para representar conocimiento con alto contenido de incertidumbre, se pueden utilizar Redes neuronales, Algoritmos genéticos, Factores de certeza, Estadística inferencial, Lógica difusa, Redes probabilísticas, Técnicas no-numéricas, Cadenas de Markov, entre otras⁶¹.

A continuación, se mencionan algunas aplicaciones de la metodología CommonKADS y la ingeniería del conocimiento, destacando la variedad de ámbitos donde se utiliza.

- La adquisición del conocimiento de las experiencias del cliente se ha utilizado como una fuente de conocimiento para los expertos, con el fin de resolver los problemas de una comunidad de clientes de forma proactiva y para el desarrollo de los conocimientos de un experto en particular, en lo referente a los procesos y servicios.
- En el campo de visión por computador, se ha utilizado la metodología CommonKADS para el modelado del conocimiento y la reproducción de la tarea experta, para la toma de decisiones aplicado a la inspección de las plántulas en la horticultura y acotar la transparencia y la opacidad en el control de calidad de alimentos en esta industria, proyecto desarrollado por Koenderink en los Países Bajos⁶².
- En el Reino Unido (2008) se desarrolló un sistema experto para el diagnóstico de cáncer de mama, para el cual se utilizó la metodología CommonKADS, siguiendo todos los pasos propuestos por las plantillas y modelando el conocimiento de un grupo multidisciplinario de expertos, con el fin de simular la toma de decisiones por computador⁶³.
- En la Universidad de Edimburgo (1996), se desarrolló un sistema experto para la planeación, programación, asignación y administración de operaciones de rescate en situaciones de la vida real. Fue desarrollado siguiendo la metodología

⁶⁰ RODRÍGUEZ-LORA, Vanessa; HENAO CÁLAD, Mónica; VALENCIA ARIAS, Alejandro. (2016). Taxonomías de técnicas y herramientas para la Ingeniería del Conocimiento: guía para el desarrollo de proyectos de conocimiento. *Ingeniare*. *Ingeniare*. En: Revista Chilena de Ingeniería, vol. 24, no. 2, abril, p. 351-360.

⁶¹ BREUKER, Op cit

⁶² KOENDERINK, N.J.P., *et al.* Bounded transparency for automated inspection in agriculture. *Comput. Electron. Agric.* 2010. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/222651559_Bounded_transparency_for_automated_inspection_in_agriculture

⁶³ SUTTON, D., Patkar, V. CommonKADS analysis and description of a knowledge based system for the assessment of breast cancer. Oxford Brookes University, 2008. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/222538187_CommonKADS_analysis_and_description_of_a_knowledge_based_system_for_the_assessment_of_breast_cancer

CommonKADS. Este sistema ha servido para utilizar el modelo en otros ámbitos donde se requiere de planeación.

- En la Universidad Central de Venezuela se desarrolló un sistema experto que permite identificar 30 especies de insectos acuáticos a partir de características morfológicas. El sistema se desarrolla con base en reglas de producción y patrones de identificación construidos a partir de las experticias de expertos. El sistema también se utiliza para el entrenamiento y educación. Se desarrolló siguiendo la metodología CommonKADS.

Es extensa la cantidad de artículos que se encuentran en la Web, donde se describen los diferentes desarrollos de los sistemas expertos, producto de la aplicación de la metodología CommonKADS y la ingeniería del conocimiento. Los anteriores dan muestra de la amplitud de ámbitos donde pueden ser aplicadas estas metodologías.

1.3.4 Desarrollo de sistemas expertos

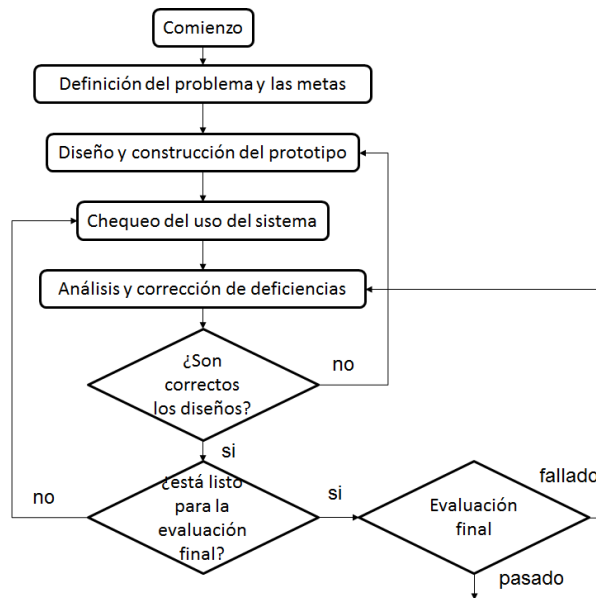
El proceso de construcción de un sistema experto se realiza por ciclos. En cada ciclo se optimiza alguna característica del sistema. El prototipo resultante de cada ciclo se evalúa por el experto y el ingeniero de conocimiento, para asegurarse de que el sistema aplica el mismo tipo de inferencias que el experto realiza al resolver el problema⁶⁴.

Primero se comienza con obtener una visión general del problema y del dominio de conocimiento, luego el diseño del sistema determinando la estrategia de búsqueda y las interfaces del sistema, posteriormente se desarrolla un prototipo funcional para realizar pruebas aplicando casos en pequeñas áreas de conocimiento. Este prototipo avanza por aproximaciones progresivas haciendo correcciones pertinentes hasta el nivel más maduro posible. El uso de la técnica de *tratar y corregir diseños candidatos* es muy utilizado en el desarrollo de sistemas expertos⁶⁵.

⁶⁴ LUGER, Op cit

⁶⁵ Ibid

Figura 16. Ciclo de desarrollo exploratorio



Fuente: Luger, 2009

Las fases de análisis y especificación deben realizarse teniendo en cuenta el sistema completo, pero el diseño y la implementación del prototipo se realizan de una manera rápida y preliminar. Una vez que el prototipo del sistema ha sido evaluado, se realiza su diseño final y se lo somete a un ciclo continuo de modificaciones para que mejore sus características y su calidad. A este proceso se conoce como desarrollo incremental⁶⁶.

Puede ser difícil llegar a un diseño adecuado desde las etapas iniciales del proyecto, requiriendo hacer cambios permanentes durante el proceso del desarrollo si la estructura de representación del conocimiento, la herramienta u otros aspectos de diseño del sistema resultan inadecuados. Para evitar cambios sustanciales durante el desarrollo del sistema, muchos ingenieros de conocimiento combinan las técnicas de *Rápido Prototipaje* y *Desarrollo Incremental*⁶⁷.

Durante esta etapa se escoge la herramienta de programación, la arquitectura del sistema, se determina si se utilizarán reglas y modelos matemáticos complementarios como lógica difusa, redes neuronales, etc, y se diseñan las primeras interfaces para el ingreso de hechos y las salidas de los resultados. Con

⁶⁶ BANDA, Hugo Inteligencia Artificial. Principios y aplicaciones. Quito: Universidad Central del Ecuador. 2011, p.101

⁶⁷ Ibid,

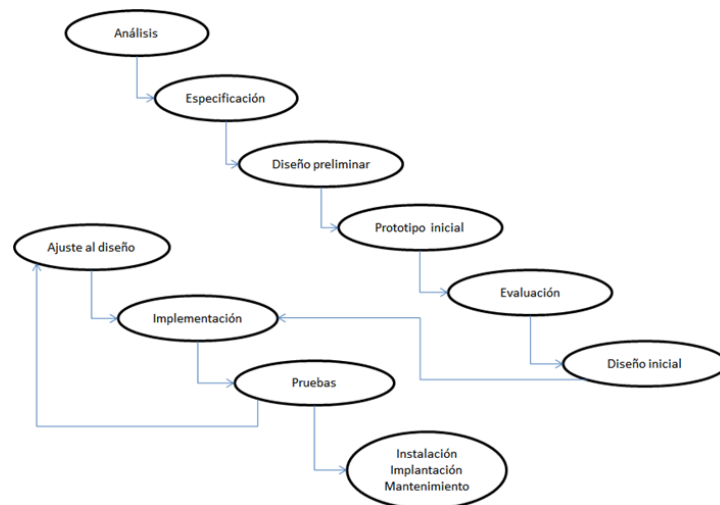
este prototipo se puede confirmar, rectificar o desechar las decisiones tomadas en las etapas anteriores⁶⁸.

En el desarrollo incremental se selecciona un fragmento de conocimiento manejable pero completo para incorporarlo en el sistema; de forma progresiva se recopila nuevo fragmento de conocimiento de los expertos para integrarlo, revisarlo por los expertos y corregir los posibles problemas encontrados. De esta manera puede ser utilizado, aunque de forma parcial, mientras que un sistema convencional debe ser terminado completamente antes de ser puesto al servicio del usuario⁶⁹.

En la fase de pruebas se realiza el proceso de verificación y de validación del sistema para detectar si se han cumplido las especificaciones del sistema, si existen errores semánticos y sintácticos introducidos durante la implementación del sistema y para validar las representaciones del dominio de conocimiento⁷⁰.

Una vez terminado los ciclos se sigue la instalación del sistema en el entorno de trabajo final. Se integra el sistema con los demás existentes y se incluye la documentación que muestre diagramas para describir el sistema. Es fundamental realizar el entrenamiento a los usuarios que pueden incluir los siguientes aspectos⁷¹.

Figura 17. Representación del ciclo de prototipado de sistema experto



Fuente: Banda, 2011.

Se debe tener en cuenta que un sistema experto nunca se considera terminado. Los conocimientos y las reglas siempre son susceptibles de actualizarse. La

⁶⁸ Ibid

⁶⁹ Ibid

⁷⁰ Ibid

⁷¹ Ibid

modularidad facilita las modificaciones en las reglas y en el conocimiento de forma incremental⁷².

En los siguientes capítulos se detalla la metodología empleada para el desarrollo del proyecto y el uso de los fundamentos teóricos antes expuestos.

2. DISEÑO METODOLÓGICO

Este proyecto tiene la finalidad de realizar una *investigación aplicada experimental* donde unas variables quieren modificar a otras usando tecnología informática para mejorar un proceso. Éstas variables son:

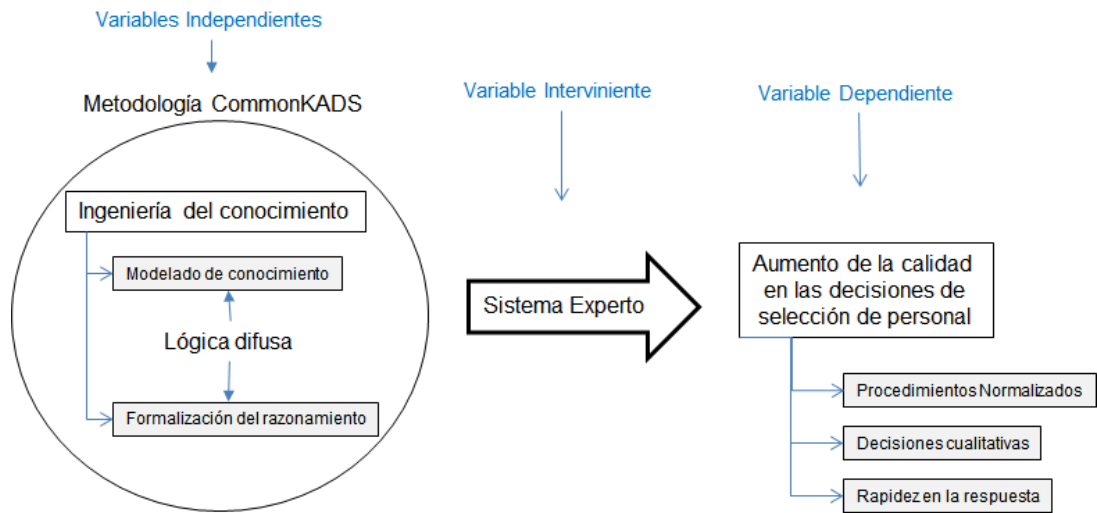
- Variables Independientes: Son específicamente dos: el modelado del conocimiento y del proceso de razonamiento con lógica difusa integradas con la metodología CommonKADS. Éstas tienen el propósito de modificar de forma causal la variable dependiente.
- Variable Dependiente: Es la calidad en la toma de decisiones en selección de personal. Se manifiesta como procedimiento normalizado (constante y estable), como decisión más adaptada al experto y como respuesta más confiable y rápida.
- Variable Interviniente: consiste en un sistema experto que acompaña a las variables independientes y permite la aplicación de éstas sobre el proceso de selección.

Según la forma en que se relacionan éstas variables, la estructura de investigación del presente proyecto es de *tipo causal complejo multivariado* por la razón de que se introducen dos variables independientes sobre un variable dependiente que se quiere modificar, con la inclusión de una variable interviniente que apoya las primeras. Los resultados se describen señalando las características y propiedades nuevas adquiridas por la variable dependiente, por lo que la investigación, según el nivel de conocimiento que se adquiere, es *descriptiva* y según la naturaleza del estudio es *cuantitativa*⁷³.

Figura 18. Relación entre las variables en el proyecto de investigación

⁷² LUGER., Op cit

⁷³ HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto y FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos; *et al.* Metodología de la Investigación. México. Mc Graw Hill. 6ª. Edición, 2014



Fuente: Diseño propio, 2016

Con la integración entre la metodología CommonKADS y las representaciones de conocimiento y del proceso de razonamiento utilizando lógica difusa para el desarrollo de un sistema experto, se busca modificar la calidad de las decisiones en la selección de personal, tanto en los aspectos de la constancia en los procesos de razonamiento, como en la expresión lingüística de las decisiones y en la rapidez de respuesta.

Para integrar la metodología CommonKADS con la lógica difusa en un sistema experto, que apoye el proceso de selección de personal, se propone el desarrollo de tres objetivos encaminados a modelar la organización donde se aplica el sistema, representar el conocimiento y el razonamiento del experto y modelar el sistema tecnológico. Con estos propósitos se quiere dar precisión a la toma de decisiones en la ejecución de esta tarea.

En la siguiente tabla se relacionan los objetivos específicos para el desarrollo del sistema con los resultados encontrados y las metodologías, técnicas y herramientas empleadas.

Tabla 2. Relación entre los objetivos, los resultados y las metodologías empleadas

Objetivos	Resultados	Metodología y herramientas empleadas
Objetivo específico 1: Identificar y utilizar los componentes de la metodología	* Modelo de la organización * Modelo de tareas * Diagrama de flujo de datos	* Aplicación de la metodología CommonKADS * 16 hojas de trabajo para el modelado de la

<p>CommonKADS para analizar y estructurar el desarrollo del sistema experto dentro la organización</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Diagrama de estado * Modelo de agentes * Elección del experto * Modelo del dominio de conocimientos * Modelo de la tarea de razonamiento * Diagrama jerárquico de tareas * Modelo de comunicaciones * Diagrama de colaboración y de secuencias * Modelo de diseño 	<p>organización, de conocimientos y del sistema en sus diferentes aspectos.</p> <ul style="list-style-type: none"> * UML para los diagramas de estado, de colaboración y de secuencias * Matriz de experticias según el modelo Cambridge
<p>Objetivo específico 2: Integrar la lógica difusa con la base de conocimientos y la tarea de razonamiento para operacionalizar y precisar la toma de decisiones en el proceso de selección.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Glosario de términos del dominio * Representaciones de conocimiento del dominio * Diseño de la base de conocimientos con lógica difusa * Modelo de la tarea de razonamiento de evaluación con lógica difusa 	<ul style="list-style-type: none"> * Técnicas para la adquisición y representación de conocimientos * Una hoja de trabajo para caracterizar la tarea de razonamiento de evaluación * Algoritmo PI (trapezoidal) para el cálculo con lógica difusa
<p>Objetivo específico 3: Diseñar un sistema experto para automatizar el proceso de selección de personal.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Requisitos del sistema * Arquitectura del sistema (MVC) * Modelo de casos de uso * Prototipo del sistema escalable * Código del sistema * Pruebas del sistema * Instalación y puesta en marcha 	<ul style="list-style-type: none"> * Pasos para la descripción de la arquitectura del sistema con base en CommonKADS * Descripción de requisitos del sistema * UML para el modelado de casos de uso * Ciclo de desarrollo de software de sistemas expertos * Prototipado * Pruebas de campo

Fuente: Elaboración propia, 2016.

2.1 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA COMMONKADS

Para desarrollar el primer objetivo específico se identifican las temáticas de las hojas de trabajo que propone la metodología CommonKADS para aplicarlas en el modelado de los diferentes aspectos que tienen que ver con el sistema experto.

2.1.1 Análisis del contexto de la organización

El sistema experto se implementa para el mejoramiento del proceso de selección de personal en una firma caza-talentos. Para asegurar la pertinencia del sistema se modelan los procesos de la organización para identificar los problemas, las oportunidades de mejora, los procesos donde impacta y la viabilidad para el negocio.

Este modelado se complementa con diagramas UML para representar los contenidos, las estructuras y la dinámica del sistema. Se utiliza el Diagrama de Estados para representar el flujo de datos dentro del proceso y la relación entre los elementos de entrada y salida, con respecto a la tarea principal de razonamiento. Esto permite conocer los componentes de conocimiento que utiliza el experto en la toma de decisiones.

