



**DEPARTAMENTO DE LENGUAJES Y CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN**

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

**Sistema Tutor Inteligente basado en
Competencias (STI-C). Propuesta de
Arquitectura y Diagnóstico.**

Tesis Doctoral

Presentada por:
D. Miguel Mateo Badaracco,
para optar al grado de
Doctor por la Universidad de Málaga.

Málaga, España

Febrero de 2013



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

**DEPARTAMENTO DE LENGUAJES Y CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN**

**Sistema Tutor Inteligente basado en
Competencias (STI-C). Propuesta de
Arquitectura y Diagnóstico.**

**Memoria de Tesis
Presentada por:**

D. Miguel Mateo Badaracco,

**PARA OPTAR AL GRADO DE
DOCTOR EN INGENIERIA DE SISTEMAS Y
COMPUTACION.**

**Director de Tesis: Dr. Luis Martínez López
Tutor: Dr. José Ignacio Peláez Sánchez**

Málaga, España

Febrero de 2013

El Dr. D. Luis Martínez López, profesor del Departamento de Informática de la Universidad de Jaén, actuando como Director de la presente tesis doctoral,

El Dr. D. José Ignacio Peláez Sánchez, profesor del Dpto. de Lenguajes y Ciencias de la Computación, de la Universidad de Málaga, actuando como Tutor de la presente tesis doctoral:

CERTIFICAN:

Que la tesis doctoral titulada “*Sistema Tutor Inteligente basado en Competencias (STI-C). Propuesta de Arquitectura y Diagnóstico*” que presenta Miguel Mateo Badaracco para optar al grado de doctor, ha sido realizada bajo nuestra dirección y tutorización, cumpliendo los requisitos necesarios para su presentación, lectura y defensa.

En Málaga, a 7 de Febrero de 2012

El Doctorando

Fdo. D. Miguel Mateo Badaracco

El Director y Tutor:

Fdo. Dr. Luis Martínez López

Fdo. Dr. José Ignacio Peláez Sánchez

A mi familia, a mi esposa Vilma y a mis hijas Camila y María Emilia. Motor de todos mis esfuerzos.

Agradecimientos

Durante el camino recorrido para llegar a esta importante meta, nunca estuve solo, siempre conté con la ayuda, el apoyo, acompañamiento, comprensión y contención de muchas personas a las cuales quiero expresarles mis más sinceros agradecimientos.

En primer lugar quiero expresar un profundo reconocimiento y agradecimiento a mi director de tesis, Luis Martínez, por su invaluable ayuda y orientación y por sobre todo por su calidez humana. También a su equipo de investigación por su colaboración y ayuda durante mi estancia en la Universidad de Jaén.

Ellos en gran medida han hecho posible que esta tesis culminara.

También quiero agradecer a mis compañeros del doctorado y de investigación con los cuáles compartí ideas e inquietudes, recibiendo valiosos aportes, apoyo y aliento constante. Es justo resaltar el enorme esfuerzo que hicieron José Ignacio y David por llevar adelante este doctorado, a ellos mi reconocimiento y gratitud.

Finalmente, pero no menos importante, a mi esposa Vilma y mis hijas Camila y María Emilia por contenerme, apoyarme y alentarme durante todo el doctorado y en particular durante el desarrollo del trabajo de tesis.

Muchas gracias!!!

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	XI
INDICE DE FIGURAS	XV
INDICE DE TABLAS	XVII
I INTRODUCCION	1
1.1 Motivaciones.....	2
1.2 Propósito y Objetivos	4
1.3 Estructura de la Memoria.....	5
II ANTECEDENTES	7
2. Sistemas Tutores Inteligentes - STI.....	8
2.1 Caracterización de los STI.....	8
2.2 Arquitectura	10
2.3 Modelo de Dominio.....	11
2.3.1 Modelo de Caja Negra	12
2.3.2 Modelo de Caja de Cristal.....	13
2.3.3 Modelo Cognitivo	14
2.4 Modelo del Alumno	16
2.4.1 Características del Modelo del Alumno.....	16
2.4.2 El Problema del Modelado del Alumno.....	17
2.4.3 Aspectos Importantes en el Modelado del Alumno.....	18
2.5 Modelo Pedagógico o Modelo de Instrucción	24
2.5.1 Marco Pedagógico y Ontológico	24
2.5.2 Desafíos del Modelo de Instrucción	26
2.6. Modelo de Interfaz.....	27
2.7 Proceso de Diagnóstico.....	31

2.7.1 Los Tests en la Evaluación.....	32
2.7.2 Tests Administrado por Computador (TAC)	33
2.7.3 Tests Adaptativos Informatizados (TAI). Caracterización	36
2.7.4 Modelo de Evaluación Cognitiva Mediante TAI	40
2.8 El Modelado del STI y el Dominio de Aplicación.....	44
2.9 Conclusiones del Capítulo.....	51
3. La Enseñanza Basada en Competencias (EBC)	54
3.1 Caracterización de la EBC	54
3.2 Las Competencias	57
3.3 Diseño Curricular Basado en Competencias (DCBC)	58
3.3.1 Caracterización del DCBC	59
3.3.2 Análisis Funcional Para la Definición de las Competencias de un Perfil	59
3.3.3 Fases del Análisis Funcional	61
3.4 Normas de Competencias.....	65
3.5 El Proceso de DCBC	69
3.5.1 Proceso Inicial de DCBC	69
3.5.2 Capacidades, Normas y DCBC	70
3.5.3 Características del DCBC.....	71
3.5.4 Elementos de DCBC	71
3.5.5 El Módulo Didáctico	72
3.6 Conclusiones del Capítulo.....	73
III PLANTEAMIENTO	75
4. Arquitectura STI Basada en Competencias (STI-C).....	76
4.1 Aproximación del DCBC con el STI-C	78
4.2 Descripción de la Arquitectura Propuesta para el STI-C	80
4.3 Modelado del Dominio basado en Competencias	82
4.3.1 Modelado del MDCo y MDCu.....	82
4.3.2 Modelado del MAC.....	85
4.4 TAI para Evaluar Competencias (TAI-C).....	87
4.4.1 Componentes del TAI-C	87

4.4.2	Estimación del Nivel de Competencias	89
4.4.2.1	Actualización de Nodos Evidencias (<i>evc</i> , <i>evd</i> , y <i>evp</i>).....	89
4.4.2.2	Actualización de Nodos <i>ec</i>	90
4.4.2.3	Actualización del Nodo de un Módulo <i>M</i>	91
4.4.2.4	Algoritmo de Diagnóstico del TAI-C	93
4.5	Conclusiones del Capítulo	94
TAI Difuso Multicriterio (TAI-DM)		95
5.	TAI Difuso Multicriterio (TAI-DM)	96
5.1	Toma de Decisión	97
5.1.1	Clasificación de los Problemas de Toma de Decisiones.....	97
5.1.2	Modelado de Preferencias en Toma de Decisión.....	100
5.2	Modelado Lingüístico Difuso	105
5.2.1	Enfoque Lingüístico Difuso.....	105
5.2.1.1	Sintaxis del Conjunto de Términos Lingüísticos	107
5.2.1.2	Semántica del Conjunto de Términos Lingüísticos	109
5.2.2	Computación con Palabras.....	111
5.2.3	Modelo de Representación Lingüístico basado en 2-Tupla.....	112
5.3	TAI Difuso Multicriterio (TAI-DM)	115
5.3.1	Marco del Diagnóstico Mediante TAI-DM	116
5.3.2	Actualización del MAC Mediante TAI-DM.....	117
5.3.3	Funcionamiento del TAI-DM	119
5.3.4	Algoritmo del Proceso de Selección de Items	123
5.3.5	Ejemplo de Funcionamiento del TAI-DM.....	125
IV	APLICACION	129
6.	STI-C con Proceso de Diagnóstico basado en Test Adaptativo Informatizado Difuso (M-Taid).....	130
6.1	Aplicación M-Taid.....	130
6.2	Arquitectura y Tecnología	131
6.3	Interfaz de Usuario.....	132
6.4	Funcionamiento del M-Taid	135

6.5 Ejemplo de Funcionamiento.....	142
V CONCLUSIONES FINALES	147
7. Conclusiones y Trabajos Futuros	148
7.1 Conclusiones	148
7.2 Trabajos Futuros.....	150
7.3 Publicaciones.....	150
ANEXOS.....	153
Anexo I.....	155
Anexo II.....	159
Anexo III	161
BIBLIOGRAFIA.....	165

INDICE DE FIGURAS

1. Arquitectura de un STI	11
2. Modelo de caja negra	13
3. Modelo basado en la metodología de los sistemas expertos	14
4. Módulo experto y el esfuerzo de construcción	15
5. Modelo de recubrimiento	19
6. Modelo diferencial	20
7. Modelo de perturbación	20
8. Representación mediante una red semántica conceptual	22
9. Representación mediante una red Bayesiana	23
10. Interfaz en el STI SOPHIE	28
11. Interfaz de interacción Crystal Island	29
12. Agente tutor personificado y simulaciones en Autotutor.....	30
13. Agente tutor personificado y simulaciones en entorno MOCA.....	30
14. Tipos de Test	34
15. Esquema de un Test Adaptativo.....	37
16. Arquitectura del modelo de dominio.....	41
17. Proceso de análisis funcional.....	60
18. Proceso de identificación de la competencia.....	64
19. Análisis funcional-Norma de competencia.....	70
20. Relación del STI-C con el DCBC.....	77
21. Nueva arquitectura STI-C.....	80
22. Estructura del MDCo.....	84
23. Estructura del MDCu.....	85
24. Proceso de actualización de las distribuciones de competencias.....	91
25. Diagnóstico y algoritmo de selección de ítem.....	92
26. Proceso de resolución de TD.....	104
27. Definición semántica de la variable lingüística altura	109

28. Conjunto de 5 etiquetas lingüísticas uniformemente distribuidas	110
29. Distribuciones diferentes del concepto excelente	110
30. Proceso dinámico de selección de ítems.....	116
31. Nuevo algoritmo lingüístico difuso en la selección de ítems.....	125
32. Arquitectura y tecnología utilizada en M-Taid.....	132
33. M-Taid –Interfaz del profesor.....	133
34. M-Taid –Interfaz del estudiante.....	134
35. Interfaz inicial de M-Taid.....	136
36. Ficha de configuración general del modelo de dominio.....	136
37. Ficha de configuración del banco de ítems.....	137
38. Interfaz de caracterización de ítems.....	138
39. Ficha de <i>configuración Opciones</i> relacionadas a cada ítem.....	139
40. Ficha de <i>edición de los ec</i> relacionadas a cada módulo.....	139
41. Inicio del test en M-Taid	140
42. Resultados al finalizar el TAI.....	141
43. Interfaz para compartir los resultados	141
44. Pregunta dentro del M-Taid.....	143
45. Resultados al finalizar el M-Taid.....	145
46. Representación gráfica de las funciones de pertenencia	163

INDICE DE TABLAS

1. Ejemplo de mapa funcional	63
2. Ejemplo elementos de competencia y descriptores	67
3. Ejemplo elementos de competencia y descriptores (cont.).....	68
4. Valoraciones del docente experto sobre los ítems. Ejemplo TAI-DM.....	126
5. Valores de los CCO de los ítems. Ejemplo TAI-DM.....	126
6. Valores recalculados de X_i^k . Ejemplo TAI-DM	127
7. Valoraciones del docente experto sobre los ítems. Ejemplo M-Taid.....	142
8. Valores de los CCO de los ítems. Ejemplo M-Taid.....	142
9. Valores recalculados de X_i^k . Ejemplo M-Taid.....	144

I INTRODUCCION

Capítulo 1

1.1 Motivaciones

Un Sistema Tutor Inteligente (STI) tiene por objetivo la enseñanza personalizada mediante la utilización de técnicas de inteligencia artificial (IA). Su principal característica es la adaptación dinámica de la instrucción de acuerdo al perfil y actividad del alumno, para ello considera atributos como estilo de aprendizaje, nivel de competencias, recursos instruccionales utilizados, niveles de logros alcanzados, evaluaciones, interacciones realizadas, etc. Un STI es capaz de comportarse como un experto, tanto en el dominio de conocimiento que enseña (mostrando al alumno cómo aplicar dicho conocimiento), como en el dominio pedagógico, donde es capaz de diagnosticar la situación en la que se encuentra el estudiante, y de acuerdo a ello, ofrecer una acción o solución que le permita progresar en el aprendizaje [1], [2]. Los STI se aplican en diversos campos como el educativo, empresarial y gubernamental a fin de promover capacitación, formación y entrenamiento individualizado y adaptado a las necesidades de cada persona en su ámbito.

Diversos autores [2], [3], [4], coinciden en definir la arquitectura general de un STI conformada por cuatro componentes:

- a) modelo de dominio
- b) modelo del alumno
- c) modelo pedagógico o modelo de instruccional
- d) modelo de interfaz

Cada uno de estos componentes asume distintas funciones interactuando entre si. La manera de estructurar e interaccionar los componentes de un STI dependerá en gran medida del modelo pedagógico de referencia [5], [6] (implícito o explícito), esto determina el desarrollo curricular, condicionando el método de diagnóstico (evaluación), la secuenciación y presentación de contenidos, la organización y tipo de actividades, la actualización del modelo del estudiante, etc.

Un STI conjugará una propuesta formativa sobre un determinado dominio de conocimiento (asignatura, rol profesional, capacidades específicas, etc.) por lo tanto, en su concepción subyacen criterios pedagógicos asumidos explícitamente o implícitamente por el diseñador. En este marco el modelo pedagógico influye en dos

procesos claves de la arquitectura STI: *la representación del conocimiento del dominio y la evaluación de los aprendizajes o diagnóstico del alumno*, presentando los siguientes inconvenientes por resolver:

a) Representación del conocimiento del dominio: Sin un modelo pedagógico de referencia explícito es difícil construir un sistema que integre distintos marcos teóricos, representación del conocimiento, sentido y criterios de evaluación. La interpretación de parámetros y la configuración del modelo no son tareas simples. En la literatura encontramos propuestas que codifican el conocimiento de un dominio en estructuras de redes semánticas, conceptuales y bayesianas donde los nodos almacenan distribuciones o curvas probabilísticas [7], en tanto el conocimiento en el modelo del alumno es siempre una aproximación imprecisa y vaga [8].

b) Evaluación de los aprendizajes o diagnóstico del alumno: Muchos de los STI existentes utilizan en el diagnóstico los llamados Test Adaptativos Informatizados (TAI), un TAI es un instrumento de evaluación adaptativo que presenta un ítem (pregunta) por vez al estudiante, cada ítem es seleccionado en base a la estimación del nivel de conocimiento, obtenido de los ítems previamente administrados al alumno y de acuerdo a algún criterio como máxima información, mínima entropía, dificultad, etc. [9], [10], [11]. Para implementar un TAI se utiliza la herramienta matemática bien establecida denominada Teoría de Respuesta al Ítem (TRI) [12]. Si bien existen STI con diagnóstico basado en TAI con buenos rendimientos, existen varios aspectos que pueden mejorarse [9], [10], [11], [13]:

- Sólo un criterio o atributo del ítem tiene influencia en su elección.
- Los parámetros de las curvas características que modelan los ítems son difíciles de comprender al momento de implementar el banco de ítems de un STI.
- Dentro de un TAI (diagnóstico), el proceso de selección de ítems es dinámico, pero generalmente se implementan algoritmos con valores estáticos.

Vemos pues las distintas posibilidades de mejora tanto en la concepción pedagógica de un STI como en los procesos de evaluación. En esta memoria de investigación vamos a tratar de proponer la integración de un modelo pedagógico como la Enseñanza Basada

en Competencias (EBC), ampliamente utilizado en sistemas educativos a nivel mundial, y la mejora de los procesos evaluativos de STI mediante modelos de representación flexibles que integran conocimiento experto modelado mediante información lingüística difusa.

1.2 Propósito y Objetivos

El propósito general de esta memoria es proponer, validar y aplicar una nueva arquitectura de STI basada Enseñanza Basada en Competencias (EBC). Nos centramos en la representación del modelo de dominio y del modelo del alumno, así como en el proceso de diagnóstico. En la representación de ambos modelos utilizamos principios de la EBC y en su actualización (diagnóstico) integramos conocimiento experto modelado mediante información lingüística difusa con representación 2-tuplas. Una arquitectura de este tipo proveerá una plataforma, que en base al conocimiento experto docente, facilita la implementación de una propuesta formativa de manera transparente desde la EBC al Sistema Tutor Inteligente basado en Competencias (STI-C).

Los objetivos específicos que nos proponemos conseguir con este STI-C son:

- Definir los elementos y procesos de un STI basado en el modelo pedagógico de la EBC (STI-C). La arquitectura será capaz de representar y actualizar el perfil de competencias de un dominio de conocimiento, además facilitará la implementación de un STI-C en dispositivos móviles.
 - Estudiar el modelado de los modelos de dominio y del alumno en base a la EBC en los STI genéricos y su implicación en la representación del conocimiento y en el diagnóstico.
 - Desarrollar un enfoque de decisión multicriterio lingüístico difuso para capturar conocimiento docente experto en la valoración de utilidad de los ítems del banco de ítems asociado a un TAI.
 - Diseñar una nueva arquitectura para un Sistema Tutor Inteligente basado en Competencias (STI-C).
-

- Diseñar un nuevo modelo de diagnóstico basado en Test Adaptivos Informatizados, el cual implementa un algoritmo lingüístico difuso dinámico, donde la selección de ítems dentro de un TAI se define como un modelo de decisión multicriterio.
- Implementar un prototipo de STI-C sobre plataforma para dispositivos móviles para un dominio de conocimiento específico. Dicho software implementará la parte funcional de la arquitectura STI-C propuesta:
 - Arquitectura STI basada en la EBC.
 - Modelado del perfil de competencias en el Modelo de dominio y Modelo del alumno conforme los principios de la EBC.
 - Test Adaptativo Informatizado con algoritmo lingüístico difuso dinámico y selección multicriterio de ítems.

1.3 Estructura de la Memoria

Para alcanzar los objetivos mencionados, esta memoria se estructura en los siguientes capítulos:

- **Capítulo 2:** Revisa la arquitectura de los STI, sus componentes y los procesos asociados. Pone foco en el modelo de dominio, modelo del alumno y el proceso de diagnóstico, también indaga en los modelos de representación y actualización del conocimiento en estos sistemas. Expone la problemática de la implementación de propuestas formativas en STI de dominio específicos y STI de dominio genérico.
 - **Capítulo 3:** Revisa el modelo emergente de Enseñanza Basada en Competencias (EBC). Destaca su importancia actual y características importantes. Presenta los conceptos y definiciones que orientarán la arquitectura STI-C.
 - **Capítulo 4:** Propone una novedosa arquitectura STI basada en la EBC. Presenta la integración de los elementos de la EBC en el modelo de dominio, modelo del
-

alumno y en el proceso diagnóstico basado en TAI. Después se plantean dos propuestas para alcanzar los objetivos fijados en nuestra memoria:

- Nueva arquitectura genérica STI-C orientada por los principios de la EBC, incluye el Modelo de Dominio de Competencias (MDCo), el Modelo de Dominio Curricular (MDCu) y Modelo del Alumno basado en Competencias (MAC).
 - Modelo diagnóstico basado en extensiones de TAI para evaluar competencias y actualizar el MAC.
- **Capítulo 5:** Presenta una extensión del STI-C para mejorar su proceso de diagnóstico mediante una propuesta de TAI difuso multicriterio. Para lo cual, primero explora el enfoque lingüístico difuso, los procesos de Computación con Palabras, el modelo de representación de información lingüística basada en 2-tupla y su aplicación a la toma de decisiones en contextos de incertidumbre. Después se plantean dos propuestas para alcanzar los objetivos restantes fijados en nuestra memoria:
- Modelo lingüístico difuso basado en 2-tuplas para capturar el conocimiento docente experto para valoración de la utilidad de los ítems del banco de ítems.
 - Modelo diagnóstico difuso multicriterio basado en extensiones de TAI, incluyendo un nuevo algoritmo que implementa el método de selección de ítems como un problema de toma de decisiones multicriterio.
- **Capítulo 6:** Presenta un prototipo de software que implementa los modelos de representación y diagnóstico sobre una plataforma para dispositivos móviles.
- **Capítulo 7:** Finalmente en este capítulo se exponen las conclusiones y resultados relevantes obtenidos, así como los trabajos futuros relacionados con la investigación y las publicaciones derivadas.
-

II ANTECEDENTES

Capítulo 2

Sistemas Tutores Inteligentes (STI)

2. Sistemas Tutores Inteligentes - STI

El interés de nuestra memoria se centra en proponer una nueva arquitectura de STI basada en los principios de la EBC, por lo cual los aspectos medulares de nuestra investigación son, la representación del modelo de dominio y del modelo del alumno, así como el proceso de diagnóstico o actualización. Los STI pueden desarrollarse en un dominio específico o en uno genérico. En el primer caso el sistema asume criterios pedagógicos adecuados al dominio, que orientará los modelos y procesos educativos. Estos STI tienen un uso limitado a un único dominio. Sin embargo, los STI genéricos debido a su visión multidominio deben ser capaces de adaptar sus componentes a las especificaciones generales para abordar diferentes dominios de estudio y facilitar la adquisición de conocimiento y su uso al alumno. Vemos que el tipo de STI condiciona la arquitectura del mismo y consecuentemente la forma y estructura de representación de la información en el modelo de dominio y modelo del alumno, así como su actualización o diagnóstico.

En este capítulo se aborda el primer eje temático del marco teórico: los STI. En primer término se caracterizan los STI exponiendo sus particularidades relevantes, su evolución y estadio actual de campo disciplinar. Una vez conceptualizado un STI, se estudia su arquitectura clásica y sus componentes más importantes: el modelo de dominio y modelo del alumno, tipos y estructura de representación del conocimiento, así como la actualización o diagnóstico del modelo del alumno. Finalmente se analizan algunos STI desarrollados por otros investigadores y la problemática relacionada con la implementación de una propuesta formativa en STI de dominio genérico.

2.1 Caracterización de los STI

Un STI es un sistema que incorpora técnicas de inteligencia artificial (IA) para representar el conocimiento y dirigir una estrategia de enseñanza, es capaz de comportarse como un experto, tanto en el dominio de conocimiento que enseña como en el dominio pedagógico, puede diagnosticar la situación en la que se encuentra el estudiante, y de acuerdo a ello, ofrecer una acción o solución que le permita progresar

en su aprendizaje [1], [2], [4]. El objetivo de un STI se centra en la enseñanza personalizada, cuya principal característica es la adaptación dinámica de la instrucción de acuerdo al perfil y actividad del alumno, para ello considera atributos como estilo de aprendizaje, nivel de competencias, recursos instruccionales utilizados, niveles de logros alcanzados, evaluaciones, interacción realizada, etc. Para lograr una enseñanza personalizada y adaptativa, el diseño de un STI debe incluir una arquitectura que soporte la representación del conocimiento de dominio y pedagógico así como los procesos asociados.

Nkambou [2] sostiene que el surgimiento, evolución y actualidad de los STI pueden ser posicionados en tres estadios: génesis, crecimiento y actualidad.

La *génesis* alrededor de los años 70 está caracterizada por un clima donde la Inteligencia Artificial (IA) estaba en pleno apogeo y las aplicaciones buscaban desarrollar técnicas avanzadas, tanto en computación y ciencias cognitivas. La Enseñanza o Instrucción Asistida por Computadora (EAC) era una tecnología madura y prometedora con un mercado objetivo. Por otra parte el sistema educativo estaba buscando soluciones para superar sus limitaciones con el fin de hacer frente a los grandes grupos de estudiantes en las escuelas. Científicos visionarios y pioneros imaginaban que la fusión de IA con la EAC podría dar soluciones para mejorar la enseñanza escolar [14]. En 1984, Bloom [15] publicó un artículo que demostró que la tutoría individual era dos veces más eficaz que la enseñanza de grupo. Investigadores de la IA vieron una base sólida sobre la cual podrían crear sistemas inteligentes que proporcionaran tutoría eficaz para cada estudiante, adaptado a sus necesidades y el ritmo de aprendizaje.

La etapa de *crecimiento* y consolidación sucede alrededor de 1990, quedando patente en un artículo de Self en el Journal of Artificial Intelligence in Education (AIED) [16]. En su artículo, Self afirmó que para alcanzar el estadio de una disciplina científica, los STI necesitaban sus propios fundamentos científicos. En su opinión, la consecución del objetivo del STI como analogía de un profesor humano fue una exigencia muy alta y tomó una dirección equivocada. Sugirió ver los STI como un campo de diseño de ingeniería, que debe dotarse de las teorías, métodos y técnicas apropiadas para un campo del diseño. En el mismo sentido expone una crítica a la arquitectura STI clásica

compuesta hasta entonces de cuatro componentes (modelo de dominio, modelo del alumno, modelo de instrucción y modelo de interfaz). Nwana [17] en su trabajo sobre diferentes arquitecturas STI que se han propuesto o adoptado, subraya la estrecha relación entre la arquitectura y el paradigma (lo que él llama una filosofía). Además explica que las diferentes filosofías de tutoría (que podríamos entender como filosofías pedagógicas) enfatizan los diferentes componentes del proceso de aprendizaje: dominio, alumno o tutoría. El diseño arquitectónico de un STI refleja este énfasis, y esto conduce a una variedad de arquitecturas, ninguna de las cuales, individualmente, puede soportar todas las estrategias de tutoría/pedagógicas.

La *actualidad* encuentra al campo de los STI como una disciplina con signos de gran vitalidad y auge, por caso cabe mencionar que en el Journal of Artificial Intelligence in Education (AIED por sus siglas en inglés), en la conferencia bianual AIED y en la conferencia bianual de STI todos los trabajos presentados tienen características de alto nivel teóricos y técnicos y presentan implementaciones en los diferentes ámbitos educativos y otros entornos, con desarrollos audaces e innovadores [18], [19]. La AIED y los STI conforman campos complementarios interrelacionados ampliando sus perspectivas y posibilidades. Las investigaciones sobre STI son interdisciplinarias con apertura a investigadores de diversas disciplinas, incluyendo la informática, la psicología, las ciencias del aprendizaje y la tecnología educativa, entre otros. Esta interdisciplinariedad es a la vez una riqueza y un reto. En la perspectiva del campo actual de investigación surgen una serie de ideas y técnicas avanzadas tales como modelo del alumno abierto, los agentes de realidad virtual, las técnicas de aprendizaje automático, las técnicas de minería de datos, razonamiento cualitativo, sistemas hipermedia, modelado afectivo del estudiante, etc. Con lo cual cobran vigencia e importancia la representación de la información que dará soporte a los componentes de una arquitectura STI y su correspondiente actualización.