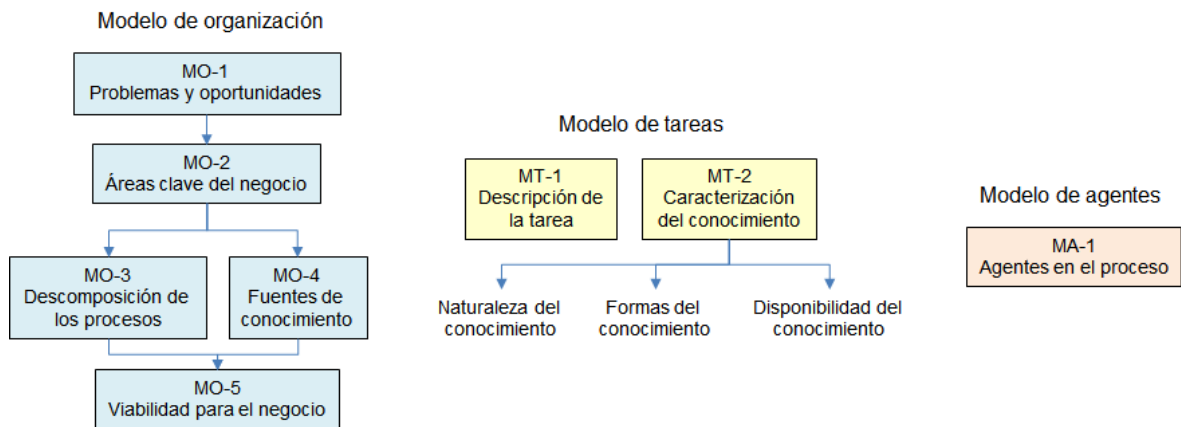
UML es un lenguaje de modelado visual que se usa para documentar el desarrollo de un sistema informático y para entender, visualizar y controlar la información sobre los sistemas. Se combina con las demás etapas de desarrollo de software⁷⁴.

Para elegir el experto a quien se le hace la captura de conocimiento, se utiliza la plantilla para el Modelado de Agentes, que facilita la identificación de los participantes en el desarrollo del proceso de selección. Se describe sus características, disponibilidades y niveles de experticia. Esta guía brinda los parámetros para elegir el experto con quien se realiza la ingeniería del conocimiento, para la adquisición y representación del conocimiento.

La siguiente figura muestra la relación de las hojas de trabajo CommonKADS, que se utilizan en el modelado del contexto de la organización.

Figura 19. Descripción general de las hojas de trabajo para analizar el contexto de la organización

⁷⁴ RUMBAUGH, J., JACOBSON, I.y BOOCH, G. (2000). El lenguaje unificado de modelado. Manual de referencia. Madrid. Pearson Educación.



Fuente: Diseño propio con base en Schreiber, 2000.

2.1.2 Descripción conceptual del conocimiento

Para la segunda categoría de análisis, se utilizan las plantillas de CommonKADS para el Modelado de Conocimientos. Estas ayudan a documentar los conocimientos del experto y describir las tareas de razonamiento utilizados durante el proceso de selección. La descripción del conocimiento se hace independiente de la implementación del conocimiento involucrado en la tarea.

Para identificar la tarea de razonamiento se utiliza una hoja de trabajo, que analiza las operaciones de cada una de las etapas del proceso y caracteriza el tipo de razonamiento que se emplea.

También se utiliza el diagrama jerárquico de tareas⁷⁵ para representar la relación existente entre las condiciones de entrada y la salida, con respecto a la tarea principal de la toma de decisiones.

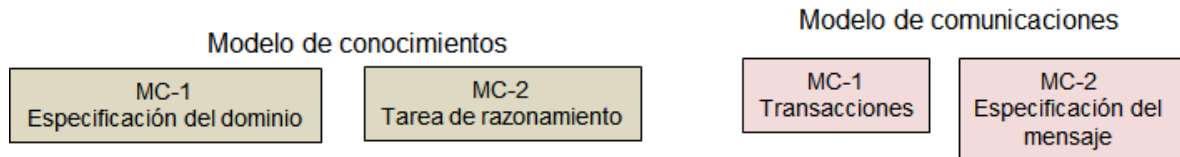
Para el modelado de comunicaciones se utilizan dos hojas de trabajo que orientan en la identificación de los agentes emisor y receptor y los contenidos de las comunicaciones al interior de la tarea de razonamiento.

Utilizando UML como complemento, se diseña un diagrama de colaboración y un diagrama de secuencias para representar las interacciones entre los mensajes y conocer el comportamiento dinámico del sistema.

⁷⁵ Técnica de representación gráfica que utiliza el Método de Análisis Jerárquico de Tareas (HTA, Hierarchical Task Analysis), que divide una tarea en tareas más simples, enfocándose en acciones observables y físicas hasta llegar a un cierto grado de granularidad. Preece, Jennifer. Rogers, Yvonne. Sharp, Helen. Interaction design: beyond human- computer interaction. United States. John Wiley & Sons, Inc. 2002 p. 231.

La siguiente figura muestra los temas para caracterizar los conocimientos.

Figura 20. Temas de las hojas de trabajo para el modelado de conocimientos



Fuente: Diseño propio con base en Schreiber, 2000.

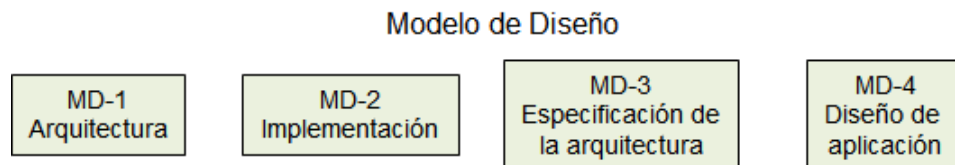
2.1.3 Modelado de diseño

En esta tercera categoría de modelado se diseñan las especificaciones del sistema de software que demuestre la funcionalidad de los modelos anteriores. Para alcanzar este objetivo se construye un Modelo de Diseño donde se especifican la arquitectura, la plataforma de implementación, los módulos de software y los mecanismos computacionales del sistema basado en conocimiento.

Esto se lleva a cabo con cuatro pasos que describen los subsistemas, los módulos de software y los mecanismos necesarios para implementar el modelo de conocimiento⁷⁶.

Para este diseño se utilizan las hojas de trabajo DM-1 A DM-4 que se constituyen como listas de chequeo que se deben seguir para asegurar la calidad del sistema.

Figura 21. Componentes para el modelado de diseño del sistema experto



Fuente: Elaboración propia con base en Schreiber, 2000.

2.2 INTEGRACIÓN DE COMMONKADS Y LÓGICA DIFUSA

⁷⁶ SCHREIBER, Op cit

El segundo objetivo del proyecto consiste en integrar los resultados de los análisis anteriores con la lógica difusa, modelando los conocimientos y el razonamiento, para dar precisión a los procesos mentales que sigue el experto en la toma de decisiones en selección de personal.

Para cumplir con este propósito, se establecen las fuentes de conocimiento estático y dinámico y se caracterizan las estrategias de razonamiento. En este paso se aplican las técnicas de adquisición y representación de conocimientos para el diseño de la base de conocimientos y se modela la tarea de razonamiento con lógica difusa.

2.2.1 Adquisición de conocimientos

La adquisición de conocimiento es una serie de procesos encadenados por los que se extrae, estructura, organiza y codifica el conocimiento experto con ayuda del ingeniero de conocimiento⁷⁷.

Se inicia con una descripción conceptual del conocimiento y se respalda con descripciones referenciadas en textos y citas de otros autores, que servirán para que el ingeniero de conocimiento se asegure de una representación sustentada⁷⁸. Para seleccionar las herramientas de adquisición y representación, se tiene en cuenta las fases del proyecto, el tipo de conocimiento a adquirir y el producto de conocimiento a obtener⁷⁹.

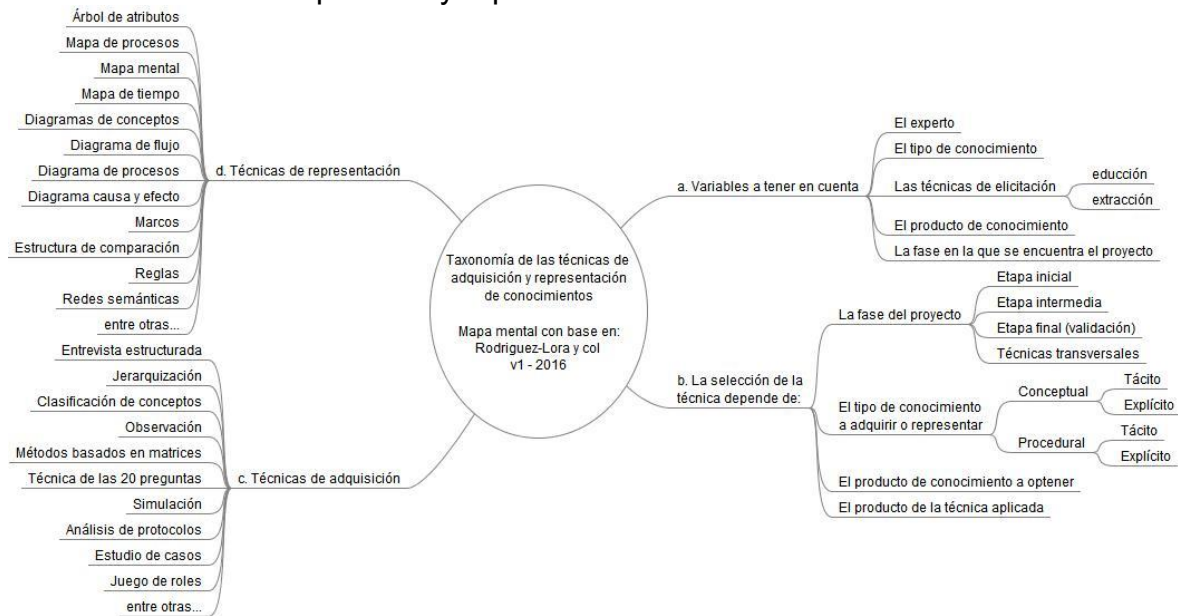
A continuación, se resumen estos criterios en un mapa mental con base en la clasificación de Rodríguez-Lora y colaboradores.

⁷⁷ BREUKER, Op cit

⁷⁸ FIRLEJ, Op cit

⁷⁹ MILTON, Nicholas Ross. Knowledge Acquisition in Practice: a step by step guide. Springer. Inglaterra, 2007

Figura 22. Aspectos a tener en cuenta para seleccionar las técnicas de adquisición y representación del conocimiento



Fuente: Tomado de Rodríguez-Lora y col, 2016.

La adquisición de conocimientos genera la descripción de las estructuras del conocimiento, que se usa en la ejecución de la tarea y su delimitación permite el desarrollo de la base de conocimientos.

Para iniciar la adquisición se hacen entrevistas libres, semiestructuradas y estructuradas, simulaciones, estudios de casos, observación directa y juegos de roles. Con estas técnicas se identifica el conocimiento procedimental y el conceptual.

Se acompaña de varias acciones encaminadas a la adquisición de conocimientos:

- Entrevistas con el experto donde se construyen esquemas rápidos, mapas mentales y figuras representativas de la tarea. Estas entrevistas se dirigen con preguntas prediseñadas para orientar la temática de conversación.
- En la etapa exploratoria se revisan libros y manuales recomendados por el experto, para tener un primer panorama del dominio de conocimientos en el que se desempeña. Se construyen árboles de conocimiento con mapas mentales para hacer taxonomías de estos conocimientos.
- Se elaboran tablas y matrices donde se relacionan los conceptos con respecto a sus posibles valores. Se actualizan posteriormente en la medida que avanza la adquisición.

- Iteración de la construcción de los modelos y las sesiones de adquisición hasta lograr consenso entre el experto y el ingeniero de conocimiento. Se valida el conocimiento con otros expertos invitándolos a las sesiones y se hace retroalimentación y refinamiento de las representaciones.
- Definición de listas de conceptos para diseñar un diccionario de términos clave sobre el dominio.
- Se realiza la técnica de la retro-enseñanza donde el ingeniero de conocimiento describe parte del conocimiento, para que el experto comente respecto a lo que está describiendo y aclarar mal entendidos en la información recogida.
- Se toma nota durante la observación sobre cómo el experto resuelve el problema, tomando casos típicos y ejemplos de la vida real. También se simulan situaciones atípicas para conocer el comportamiento del experto.

2.2.2 Representación de conocimientos

Para la representación de conocimientos, se utilizan las técnicas de modelado de conocimientos por niveles de abstracción: fáctico, táctico y estratégico⁸⁰.

Con el modelado de conocimiento fáctico se construye las triplas concepto-atributo-valor y su correspondiente diccionario de conceptos, como requisitos previos para la construcción de la base de conocimientos⁸¹.

El modelado de conocimiento en nivel táctico genera una base de conocimientos estructurada en forma de reglas distribuidas en tablas.

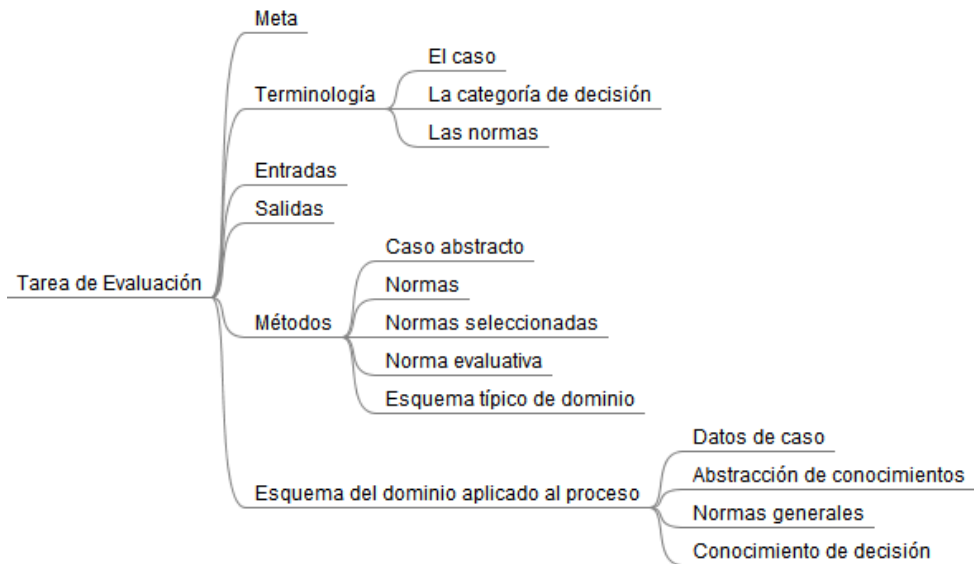
El modelado de conocimiento en el nivel estratégico sigue la plantilla analítica de evaluación propuesta por Schreiber, para establecer la ruta que sigue el conocimiento y la información dentro de la tarea de razonamiento. Esta plantilla orienta en la identificación de los datos de entrada y salida de los métodos internos.

A continuación, se representa los principales componentes de esta plantilla.

Figura 23. Elementos de la plantilla para el modelado de la tarea de evaluación

⁸⁰ GARCIA MARTINEZ, Op cit

⁸¹ ESCOLANO, Francisco, et al. Inteligencia Artificial. Modelos, técnicas y áreas de aplicación. Madrid: Thomson Editores, 2003.



Fuente: Elaboración propia con base en Schreiber, 2000.

2.2.3 Modelado del razonamiento con lógica difusa

Un primer conjunto de variables que salen de la base de conocimientos, para ingresar al motor de inferencias, tienen expresiones naturales que se refieren a rangos, niveles y aproximaciones (muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo). Por esta razón, se utiliza la lógica difusa para construir bases de conocimiento difusos y modelar el método de correspondencia (match).

La lógica difusa o lógica borrosa es un tipo de lógica basada en la teoría de conjuntos que trata de copiar el método de razonamiento que utilizan los humanos en la vida diaria. Es una lógica multivaluada donde las proposiciones no son únicamente de tipo Falso o Verdadero⁸².

Expresiones como “Muy alto”, “La mayoría”, “Lentamente”, “Cercano”, “Relevante”, “Mucho mayor que”, se explican mejor cuando se aplica la lógica difusa. Estos términos son vagos y no son fáciles de transferir a lenguajes de las computadoras utilizando la lógica convencional⁸³.

⁸² MALLO, Op cit

⁸³ GEBHARDT, Jörg y VON ALTROCK, Constantin *Recent Successful fuzzy logic applications industrial automation*. Fifth IEEE International conference on fuzzy systems. USA., 1996.

Siguiendo los lineamientos de Sajja y colaboradores, sobre la creación de bases de conocimiento con reglas difusas, se almacenan reglas con la siguiente estructura⁸⁴:

Si x es A y ...y x_n is S_n
Entonces Y es C

Dónde:

x_n = los datos del candidato,

A_n = son las etiquetas lingüísticas para discretizar o fusificar el dominio continuo de las variables.