2.2 Arquitectura

La arquitectura clásica de un STI ha sido estudiada en la literatura, pudiéndose encontrar distintas propuestas. Autores como Sleeman y Brown [3], Polson y Richarson

[4] y más recientemente Nkambou [20] coinciden en definir la arquitectura general de un STI conformada por cuatro componentes que se muestra en la Figura 1:

- a) Modelo de dominio
- b) Modelo del alumno
- c) Modelo pedagógico o Modelo instruccional
- d) Modelo de interfaz

Cada uno de estos componentes asume distintas funciones interactuando entre sí [3], [4], [9], [20], [21]:

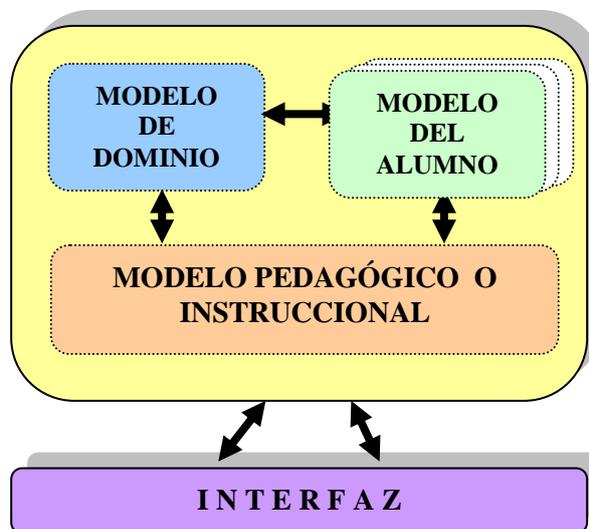


Figura 1. Arquitectura de un STI

A continuación vamos a ver en detalle cada uno de estos componentes principales y analizar su importancia y funcionamiento en un STI.

2.3 Modelo de Dominio

Este componente corresponde a la respuesta sobre el *qué se enseña* en un STI. Contiene el conocimiento sobre la materia/asignatura que debe ser aprendida/enseñada. El primer paso en la implementación de un STI, es la representación explícita por parte del experto del conocimiento existente sobre el dominio. Anderson [22] afirma que un modelo del dominio será más potente cuanto más conocimiento tenga. Asimismo, es el

encargado de la generación de problemas, y la evaluación de la corrección de las soluciones suministradas por el alumno. Según Nkambou [20], Millán [21] y Anderson [22], los modelos del dominio pueden clasificarse a su vez en:

1. *Modelo de caja negra.*
2. *Modelo de caja de cristal.*
3. *Modelo cognitivo.*

Seguidamente describimos brevemente cada uno de estos modelos.

2.3.1 Modelo de Caja Negra

El modelo de caja negra es un medio de razonar sobre el dominio que no requiere una codificación explícita del conocimiento subyacente [17]. El modelo del dominio ha sido previamente codificado, proporcionando los resultados finales. Desde el punto de vista del sistema tutor sólo interesa conocer el comportamiento a través de dichos resultados (Ver Figura 2). Los sistemas con estos modelos son capaces de resolver problemas sobre el dominio. Las soluciones a dichos problemas se usan como ejemplo para los alumnos y para determinar si las soluciones presentadas por éstos son o no correctas. Sin embargo, los procedimientos y cálculos internos que se ejecutan o bien no están disponibles o bien están expresados en términos que el alumno no puede comprender. Un ejemplo típico es un programa que juega a las damas buscando entre las millones de jugadas que se crean a partir de los movimientos posibles. La finalidad del sistema no puede ser enseñar al alumno esta estrategia de resolución de problemas, puesto que no es así como juegan los humanos. Sin embargo, las soluciones así generadas aún resultan útiles para el proceso de enseñanza [21]. Un ejemplo de sistema tutor con modelo de caja negra es SOPHIE I [23], que se utiliza para la solución de problemas electrónicos, para lo cual incorpora un sistema experto para evaluar las mediciones realizadas por los estudiantes para solucionar problemas de un circuito. El sistema cuenta con un modelo de resolución de problemas simulados basados en un conjunto de ecuaciones. El sistema tutor toma decisiones mediante la resolución de estas ecuaciones.

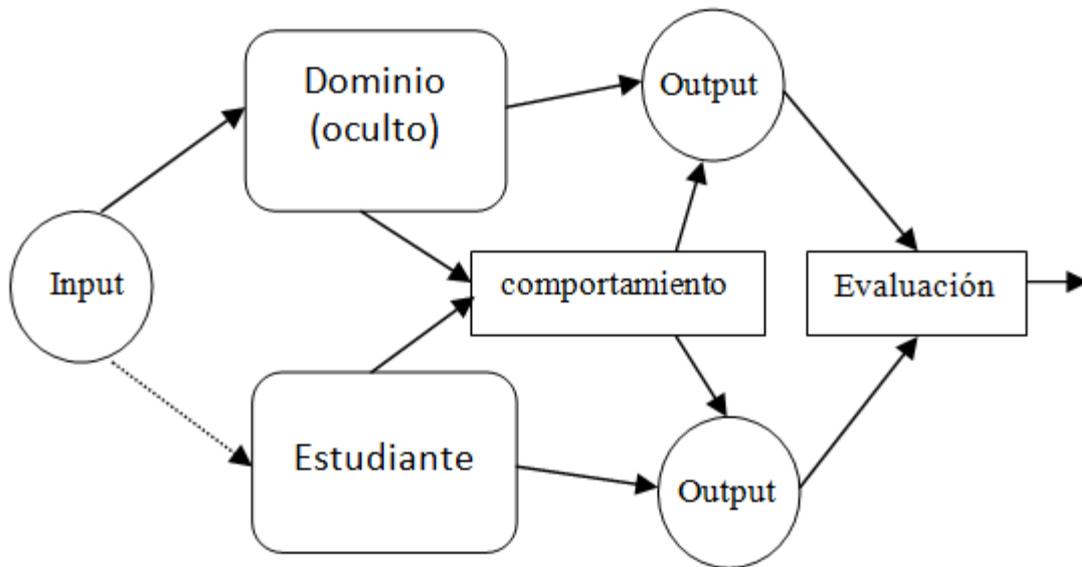


Figura 2. Modelo de caja negra [13].

2.3.2 Modelo de Caja de Cristal

El modelo de caja de cristal se caracteriza por ser transparente al usuario, cada paso en el razonamiento puede ser revisado e interpretado. Para construir un modelo de caja de cristal se siguen los mismos pasos que en el desarrollo de un sistema experto. Implica extraer el conocimiento de un experto y decidir el modo en el que éste va a ser codificado y aplicado [20], [21], [22] (Figura 3). El experto humano en el dominio y el ingeniero de conocimiento trabajan juntos para definir el espacio, identificar y formalizar los conceptos claves, diseñar un sistema en el que implementar el conocimiento y probar y refinar este sistema. De este modo, el modelo que se obtiene parece más adecuado para enseñar al alumno, puesto que un componente de este modelo es una representación de la forma en que un humano razona para resolver el problema [21]. El ejemplo clásico de este tipo de modelo es el utilizado en el sistema GUIDON [24], construido sobre la base del sistema MYCIN [25] para enseñar conocimientos relativos a enfermedades infecciosas. MYCIN se compone de varios cientos de reglas que relacionan probabilísticamente estados de enfermedad a los diagnósticos. Estas reglas referencian a los mismos síntomas y estados que los médicos emplean en el razonamiento, pero con una estructura de control radicalmente diferente, es decir, una

exhaustiva búsqueda hacia atrás. Millán [21] destaca que al construir el modelo de dominio no sólo debemos pensar en el conocimiento de la materia, sino también en la forma en la que lo vamos a representar. En el caso de MYCIN, las exhaustivas búsquedas hacia atrás que hacía para determinar la enfermedad a partir de los síntomas no son representativas del modo de razonamiento humano, y muchas de las reglas MYCIN eran demasiado complejas para ser enseñadas a un alumno.

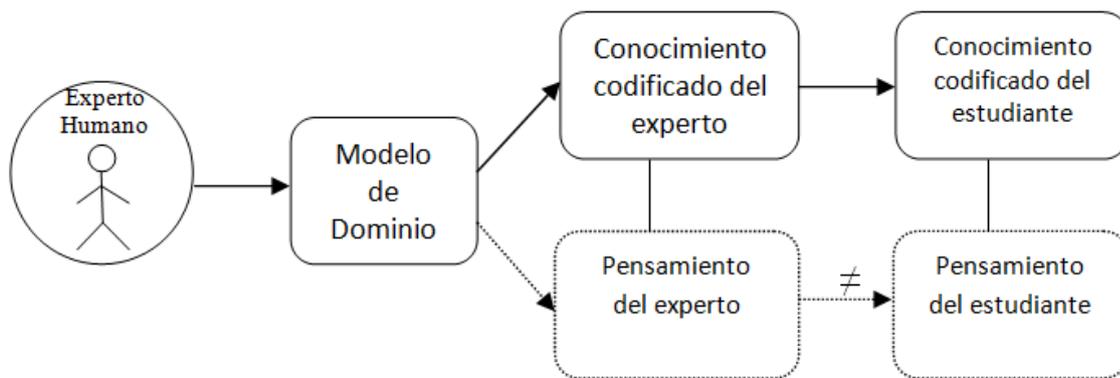


Figura 3. Modelo de caja de cristal o basado en la metodología de sistemas expertos [13].

2.3.3 Modelo Cognitivo

El modelo cognitivo se obtiene abstrayendo el modo en el que los humanos hacen uso del conocimiento. Este tipo de modelos es el más efectivo desde el punto de vista pedagógico, aunque requiere un mayor esfuerzo de implementación, (Ver Figura 4). Esto es así porque a medida que aumenta la complejidad del modelado del dominio es posible incorporar más información dentro del modelo y la misma podrá ser utilizada por el modelo pedagógico. Paralelamente implementar la arquitectura que de soporte a la gestión y actualización de diferentes tipos de conocimientos relacionados con el mismo dominio aumenta el esfuerzo de su diseño y su aplicación. Su estructura estaría condicionada al tipo de conocimiento que se quiera representar [20], [21], [22], [26]. Se pueden distinguir tres tipos de conocimiento: procedural, declarativo y cualitativo.

1. *Conocimiento procedural*: Es el conocimiento (destrezas y habilidades) sobre el “cómo realizar una tarea”. El modelo del dominio suele codificarse mediante un

conjunto de reglas. Esta aproximación supone la ventaja de facilitar la implementación de modelos de instrucción basados en el seguimiento de las acciones llevadas a cabo por el alumno.

2. *Conocimiento declarativo*: Se limita a recopilar un conjunto de hechos y principios sobre el dominio y la relación entre éstos. En este caso los modelos del dominio suelen ser representados mediante una red semántica, como un grafo acíclico en el que los nodos representan conceptos, que a su vez se enlazan entre sí mediante diversos tipos de relaciones: de agregación, de prerrequisito, composición, etc.
3. *Conocimiento cualitativo*: Es el conocimiento causal que permite a las personas razonar y reflexionar sobre comportamientos haciendo uso de modelos mentales.

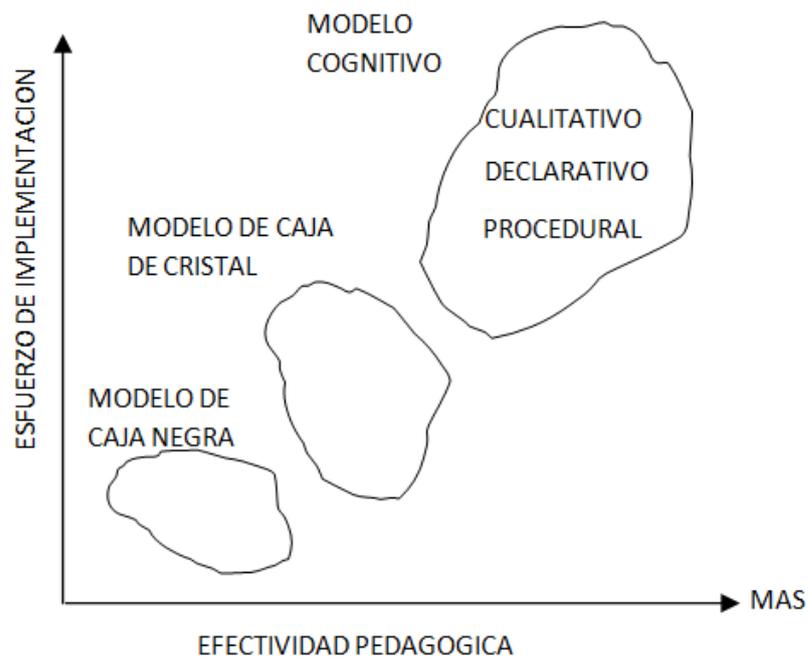


Figura 4. Módulo experto y el esfuerzo de construcción. [26].

2.4 Modelo del Alumno

El modelo del alumno es uno de los componentes más importantes dentro de los STI dado que almacena el estado del alumno en relación a su conocimiento del dominio, itinerarios o recorrido de aprendizaje realizado [27], e incluso en algunos casos el estado afectivo del alumno [28]. Esta información constituye el insumo básico en el proceso de adaptación del STI. El uso de modelos del alumno en STI surge como consecuencia de que estos sistemas trabajan con información incompleta, y por regla general, con un alto grado de incertidumbre sobre el estado de conocimiento de los alumnos [29].

En esta sección describiremos el modelo del alumno y el problema de su modelado. Por lo cual, en primer término exponemos las características importantes del modelo del alumno. En segundo lugar vamos a describir el problema del modelado del alumno. Finalmente destacamos los aspectos a tener en cuenta en el modelado.