Y y C = categoría de competencia

Otro conjunto de variables que salen de la base de conocimientos se expresa en forma cuantitativa, en decatipos⁸⁵ (escalas de 1 a 10), por lo que se realizan tres etapas de conversión de datos, para disponer las variables al mecanismo de inferencia y facilitar su tratamiento. Estas etapas son típicas cuando se quiere hacer operaciones con datos difusos⁸⁶.

Las etapas son:

- La etapa de fusificación: traduce los valores directos que salen de la base de conocimientos a valores difusos, por medio de una escala que relaciona los valores lingüísticos expresados por el experto y el rango numérico en decatipo.
- La *etapa de operaciones difusas*: utiliza las magnitudes fusificadas en la etapa anterior para determinar los grados de pertenencia que tienen entre sí. Puesto que el experto compara un valor (x) con respecto a un intervalo ideal *intervarlo* = $[b,c]$, se utiliza la función trapezoidal como estrategia para calcular el índice de acercamiento. Esto permite mayor precisión en las conclusiones.
- La *etapa de des-fusificación*: traduce los resultados difusos nuevamente a valores del mundo real. Todos los resultados de la etapa de operaciones difusas, se llevan a valores porcentuales para entregar un solo valor por cada candidato. Los resultados más altos indican un nivel de ajuste mayor al perfil del cargo.

2.3 DISEÑO DEL SISTEMA EXPERTO

⁸⁴ SAJJA, Priti Srinivas; AKERKAR, Rajendra. Advanced. Knowledge Based Systems: Models, Applications & Research. Vol. 1, India. TMRF e-Book Series, 2010. Recuperado de: <http://www.tmrfindia.org/eseries/ebook.html>) pp. 138-140.

⁸⁵ Puntuaciones derivadas de una distribución de curva normal que, en lugar de tener la forma de campana de Gauss, es aplanada y se divide en 10 partes, la media más y menos 5 desviaciones. Gregory, Robert J. (2001). Evaluación psicológica: Historia, principios y aplicaciones. Manual moderno. México.

⁸⁶ PONCE, Op cit

El diseño de sistemas basados en conocimiento no se diferencia mucho del diseño de sistemas de información complejos. Para este modelo se siguen los cuatro pasos de la metodología CommonKADS:

Paso 1: se modela la arquitectura del sistema y sus componentes. Se toma como base la *arquitectura de referencia* que propone CommonKADS para diseñar el Modelo-Vista-Controlador (MVC). En el *Modelo* se especifican las funciones de razonamiento con sus respectivos datos. En las *Vistas* se describen las interfaces que permiten a los usuarios suministrar información, hacer pedidos y generar reportes. Con el *Controlador* se especifica la forma de navegación de la información dentro de la aplicación.

Para el subsistema de razonamiento se utiliza el paradigma de modelado orientado a objetos⁸⁷, ya que es la que prevalece en la ingeniería de software actual y facilita la integración con otros sistemas informáticos.

Paso 2: se describe la plataforma de implementación. En este paso se especifica el hardware y software que se usa para la implementación del sistema. Para esta descripción se utiliza la guía que suministra la hoja de trabajo DM-2.

Paso 3: se diseña en detalle los subsistemas de la arquitectura, tal como las interfaces y los módulos del sistema. Se sigue la lista de chequeo de la plantilla DM-3 para describir los componentes del sistema (los métodos y sus inferencias, las características de la base de conocimiento y las vistas).

Con el modelo de interfaces se describe la forma en que la información se les presenta a los actores, antes y después de la ejecución de las tareas. Se diseñan los esquemas de las páginas de interacción para cada módulo, reflejando la consistencia entre la imagen que tiene el usuario y el comportamiento y la lógica real del sistema experto.

Paso 4: en este paso se añaden detalles del diseño para completar la operacionalización del modelo de análisis. Se sigue la lista de chequeo de la plantilla DM-4 que orienta en la especificación de la arquitectura.

Los pasos anteriores se complementan con una descripción de los casos de uso, donde se representa las interacciones de los usuarios internos y externos con el sistema.

Para hacer las primeras pruebas de la funcionalidad del sistema, se diseña un prototipo funcional y escalable que realiza las operaciones básicas que se ajustan

⁸⁷ La programación orientada a objetos es una forma de programar que usa los conceptos de objetos y clases de objetos en su codificación, para diseñar programas informáticos.

según los requerimientos de los usuarios. Este prototipo se desarrolla iterativamente hasta refinarlo para construir un sistema aceptado por el experto.

3. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de la integración de la metodología CommonKADS con la lógica difusa para el desarrollo del sistema experto.

Para el cumplimiento de los objetivos específicos, se diseñan varios modelos que se clasifican en tres categorías: contexto organizacional donde se aplica el sistema, modelo del conocimiento y del razonamiento con lógica difusa y modelo del sistema informático.

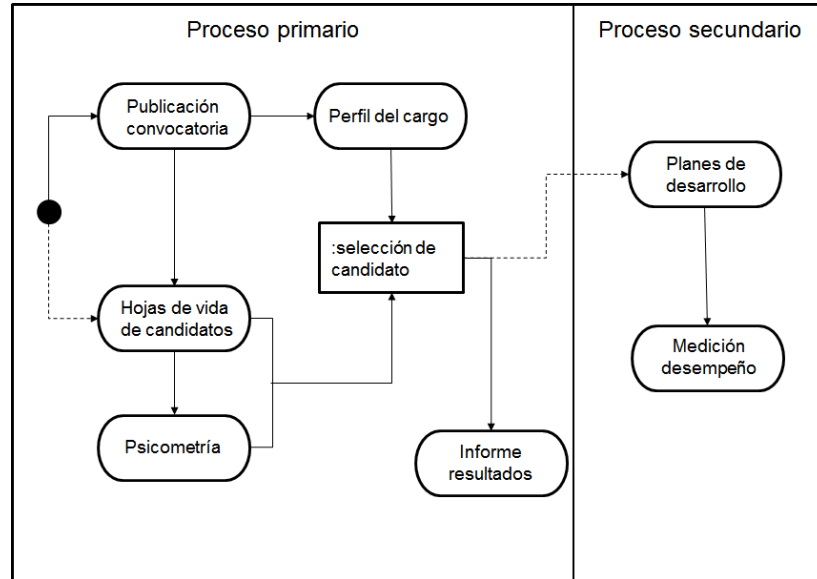
3.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL CONTEXTO DE LA ORGANIZACIÓN

La inclusión de un sistema inteligente para apoyar el proceso de selección de personal favorece la competitividad de la empresa, porque baja los costos en la generación del servicio, minimiza la logística, disminuye el tiempo de respuesta y mejora la calidad del servicio.

La inversión económica que se realiza en un sistema experto trae beneficios no solo monetarios sino de marca; esto constituye en la actualidad un capital intangible de alto valor para la empresa.

Además, un sistema experto formaliza el procesamiento del conocimiento y esto trae como consecuencia mejoras en la confiabilidad del proceso. Por formalización se entiende la formulación de criterios para seleccionar expertos, la especificación de los contenidos de conocimiento y la identificación de las tareas de razonamiento para el desarrollo del proceso. La siguiente figura muestra los procesos sobre los cuales se desarrolla el sistema.

Figura 24. Procesos primarios y secundarios donde se desarrolla el sistema



Fuente: Diseño propio, 2016

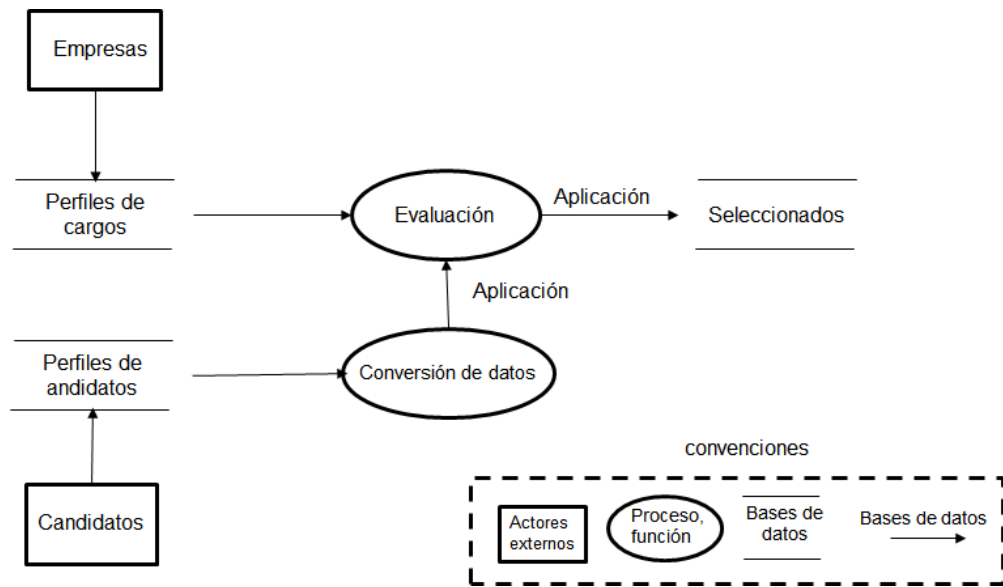
3.2 MODELO DE TAREAS

La meta de la tarea es la de decidir el nivel de ajuste que tiene un candidato a un perfil de cargo. El experto utiliza conocimiento conceptual, específicamente de tipo semántico, ya que interrelaciona de forma categorial varios conceptos que se sustentan en modelos teóricos. Este conocimiento se refuerza con conocimiento experiencial de tipo procedural, ya que también se enfoca en el procedimiento para hacer las etapas de medición, captura y análisis de resultados.

La tarea de selección de personal tiene incertidumbre, el conocimiento es especializado y en ocasiones es incompleto, difícil de verificar y se encuentra principalmente en la mente del experto.

La siguiente figura muestra el flujo de datos entre las principales tareas dentro del dominio.

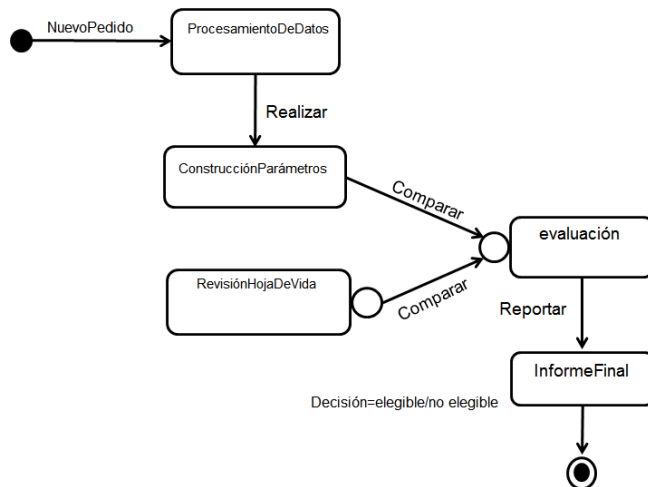
Figura 25. Flujo de datos entre los principales procesos de la tarea, base de datos y la relación con la tarea de evaluación



Fuente: Diseño propio, 2016

La siguiente figura muestra que el pedido activa el proceso, se procesan los datos de entrada para integrarlos con la tarea de evaluación y se decide sobre la pertinencia del candidato al cargo, reportándolo en un informe que retorna a la empresa contratante.

Figura 26. Diagrama de estado que representa los eventos y las respuestas dentro del proceso



Fuente: Diseño propio, 2016

3.3 MODELO DE AGENTES Y ELECCIÓN DEL EXPERTO

Con base en la clasificación de los niveles de experticia planteados por Ericsson y colaboradores en el Manual de Cambridge⁸⁸, se diseña una escala de niveles de experticia que se ajusta al discurso que utilizan las áreas de gestión humana. Se construye una matriz que correlaciona los niveles de formación y la experiencia laboral para orientar en la identificación de los expertos.

Teniendo en cuenta esta escala, se elige el experto que participa en desarrollo del proyecto⁸⁹. Se tiene en cuenta los años de experiencia en el tema y la formación profesional en el ámbito que corresponde al proceso que se quiere sistematizar. Igualmente, se consideran las motivaciones y las competencias comunicativas para tener una interacción con el ingeniero de forma fluida.

Tabla 3. Correlación entre los años de experiencia y el nivel de formación para establecer los niveles de experticia

Nivel Académico	Años de Experiencia										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1 Secundaria	Aprendiz				Técnico						
2 Técnico	Aprendiz			Técnico							Analista
3 Tecnólogo	Aprendiz		Técnico			Analista					
4 Estudiante de pregrado	Aprendiz	Técnico			Analista						
5 Profesional	Analista						Experto				
6 Diplomado	Analista						Experto				
7 Especialización	Analista				Experto						
8 Maestría	Experto		Maestro								
9 Doctorado	Experto	Maestro									

Fuente: Elaboración propia con base en Ericsson, 2010.

La tabla anterior puede ser utilizada para orientar en la identificación de las personas que tienen nivel Experto en una organización, teniendo en cuenta la formación y los años de experiencia en la misma ocupación.

3.4 MODELO DEL DOMINIO DE CONOCIMIENTOS

Por la aplicación de las técnicas de adquisición de conocimientos se descubre que las actividades de selección de personal se dividen en dos grandes etapas: la medición orientada a la captura de datos y la integración de la información para tomar la decisión.

⁸⁸ The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance. Ericsson, K. Anders y otros. Florida. Cambridge University Press. 2006

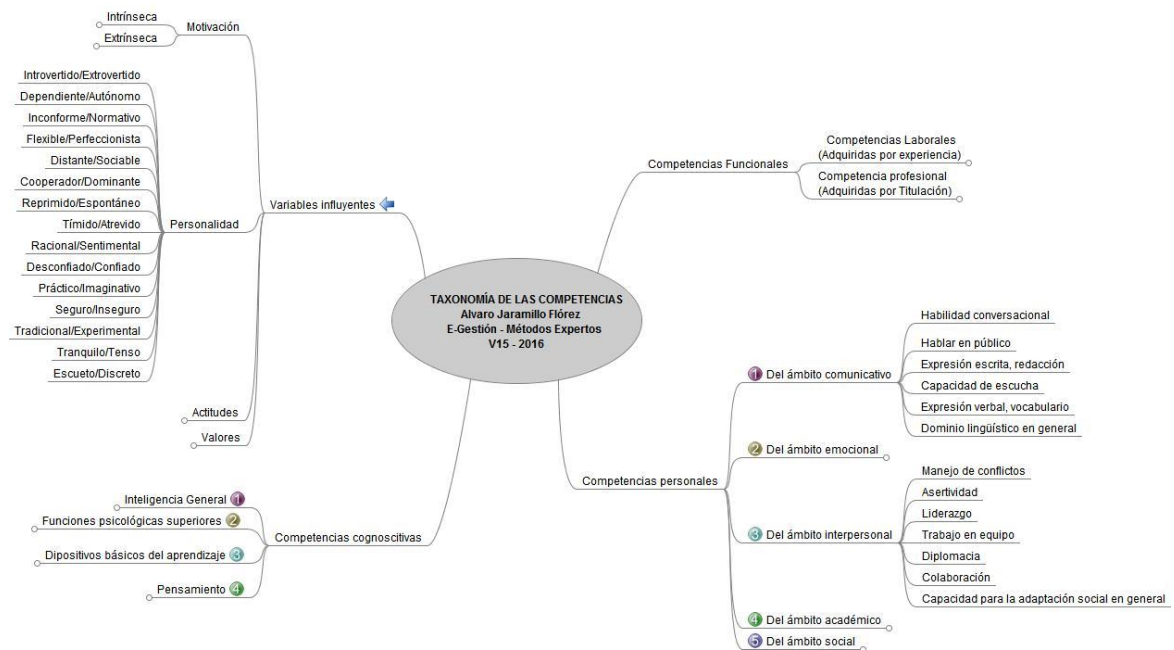
⁸⁹ Dra. Juliana Trujillo Rojas, Psicóloga, gerente de la firma E-Gestión Consultoría Organizacional, docente, consultora y conferencista en temas de gestión humana, con más de 20 años de experiencia en selección.

La primera etapa es una labor operativa, en ocasiones delegable a personas no expertas. La segunda etapa, la integración, exige conocimiento en el dominio y es la que se simula con el sistema experto.

Las actividades de captura de conocimientos generan varios artefactos, entre los cuales se encuentran las actas de las reuniones, las representaciones, los esquemas y otros productos que se describen a continuación:

- a) Un conjunto de mapas mentales para representar las categorías de conocimiento que utiliza el experto durante el desarrollo de la tarea. Se elige el mapa mental, en primera instancia, ya que es la fase inicial de la adquisición del conocimiento, donde se busca conocer el dominio general del conocimiento y representar el conocimiento tácito que utiliza el experto durante la toma de decisiones. A manera de ejemplo, se muestra un mapa mental con la taxonomía de los principales conceptos que utiliza el experto.