2.4.1 Características del Modelo del Alumno

El modelo del alumno representa el *a quién se enseña* [29], [30], es decir, lo que el alumno conoce y lo que no conoce del dominio. La mayoría de los STI infieren este modelo a partir de los conocimientos y carencias del alumno sobre el modelo de dominio, y a partir de esta información, adaptan el proceso de instrucción a sus necesidades. La estructura que almacena el estado de conocimiento del alumno es propiamente *su modelo* y el proceso de razonamiento que actualiza este modelo se denomina *diagnóstico del alumno* [31] y es de vital importancia para el buen funcionamiento de un STI [32], ya que las estrategias tutoriales, el material adecuado o el problema apropiado, se deciden en función de la información que el sistema tiene sobre el estado en que se encuentra el conocimiento del estudiante [33].

El modelo del alumno es una representación aproximada, posiblemente parcial, de su conocimiento sobre cierto dominio, o tema/habilidad de dicho dominio que puede explicar total o parcialmente aspectos específicos del comportamiento del alumno [21]. Por tanto, es una representación cualitativa que describe los objetos y los procesos no de forma física o numérica, sino en términos de relaciones espaciales, temporales y

causales. Decir que el modelo del alumno es aproximado y posiblemente parcial, significa que interesa más la utilidad computacional que la fidelidad cognitiva [16].

2.4.2 El Problema del Modelado del Alumno

El problema de inferir y mantener el modelo del alumno se conoce con el nombre de “*problema del modelado del alumno*”. Al respecto Millán [21] afirma que uno de los aspectos claves en el diseño de STI es el modelado del alumno. Shute [34] realizó un estudio para intentar buscar un consenso respecto al significado del término “*inteligente*” en el contexto de los STI, para ello consultó a los investigadores más reconocidos en el campo. Las respuestas fueron variadas e interesantes (se pueden encontrar en [34], y la conclusión casi unánime fue, en palabras de Shute:

“Como vemos en esta muestra no aleatoria de respuestas sobre lo que es la inteligencia en un STI, casi todo el mundo coincide en que el elemento más crítico es el diagnóstico cognitivo (o modelado del alumno). La siguiente característica más citada es la adaptación en la asistencia. Y aunque algunos sostienen que la asistencia forma parte de la “T” de STI, nuestra postura es que los dos componentes, (diagnóstico y asistencia), trabajando conjuntamente, constituyen la inteligencia de un STI”.

Con ello queda claro que la *capacidad de adaptación al alumno* es un aspecto distintivo de un Sistema Tutor Inteligente, esta adaptación se puede realizar a varios niveles: en el nivel en que se presenta el material o las ayudas, en la dificultad de los problemas propuestos o en la selección de la estrategia de instrucción más adecuada según sus capacidades, habilidades y estilos de aprendizaje preferidos. Resulta necesario que en cada momento, el STI disponga de una representación del estado actual del conocimiento del alumno, con objeto de poder seleccionar el material al nivel adecuado de detalle, proponer el problema apropiado o seleccionar la estrategia tutorial más efectiva en ese momento [21], [27].

En la siguiente subsección vamos a describir los aspectos que deben considerarse en el modelado del alumno.

2.4.3 Aspectos Importantes en el Modelado del Alumno

Al momento de abordar el problema del modelado del alumno, existen tres aspectos que son fundamentales [21], [27], a saber:

1. *Tipos de Modelos del Alumno.*
2. *Estructura de representación del modelo el alumno.*
3. *Proceso de diagnóstico.*

Seguidamente describiremos cada uno de estos aspectos.

A) Tipos de Modelos del Alumno

Holt [33] extiende la clasificación de Verdejo [35], proponiendo los enfoques siguientes para clasificar los tipos de modelos del alumno:

1. *Modelos de recubrimiento o superposición* [36]: Este tipo de modelo considera que el conocimiento que el alumno tiene del dominio es un subconjunto propio del conocimiento del experto (Ver Figura 5). Su comportamiento se compara, por tanto, con el de un experto. Las diferencias existentes se asumen como carencias en el conocimiento del alumno. La principal limitación de este modelado está en considerar que, lo que el alumno sabe es únicamente un subconjunto del conocimiento del experto.
-



Figura 5. Modelo de recubrimiento [13].

2. *Modelos diferenciales* [9], [21]: Este enfoque define el conocimiento del alumno en dos categorías: (i) el que se espera que el alumno tenga, y (ii) el que no se espera que tenga (Figura 6). Son una modificación del modelo de recubrimiento. La diferencia radica en que, en los diferenciales, las posibles carencias en el conocimiento no son todas igualmente deseables. Intentan representar de forma explícita las diferencias entre el conocimiento del alumno y el del experto. Además tienen la ventaja de que no son tan estrictos a la hora de modelar el conocimiento, aunque comparten las desventajas apuntadas en el modelo anterior.
 3. *Modelos de perturbación* [1], [24], [36]: En este caso, el conocimiento del alumno no es considerado únicamente un subconjunto del del experto, sino que se contempla la posibilidad de que el estudiante posea ciertos conocimientos diferentes en cantidad y en calidad con respecto al del experto (Ver Figura 7). Un aspecto diferenciador es que se combina lo que el alumno sabe correctamente, equivalente a un modelo de recubrimiento, con la representación de conocimientos erróneos que posee, y con los procedimientos o conductas erróneas que realiza. Esto permite tener datos más exactos de cuanto sabe el alumno. El conjunto de errores de concepto y de procedimiento están
-

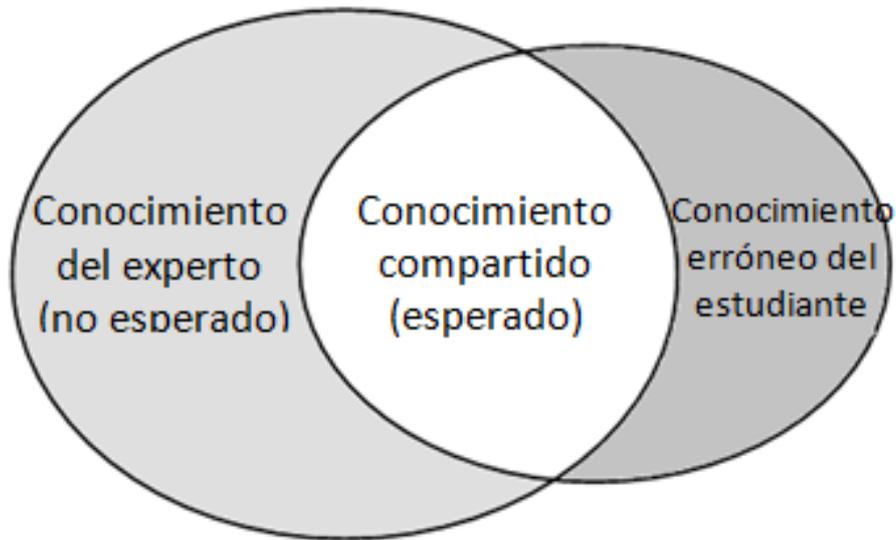


Figura 6. Modelo diferencial [13].

almacenados en una biblioteca de errores. El modelo del alumno se irá actualizando en función de la presencia o ausencia de este tipo de errores.

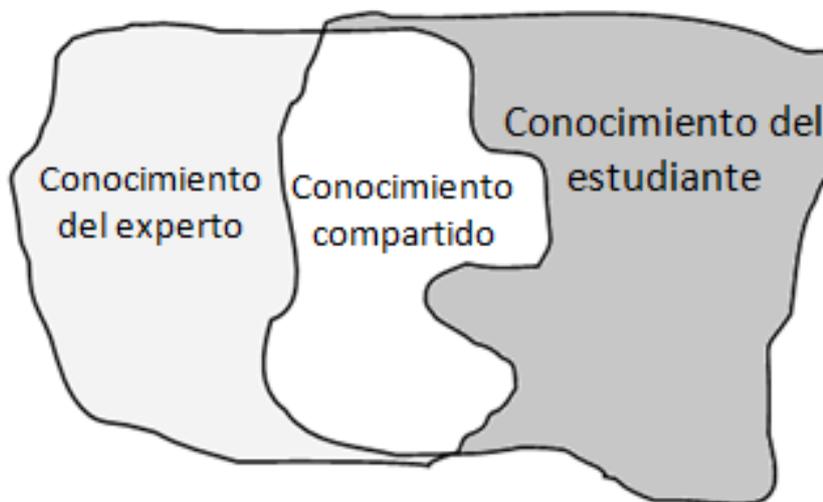


Figura 7. Modelo de perturbación [13].

4. *Modelos basados en intervalos de confianza* [9], [21]: En este tipo de modelos se postula que no es necesario conocer el estado exacto del conocimiento del alumno; basta con mantener un intervalo de confianza sobre sus límites inferior y superior. Han sido implementados utilizando técnicas de aprendizaje automático.
-

A partir del comportamiento del alumno, el sistema infiere los límites inferior y superior de su conocimiento. Basándose en el modelo experto, se generan predicciones y problemas para verificar esas predicciones. Este tipo de modelos son más tratables ya que, en vez de intentar modelar el conocimiento del alumno tal como es, tratan con información más imprecisa.

5. *Modelos basados en restricciones* [37], [38]: En este enfoque el alumno es representado como un conjunto de restricciones sobre la representación correcta del conocimiento. Este modelo es una extensión de los modelos de recubrimiento, permitiendo un razonamiento más sofisticado sobre los conceptos del dominio y no limitándose a determinar si el alumno conoce o no esos conceptos. Cada vez que se viola una restricción sobre el dominio, se tendrá que llevar a cabo una actualización del modelo. Desde el punto de vista computacional, este tipo de modelos son simples, no estableciendo ninguna estrategia tutorial particular.

B) Estructura de Representación del Modelo del Alumno

La información contenida en el modelo del alumno puede almacenarse de muchas formas distintas: en un vector, en una red semántica, en una red bayesiana, en forma de afirmaciones, etc. [27], [36], [39]. Los componentes de un STI se organizan de acuerdo con los criterios pedagógicos, estos criterios determinan la representación del conocimiento en el modelo de dominio, modelo del alumno y su proceso de actualización. En [20] se analizaron las estructuras clásicas de representación de conocimiento para STI, tal estructura puede ser desarrollada mediante el uso de diferentes enfoques, dos de los enfoques más utilizados son:

1. *Redes Semánticas Conceptuales*: En los modelos tradicionales de enseñanza, para contribuir a una mejor comprensión, las materias (cursos o asignaturas) suelen estructurarse en partes, divididas a su vez en subpartes, y así sucesivamente. De esta forma, se obtienen jerarquías con granularidad variable, denominadas currículos. La granularidad de un dominio hace referencia al nivel de detalle o perspectiva desde la que los conceptos pueden ser vistos [9], [40]. Una representación del conocimiento común adoptada en los STI consiste en
-

una red jerárquica acíclica, donde los nodos son conceptos y los conceptos relacionados están conectados por arcos o flechas [41]. En la literatura, existen muchas propuestas [42], [43] en los que esas partes reciben nombres diferentes según su nivel dentro de la jerarquía: temas, conceptos, entidades, capítulos, secciones, definiciones, etc. La relación entre los nodos pueden ser de diferentes tipos: agregación, parte de, etc. (Ver figura 8).

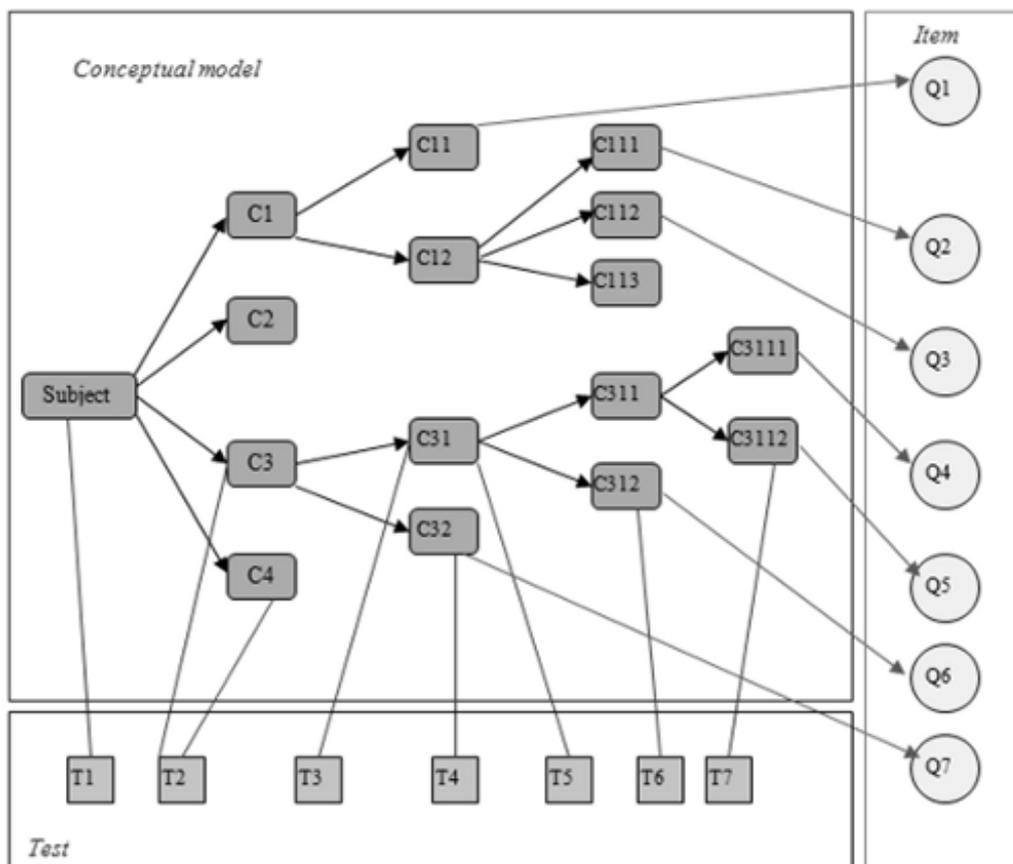


Figura 8. Red semántica conceptual [9]. Donde C=conceptos, T=Test y Q=ítems.

2. *Redes Bayesianas:* Las redes bayesianas [44], también llamadas redes de creencia, permiten realizar razonamientos probabilísticos en sistemas complejos de relaciones entre datos y resultados. Son grafos dirigidos en los que sus nodos representan variables aleatorias, los arcos representan relaciones de influencia causal entre ellos. Los parámetros usados para representar la incertidumbre son

las probabilidades condicionadas de cada nodo, dado los diferentes estados de sus padres y donde cada nodo tiene un número de estados. Cada nodo tiene asociado una función de probabilidad que toma como entrada un conjunto particular de valores de las variables padres del nodo y devuelve la probabilidad de la variable representada por el nodo. Al igual que las redes conceptuales las redes Bayesianas se utilizan para representar jerárquicamente la estructura de un dominio de conocimiento (o una parte del dominio) (Ver Figura 9). De la misma manera, la granularidad de un dominio representado hace referencia al nivel de detalle o perspectiva desde la que los conceptos pueden ser vistos [9], [40].

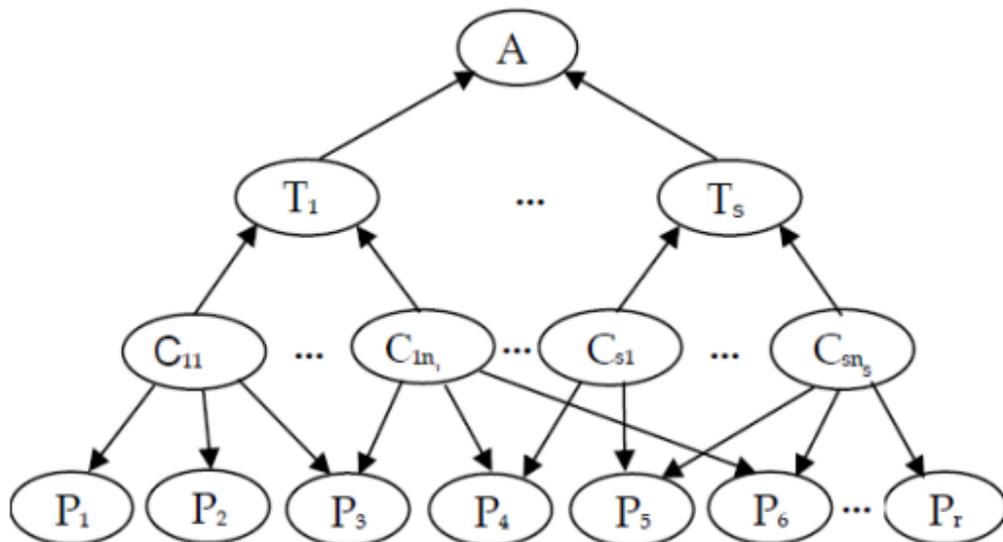


Figura 9. Representación mediante una red Bayesiana [21]. Donde A=Asignatura, T=Tema, C=conceptos y P=ítems.

C) Proceso de Diagnóstico

La estructura elegida para representar el conocimiento del alumno debe inicializarse cuando la interacción con el sistema comienza. Para ello disponemos de varias opciones: utilizar la información disponible acerca del alumno, pedirle que se clasifique en clases o estereotipos de alumnos previamente definidos, realizar tests previos (pre-test), etc. [21]. Una vez que el modelo del alumno se ha inicializado comienza la

interacción con el sistema. El procedimiento de diagnóstico elegido actualizará el modelo del alumno tras sus interacciones con el sistema. Este tema lo veremos en mayor detalle en la sección 2.7.

2.5 Modelo Pedagógico o Modelo de Instrucción

El modelo pedagógico o también llamado modelo de instrucción corresponde a la función *cómo se enseña*. Constituye por tanto, las estrategias de enseñanza o estrategias tutoriales [30], [45]. Es decir, cómo el sistema debe presentar el material educativo al alumno, las respuestas a los interrogantes y las orientaciones durante el proceso de enseñanza.

La literatura [35], [45] resalta que un STI debe incluir características tutoriales que le otorguen capacidad de asumir el control sobre la representación del conocimiento, capacidad de responder a los interrogantes de los estudiantes y capacidad para seleccionar la ayuda más adecuada en cada momento. Las características mencionadas toman forma según un marco pedagógico, el cual orienta las estrategias tutoriales que utilizará el STI.

En esta sección, primero analizamos la influencia del marco pedagógico en la definición de las estrategias tutoriales. Luego, exponemos los desafíos que presenta el modelo de instrucción.

2.5.1 Marco Pedagógico y Ontológico

Nwana [17] en su trabajo de revisión sobre arquitecturas STI, señala la estrecha relación entre la arquitectura y el paradigma o filosofía de tutoría, sosteniendo que las diferentes filosofías de tutoría/pedagógicas enfatizan los diferentes componentes del proceso de aprendizaje: dominio, alumno o tutoría. Este énfasis se refleja en el diseño arquitectónico de un STI y conduce a una variedad de arquitecturas, que individualmente, no pueden soportar todas las estrategias de tutoría/pedagógicas. En [5] se plantea la necesidad de contar con un marco pedagógico explícito que oriente el diseño de un STI y se exponen algunas de las ventajas que esto proporciona: (1) tomar

decisiones después de la reflexión y el razonamiento, (2) explicar sus decisiones de diseño, (3) comprobar la coherencia de las decisiones de diseño, (4) producir entornos de aprendizaje “explorable”, y (5) tener un conocimiento heurístico bien fundamentado en el conocimiento teórico.

Por otra parte, en [6] se señala que el diseño orientado desde un solo marco pedagógico ha originado propuestas de herramientas para el diseño de STI con resultados aceptables pero algo restringidos desde el punto de vista metodológico. Algunos ejemplos son CREAM-Tools [5], ACR-T [46] y C-TAT [47].

En [30] y [48] se propone definir una ontología de la educación a fin de dar soporte a un conjunto de teorías o marcos pedagógicos y dotar de mayor flexibilidad al diseño de componentes de un STI, si bien la meta es ambiciosa todavía deja abierta aspectos relativos a la complejidad de su aplicación.

Alternativamente en [49], [50] se utiliza el marco EBC como modelo pedagógico de referencia para definir una arquitectura STI, el marco EBC es ecléctico en su concepción de enseñanza y aprendizaje y admite la ventaja de incorporar diferentes estrategias didácticas, de seguimiento y evaluación con diferentes enfoques epistemológicos: cognitivista, constructivista y socio constructivista, combinando sencillez y flexibilidad.

En [6] se expone que las estrategias educativas de tutoría pueden estar inspiradas en la teoría o marco pedagógico, en la práctica o en ambas. A un nivel más específico las teorías del aprendizaje intentan explicar los fenómenos de aprendizaje a través de un mecanismo de aprendizaje y consecuentemente a través de estados, acciones y eventos. El mecanismo está determinado por el paradigma: el conductismo ve el aprendizaje como una asociación, el cognitismo como procesamiento de la información, el constructivismo como construcción mediante interacción y el socio constructivismo como interacción social. Las estrategias educativas se derivan de estas teorías y en la ontología de la educación denominada OMNIBUS [6], son llamadas teorías de referencia, permitiendo a los autores tomar decisiones de diseño vinculadas de forma explícita a una teoría.

2.5.2 Desafíos del Modelo de Instrucción

En base a estudios de tutores humanos Van Lehn [51] sostiene que el sistema debe dar información y sugerencias en secuencia de especificidad cada vez mayor. Es importante considerar que las características de buen tutor de un profesor humano en el aula no pueden extrapolarse de forma directa al contexto de interacción de un STI.

Además Bourdeau [30] menciona que el reto principal para el componente de tutoría de un STI es el diseño de las interacciones con el fin de obtener una adaptación precisa y dar forma al comportamiento tutorial con un razonamiento rápido sobre los datos de las interacciones entre el alumno y el sistema en tiempo real. Al respecto, sostienen que los interrogantes abiertos son: la tecnología, las dimensiones afectiva, cognitiva y contextuales y los juegos digitales.

1. *Tecnología*: La dimensión tecnológica continúa beneficiándose de los avances en el Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN bibliotecas de software), computación gráfica (nuevas interfaces), agentes virtuales y avatares de apariencia humana.
 2. *Dimensión afectiva, cognitiva y contextual*: El afecto ha demostrado que tiene efectos significativos en el aprendizaje. Con los recientes avances en el seguimiento de los rasgos faciales y otras técnicas de reconocimiento afectivo, es posible diseñar herramientas interactivas que reconocen y responden de acuerdo a los estados afectivos del estudiante. Por ejemplo en [52] se utilizan sensores para registrar la actividad fisiológica y compararlos con los autoinformes de los estudiantes sobre las emociones. Con la web semántica el proceso de tutoría ya no se limita a la tutoría del módulo en el STI ya que ahora se puede extender e integrar en el Sistema de Gestión de Aprendizaje (LMS por sus siglas en inglés) y en los Repositorios de Objetos de Aprendizaje (LOR por sus siglas en inglés).
 3. *Juegos digitales*: Otro aspecto a tener en cuenta es cómo se produce el aprendizaje en contextos radicalmente diferentes de escolaridad, por ejemplo, juegos de video y sistemas de apoyo en el lugar de trabajo. El término "*juego serio*" se utiliza para nombrar una variedad de sistemas, la mayoría de ellos basados en la simulación de micro-mundos, una completa descripción y
-

clasificación de juegos serios se encuentra en el trabajo de Álvarez y Rampnoux [53].

2.6. Modelo de Interfaz

A través del modelo de interfaz se lleva a cabo la interacción hombre-máquina [1], [20]. Es necesario un esfuerzo adicional en el desarrollo de esta parte de la arquitectura, haciéndola intuitiva y transparente al usuario alumno. Se siguen los principios del diseño, implementación y evaluación de Sistemas Computacionales Interactivos para su utilización por seres humanos (HCI: Human Computer Interaction), es decir que estudian y tratan de poner en práctica procesos orientados a la construcción de interfaces lo más usables posible, y con alto grado de facilidad en el uso del sistema interactivo [54].

Burton [55] destaca las seis cuestiones básicas que deben considerarse en el diseño del entorno: (1) Aspectos del dominio que se desean representar. (2) Nivel de abstracción de la representación. (3) Fidelidad de la representación. (4) Orden en la presentación de contenidos. (5) Herramientas de corrección y ayuda. (6) Nivel de control que ejercerá la herramienta.

Desde las interacciones iniciales basadas en texto simple (Figura 10) en los primeros STI [23], se ha evolucionado a interfaces que dan acceso a elementos del dominio a través de múltiples formas de entornos de aprendizaje , incluyendo simulaciones [56], hipertexto , micro-mundos [20].

Los avances actuales en este campo se enfocan en integrar diferentes tipos de interfaces, en un mismo entorno.

A continuación vamos a describir brevemente dos de los nuevos enfoques que integran los tipos de interfaces mencionados anteriormente. (i) Entornos de aprendizajes narrativos [28], [57]. (ii) Entorno virtual de aprendizaje con componente afectivo [28].

Student:	Now what is the output
SOPHIE:	The output voltage is 1.2 volts. . .
Student:	Is that right?
SOPHIE:	In a working circuit the output voltage is 30.1 volts. That value is incorrect.
Student:	What is the voltage between the current limiting transistor and the constant current source?
SOPHIE:	The voltage at N4 is 2.48 volts.
Student:	What could be wrong?
SOPHIE:	Here are some faults which explain the measurements you observed: the beta of Q3 is low; the beta of Q4 is low or R22 has the wrong resistance
Student:	What would the output voltage be if the beta of Q3 were 8?
SOPHIE:	If the beta of Q3 were 8 under the present setting, the output voltage would be 10.5 volts. In a working circuit it is 19.9 volts.
Student:	Is the emitter current of Q4 correct?
SOPHIE:	The emitter current of Q4 is -61 milliamperes. In a working circuit the emitter current of Q4 is -49 milliamperes. That value seems to be incorrect.
Student:	Could R22 be low?
SOPHIE:	Is it OK if I use 25 ohms for the resistance of R22?
Student:	Yes.
SOPHIE:	That fault agrees with all of the measurements you have made.

Figura 10. Interfaz en el STI SOPHIE [23].

A) Entornos de Aprendizajes Narrativos

La narrativa ha sido una forma importante de transmisión de conocimiento a través de las generaciones, y es innato a la naturaleza humana. La narrativa es también un valioso instrumento para estructurar el conocimiento y para que nos ayude en el proceso de construcción de significados. Los psicólogos cognitivos reconocen a la narrativa como un aspecto relevante para nuestra forma de almacenar y dar sentido a la experiencia episódica, a menudo descrito como el fenómeno de la construcción narrativa de la realidad [58].