Figura 27. Mapa mental que representa la clasificación de competencias que utiliza el experto para analizar los casos

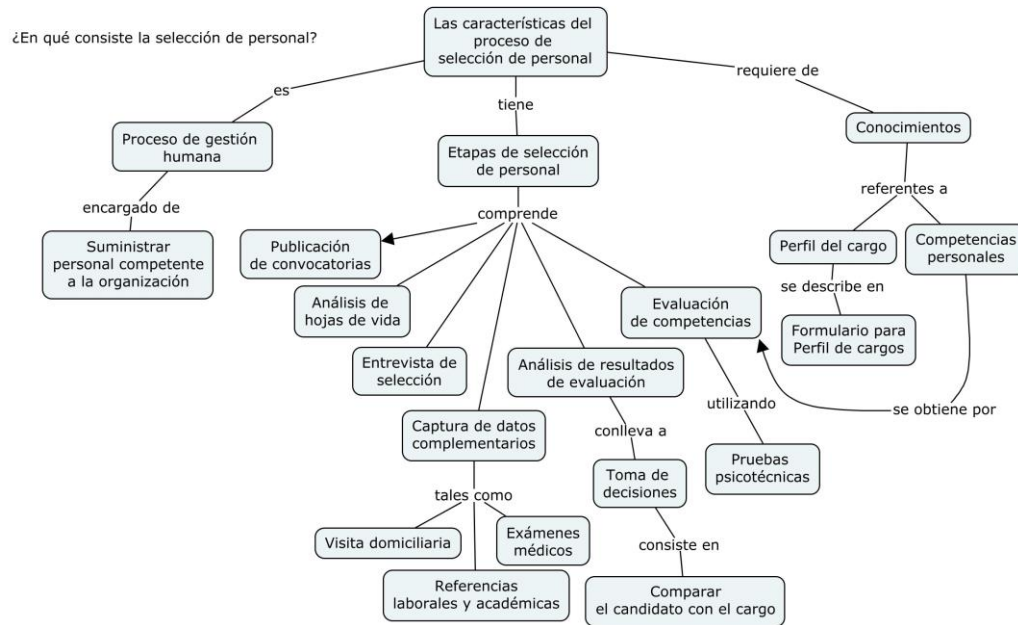


Fuente: Elaboración propia, 2016

- b) Un conjunto de mapas conceptuales para representar los fundamentos teóricos en los que se basan sus decisiones. Se utiliza el mapa conceptual para profundizar en los detalles del dominio, en el cual se hace extracción y

representación de conocimiento conceptual de tipo semántico y declarativo.
Ejemplo:

Figura 28. Mapa conceptual de las características del proceso de selección de personal



Fuente: Elaboración propia, 2016

Por el diseño de varios mapas mentales y conceptuales, el experto actualiza sus propios conocimientos y eso lo beneficia para mejorar su trabajo.

- c) Un diccionario de términos clave del dominio (conocimiento fáctico) que sirve para asegurar que el contenido de la base de conocimientos tenga validez teórica. Éstos términos hacen referencia a las competencias personales que posee un empleado como requerimiento para ocupar un cargo. Se muestra un fragmento del diccionario.

Asertividad: Comportamiento comunicacional maduro en el cual la persona no agrade ni se somete a la voluntad de otras personas, sino que manifiesta sus convicciones y defiende sus derechos.

Colaboración: Comportamiento generoso y de apoyo a los demás.

Creatividad: Generación de nuevas ideas o conceptos que habitualmente producen soluciones originales.

Liderazgo: Es la capacidad para tener ascendencia sobre otros y para recibir de ellos la aceptación de ese rol. Implica la capacidad de conducir a otros para lograr resultados.

Sociable: Se refiere a la facilidad para relacionarse con los demás.

Trabajo en equipo: Trabajo en cooperación con otros para lograr un objetivo común.

- d) Una descripción de los conceptos utilizados como restricciones para la preselección de los candidatos que inician el proceso de selección. (conocimiento fáctico). Esta descripción se presenta en forma de triplas que relacionan conceptos, atributos y valores.

A continuación, se muestra un fragmento de reglas de la base de conocimientos que se utiliza para escoger los candidatos que ingresan al proceso.

Tabla 4. Estructura de la base de conocimientos para las restricciones de elección de candidatos

Concepto	Atributo	Valor
¿Ha tenido personal a cargo?	Si el Candidato ha tenido personal a cargo en sus cargos anteriores, entonces si cumple con la norma. <i>If candidato1=personal_a_cargo(si) => true, else false</i>	Si ha tenido personal a cargo / No ha tenido personal a cargo.
Disponibilidad para viajar	Si el Candidato reporta disponibilidad para viajar, entonces si cumple con la norma <i>If candidato1=disponible(si) => true, else false</i>	Si tiene disponibilidad para viajar/No tiene disponibilidad para viajar
Género	Si el candidato tiene el mismo género requerido por el perfil del cargo, entonces si cumple con la norma <i>If genero_candidato1=genero_perfil => true, else false</i>	El género es el requerido/El género no es el requerido
Rango de edad	Si el Candidato está dentro del rango de edad, entonces su cumple con la norma <i>If edad_candidato1>edad_min_perfil and edad_candidato1 < edad_max_perfil => true, else false</i>	Dentro del rango/Fuera del rango

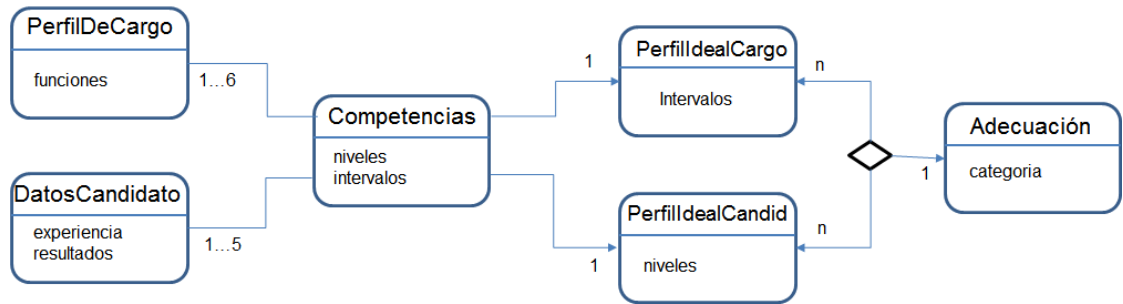
Dominio en idiomas	Si el Candidato reporta dominio del idioma requerido por el cargo, entonces, si cumple con la Norma <i>If idioma_candidato1=idioma_perfil => true, else false</i>	Tiene dominio del idioma solicitado/No tiene dominio del idioma solicitado
Salario ofrecido	Si el candidato reporta un salario por debajo del salario ofrecido por el cargo, entonces cumple con la Norma <i>If salario_candidato1 < sal_max_perfil => true, else false</i>	Está por debajo del salario ofrecido/Está por encima del salario ofrecido
Estado civil	Si el candidato reporte el estado civil requerido por el cargo, entonces si cumple con la Norma <i>If civil_candidato1=civil_perfil => true, else false</i>	Tiene el estado civil esperado / No tiene el estado civil esperado

Fuente: Elaboración propia, 2016

- e) El diseño de la ruta que sigue el conocimiento dentro del razonamiento (conocimiento estratégico) del experto. De forma sintética, los datos de entrada son tipificados en dos conjuntos de patrones de referencia, que se comparan entre sí para analizar los niveles de ajustes de sus variables.

A continuación, se presenta un diagrama que relaciona los principales conjuntos de conocimiento que utiliza el experto en la decisión, para entender la dinámica interna del flujo de conocimiento dentro del proceso.

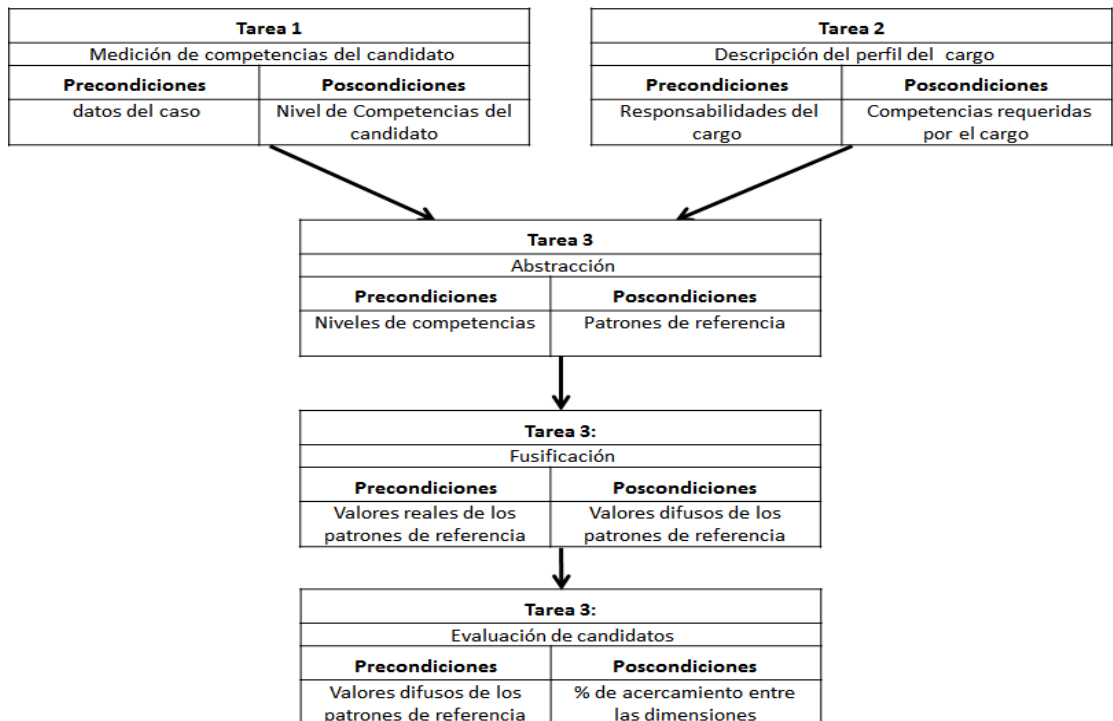
Figura 29. Diagrama parcial de los principales contenidos de conocimiento que utiliza el experto para tomar decisiones



Fuente: Diseño propio, 2016

f) Un diagrama jerárquico de tareas que representa las tareas previas y las consecuentes para hacer tratamiento a los datos. Se muestra a continuación un diagrama jerárquico de tareas para representar la relación existente entre las condiciones de entrada y la salida con respecto a la tarea principal

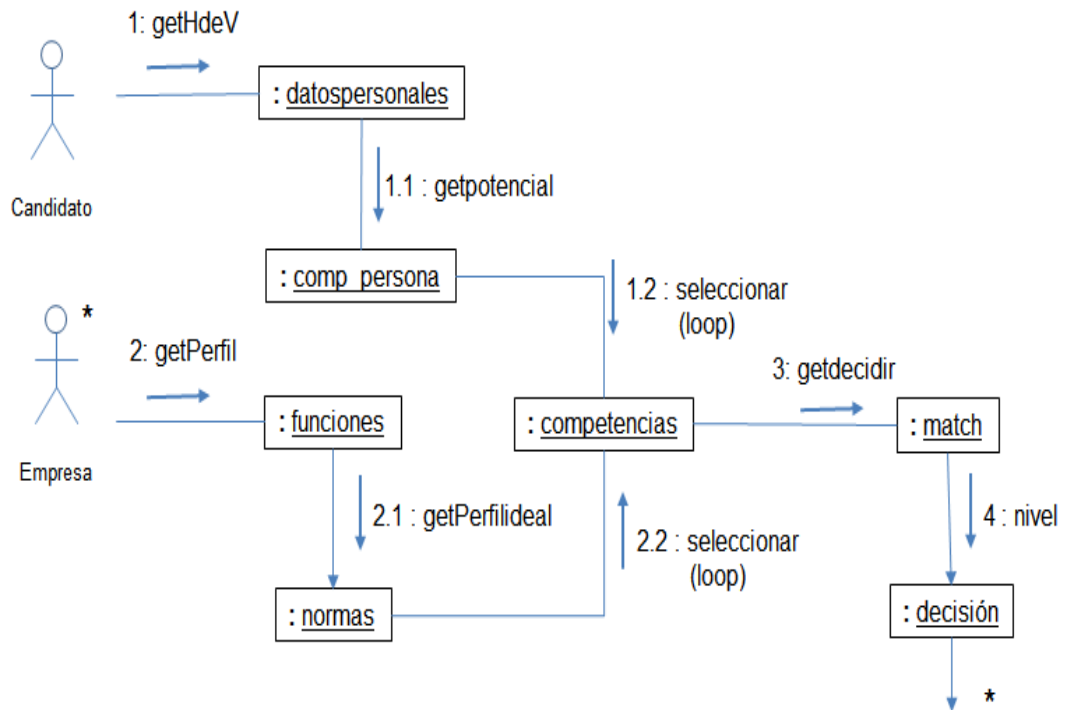
Figura 30. Diagrama que representa el orden de la ejecución de las actividades dentro del razonamiento



Fuente: Elaboración propia, 2016

Con el modelo de comunicaciones se crea una representación de las transacciones comunicativas entre los agentes implicados en el desarrollo del proceso. Como parte del modelado de conocimientos también se elabora un diagrama que representa el intercambio de contenidos entre los actores.

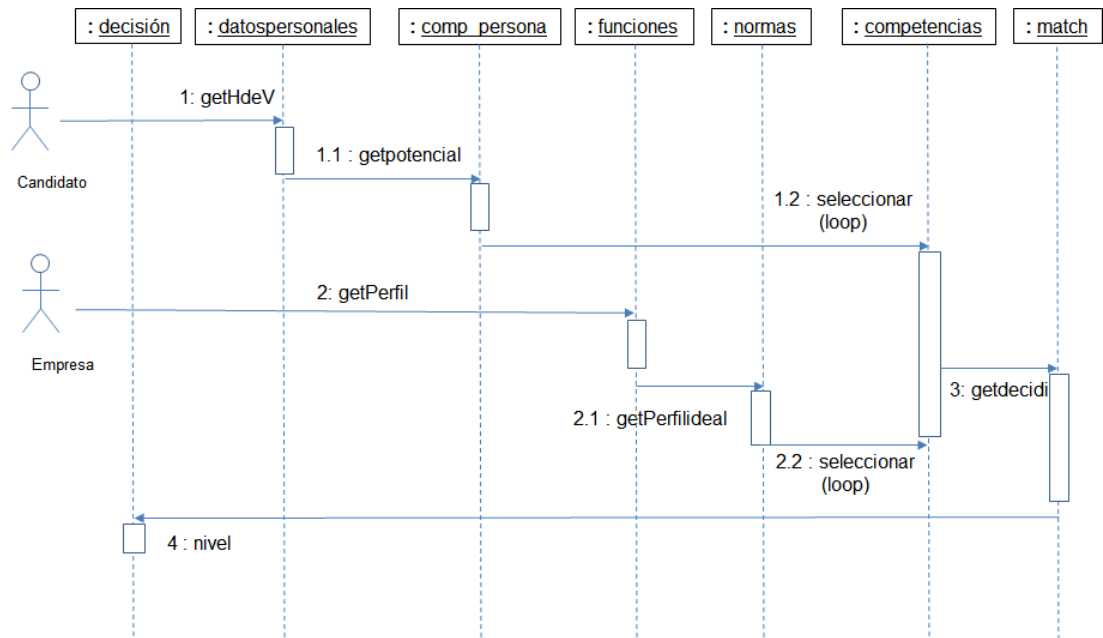
Figura 31. Diagrama de colaboración que indican el flujo de los mensajes entre los objetos de la tarea



Fuente: Elaboración propia, 2016

Para conocer la ordenación temporal de los mensajes que se intercambian, se diseñó un diagrama de secuencias utilizando UML.

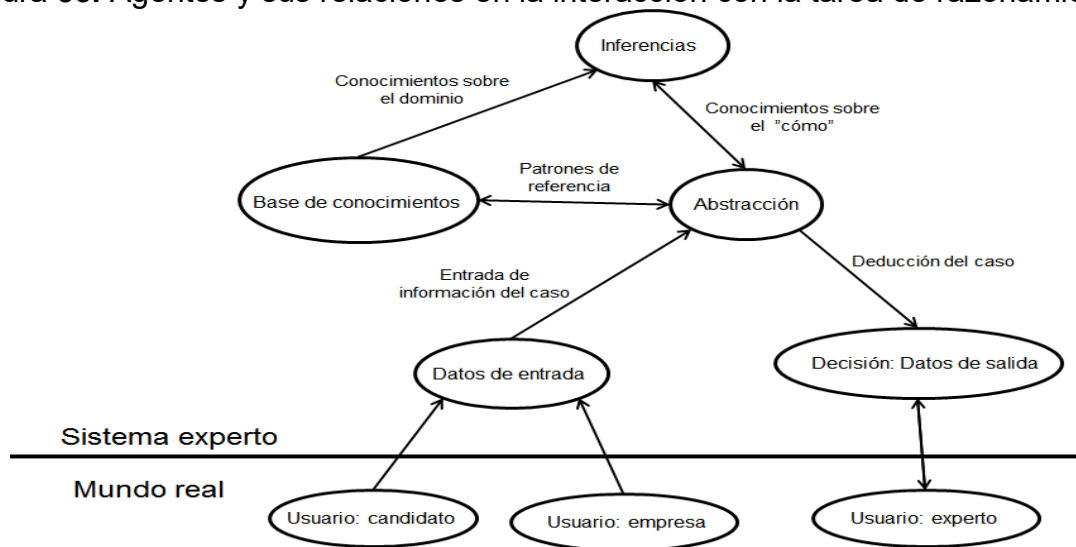
Figura 32. Diagrama de secuencias de la interacción con base en tiempos



Fuente: Elaboración propia, 2016

Los agentes implicados en la comunicación son las personas que activan el proceso y reciben los resultados, el experto que lo ejecuta y el candidato que suministra los datos de caso. La siguiente figura es un modelo que representa esta relación:

Figura 33. Agentes y sus relaciones en la interacción con la tarea de razonamiento



Fuente: Elaboración propia, 2016

A partir de estas representaciones se analiza lo siguiente:

- Durante la toma de decisiones el experto está solo y trabaja de forma remota. El experto toma los datos y hace el proceso de razonamiento sin presencia de los demás actores.
- La tarea de razonamiento se hace de forma asincrónica. El experto toma las decisiones en momentos posteriores (no simultáneos) a la captura de la información.
- El experto interactúa con los actores de varias formas: un experto y uno o varios candidatos, varios expertos y uno o varios candidatos.
- Los contenidos de conocimiento se pueden formalizar por medio de definiciones conceptuales, con valores numéricos representados en porcentaje o en escalas de 1 a 10. Es habitual que el experto utilice expresiones graduales difusas como '*muy alto*', '*medio*', '*bajo*', para asignar escalas a las actitudes⁹⁰.

3.5 MODELO DE LA TAREA DE RAZONAMIENTO

Como resultado del modelado de conocimientos se encuentra que la tarea de razonamiento que realiza el experto para tomar decisiones es la Tarea Analítica de Evaluación, porque: toma los datos del candidato y de la vacante como hechos de entrada, hace una "abstracción" y crea un modelo del caso (caso abstracto), selecciona las normas (norma seleccionada) y compara (match), las características del caso con los valores de las normas para determinar si cumple o no cumple (decisión) con las restricciones.

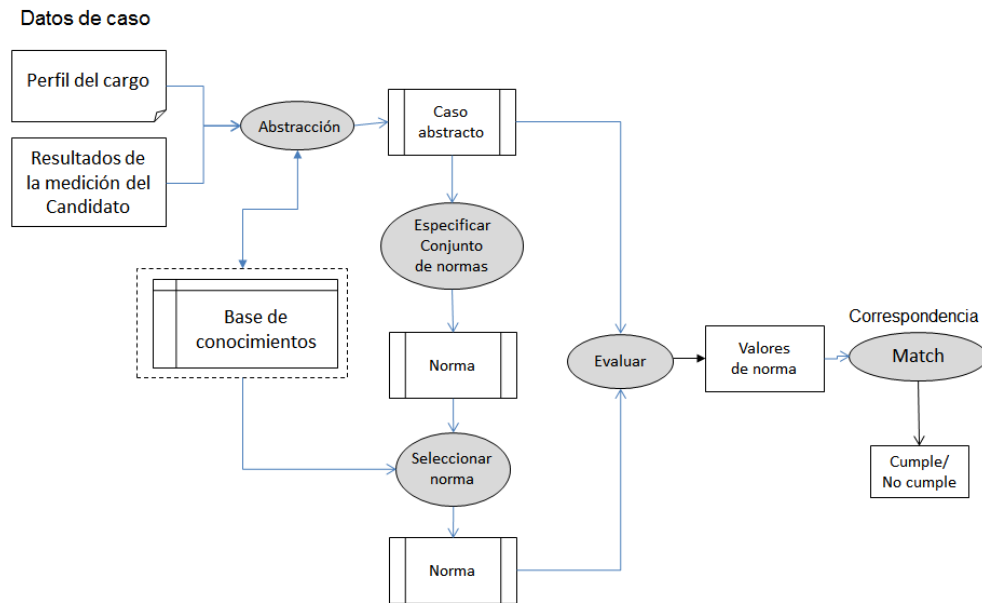
El razonamiento del experto tiene los elementos de una Tarea de Evaluación del siguiente modo:

- Datos del caso: los resultados de la medición de competencias del candidato y la descripción del perfil del cargo
- El caso abstracto: el perfil del candidato y el perfil ideal del cargo
- El conocimiento sobre las normas: las restricciones
- El conocimiento sobre las categorías de decisión: el ajuste al cargo (si/no)

A continuación, se muestra el esquema de la tarea de evaluación con los cinco métodos que la componen.

Figura 34. Componentes de la tarea de evaluación en selección de personal

⁹⁰ GREGORY, Robert J. Evaluación psicológica: Historia, principios y aplicaciones. México. Manual moderno. 2001.



Fuente: Elaboración propia con base en Schreiber, 2000.

Los componentes de la tarea son los siguientes:

- El perfil del cargo se refiere a las funciones a realizar, la experiencia exigida, la formación requerida y el ámbito de trabajo.
- Los datos de caso del candidato son los resultados de la evaluación de competencias.
- El sistema utiliza las reglas de la base de conocimientos para construir dos abstracciones: un perfil ideal del cargo y las competencias del candidato.
- Las abstracciones anteriores permiten determinar un conjunto de normas, de las cuales se seleccionan las que son críticas, según las reglas de la base de conocimientos.
- Se evalúa las normas seleccionadas para determinar si se aplican o no al caso. Se determina un valor de verdad para cada norma.
- Se realizan inferencias para establecer cuántas y cuáles normas cumplen con el valor verdadero. Los valores de las normas y de la abstracción del caso se integran para tomar la decisión del ajuste en términos duales (si/no, ajustado/no ajustado, adecuado/no adecuado, cumple/no cumple).

A continuación, se detalla la hoja de trabajo para el análisis de la tarea de evaluación.

Tabla 5. Caracterización de la Tarea Analítica de Evaluación aplicado al proceso de selección

Meta:	Encontrar una decisión de ajuste o no ajuste para un caso particular de selección de un candidato con base en un conjunto de normas establecidas por la organización y descritas en un perfil de un cargo.	
Terminología	El caso	Un candidato específico y una vacante específica. El candidato tiene una información producto de la evaluación psicotécnica y de la hoja de vida y el cargo vacante tiene un perfil que describe las exigencias.
	La categoría de decisión	Ajustado al cargo % No ajustado al cargo %
	Las normas	Normas del perfil del cargo vacante Competencias Intervalos de las competencias personales Restricciones: Rango de edad Historia de personal a cargo Sector económico de experiencia Dominio de idiomas
Entradas	<p>Los datos acerca del caso:</p> <p>Competencia del candidato</p> <p>Puntuación de las competencias resultados de los test</p> <p>Características generales:</p> <p>Edad</p> <p>Historia de personal a cargo</p> <p>Sector económico de experiencia</p> <p>Conocimientos de idiomas</p>	
Salidas	Una categoría de decisión: Ajustado o no ajustado %	
Método	Caso abstracto: Una persona concursa para ocupar un cargo. El cargo tiene restricciones. El candidato tiene unas características. De la persona se infieren abstracciones que son un modelo de las competencias que posee la persona. Del candidato y de la vacante se infieren abstracciones o Datos de Caso.	

Normas específicas: Cada cargo tiene unas normas particulares. Estas normas las infiere el experto. De acuerdo con las restricciones del cargo, el experto construye unas normas que utilizará para evaluar a los candidatos, basado en sus conocimientos y experiencias. De la base de conocimientos se seleccionan las reglas que se utilizarán.

Competencia requerida:

Área de trabajo:

Jerarquía:

Misión:

Estudios

Experiencia

Nivel

Seleccionar la norma: Del conjunto de normas generadas por la inferencia previa, el experto selecciona una norma para la evaluación. La selección la hace al azar. En ocasiones hace una jerarquía de importancia de normas para hacer la selección.

Norma evaluativa: Evalúa la norma seleccionada con relación a los datos-de-caso del candidato. Esta función produce un estado de verdad (V ó F).

Norma: competencia_negociación – candidato_negociación = Verdadero

Norma: estudio_mercadeo – candidato_administración = Verdadero

Norma: experiencia_ventas – candidato_ventas = Verdadero

Norma: nivel_de_competencia_Analista – candidato_novato = Falso

Norma: personalidad_requerida_sociable – personalidad_candidato_sociable = Verdadero

Esquema típico de dominio:

La especificación de *datos de caso*: Corresponde a los datos de entrada

Estudios:

Experiencia:

	<p><i>Competencia:</i> <i>Años de experiencia:</i> <i>Nivel de competencia:</i> <i>Área en la que ha trabajado:</i> <i>Jerarquía del cargo:</i> <i>Misión de la ocupación en la que ha trabajado:</i> <i>Características de personalidad exigida:</i></p> <p>El caso de abstracción de conocimiento (reglas): Son las inferencias que realiza el experto con los datos de caso, producto de la información de los test y de la hoja de vida. Incluye las competencias y los niveles alcanzados.</p> <p><i>estudios_mercadeo & ocupación_ventas → competencia_negociador</i> <i>ocupacion_ventas → misión_negociador</i> <i>ocupación_ventas → jerarquía_coordinador ó jerarquía_analista</i> <i>ocupación_ventas → misión_negociar</i></p> <p>El conocimiento de evaluación de norma: (dependencias lógicas entre datos de caso y normas)</p> <p><i>competencia_requerida - competencia_candidato</i> <i>estudio_requerido – estudio_candidato</i> <i>experiencia_requerida – experiencia_candidato</i> <i>nivel_de_competencia_requerida – nivel_de_competencia_candidato</i> <i>personalidad_requerida – personalidad_candidato</i></p> <p>Conocimiento de decisión: Es la información de salida, producto de las operaciones de evaluación del experto. Para el caso de selección sería ajustado o no ajustado al cargo.</p> <p><i>No ajustado por sus competencias</i> <i>Ajustado por su personalidad</i></p> <p>Match: comparación de los dos perfiles (candidato vr cargo) La operación para la decisión contiene algoritmo difuso trapezoidal.</p>
--	--

Fuente: Elaboración propia con base en Schreiber, 2000.

3.6 INTEGRACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA

Cuando el experto se refiere a las cualidades del candidato, utiliza expresiones lingüísticas durante todo el proceso decisorio, por lo que es necesario incorporar mecanismos que permitan un tratamiento difuso al procesamiento del conocimiento. Para ello se construyen bases de datos difusos, reglas difusas y operaciones de conversión de datos numéricos a variables lingüísticas. Estas operaciones se muestran a continuación.

3.6.1 Construcción de bases de conocimiento difusos

Para hacer el tratamiento difuso del conocimiento se elabora una tabla con expresiones lingüísticas difusas, que hacen parte de la base de conocimientos. A continuación, se presenta un fragmento de esta tabla.

Tabla 6. Fragmento de la base de conocimientos con los conocimientos difusos del experto para determinar las competencias de las personas (BC a) y del perfil del cargo (BC b)

BC a

Competencias de las personas	A. Sociabilidad	B. Comunicación	C. Servicio	D. Diplomacia	E. Audacia social	F. Normatividad
Liderazgo	Muy alto			Muy alto	Alto	
Negociación	Medio	Alto		Muy alto		Muy alto
Trabajo en equipo	Alto	Alto	Muy alto	Muy alto		Medio-Alto

BC b

Perfil laboral	1. Sociabilidad	2. Comunicación	3. Servicio	4. Diplomacia	5. Audacia social	6. Normatividad
Administrador		Alto		Muy alto	Muy alto	Muy alto
Alta gerencia	Muy alto	Muy alto		Muy alto	Muy alto	Muy alto
Vendedor	Muy alto	Muy alto	Alto		Muy alto	

Fuente: Elaboración propia, 2016

Algunas reglas se definen expresamente por el experto y otras surgen dentro de su discurso de forma argumentativa. Se almacenan de forma aleatoria, pero se

conectan entre sí en el momento de ser tomados por el sistema de control en la tarea de evaluación.

La regla se activa durante la búsqueda en la base de conocimientos, cuyo sistema de control (encadenamiento hacia adelante) tiene la siguiente forma:

Si A es Alto y B es Muy Alto y C es Medio...
Entonces competencia_x (en tabla a)

Si competencia1 y competencia2 y competencia3...
Entonces perfil_laboral (en tabla b)

3.6.2 Fusificación

Las reglas de la base de conocimientos entregan dos conjuntos de datos, unos referentes al caso que se analiza (el candidato) y otras referentes a las normas de comparación (el perfil del cargo). Estos datos deben ingresar de forma igualmente difusa a la etapa de razonamiento, para poder ser tratados en las operaciones de correspondencia (match). Esta es una segunda justificación para integrar la lógica difusa dentro de la tarea de razonamiento.

Para fusificar las normas, se hace la conversión a intervalos difusos por medio de una base de conocimientos, así:

Perfil del cargo	Intervalo difuso
Administrador	7 – 10
Alta gerencia	6 – 9
Vendedor	5 - 10

También se hace una operación de conversión de las expresiones lingüísticas de los candidatos a valores numéricos, así:

Variable lingüística difusa	equivalencia
Muy alto	9 ó 10
Alto	7 ó 8
Medio	5 ó 6
Bajo	3 ó 4
Muy Bajo	1 ó 2

De esta manera se igualan los valores a un mismo tipo de datos para poder ser tratados por el match.

3.6.3 Operación de correspondencia con lógica difusa

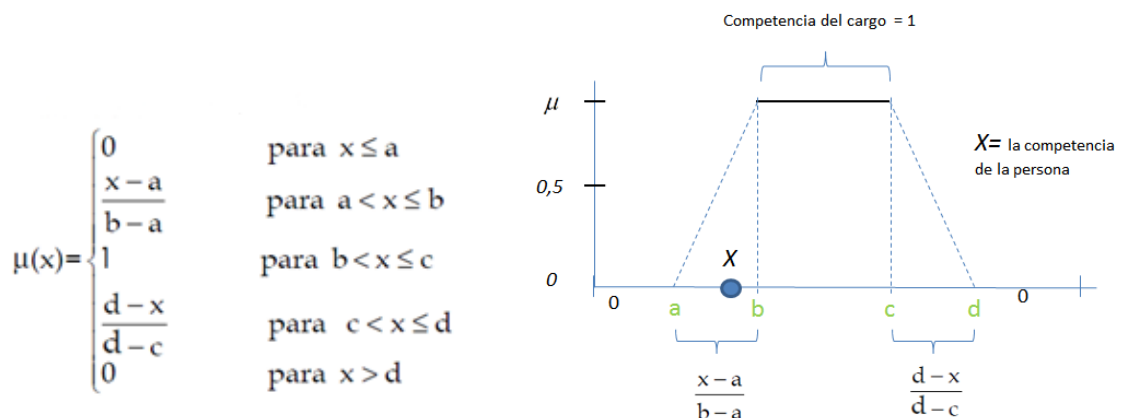
El método match de la tarea de razonamiento realiza la correspondencia entre los dos valores para terminar la toma de decisiones. En vista de que las normas del caso se representan en intervalos (entre 1 y 10) y los valores difusos del candidato se representan en valores únicos (de 1 a 10), es una segunda justificación para utilizar una función difusa para encontrar la correspondencia.

Con la función trapezoidal o función PI se calcula el acercamiento de un valor a un intervalo que se expresa en índice de pertenencia. Si el valor está dentro del intervalo, el índice vale 1 (ajuste completo), si el valor está cerca, el índice se calcula siguiendo las ecuaciones y si el valor está muy alejado (más del 15% del intervalo total, por ejemplo), el índice vale 0. Esta operación ofrece mayor precisión en la decisión para la toma de decisiones en esta tarea.

Se acostumbre tomar hasta el 15 % de tolerancia por incertidumbre de la medida en las ciencias sociales y humanas, pero puede variar si aumenta o disminuye la calidad de la medición⁹¹.

La siguiente figura muestra el algoritmo PI para el cálculo de la proximidad entre un valor y un intervalo.

Figura 35. Función trapezoidal o función PI para calcular el ajuste de las competencias



De donde:

x = es el valor de la competencia del candidato obtenida por medición psicotécnica.

⁹¹ GREGORY, Op cit

b y c = intervalo ideal de la competencia del perfil; el índice equivale a 1
 a y b , c y d = tolerancia inferior y superior del intervalo ideal. El índice está entre 0 y 1
 μ = Índice de acercamiento con respecto al intervalo ideal b y c

Fuente: diseño propio con base en Daramola, 2010 y González, 2011.

Cuando el valor de x está por fuera del trapecio tienen un valor de 0. Cuando están entre los valores de b y c tienen un valor de 1 y cuando están entre a y b o entre c y d , tiene valores difusos que se hallan aplicando las ecuaciones correspondientes para encontrar el índice de pertenencia.

3.6.4 Des-fusificación

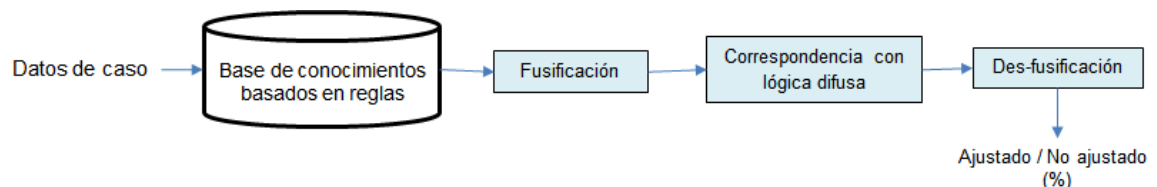
En la última fase se convierte el índice de acercamiento a un valor real, a través del promedio de los índices tratados y multiplicado por 100, para entregar un valor porcentual. Los porcentajes más altos indican mayor ajuste. De esta manera, la decisión de vinculación se establece según rangos porcentuales en lugar de decisiones radicales no difusas (pasa, no pasa). También facilita a la empresa la vinculación de un candidato con posibilidad de desarrollo de potencial.