Los STI basados en Entornos de Aprendizajes Narrativos (EAN) buscan promover que los estudiantes participen activamente en las actividades de resolución de problemas centradas en historias cautivadoras y que giren alrededor de situaciones enriquecedoras. Mediante el enfoque narrativo, es posible lograr una aplicación que puede ayudar a los alumnos mediante la ilustración de los fenómenos y procedimientos. Motivándolos a participar activamente en la construcción de la propia narrativa, la exploración de las tareas de aprendizaje, el razonamiento sobre los elementos del entorno y la reflexión sobre la sesión de aprendizaje [28], [59], [60]. Además los ambientes de aprendizaje

pueden facilitar las actividades relacionadas con el aprendizaje, tales como juegos de rol y exploración y el intercambio de ideas. Crystal Island es un ejemplo de STI basado en EAN para la enseñanza de la microbiología y la genética [57]. Crystal Island incluye agentes personificados animados que desarrollan empatía (pueden expresar emociones) con el fin de promover la motivación intrínseca en los estudiantes (Figura 11).



Figura 11. Interfaz de interacción de Crystal Island, entorno de de aprendizaje para la enseñanza de microbiología y genética [57].

B) Entornos de Aprendizajes Virtuales con Componente Afectivo

Un Sistema Tutor Inteligente Emocional (STIE) es un STI que incluye capacidades funcionales para: (i) conocer las emociones alumno y, (ii) inducir emociones en el alumno con el fin de mejorar su rendimiento [61]. Para lograr estos objetivos, un STIE requiere las condiciones siguientes [28]:

1. Conocer el estado emocional actual del alumno.
 2. Determinar el impacto de una acción sobre el estado emocional de alumno.
 3. Identificar el estado emocional más ventajoso de un alumno para mejorar su rendimiento.
-

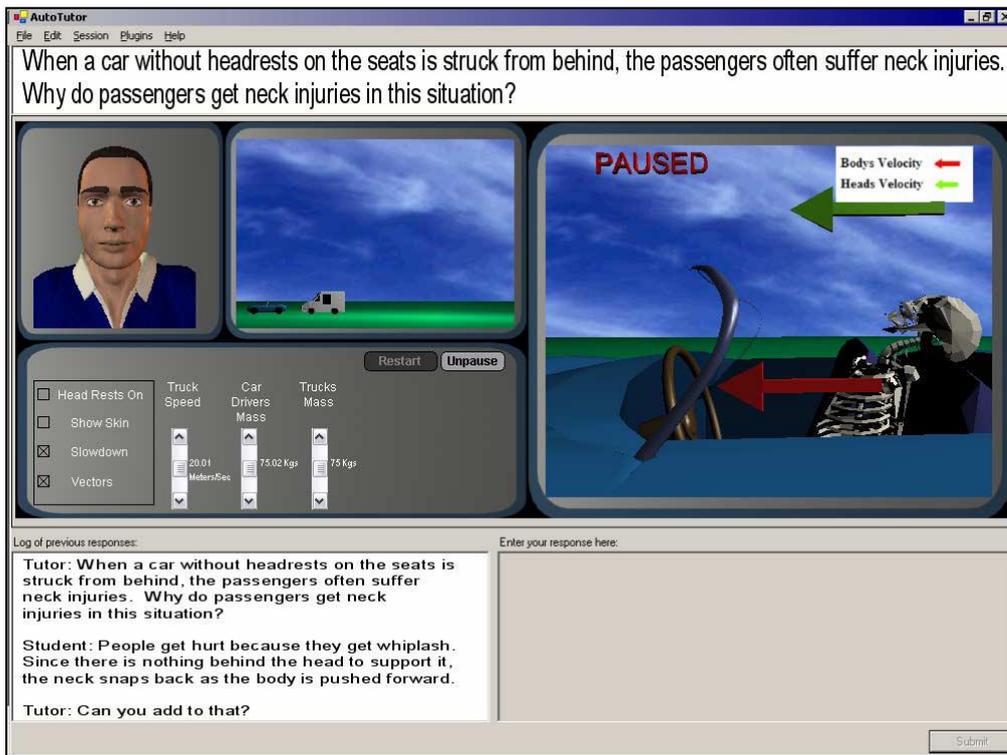


Figura 12. Interfaz con agente tutor personificado afectivo en Autotutor [56].

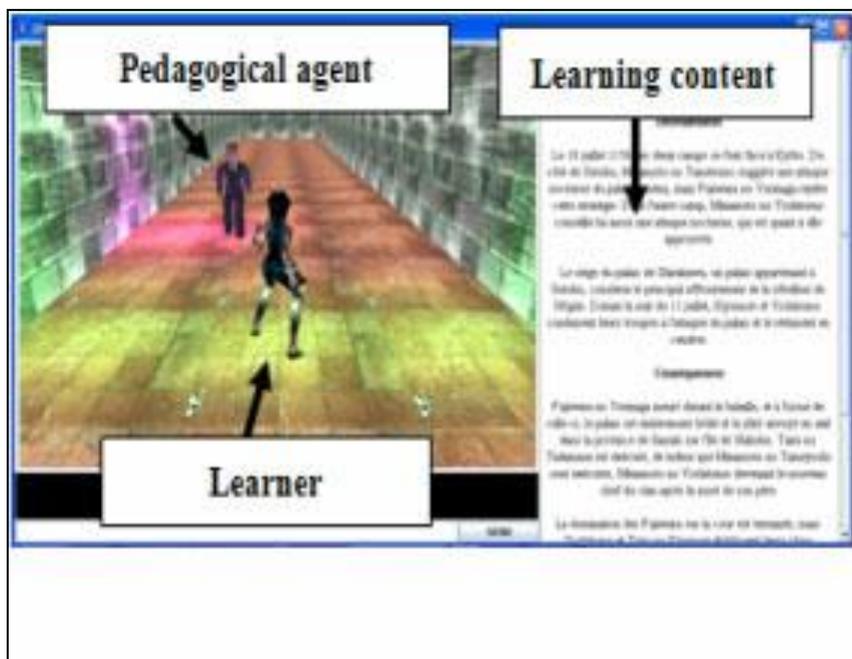


Figura 13. Interfaz de interacción con agente tutor personificado MOCA (Motivational and Culturally Aware System) [62].

Las relaciones afectivas entre el estudiante y el STIE alcanzan un nuevo estadio en los Entornos de Aprendizajes Virtuales que incluyen componente Afectivo (EAVA). El EAVA incluye un Agente Afectivo (AF), el cual se puede definir como una representación digital, visual de una interfaz que toma una forma humana. Cuestiones afectivas como la empatía y la motivación han sido implementadas de varias formas en un amplio rango de diferentes EAVA [28]. Dos ejemplos de este tipo de interfaces son y AutoTutor [56], [63] (Figura 12) y MOCA (Motivational and Culturally Aware System) [62] (Figura 13).

Sobre el futuro McCalla [64] sostiene que los STI puede tomar ventaja de estos nuevos enfoques mediante la implementación de nuevas estrategias pedagógicas. Que junto con las posibilidades de la web como fuente de información, el potencial de las redes sociales para la interacción entre los alumnos, lleven al surgimiento propuestas que incluyan técnicas de recomendación para encontrar la información adecuada o incorporar ayudantes para los estudiantes que se enfrentan a un problema determinado del itinerario educativo, incorporar agentes inteligentes como compañeros para ayudar y guiar a un estudiante a través del vasto depósito de información en línea, esto obviamente afectará al diseño y las posibilidades que ofrecen las interfaces.

2.7 Proceso de Diagnóstico

El diagnóstico es el proceso por el cual se evalúa el nivel de conocimiento o competencias del alumno y en función de los resultados obtenidos actualiza la información contenida en su modelo. Muchos STI utilizan Tests Adaptativos Informatizados (TAI) en el diagnóstico [50], [65]. Un TAI es un instrumento de evaluación adaptativo que presenta un ítem (pregunta) iterativamente al estudiante, cada ítem es seleccionado en base a la estimación del nivel de conocimiento, obtenido de los ítems previamente administrados al alumno y de acuerdo a algún criterio como máxima información, mínima entropía, dificultad, etc. [9], [10], [11]. Para implementar un TAI se utiliza la herramienta matemática bien establecida denominada Teoría de Respuesta al Item (TRI).

En esta sección, en primer término introducimos conceptos asociados a los test como dispositivos de evaluación. En segundo lugar describimos brevemente el funcionamiento y evolución de los diferentes tipos de tests administrados por computador. En tercer término caracterizamos los test adaptativos informatizados. Finalmente analizamos el modelo de TAI cognitivo, señalando algunas limitaciones y cuestiones que pueden mejorarse en dicho modelo.

2.7.1 Los Tests en la Evaluación

Los tests constituyen herramientas de evaluación ampliamente extendidos por su generalidad, facilidad de implementación y corrección automática. Según la Real Academia de la Lengua Española, un test *“es una prueba destinada a evaluar conocimientos o aptitudes, en la cual hay que elegir la respuesta correcta entre varias opciones previamente fijadas”*. En su forma más simple, se compone de un conjunto de instrumentos de medida (preguntas o tareas), que un cierto sujeto debe completar, y que suelen recibir el nombre genérico de *ítems*.

Con el auge de los Computadores Personales (PC por sus siglas en inglés) a finales de la década del ochenta empezaron a implementarse tests de soporte electrónico, surgiendo los denominados *Tests Administrados por Computador (TAC)* [66]. Desde estos primeros TAC de características secuenciales y rígidas se ha evolucionado a los sofisticados *Tests Adaptativos Informatizados (TAI)* actuales, que son los utilizados como dispositivos de evaluación en la gran mayoría de los STI.

Brusilovsky y Miller [67] afirman que dentro de los sistemas educativos actuales, los tests representan uno de los componentes más utilizados para la evaluación. Los tests de evaluación se utilizan en este ámbito como instrumento para medir el conocimiento del alumno en una determinada disciplina. La evaluación basada en tests es esencial para lograr un proceso de aprendizaje óptimo [68] en aquellos sistemas en los que, junto con la corrección de cada pregunta, se muestra además un refuerzo. Estos últimos son piezas de conocimiento que contribuyen a que el alumno corrija conceptos aprendidos de forma errónea, o bien aprenda otros nuevos, desconocidos hasta ese momento. Además, los resultados de un individuo en un test, construido con fundamentos teóricos sólidos,

son una fuente fiable de evidencias sobre si éste ha asimilado los conceptos evaluados. Mediante tests se pueden actualizar los datos que una herramienta de este tipo posee sobre el estudiante, los cuales se almacenan en el modelo del alumno.

En un STI los tests podrán utilizarse de distintas formas y en diferentes momentos: antes del inicio del proceso aprendizaje, se hace uso de los denominados *pretests*, que permiten inferir los conocimientos previos o nivel inicial del conocimiento del alumno. Durante éste, pueden utilizarse como complemento adicional mediante los *tests de autoevaluación* anteriormente mencionados, o como medida de la evolución del aprendizaje del individuo. Finalmente, cuando acaba la instrucción un *post-test* permite medir el grado de aprendizaje que ha alcanzado el alumno.

2.7.2 Tests Administrado por Computador (TAC)

Con la proliferación de los PC a finales de la década de los ochenta, empezaron a realizarse tests sobre soporte electrónico surgiendo los denominados Tests Administrados por Computador (TAC) [66]. Entre las ventajas de este tipo de tests está la posibilidad que ofrecen al alumno de realizar tests en cualquier momento y en cualquier lugar junto con la inmediatez de resultados. Además como señala Guzmán [65] permiten la inclusión de nuevos formatos de ítems con contenidos multimedia tales como imágenes, video, audio, etc. [69] y nuevos tipos de ítems como ser, ítems de respuesta corta, ítems de ordenación, ítems de relación, etc. [70].

Guzmán [65] en base al trabajo de Patelis [71] hace una clasificación de tests informatizados de acuerdo al criterio definido por el método de selección de preguntas (Figura 14), es decir, de acuerdo a la forma de adaptación de la pregunta al perfil o comportamiento del alumno durante la realización del test. Como consecuencia, es posible distinguir las siguientes categorías de tests informatizados:

1. *Tests Lineales.*
 2. *Tests lineales "sobre la marcha".*
 3. *Testlets.*
 4. *Tests con referencia a un criterio.*
 5. *Tests Auto-adaptados Informatizados.*
-

6. Tests Adaptativos Informatizados.

Seguidamente describimos cada uno de estos tipos de tests.



Figura 14. Tipos de Tests [65])

1. *Tests lineales* (en inglés, *linear tests*): Se administran de forma no adaptativa y los ítems se presentan de manera secuencial. En estos tests, el número de ítems es predeterminado y se administran los mismos ítems a todos los alumnos. Son la versión informatizada de los tests convencionales de lápiz y papel. Se apunta a crear un entorno en el que las propiedades psicométricas de los ítems sean las mismas que el contexto de aplicación convencional. Los ítems se presentan en la misma secuencia y de la misma manera que en un test convencional. Es posible revisar libremente y cambiar respuestas anteriormente dadas por el alumno. Estos tests tienen la ventaja de ser fáciles de implementar pero en contrapartida, dado que los ítems son los mismos y se presentan en igual orden, existe el riesgo que los alumnos puedan copiarse las respuestas.
 2. *Tests lineales "sobre la marcha"* (en inglés, *linear-on-the-fly tests*): A cada estudiante examinado se le administra un test diferente de longitud fija. Los ítems son diferentes para cada alumno, y su selección se lleva a cabo con anterioridad al comienzo del test, conforme a una especificación de contenido y propiedades psicométricas. Por tanto se requiere disponer de un amplio banco de ítems que permitan construir tests diferentes para múltiples alumnos.
Se incrementa la seguridad respecto de los tests lineales, ya que a cada estudiante se le suministra un test diferente. Además se continúa manteniendo la ventaja de que los alumnos, pueden modificar las respuestas anteriores en cualquier momento.
 3. *Testlets*: Un testlet es un conjunto de ítems que se consideran una unidad y que se
-

administran juntos. Se construyen de forma dinámica durante la realización del test, a partir de la dificultad de los ítems o de alguna especificación dada a priori por los expertos; por ejemplo, un conjunto de ítems sobre un enunciado común. En este tipo de tests, los alumnos pueden modificar las respuestas en cualquier momento, durante su ejecución.