La escala para tomar decisiones con la desfusificación puede ser:

Completamente Ajustado → Mayor de 80%
 Medianamente ajustado → Entre 60 y 80%
 No ajustado → Menos de 60 %

La siguiente figura representa la secuencia de operaciones difusas y la relación con la base de conocimientos para la toma de decisiones.

Figura 36. Relación de la base de conocimientos con las operaciones difusas



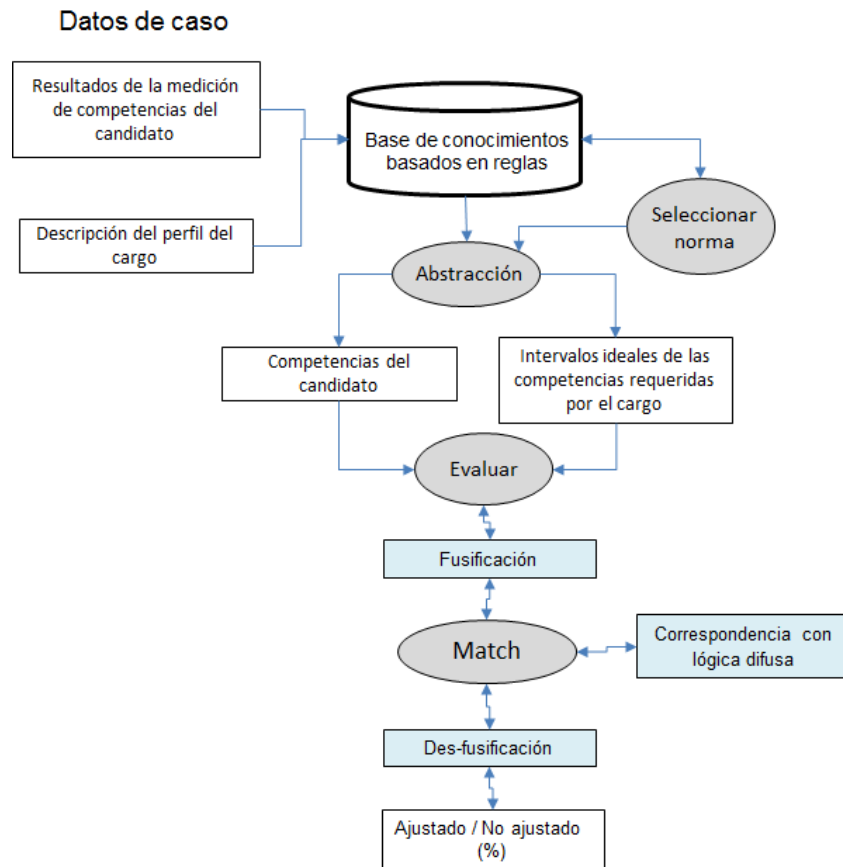
Fuente: Diseño propio, 2015

La figura muestra la secuencia de operaciones del proceso de razonamiento: los datos de caso ingresan a la base de conocimientos, se genera una información que

se transforma para ser tratada de forma difusa, por la operación de correspondencia y luego se transforma nuevamente para entregar un resultado des-fusificado.

La siguiente figura muestra el recorrido de los contenidos de conocimientos con las respectivas etapas de tratamiento de datos difusos.

Figura 37. Flujo de los conocimientos dentro de la tarea de razonamiento

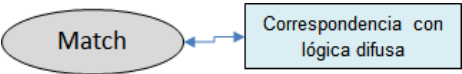
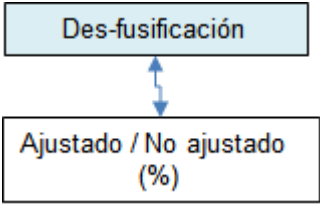


Fuente: Elaboración propia, 2015

La siguiente tabla muestra la secuencia de las operaciones que hace el sistema experto para tomar las decisiones en un caso de comparación entre un candidato con un cargo de administrador.

Tabla 7. Ejemplo de la decisión para un candidato al cargo de administrador

a) Datos de caso (entradas)	
<p>Candidato: resultados de evaluación de competencias Sociabilidad = Medio Diplomacia = Muy alto Audacia social = Alto</p>	<p>Datos de caso</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;">Resultados de la medición de competencias del candidato</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;">Descripción del perfil del cargo</div>
b) Normas (requerimientos). Abstracción, Selección y Evaluación de normas	
<p>Búsqueda para la abstracción: <i>Perfil del cargo: Administrador</i> → Sociabilidad Diplomacia Audacia social</p> <p>Seleccionar las normas que aplican Sociabilidad – Alto Diplomacia – Muy alto Audacia social – Medio</p> <p>Verificar las normas a utilizar en la decisión Sociabilidad – Sociabilidad Diplomacia – Diplomacia Audacia social – Audacia social</p>	<pre> graph TD KB[Base de conocimientos basados en reglas] --> A[Abstracción] SN([Seleccionar norma]) --> A A --> CC[Competencias del candidato] A --> IIC[Intervalos ideales de las competencias requeridas por el cargo] CC --> E([Evaluar]) IIC --> E </pre>
c) Fusificación	
<p>Fusificación de datos del candidato con base en reglas Sociabilidad = Medio → 6 Diplomacia = Muy alto → 9 Audacia social = Alto → 8</p> <p>Fusificación de Normas con base en reglas Sociabilidad – Alto → 7 - 9 Diplomacia – Muy alto → 7- 10 Audacia social – Medio → 4 – 7</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;">Fusificación</div>

e) Operaciones con la función trapezoidal	
<p>Sociabilidad $X_{medio} = 6$ $S_{intervalo} = (5.5 [7, 9] 10.5)$ $\mu(X_s) = (x - a) / (b - a) = (6 - 5.5) / (7 - 5.5)$ $\mu(X_s) = \mathbf{0.33}$</p> <p>Diplomacia $X_{muy_alto} = 9$ $D_{intervalo} = (5.5 [7, 10] 11.5)$ $\mu(X_d) = \mathbf{1}$</p> <p>Audacia social $X_{alto} = 8$ $AS_{intervalo_medio} = (2.5 [4, 7] 8.5)$ $\mu(X_{as}) = (d - x) / (d - c) = (8.5 - 8) / (8.5 - 7)$ $\mu(X_{as}) = \mathbf{0.33}$</p>	
f) Desfusicación	
<p>$\mu(X_{total}) = \mu(X_s) + \mu(X_d) + \mu(X_{as}) = 0.33 + 1 + 0.33$ $\mu(X_{total}) = \mathbf{1.66}$</p> <p><i>Máxima puntuación posible = 3</i> <i>Promedio de ajuste = 1.66 / 3 = 0.55</i> <i>% de ajuste = 0.55 x 100 = 55 %</i></p> <p>Resultado: Medianamente ajustado al cargo (55%)</p>	

Fuente: Elaboración propia, 2016

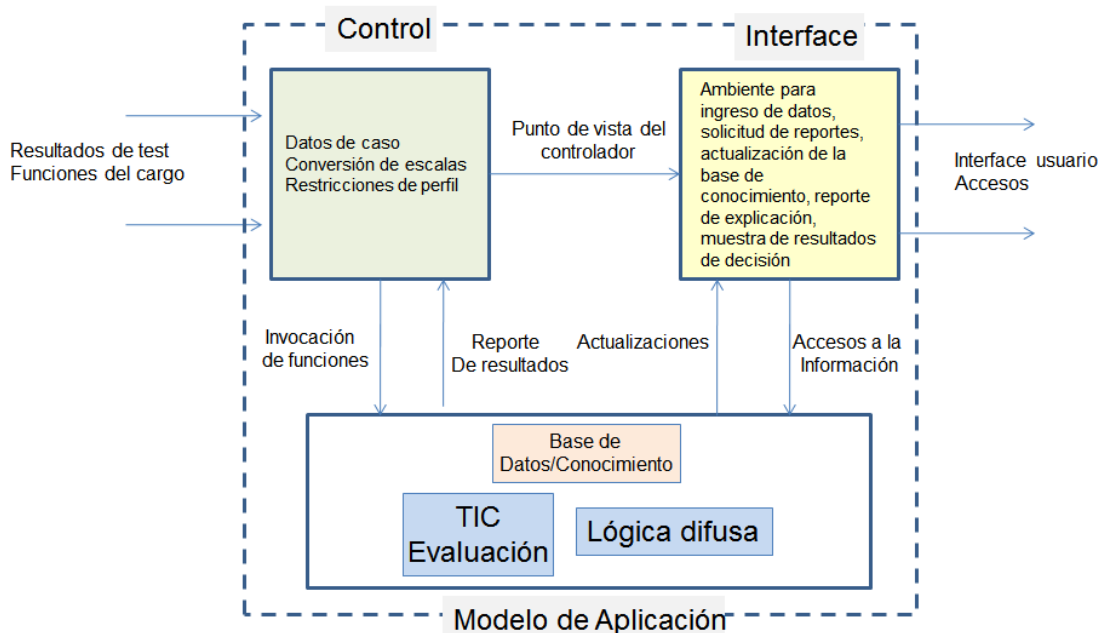
3.7 MODELO DE DISEÑO

Para el diseño del sistema se utiliza la arquitectura predefinida de CommonKADS que separa los conocimientos de la lógica del razonamiento y especifica las interfaces del usuario. Con base en la arquitectura Modelo-Vista-Controlador (MVC) se diseña un modelo integral del sistema.

3.7.1 Arquitectura del sistema

La Vista especifica los ambientes para la interacción con el usuario. *El Controlador* comprende las activaciones del sistema cuando se ingresan los datos. Activan las demás funciones del sistema para decidir sobre el caso. También conduce la información y el conocimiento para hacerlo fluir por el sistema. El *Modelo de Aplicación* comprende las funciones de razonamiento, la base de conocimientos, la base de datos y las operaciones necesarias para la toma de decisiones.

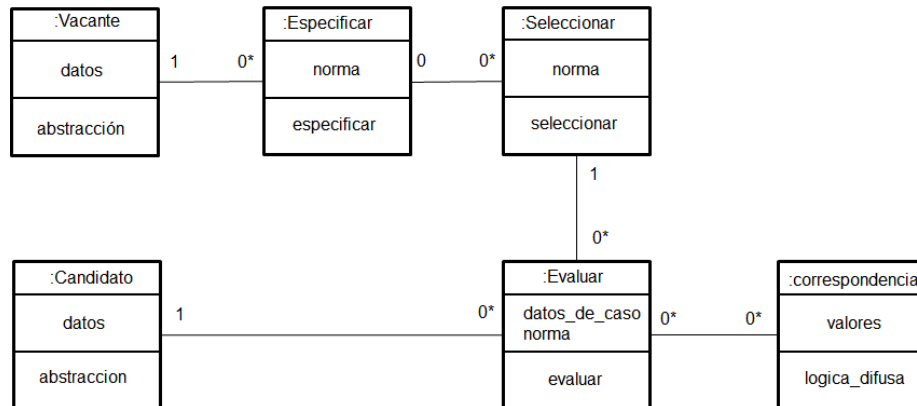
Figura 38. Arquitectura general del sistema con base en el Modelo-Vista-Controlador



Fuente: Elaboración propia con base en Schreiber, 2000.

La siguiente figura describe los objetos que componen los subsistemas por separado. Se tiene en cuenta que esta representación es conservadora de los modelos anteriores realizados durante la etapa de análisis, por lo que es un agregado que detalla mucho más el modelo.

Figura 39. Descomposición por subsistemas siguiendo la orientación por objetos



Fuente: Elaboración propia, 2015

En el anterior modelo se representan los métodos de las tareas y las relaciones encargadas de identificar y seleccionar las normas que ingresan al match, para realizar la toma de decisiones, con las funciones de correspondencia y lógica difusa.

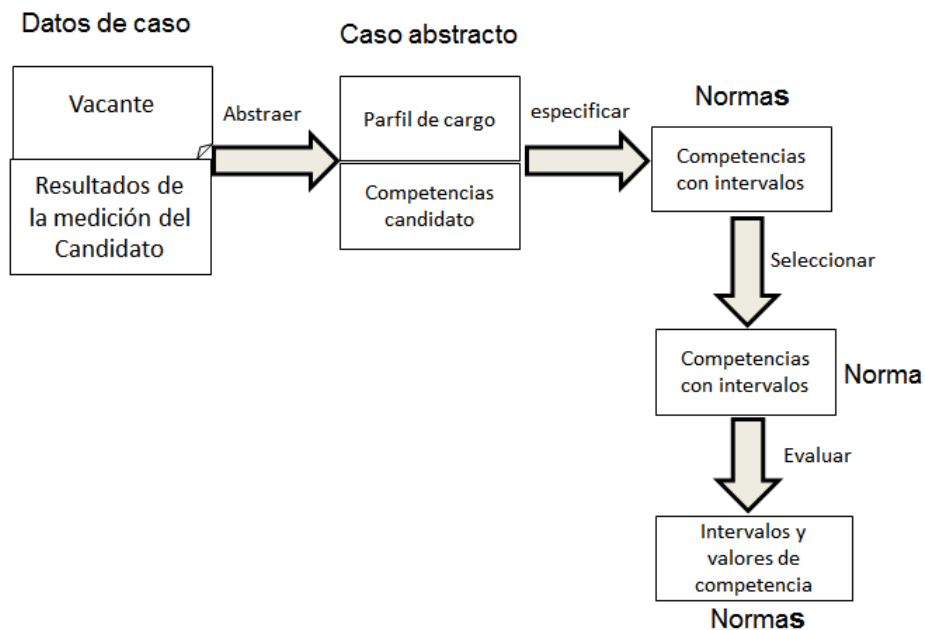
3.7.2 Especificación de la arquitectura

- a) El controlador: el sistema tiene una interfaz de usuario que al ingreso de los datos de caso activan las operaciones internas (de segundo plano) del sistema. Las operaciones internas son responsivas al ingreso de los datos de entrada, el cual no necesita de reloj ni agenda para ser activadas. El control de la tarea introduce roles internos (abstracciones) que continúan fluyendo internamente para cumplir con toda la tarea de decisión.

La respuesta se realiza por demanda, no se requiere de interrupciones en el camino para realizar controles, ni procesamiento concurrente. En general, el sistema responde a eventos externos, cuyo flujo de datos se recorre de principio a fin por todas las etapas sin detenerse. Las tareas se desarrollan de forma inmediata y no requiere de suspensiones o esperas al ingreso de nuevos datos.

- b) Métodos de la tarea: los métodos se ejecutan en secuencia y no requieren de operadores booleanos que indiquen el éxito o fracaso de las operaciones intermedias, ya que no existen incidencias de datos en el transcurso de las ejecuciones que requieran ser controladas o que puedan causar fallas en la operación. A continuación, se muestra la secuencia de los métodos.

Figura 40. Secuencia de ejecución de los métodos de la tarea.



Fuente: Elaboración propia, 2016

Los métodos están estructurados en 5 pasos:

1° Método abstraer: los datos del candidato ingresan al sistema para arrojar abstracciones. Tienen la forma:

descripción_caso -> caso_abstraído
Ej: variable_a=8 y variable_b=9 -> competencia_candidato

Las reglas constituyen el conocimiento estático cuyo método computacional es hacia adelante para entregar una generalización. La elección de las normas de la base de conocimientos sigue la forma: si...entonces (control declarativo), que permitirá obtener el parámetro de comparación que ingresa al match.

Este es un fragmento en pseudocódigo del sistema de control para la consulta a la base de conocimiento, con base en reglas para hacer la abstracción:

```

If <competencia1> is {a}
  and <competencia2> is {b}
  and <competencia3> is {c}
then <perfil1> is {m}
  
```

2° Método especificar: ingresa un objeto y sale un nuevo objeto asociado con el objeto de entrada. Ej:

perfil_a y competencia_requerida → competencia_norma

El dominio de la base de conocimientos determina la elección de la norma, con base en conocimiento heurístico del experto y en teorías. Es posible que la salida comprenda varias normas. El razonamiento de las reglas es hacia adelante.

3° Método seleccionar: ingresa un conjunto de datos y sale un subconjunto de datos, según criterios preestablecidos y en orden aleatorio. Ej:

ingresan perfil_a y perfil_b y ...perfil_n salen elegidos: perfil_b,e,f

El dominio almacenado en la base de conocimientos determina los criterios de selección. Se utilizan reglas ya que es una forma eficiente de selección y pueden depurarse en un futuro con algoritmos estadísticos.

4° Método evaluar: ingresa un conjunto de datos y una norma. Sale un valor de verdad indicando si los datos cumplen o no con la norma. Ej:

formación_a y experiencia_b → competencia_requerida = Verdadero

Estas normas están almacenadas en la base de conocimientos para ser activadas con sistemas de búsqueda. El procesamiento es hacia atrás utilizando la norma como meta. La regla tiene la siguiente forma:

If <perfil₁> is {s}
then <competencia₁> is {a}
and <competencia₂> is {b}
and <competencia₃> is {c}

5° Método corresponder: los resultados anteriores se comparan con el algoritmo PI de lógica difusa, para encontrar su correspondencia por proximidad.

director_de_proyectos (intervalo) Vrs. Competencia (x) = $\mu(x)$

c) La base de conocimientos: contiene el dominio de conocimientos estructurado en forma de reglas.

1. Base de conocimiento para identificar requerimientos del perfil:

Si competencia_a y competencia_b entonces perfil_a

2. Base de conocimiento para identificar las competencias del candidato:

Si variable_a=8 y variable_b=9 entonces competencia_candidato

3. Base de conocimientos para la selección de normas

Si perfil_a y competencia_candidato_n entonces competencia_norma

La base de conocimientos tiene la posibilidad de un editor que permite actualizarla para hacerle mantenimiento.

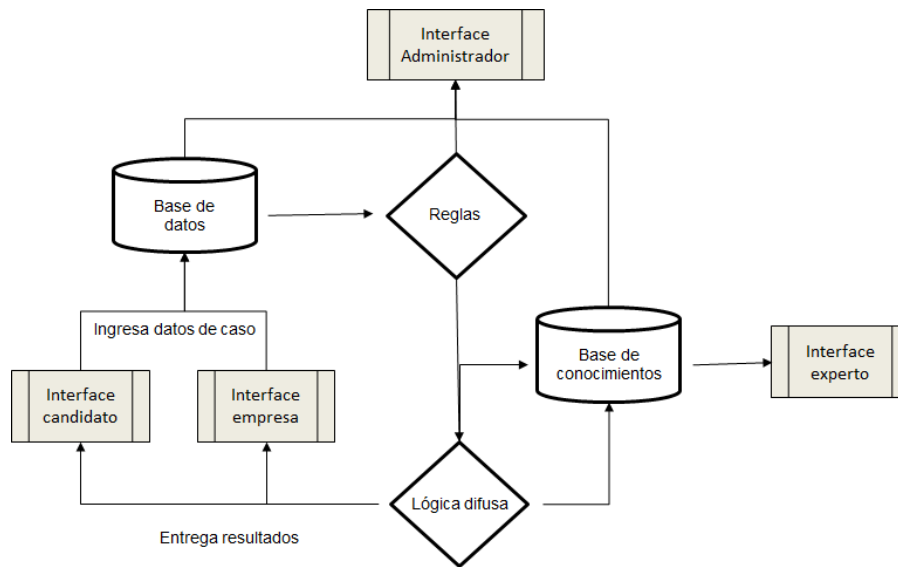
- d) Vistas: el sistema se diseña para la web, por lo que los datos se ingresan a través de browser. Los resultados se muestran en los mismos navegadores. El ingreso de datos se realiza a través de formularios con campos desplegados para facilitar su diligenciamiento.

El acceso a la base de conocimientos para su actualización se realiza directamente por MySQL a través del administrador del cPanel. Una mejora posible es la de crear una interface para facilitar el acceso por parte del experto.

Se cuenta con una interface para la administración de los contenidos de la base de datos y el monitoreo de los usuarios. Son cuatro conjuntos de interfaces: candidato, empresa, experto y administrador. El candidato tiene una interfaz para ingreso de datos de caso y otra para visualizar conclusiones. La empresa tiene una interfaz para ingresar datos de caso del perfil y ver los resultados de decisión.

El administrador tiene una interfaz para administrar usuarios y la información general de los casos y sus decisiones. El experto tiene una interfaz para la explicación de las conclusiones y para la actualización de las bases de conocimientos.

Figura 41. Categorías de las interfaces del sistema experto, modelo vista



Fuente: Diseño propio, 2015

Se muestra a continuación el proceso de razonamiento difuso en forma de pseudocódigo como guía inicial para programar el sistema, utilizando el lenguaje de programación. Se identifican cuatro bloques principales: a) bloque para ingreso de datos de caso y establecer el tipo de salida, b) bloque para llamar los métodos a utilizar, c) bloque para establecer las variables que se operan durante la tarea y d) bloque para ejecutar las subtareas (la abstracción, la especificación, la selección, la evaluación, la correspondencia).

//Inicialización de la tarea de evaluación, establecer el objeto a analizar y la decisión

TAREA evaluación;

ROLES;

ENTRADAS: datos_candidato: datos_perfil;

SALIDAS: decisión: porcentaje de ajuste entre los datos del Input;

FIN DE TAREA evaluación;

// establecer los métodos a operar

METODO-TAREA evaluación_con_abstracción_difusa;

REALIZAR evaluación;

DESCOMPONER;

INFERENCIAS abstraccion, especificar, seleccionar, evaluar, corresponder

// establecer las variables a operar

ROLES

INTERMEDIAR;

caso_abstracto: "los datos de entrada y sus abstracciones";
normas: "el conjunto completo de normas de evaluación";
norma seleccionada: "una sola norma de evaluación";
valor_norma: "valores de variables e intervalos";
resultados_evaluacion: "lista de normas evaluadas";

// ejecutar las subtareas

ESTRUCTURA_CONTROL

MIENTRAS

HAS-SOLUTION **abstracción** (datos_de_caso → caso_abstracto);

HAGA

Datos_de_caso:= caso_abstracto;

FIN MIENTRAS

especificar (caso_abstracto → normas);

REPETIR

seleccionar (normas → norma) ;

evaluar (caso_abstraido + norma → valor_verdad_norma) ;

fusificar norma_seleccionada → intervalo_norma

fusicificar competencia competencia_difusa → competencia_valor

algoritmo trapezoidal grado_de_pertenencia_difuso

desfusificación conversion_porcentual

resultados_evaluacion := valor_porcentual **ADD** nivel de ajuste;

HASTA

OBTENER-SOLUCIÓN corresponder (resultados_evaluacion →
decisión);

FIN REPETIR

FIN MÉTODO-TAREA evaluación_con_abstracción_difusa;

En el pseudocódigo se insertan las etapas de fusificación, la operación del algoritmo trapezoidal y la desfusificación dentro de las subtareas, para hacer más precisa la decisión de correspondencia.

3.8.3 Requisitos del sistema

Se describen los requisitos funcionales (los servicios del sistema a los usuarios candidato y empresa, los servicios al experto y al administrador del sistema) y no funcionales (restricciones de los servicios o funciones) del sistema para iniciar el modelado.

Se diseñó una plantilla con los componentes suficientes para dar claridad al ingeniero de desarrollo, en el propósito de cada servicio que debe suministrar el sistema para cumplir con la tarea.

Por lo extenso de esta documentación (más de 370 requisitos funcionales y no funcionales), a la manera de ejemplo, solo se muestra uno de los requisitos más significativos.

Tabla 8. Ejemplo de la plantilla utilizada para el levantamiento de los requisitos

RF #	144	Fecha	1/3/2010	Prioridad	1	Versión	3
Nombre del requisito:		Correspondencia difusa					
Descripción:		<p>El sistema calculará el grado de pertenencia de una competencia con respecto al intervalo ideal del perfil almacenado en la base de conocimientos, utilizando el siguiente algoritmo:</p> <p>Si $x < a$ entonces $x = 0$ Si $(x \geq a \text{ y } x < b)$ entonces ecuación_1 Si $(x \geq b \text{ y } x \leq c)$ entonces $x = 1$ Si $x > c \text{ y } x \leq d$ entonces ecuación_2 Si $x > d$ entonces $x = 0$</p> <p>Donde: x = valor de la variable competencia el número trapezoidal tiene la forma $[a (b, c) d]$ (b, c) = intervalo perfil entre 1 y 10 (a, b) y (c, d) = rangos de tolerancia parametrizable, entre 0 y 5 ecuación_1 = $(x - a) / (b - a)$ ecuación_2 = $(d - x) / (d - c)$</p>					
Observaciones:		<p>* Si no ingresa ninguna norma al match, el sistema entrega por resultado el siguiente mensaje: "el candidato no cumple los requisitos mínimos"</p> <p>* Los rangos parametrizables pueden tener diferentes valores el uno con respecto al otro</p> <p>* Prerrequisito: los datos deben estar fusificados. (ver RNF=143)</p> <p>* Posrequisitos: los resultados quedan disponibles para ser exportados a formato pdf (ver RF # 215).</p>					

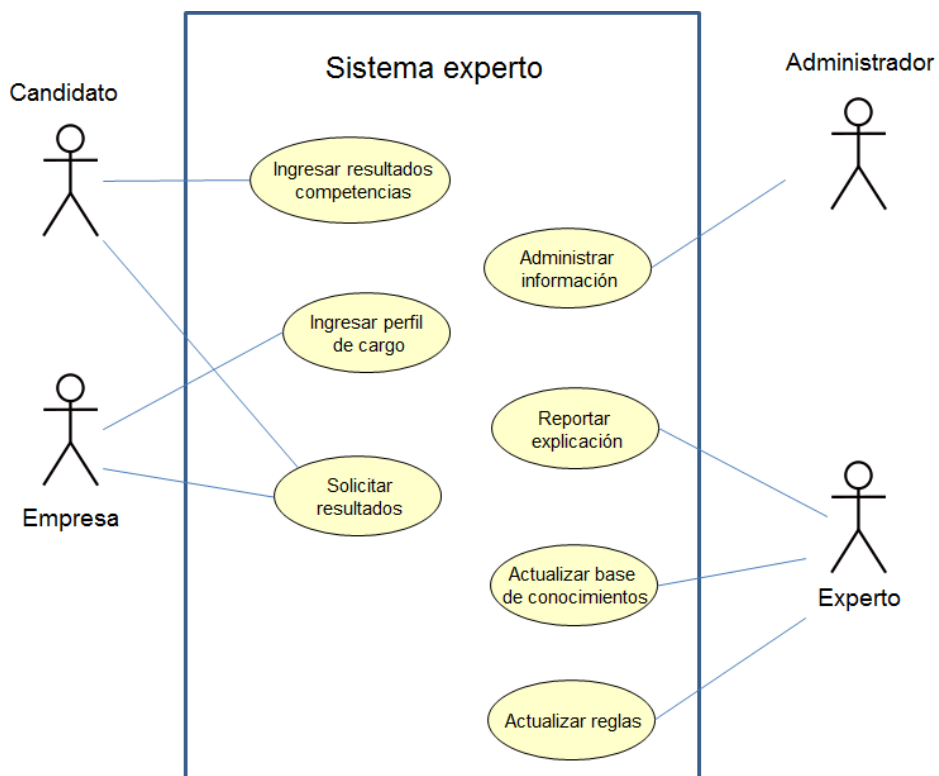
Fuente: Diseño propio, 2015

3.7.4 Casos de uso

Con la notación UML se realizan los diagramas de caso de uso para representar las posibles relaciones entre los actores y el sistema. Con estas representaciones se modelan los principales requisitos descritos en la etapa anterior y para hacer los ajustes pertinentes.

A continuación, se muestra un diagrama de caso de uso parcial.

Figura 42. Diagrama de contexto de caso de uso entre los actores y el sistema



Fuente: Diseño propio, 2015

El caso de uso se documenta en una plantilla para especificar las interacciones. A continuación, se documenta uno de los casos de uso del diagrama de contexto anterior, referente a la solicitud de explicación de la decisión.

Tabla 9. Descripción del caso sobre la interacción con el experto para solicitar explicación al sistema

Caso de uso:	Reportar explicación
Actores:	El experto y el módulo de explicación
Tipo de flujo:	Búsqueda y reporte
Propósito:	Informar al experto los conocimientos utilizados durante la tarea para tomar la decisión
Descripción:	El sistema elaborara una tabla con los conocimientos utilizados durante la ejecución de las subtarear
Flujo principal:	Búsqueda e impresión en pantalla

Fuente: Diseño propio, 2015

El diligenciamiento de estas plantillas facilita la corrección y ajuste de las interfaces necesarias del sistema experto y por esta razón se hace en las fases tempranas del diseño del sistema.

3.7.5. Desarrollo del prototipo

Esta actividad permite reducir los tiempos y los costos de programación. Se desarrolla siguiendo el modelo evolutivo en espiral, sin utilizar muchos recursos ni mucho tiempo en su implementación. El prototipo se utiliza para que el experto valide la funcionalidad y ofrece las bases para verificar la utilidad de la metodología empleada y verificar la funcionalidad del algoritmo de lógica difusa. En este desarrollo se involucra el experto para hacer las pruebas y recibir retroalimentación.

El prototipo para la realización de pruebas contiene los siguientes componentes expuestos en la siguiente tabla:

Tabla 10. Principales componentes del prototipo

Módulo de ingreso:	Este módulo facilita el ingreso de los datos de caso para inicializar la ejecución de las operaciones del sistema
Módulo de los métodos:	Este módulo permite ejecutar los métodos de la tarea de evaluación. Las reglas en este módulo se diseñan completamente para garantizar la funcionalidad del sistema
Módulo de base de conocimiento:	Este módulo se utiliza para almacenar los conocimientos del experto. No se almacena completamente el conocimiento. Se almacena con

	conocimiento de casos típicos que permita conocer el resultado antes de operarlo y verificar su funcionalidad
Módulo de resultados:	Este módulo se diseña para entregar los resultados de la toma de decisiones
Módulo de explicación:	Este módulo se diseña para mostrar al experto los conocimientos utilizados durante la ejecución de la decisión y determinar la validez del mismo.

Fuente: Diseño propio, 2015.

Estos módulos son suficientes para realizar las pruebas iniciales del sistema y conocer las opiniones del experto. El prototipado también facilita realizar pruebas con varios algoritmos de razonamiento, para refinar las decisiones del sistema y tomar las decisiones de mejora anticipadamente, evitando pérdidas de tiempo y dinero durante el desarrollo final. El prototipo que se desarrolla no se desecha y evoluciona de forma iterativa hasta el nivel comercial.

3.7.6 Pruebas del sistema

Con la fase de pruebas se valida la funcionalidad del sistema y el contenido de la base de conocimientos con las aprobaciones o ajustes del experto. Se realizan ejercicios tantas veces como sea necesario hasta que el experto manifieste su satisfacción con los resultados del sistema.

Estas pruebas buscan validar el uso del algoritmo de lógica difusa para la toma de decisiones. Se aplica el prototipo en casos supuestos extremos, en casos promedio, en casos con ausencia de información y en casos con datos completos, para conocer el comportamiento del sistema (método caja negra).

Se crean casos en los cuales se obliga al uso de todas las reglas para ratificar su funcionamiento. En todos los casos, el experto modifica, elimina, reemplaza, completa o acepta las reglas empleadas en las decisiones de los casos ingresados.

También se realiza inspección del código con lectura línea a línea para verificar la sintaxis. Se realiza pruebas de ejecución deteniendo la operación al final de cada método para verificar sus resultados (método caja blanca). Se hace seguimiento al código con comandos "watch all" para reportar en tiempo real los pasos de la ejecución del código y se repara en caso de que exista algún fallo.

3.7.7 Plataforma de desarrollo

En vista de que CommonKADS es compatible con el desarrollo en espiral, se utiliza este método para implementar el sistema y asegurar una alta calidad en los resultados, lo mismo que un alto rendimiento en el proceso.

Se utiliza el lenguaje de programación PHP, ya que facilita el despliegue de aplicaciones en Internet, es open source y se combina fácilmente con bases de datos MYSQL. Sobre la programación imperativa de PHP es posible implementar aspectos de la programación declarativa típica de IA, ya que tiene estructuras de control condicional suficientemente poderosas (if, if-else, if-else-else, while, do while, until) para realizar tratamiento de conocimientos almacenados en bases de datos con base en reglas.

El uso de plantillas de razonamiento con métodos de procesamiento estandarizados propuestos por CommonKADS posibilita el uso de lenguajes no declarativos, ya que el código con base en reglas se limita a la consulta de la base de conocimientos y puede realizarse con las estructuras de control condicional de los lenguajes actuales.

La base de conocimiento se almacena en bases de datos MYSQL, ya que tiene facilidad de integración con otros sistemas y permite el almacenamiento de datos básicos utilizando una misma plataforma.

La hoja de trabajo MD-2 suministra una lista de chequeo para determinar el lenguaje y la plataforma de desarrollo. Con ella se define el entorno tecnológico donde se desplegará la aplicación. El diligenciamiento se muestra a continuación.