4. *Tests con referencia a un criterio* (en inglés, *criterion-referenced tests, proficiency tests, mastery tests, basic skill tests*): Estos tests [72] se utilizan para tomar decisiones precisas sobre la aptitud en una cierta disciplina, objetivo, destreza o competencia; es decir, no cuantifican el conocimiento sino mas bien ayudan a determinar la aptitud sobre el mismo. Una de sus ventajas es la eficiencia, ya que los alumnos son clasificados en función de reglas de decisión simples. Cuando incluyen más de un objetivo, los ítems que cubren cada objetivo se organizan en subtests y el rendimiento de los examinandos es evaluado en cada uno de los objetivos [73]. Gran parte de estos tests se construyen realizando un muestreo aleatorio a partir del conjunto (o banco) de ítems, de aquellos que pertenecen a un dominio particular, y asumiendo que el rendimiento de los alumnos es el mismo que si se hubieran suministrado todos los ítems de ese dominio del banco. La selección de los ítems se hace de forma aleatoria, para cada alumno examinando, y nunca en función de su nivel de conocimiento.
 5. *Tests Auto-adaptados Informatizados* (TAAI) (en inglés, *Computerized Self-Adapted Tests*): Surgen a finales de la década del 80 [74], y permiten al alumno elegir el nivel de dificultad de los ítem que le van a ser suministrados. El banco de ítems se divide en categorías (entre cinco u ocho) ordenadas por dificultad. El proceso de aplicación de un test de este tipo es el siguiente: (1) El examinando elige el nivel de dificultad del primer ítem. (2) Se le administra uno de esa categoría elegido al azar. (3) Tras responderlo, se le suministra un refuerzo sobre el resultado, y se pide que vuelva a elegir la dificultad del siguiente ítem. (4) Se repiten los pasos de 2 a 4 hasta que se han aplicado un número determinado de ítems, o bien, se ha estimado el conocimiento del alumno con la precisión requerida. La forma de inferir la estimación de conocimiento es la misma que emplean los Tests Adaptativos Informatizados. Los TAAI fueron ideados a partir
-

de un análisis de un test relativamente fácil en el que se descubrió que el nivel de ansiedad del individuo influía en los resultados, ocasionando que aquellos estudiantes examinados con baja ansiedad obtuvieran peor resultado que los de ansiedad moderada; justo lo contrario que sucedía en un test relativamente difícil [70]. Esto llevó a la conclusión, de que la ansiedad es un factor que influye en el rendimiento de los alumnos. Los TAAI fueron ideados para estudiar hasta que punto los examinandos eran capaces de elegir la dificultad para la que se optimiza su propio rendimiento.

6. *Tests Adaptativos Informatizados (TAI)* (en inglés, *Computerized Adaptive Tests*): En los TAI las preguntas se van seleccionando en función de la respuesta que el alumno haya dado a la pregunta anterior. Cada ítem viene caracterizado por un conjunto de parámetros. Estos se calculan mediante un proceso denominado *calibración*, a partir de los resultados de tests realizados con esas mismas preguntas de forma no adaptativa. Para determinar la siguiente pregunta que debe mostrarse al alumno, así como para determinar el procedimiento de inferencia de su conocimiento y cuándo debe finalizar el test, principalmente se utiliza la denominada *Teoría de Respuesta al Ítem (TRI)* (en inglés, *Item Response Theory*) [75]. No obstante existen otras propuestas de TAI que no hacen uso de la TRI, como por ejemplo los tests ramificados. Dado que en esta memoria de investigación proponemos dos extensiones de TAI como herramienta de diagnóstico de la nueva arquitectura del STI-C, en la siguiente subsección caracterizaremos en mayor detalle a los TAI.

2.7.3 Tests Adaptativos Informatizados (TAI). Caracterización

Un TAI es una herramienta de medida administrada a los alumnos por medio de un PC [75], [76]. En general, los ítems se muestran de uno en uno, y la presentación de cada uno de éstos, así como la decisión de finalizar el test y la evaluación del alumno se llevan a cabo dinámicamente, basándose en las respuestas del alumno. Más precisamente un TAI es un algoritmo iterativo que comienza con una estimación inicial del conocimiento del alumno y continúa con los siguientes pasos [21] (ver Figura 15):

1. Todos los ítems, que no han sido administrados todavía, son analizados para determinar cuál de ellos contribuye en mayor medida a una mejor estimación del conocimiento del alumno.
2. El ítem se muestra al alumno.
3. En función de la respuesta elegida por el alumno, se estima el nuevo nivel de conocimiento de éste.
4. Los pasos del 1 al 3 se repiten hasta que el criterio de finalización del test se satisfaga (Ver Figura 15).

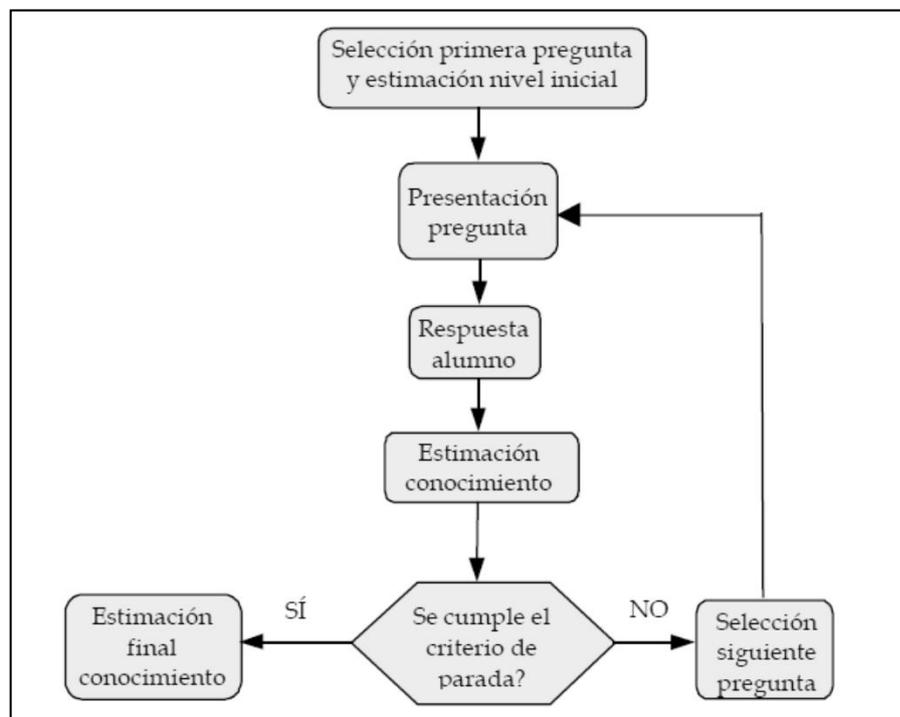


Figura 15. Esquema de un Test Adaptativo (Adaptado de [76], [21])

Los criterios para la selección del ítem que debe mostrarse al alumno en cada momento, la decisión de finalizar el test, y la estimación del conocimiento del alumno se basan, en general, en procedimientos bien fundamentados. La selección de ítems y el criterio de parada del test son, por tanto, adaptativos. El número de ítems de un TAI no suele ser fijo, y a cada alumno se le mostrará una secuencia diferente de ítems, e incluso diferentes ítems.

Cada ítem viene caracterizado por un conjunto de parámetros. Estos se calculan mediante un proceso denominado *calibración*, a partir de los resultados de tests realizados con esas mismas preguntas de forma no adaptativa. Cuando estos parámetros están bien determinados, se dice que los ítems están bien calibrados.

Para determinar la siguiente pregunta que debe mostrarse al alumno, así como para determinar el procedimiento de inferencia de su conocimiento y cuándo debe finalizar el test, principalmente se utiliza la denominada Teoría de Respuesta al Ítem (TRI) [21], [65], [75].

Los elementos principales a tener en cuenta en el desarrollo de un TAI son los siguientes:

1. *Un modelo de respuesta asociado a los ítems.*
2. *Un banco de ítems.*
3. *Nivel de conocimiento inicial.*
4. *Criterio de selección de ítems.*
5. *Criterio de finalización.*

Seguidamente describimos cada uno de los elementos mencionados.

1. *Modelo de respuesta asociado a los ítems:* Este modelo describe el comportamiento del alumno en el momento de responder, en función de su nivel de conocimiento estimado.
 2. *Banco de ítems:* Es uno de los componentes más importantes de un TAI, ya que cuanto mejor sea su calidad, los tests adaptativos serán más precisos. El desarrollo de un buen banco de ítems es la fase más tediosa en la construcción un TAI, ya que éste debe contener un gran número de ítems correctamente calibrados. Diversos autores como Flaugher [77], Barbero [78] proponen guías de recomendación a seguir en el proceso de desarrollo y construcción de bancos de ítems.
 3. *Nivel de conocimiento inicial:* Es muy importante llevar a cabo una buena estimación inicial del nivel de conocimiento del alumno, ya que ésta determinará la extensión del test. Los criterios generalmente utilizados son: la media de los niveles de conocimiento de los alumnos que hayan realizado el test con
-

anterioridad, creación de un perfil y utilizar la media de los alumnos que sean clasificados con ese perfil [79], etc.

4. *Criterio de selección de ítems*: El mecanismo de adaptación propio de los TAI se encarga de seleccionar el siguiente ítem que debe mostrarse al alumno en cada momento. Esta decisión se toma en función del nivel de conocimiento estimado, obtenido a partir de los ítems administrados al alumno con anterioridad. Seleccionar el ítem más informativo que mejor contribuya a la estimación, mejora la precisión del test y reduce su número de ítems. Algunos de los criterios de selección propuestos en la literatura [9], [10], [11] son, criterio de máxima precisión esperada, criterio basado en la dificultad, criterio basado en la información. Estos criterios generalmente son utilizados dentro de un TAI de forma individual y fija.
5. *Criterio de finalización*: Para decidir cuando terminar el test, existen diversos modos; el más apropiado, desde el punto de vista de la adaptación, es aquel que finaliza el test cuando la precisión en la estimación del nivel de conocimiento del alumno es mayor que un cierto umbral predefinido. Otros criterios no adaptativos utilizados son: alcanzar el máximo número de ítems permitidos en un test, agotar el tiempo límite requerido para completar el test, etc.

Algunas de las ventajas del uso de TAI han sido ampliamente analizadas en la literatura [75], [80], [81] :

- Estimaciones más precisas del nivel de conocimiento del alumno.
- Reducción significativa en la longitud del test.
- Mejora en la motivación de los alumnos.
- Almacenamiento y manejo de grandes bancos de preguntas.
- La inclusión de contenido multimedia abre la posibilidad de medir aspectos del conocimiento difíciles de evaluar en los tests tradicionales.

La desventaja principal de los TAI es su factibilidad técnica, debido a que antes de utilizarlos se requiere haber administrado sus ítems a un gran número de alumnos de forma no adaptativa, sin utilizar criterios de evaluación basados en la TRI y en un entorno controlado, para poder calibrarlos. Por este motivo, el uso de TAI suele estar restringido a grandes instituciones u organizaciones con la infraestructura necesaria.

Entidades como el Educational Testing Service (ETS) son los encargados de la creación y administración de algunos de los TAI más prestigiosos como el GRE (Graduate Record Examination) [82]; los tests del CAT-ASVAB (Computerized Adaptive Testing version of the Armed Services Vocational Aptitude Battery) [83], la batería de tests sobre aptitud vocacional para las fuerzas armadas. Otro de los test estandarizados de gran difusión es el TOEFL (Test of English as a Foreign Language), que se utiliza en 88 países para evaluar el conocimiento de la lengua inglesa de extranjeros, su aprobación es requisito indispensable realizar estudios en las universidades norteamericanas.

2.7.4 Modelo de Evaluación Cognitiva Mediante TAI

El modelo de TAI cognitivo desarrollado por Guzmán [9] tiene particular influencia en nuestra propuesta de diagnóstico ya que intenta mejorar algunos de los inconvenientes de los TAI basados en la TRI. Por ello, en primer lugar exponemos las características del modelo de respuesta del TAI Cognitivo. En segundo lugar la estructura del modelo de dominio. Finalmente describimos el tipo de modelo del alumno y cómo se actualiza la información del mismo.

A) Modelo de Respuesta del TAI Cognitivo. Características

El modelo de respuesta que propone el TAI cognitivo tiene las siguientes características:

1. *Discreto*: Evalúa niveles de conocimiento discretos sin perder rigurosidad.
 2. *Cuasipolitémico*: Permite evaluar ítems con múltiples respuestas, cuya calibración ha sido mejorada para favorecer el rendimiento computacional.
 3. *No paramétrico*: Las Curvas Características de Opción (CCO) obtenidas en la calibración de ítems y el método de inferencia aplicado no requieren parámetros, alcanzando una precisión igual o superior a los métodos paramétricos.
 4. *Arquitectura*: El modelo de dominio almacena una representación de parte del conocimiento del dominio que tiene el profesor (que es el experto en este ámbito). Este conocimiento se expresa mediante una red de conceptos que
-

permita establecer una secuencia en la que los alumnos deben estudiar esos conceptos. Las herramientas para el diagnóstico son los ítems y las especificaciones de los tests. Como consecuencia, formalmente, el módulo experto puede verse como una tripleta compuesta por tres grupos:

- El conjunto de conceptos Ω , cuyos elementos están relacionados entre sí formando el modelo conceptual;
- el conjunto de ítems Φ ;
- y el conjunto de especificaciones de tests Π .