Tabla 11. Especificación del software con el cual se implanta el sistema

Paquete de Software	* El sistema funciona en cualquier plataforma de hosting web que cumpla con las siguientes características: Linux, kernel versión 2.6.18-194.17.1.el5. Apache/2.4.18 (Unix). PHP, versión 5.2.17. MySQL, versión 5.1.56.
Hardware potencial	Cualquier tipo de servidor que soporte el ambiente de software
Hardware seleccionado	Intel(R) Core(TM) i5-3470 CPU 3.20GHz Velocidad 1600.000 MHz Cache: 6144 KB Memoria: 4708352 k
Librería de vistas	Se usa las que provee Zend Framework y Dojo Toolkit para el despliegue de interfaces web

Tipado del lenguaje de programación	PHP es un lenguaje débilmente tipado, es decir, que no es estricto en la definición de tipos de datos para las variables.
Representación del conocimiento	PHP es un lenguaje imperativo, pero provee muy buenas facilidades para implementar el modelado del razonamiento mediante funcionalidades matemáticas.
Protocolos de interacción con sistemas externos	Por el momento no es necesario que el sistema sea interoperable con otros sistemas.
Control de flujo	Se usa solicitudes del usuario mediante URL y formularios HTML.
Soporte a CommonKADS	El lenguaje PHP no da soporte a CommonKADS

Fuente: Diseño propio, 2015

El sistema se desarrolla hasta ponerlo al servicio de los clientes. Se accede a través de la página web www.etalento.co y tiene un crecimiento acelerado por el impacto que ha traído a las áreas de gestión humana, automatizando el proceso de selección, aumentando la confiabilidad de las decisiones, disminuyendo los tiempos de respuesta y bajando costos de producción del servicio.

Muchos de los investigadores que actualmente investigan en los temas de la lógica difusa, comentan que el futuro de Internet (en cuanto a controlar la red, generar servicios, gestionarla o recuperar información), está en aplicar las tecnologías difusas en estas áreas

Tamara Benito, 2011

4. CONCLUSIONES

La metodología CommonKADS ofrece una guía muy completa y minuciosa que cubre una amplia variedad de enfoques para el desarrollo de sistemas expertos debido a que contiene un conjunto de listas de chequeo detallado que aseguran la adaptación del sistema a los procesos de la organización, el análisis de la viabilidad de la aplicación, la caracterización del conocimiento del experto, la identificación de la comunicación entre los agentes y la implantación de un sistema informático de calidad.

Las hojas de trabajo para el modelado del conocimiento facilitan la representación formal del conocimiento porque suministran los puntos que se deben analizar para identificar la naturaleza, la forma y la disponibilidad del conocimiento empleado por el experto en la tarea de razonamiento.

La metodología Commonkads ofrece un marco de análisis y modelado de conocimientos independiente del sistema informático, debido a que se pueden crear modelos de tareas de razonamiento como por ejemplo, la evaluación o el diagnóstico, para especificar estructuras reutilizables en diferentes tipos de sistemas basados en conocimiento.

Con el uso de los métodos de la lógica difusa se obtienen resultados que son aplicables tanto al sistema informático como al discurso del experto, en el sentido en que la estructura del algoritmo sirve para modelar un tratamiento de datos en el motor de inferencias y al mismo tiempo representa la expresión verbal del dominio de conocimiento que se utiliza en la solución del problema.

Los sistemas expertos basados en lógica difusa ofrecen ventajas apreciables en el ámbito de la organizacional, porque permiten realizar las operaciones de forma más rápida, son tolerantes a las imprecisiones, se ajustan al lenguaje de los humanos y son más económicos a la hora de realizar su trabajo.

Los sistemas expertos basados en lógica difusa tienen más tolerancia a los errores que un sistema experto tradicional. Esto se evidencia en que la eliminación de una regla no afecta el desempeño de todo el sistema. Lo mismo ocurre cuando hay algunas reglas que no tienen consistencia y se presenta algún error. No se altera la estructura general del sistema.

El Modelado de Comunicaciones facilita la identificación del tipo de conocimiento que utiliza el experto, porque en su diseño se identifica si el experto maneja incertidumbre, si su conocimiento es conceptual o procedimental, concreto o difuso. Esta identificación es necesaria antes de realizar el modelado del sistema en etapas posteriores.

Con la metodología CommonKADS se abarca todo el ciclo de desarrollo de software, pero enfocado a un propósito de utilidad para la organización, puesto que utiliza un conjunto de modelos de forma interrelacionada para capturar los principales rasgos de sistema en un entorno de funcionamiento.

La combinación de los modelos CommonKADS con la construcción de modelos utilizando UML facilitan la adaptación del sistema con el usuario, porque con estas representaciones se visualizan con claridad las interacciones entre los actores y se especifican fácilmente las necesidades de usabilidad para los usuarios.

La integración entre la Programación Orientada a Objetos con los modelados Commonkads facilitan el proceso de desarrollo del sistema experto, debido a que la programación del sistema queda estructurada de forma modular facilitando el reuso de código y disminuye el tiempo de programación.

La inclusión del algoritmo trapezoidal dentro de la subtarea de correspondencia (Match), especifica el procedimiento en la tarea de razonamiento de evaluación y aumenta la precisión de la decisión, debido a que detalla la forma de tratar los datos dentro de este método y arroja resultados de forma comprensible y equivalente con el lenguaje del experto. Este algoritmo es adecuado cuando el conocimiento del sistema es difuso y las respuestas pueden ser dadas en rangos de tolerancia.

Incorporar la etapa de defusificación dentro de la tarea de evaluación para realizar el match, permite obtener decisiones difusas, en cuanto transforma la categoría de decisión binaria en una forma más tolerante de decisión. Esto hace más flexible la decisión y le agrega exactitud, adaptabilidad y generalidad al sistema.

Puesto que las expresiones lingüísticas difusas pueden ser utilizadas para construir reglas difusas que controlen los contenidos de las bases de conocimiento, estas reglas pueden ser integradas en la plantilla de razonamiento de evaluación como una estrategia adecuada para el desarrollo de sistemas expertos que utilizan conocimiento vago e impreciso.

El algoritmo trapezoidal es una solución adecuada para aplicarlo al problema de evaluación de candidatos, porque tiene un comportamiento similar a como lo hace el experto en selección de personal, en cuanto calcula la cercanía entre dos conceptos para entregar un nivel de ajuste entre ambos. El algoritmo es más preciso que la decisión humana, ya que entrega valores cuantificados pero correspondientes a las expresiones difusas utilizadas por el experto.

El algoritmo trapezoidal integrado en la tarea de evaluación toma decisiones con mayor precisión, porque es capaz de utilizar varias medidas de distancia de forma combinada, superando la capacidad del experto para utilizar todas las variables en una unidad coherente. Además, al algoritmo se le pueden incorporar nuevas medidas de distancia sin dificultad.

El modelo estándar de la arquitectura del sistema que propone CommonKADS es apropiado para construir el sistema experto con base de conocimiento difuso, porque describe la estructura del sistema de software en función de subsistemas Modelo-Vista-Controlador, como estrategia moderna muy útil para el desarrollo de software de forma incremental.

La integración de la lógica difusa con la metodología CommonKADS puede ser aplicado en situaciones donde haya que identificar el nivel de ajuste entre dos entidades y que los conocimientos empleados tengan expresiones lingüísticas tales como Mucho, Bastante, Algo, Muy. Esta integración es posible porque la lógica difusa tiene la facilidad de operar con conocimiento subjetivo, no determinístico, gradual y tolerante. Los algoritmos típicos de la lógica difusa que se refieren a teoría de conjuntos difusos, permiten operaciones de aproximación de distancias, cálculos con intervalos y grados de pertenencia, propicios para procesar este tipo de conocimientos.

El desarrollo de un sistema experto para la toma de decisiones en selección de personal, integrando la metodología CommonKADS y la lógica difusa aumentan la calidad de las decisiones, porque el sistema puede realizar operaciones multicriterio en un ambiente de incertidumbre, con datos ambiguos y a mayor velocidad. El sistema puede operar varios factores del caso como si fueran una unidad y puede operar con ausencia de datos. A diferencia del experto humano que solo alcanza a operar entre dos o tres aspectos simultáneamente, mientras el sistema no tiene límites para hacerlo.

La construcción de bases de conocimiento difusos son una estrategia para formalizar el conocimiento ambiguo del experto, porque para poderlo almacenar se requiere de la identificación de variables, el modelado de conceptos, la comprensión de los procesos de razonamiento y de la creación de triplas que obligan a la definición más concreta de los elementos del dominio.

La arquitectura de la base de conocimientos difuso puede ser aprovechada en otros sistemas expertos con características similares, porque su diseño se puede adaptar fácilmente a dominios de conocimiento que manejan incertidumbre y términos lingüísticos difusos.

Es estratégico desarrollar una base de conocimientos modelando en forma de espiral controlada hacia adentro y utilizando las hojas de trabajo de Commonkads para la caracterización del conocimiento, ya que se conduce desde la estructura conceptual del conocimiento global del dominio hasta los detalles de la estructura interna de las reglas de control. Este modelado distingue los tipos de conocimiento, los roles, los condicionales, los antecedentes y consecuentes de las reglas, las variables y sus valores.

En las situaciones en las que se logra extraer y construir estructuras de conocimiento lo suficientemente sólidas y flexibles siguiendo las plantillas de razonamiento predefinidas de CommonKADS, se pueden utilizar lenguajes de programación procedimental actuales ya éstos tienen estructuras de control potentes como la Selección Simple, la Selección Doble y la Repetición, para controlar los métodos y subtareas que consultan la base de conocimientos.

REFERENCIAS

BANDA, Hugo. Inteligencia Artificial. Principios y aplicaciones. Quito: Universidad Central del Ecuador, 2011, p.101

BREUKER, Joost; VAN DE VELDE, Walter CommonKADS Library for Expertise Modelling: Reusable Problem Solving Components. Reusable problem solving components. IOS Press. Amsterdam. 1994. p. 147, 168-170, 185-193

CORREDOR, Martha Vitalia (2000). Principios de inteligencia artificial & sistemas expertos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

CRANDALLI, Beth., KLEIN, Garyy HOFFMAN, Robert R. (2006). Working Minds, A Practitioner's Guide to Cognitive Task Analysis. Cambridge, Massachusetts. London, England. The MIT Press.

ESCOLANO, Francisco, et al. Inteligencia Artificial. Modelos, técnicas y áreas de aplicación. Madrid: Thomson Editores, 2003.

ERICSSON, K. Anders y otros (2006). The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance. Florida. Cambridge University Press.

FIRLEJ, Maureen y HELLENS, Dave Knowledge Elicitation. A practical Handbook. UK. Prentice Hall International, 1991.

GARCÍA SERRANO, Alberto. Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones. México: Alfaomega Grupo Editores, 2013.

GREGORY, Robert J. Evaluación psicológica: Historia, principios y aplicaciones. México. Manual moderno, 2001 p. 150

GEBHARDT, Jörg y VON ALTROCK, Constantin Recent Successful fuzzy logic applications industrial automation. Fifth IEEE International conference on fuzzy systems. USA, 1996.

GUIARRATANO, Joseph y RILEY, Gary Sistemas Expertos. Principios y programación. México: Thomson Editores, 2001.

HENAO CÁLAD, Mónica. CommonKADS-RT. Una metodología para el desarrollo de sistemas basados en el conocimiento en tiempo real. España. U. Politécnica de Valencia, 2001.

HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos; et al. Metodología de la Investigación. México. Mc Graw Hill. 6ª. Edición, 2014.

KENDAL, Simon y CREEN, Malcolm. An introduction to knowledge engineering. UK. Springer, 2007.

LUGER, George F. Artificial Intelligence: structures and strategies form complex problema solving. USA: Pearson Education, 2009.

MCELROY, Mark W.. The New Knowledge Management: Complexity, Learning, and Sustainable Innovation. USA: Elsevier, 2003.

MILTON, Nicholas Ross. Knowledge Acquisition in Practice: a step by step guide. Springer. Inglaterra, 2007.

NILSSON, Nils. Inteligencia Artificial. Una nueva síntesis. Madrid. McGraw-Hill Interamericana, 2001.

PAJARES MARTINSANZ, Gonzalo y SANTOS PEÑAS, Matilde. Inteligencia Artificial e Ingeniería del conocimiento. Madrid: Alfaomega Grupo Editores, 2006.

PONCE, Pedro). Inteligencia Artificial con aplicaciones a la ingeniería. México: Alfaomega Grupo Editores, 2010.

RICH, Elaine y KNIGHT, Kevin. Inteligencia Artificial. México: McGraw-Hill, 1991.

RODRÍGUEZ-LORA, Vanessa; HENAO CÁLAD, Mónica y VALENCIA ARIAS, Alejandro. Taxonomías de técnicas y herramientas para la Ingeniería del Conocimiento: guía para el desarrollo de proyectos de conocimiento. Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, vol. 24, núm. 2, abril, 2016, pp. 351-360.

RODRÍGUEZ, Abraham. et al. Ingeniería del conocimiento. Adquisición del conocimiento. Volumen 2. Facultad de informática. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. España, 2006.

RUMBAUGH, J., Jacobson, I., BOOCH, G.. El lenguaje unificado de modelado. Manual de referencia. Madrid. Pearson Educación, 2000.

RUSSELL NORVIG, S.J. Inteligencia artificial. Un enfoque moderno. Madrid: Pearson Educación, 2004.

SAJJA, Priti Srinivas y AKERKAR, Rajendra. Advanced Knowledge Based Systems: Models, Applications & Research. Vol. 1, India. TMRF e-Book Series (<http://www.tmrfindia.org/eseries/ebook.html>), 2010, p. 138-140.

SCHREIBER, A.; AKKERMANS, J.; ANJEWIERDEN, A., et al. CommonKADS, Engineering of Knowledge. The CommonKADS Methodology. The United States of America. The MIT Press, 2000.

YANG, Jian-Bo; LIU, Jun; WANG, Jin, et al.). Belief Rule-Base Inference Methodology Using the Evidential Reasoning Approach. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. Systems and humans, 36(2), 2006, p. 267

Documentos electrónicos

AFSHARI, Ali Reza; NILOLIC, Milan y COCKALO, Dragan. Applications of fuzzy decision making for personnel selection problem - a review. Journal of engineering management and competitiveness. Vol. 4, No. 2, 2014, pp 68-77. Consultado el 11 de octubre de 2016. Disponible en:

<http://www.tfzr.rs/jemc/files/Vol4No2/V4N22014-02.pdf>

BENITO MATIAS, Tamara; DURÁN VICENTE, María Isabel. Lógica Borrosa, 2011. Disponible en:

<http://ingtecnologia.files.wordpress.com/2011/06/logica-difusa2pdf.pdf>

CANÓS, Lourdes, et al. Modelos flexibles de selección de personal basados en la valoración de competencias. Universidad Politécnica de Valencia. Consultado en octubre de 2016. Disponible en:

http://www.asepuma.org/recta/ordinarios/9/9_4.pdf

CommonKADS. Knowledge management, Knowledge analysis, Knowledge system development. Consultado en Febrero de 2016. Disponible en:

<https://commonkads.org/>

DANIEL ALLEVATO, Hugo Luis. Manejo de Datos Ambientales aplicando Lógica Borrosa. Consultado en Febrero de 2016. Disponible en:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/argentina14/allevato.pdf>

DARAMOLA, J.O.; OLADIPUPO, O.O. and Musa, A.G. A fuzzy expert system (FES) tool for online personnel recruitments. Int. J. Business Information Systems, Vol. 6, No. 4. Consultado en octubre de 2016. Disponible en:

http://eprints.covenantuniversity.edu.ng/6414/1/FES_Paper_9.pdf

GARCÍA MARTÍNEZ, RAMÓN (2006). Ingeniería del conocimiento. Curso de doctorado. Instituto de investigación y desarrollo de informática avanzada.

Argentina. 2006. Disponible en: <http://www.iidia.com.ar/rgm/CD-IC/Ingenieria-del-Conocimiento.pdf>

- GONZÁLEZ MORCILLO, Carlos. Lógica difusa. Una introducción práctica. Técnicas de Softcomputing. 2010, p. 14,24. Disponible en:
http://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf
- JOVA RODRÍGUEZ, Jorge Roberto. Metodología CommonKADS en el desarrollo de sistemas expertos. Cuba. Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas. No. 5, Vol. 10, Año: 2012. Consultado el 12 de octubre 2016. Disponible en: <http://publicaciones.uci.cu/index.php/SC/article/view/868/583>
- KOENDERINK, N.J.P., et al. Bounded transparency for automated inspection in agriculture. Comput. Electron.Agric. 2010. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/222651559_Bounded_transparency_for_automated_inspection_in_agriculture
- MALLO, Paulino, et al. La distribución triangular y los números borrosos triangulares. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales - Universidad Nacional de Mar del Plata. 2009, [citado 2014-05-23], disponible en:
<http://nulan.mdp.edu.ar/897/1/00178.pdf>
- MORENO ARRECHE, Andrés. La Lógica Borrosa. Instrumento para el análisis de las fases entrópicas de la realidad político-social. Publicado por Teódulo López Meléndez en mayo 25, 2009, disponible en:
<http://teodulolopezmelendez.wordpress.com/2009/05/25/la-logica-borrosa-instrumento-para-el-analisis-de-las-fases-entropicas-de-la-realidad-politico-social/>
- SII, How-Sing. et al. Application of fuzzy logic approaches to safety assessment in Maritime engineering applications. Accedido el 8/6/2014. Disponible en:
https://phps.portals.mbs.ac.uk/Portals/49/docs/jyang/SiiWangRuxtonYang_Fuzzy_Logic_in_JMET.pdf
- SUTTON, D. y PATKAR, V. CommonKADS analysis and description of a knowledge based system for the assessment of breast cáncer. Oxford Brookes University. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/222538187_CommonKADS_analysis_and_description_of_a_knowledge_based_system_for_the_assessment_of_breast_cancer