En la Figura 16 se muestra una representación gráfica de una posible estructuración del dominio, y su relación con los ítems y tests.

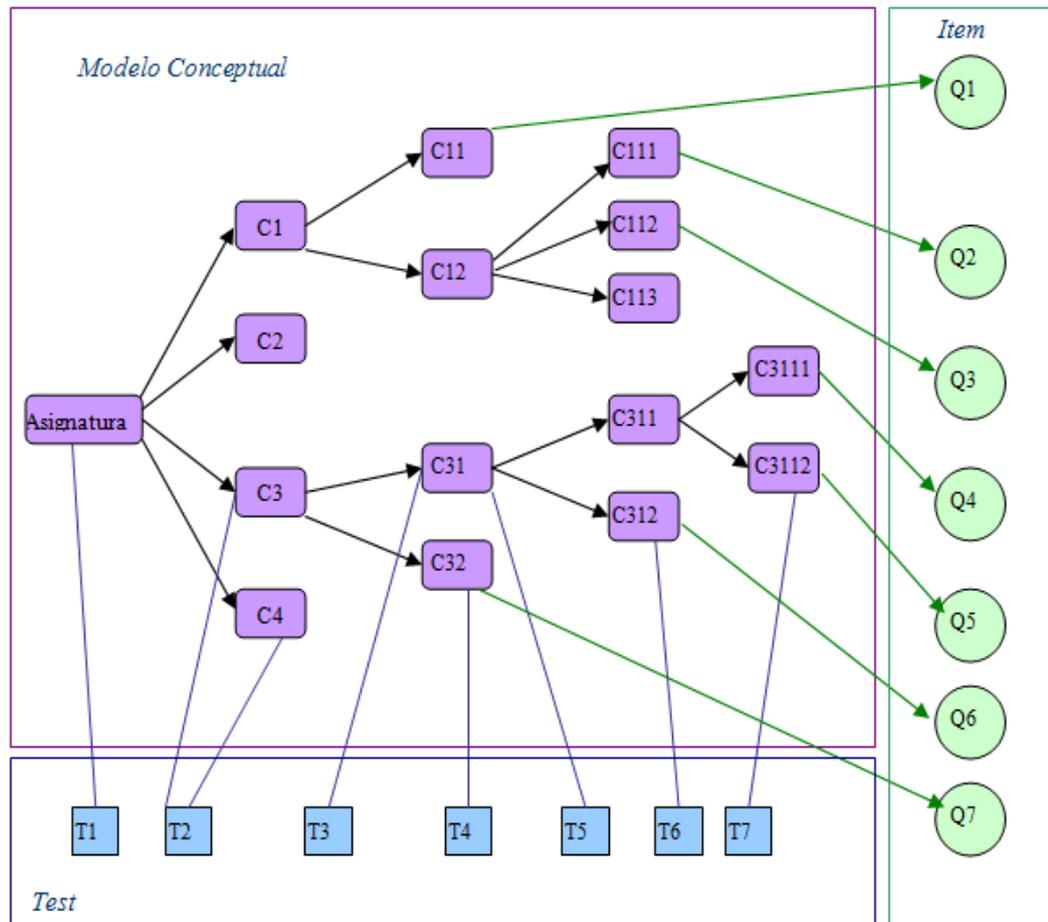


Figura 16. Arquitectura del modelo de dominio [9], [65].

B) Representación del Modelo de dominio

El modelo de dominio se representa mediante una red conceptual, donde los nodos de la misma son las partes (conceptos) en la que se divide una materia y los arcos representan las relaciones entre estas partes o conceptos. La granularidad hace referencia a los niveles de la jerarquía entre los conceptos, el nodo al inicio de la jerarquía representa la materia o asignatura, es decir su estructura curricular.

En cuanto a las relaciones, se asume que los conceptos de un nivel de la jerarquía están relacionados con los niveles inmediatamente anterior y posterior mediante relaciones de agregación "parte-de". Por lo tanto, se considerará que el conocimiento de un conjunto de nodos hijos, forma parte del conocimiento del nodo padre. Genéricamente, se dirá que entre los conceptos existe una relación de inclusión. Como vimos, el modelo de dominio contiene dos componentes claves: (i) El banco de ítems que evalúan a los conceptos. (ii) Los tests y sus especificaciones. Seguidamente describimos cada uno de estos componentes.

- *Banco de ítems:* Los ítems se utilizan como instrumentos para el diagnóstico del conocimiento del alumno en uno o más conceptos. Los ítems son, por tanto, entidades suministradoras de evidencias de cuánto se sabe; ya que a través de ellos, el modelo interactúa con el alumno. En este modelo, cada concepto tendrá asociado un banco de ítems. Durante la construcción del módulo experto el profesor experto añadirá los ítems del banco para cada concepto. Se asume que el ítem Q_i está asociado al concepto C_i si se requiere conocer C_i para resolver Q_i . Cada ítem o mejor dicho cada opción dentro de un ítem tendrá asociado una curva característica de opción (CCO) obtenida en el proceso de calibración en base a la Teoría de Respuesta al Ítem (TRI), para una descripción detallada del proceso de calibración y de todo el modelo ver [9].
 - *Los tests:* Se definen en función de los conceptos que se desea evaluar. La evaluación se realiza en función los ítems relacionados con los conceptos que evalúa el test. Cuando se crea un test en este modelo, se debe suministrar la siguiente información:
 1. Conceptos evaluados directamente.
-

2. Si desea que haya evaluación indirecta de algún tipo.
3. El criterio de selección de ítems que se utilizará.
4. Cómo se inicializará el modelo del alumno.
5. Cuándo debe finalizar el test.
6. Cómo se evaluará al estudiante;
7. El número de niveles de conocimiento en los que se le podrá clasificar.

C) Modelo del Alumno

El modelo del alumno es un modelo de recubrimiento sobre el modelo de dominio, el proceso de diagnóstico inicializa y mantiene actualizado el conocimiento del alumno en cada concepto, en cada nodo de la red de conceptos el conocimiento está representado en una distribución de conocimiento discreta, $P(\theta_i|\vec{u}_i)$, que representa el conocimiento del alumno, θ_i , en ese concepto C_i . El rango de esta distribución son los niveles de conocimiento en los que se evalúa el test, y el dominio, la probabilidad de que el conocimiento del alumno en C_i sea el nivel correspondiente. Cada nodo se inicializa asumiendo una distribución constante, en la que todos los niveles son equiprobables. Asimismo, la suma de las probabilidades de la distribución de un nodo debe ser igual a uno:

$$\sum_{k=0}^{k-1} P(\theta_i = k|\vec{u}_i) = 1. \quad (1)$$

Esta distribución de probabilidades es inferida a partir de las respuestas del alumno a los n ítems del test que evalúan ese concepto, y a los cuales habrá respondido con el patrón de respuestas $\vec{U}_n = \{\vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_3, \dots, \vec{u}_n\}$. Su número de niveles de conocimiento dependerá del grado de detalle con el que el profesor correspondiente quiera evaluar a los estudiantes. Durante la administración de un test, el conocimiento del alumno se estima cada vez que éste responde a un determinado ítem. La actualización de la distribución del conocimiento del examinando se lleva a cabo utilizando una adaptación del método bayesiano propuesto por Owen [84], [85]. Nos interesa fundamentalmente la evaluación del tipo agregada que actualiza las distribuciones de conocimiento de la siguiente manera:

$$P(\theta_t|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_i) = \begin{cases} |P(\theta_t|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1})P_{i\vec{u}_i}(\vec{u}_i|\theta_t)| & \text{si } Q_i \text{ evalúa } C_t, \\ P(\theta_t|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1}) & \text{en otro caso.} \end{cases} \quad (2)$$

Donde $P(\theta_t|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1})$ es la estimación de conocimiento a priori del alumno en C_t , y $P_{i\vec{u}_i}(\vec{u}_i|\theta_t)$ la CCO de la opción del patrón de respuesta.

Una vez actualizadas las distribuciones del conocimiento del alumno, se puede estimar su nivel empleando cualquiera de las dos formas habitualmente utilizadas en los TAI, esto es:

- Esperanza a posteriori (EAP): El valor correspondiente al nivel de conocimiento es la media (o valor esperado) de la distribución de probabilidades.

Formalmente:

$$EAP(P(\theta_t|\vec{u}_n)) = \sum_{k=0}^{k-1} k P(\theta_t = k|\vec{u}_n). \quad (3)$$

- Máximo a posteriori (MAP): El valor correspondiente al nivel de conocimiento es aquél con mayor probabilidad asignada, esto es, la moda de la distribución.

Formalmente:

$$MAP(P(\theta_t|\vec{u}_n)) = \max P(\theta_t = k|\vec{u}_n). \quad (4)$$

2.8 El Modelado del STI y el Dominio de Aplicación

Al inicio del capítulo se expuso que el objetivo principal de un STI es la enseñanza personalizada y adaptada a las características del alumno, el STI conjugará una propuesta formativa sobre un determinado dominio de conocimiento (asignatura, rol profesional, capacidades específicas, etc.). Por lo tanto, en la concepción de un STI subyacen criterios pedagógicos asumidos por el diseñador.

En esta sección se aborda la relación del modelado de componentes de un STI y el dominio de aplicación, y la manera en que esto afecta a la implementación de una propuesta formativa por parte de un docente experto en un dominio (en forma independiente del diseñador).

Para ello se estudian algunos STI desarrollados por otros investigadores con el objetivo de ver, por una parte como representan el modelo de dominio y modelo del alumno y por otra, los problemas expuestos a la hora de implementar el STI en una propuesta concreta.

El problema asociado a la implementación se aborda desde dos vertientes diferenciadas, en primer lugar desde los STI diseñados para cubrir un dominio específico y posteriormente desde los STI diseñados para satisfacer dominios genéricos que posibilitan diseñar la propuesta formativa e implementarla. En el último caso haremos hincapié en los inconvenientes que se plantean en la representación del los modelos de dominio y del alumno así como en su actualización y diagnóstico.

Atendiendo a la manera en que despliegan e implementan las propuestas formativas de un dominio de conocimiento, los STI pueden ser de dos tipos [13], [50]:

- *STI de dominio específico:* Un gran número de STI asumen criterios pedagógicos ajustados a un determinado dominio, donde el diseñador ha hecho las veces de experto o bien a trabajado estrechamente con un experto en el dominio, los modelos y los procesos asociados están finamente ajustados a las necesidades. Siendo rigurosos, estos tipos de STI no presentan inconvenientes de implementación ya que como dijimos están ceñidos a un dominio específico, logrando resultados satisfactorios. La limitación real es que su implementación queda acotada precisamente a un único dominio.
 - *STI de dominio genérico:* Los STI para dominios genéricos tienen el objetivo de proveer un entorno para el diseño e implementación de propuestas formativas de cualquier dominio. El problema surge cuando el docente experto debe adaptar los distintos componentes del diseño curricular a las especificaciones del modelo de dominio y modelo del alumno, que estarán en función de cómo se representa el conocimiento en estos modelos. Otra cuestión es la correcta interpretación de los parámetros que deberá proveer al STI, sobre todo en aquellos cuyo proceso de diagnóstico del alumno hacen uso de heurísticos. Este tipo de STI son recomendados actualmente porque permiten ser adaptados a múltiples dominios de conocimiento, justificando de esta manera el tiempo y esfuerzo de desarrollo e implementación [86], ya que estos STI son más complejos de diseñar.
-

A continuación vamos a referirnos a cada uno de estos tipos de STI, para lo cual describiremos las características importantes que presentan algunos de los STI que han sido implementados y se encuentran en la literatura.

- *Descripción de STI de dominio específico.* Algunos STI de este tipo son:
 - a) *ELM-ART* (Episodic Learner Model Adaptive Remote Tutor) [87], [88]: Es un sistema que funciona a través de Internet para enseñar conceptos básicos del lenguaje de programación LISP. El modelo del dominio de ELM-ART está organizado en una red de conceptos, estructurada jerárquicamente en capítulos, secciones y subsecciones. Estas últimas, a su vez, se descomponen en páginas terminales o unidades. El sistema genera y actualiza un modelo del alumno abierto, inspeccionable e incluso modificable por él mismo. Se trata de un modelo de superposición sobre el modelo de dominio.
 - b) *ActiveMatch*: Es un sistema de enseñanza a través de la Web que genera dinámicamente cursos de Matemáticas adaptados a los objetivos, preferencias, capacidades y necesidades de los alumnos [89]. El conocimiento se estructura en conceptos, que pueden ser definiciones, axiomas, asertos, métodos de prueba, algoritmos, etc. A su vez, pueden estar relacionados con ítems, y pueden ser ejemplos, ejercicios, elaboraciones, motivaciones, o introducciones a nuevos contenidos. Los conceptos se enlazan entre sí mediante relaciones del tipo: dependencia matemática, prerrequisitos pedagógicos, referencias; y los ítems se asocian a los conceptos a través de relaciones del tipo: ejemplo, ejercicio, motivación o prueba de un aserto.
 - c) *HEZINET*: Es un STI basado en Web para la enseñanza de la lengua vasca completamente desarrollado e implantado en diversos centros de educación [90]. Este sistema integra una aplicación para la administración de TAI.
 - d) *WHAT* (*Web-Based Haskell Adaptive Tutor*): Es un STI de Haskell basado en Web [91] que puede ser utilizado por los alumnos como complemento a las clases teóricas del lenguaje de programación funcional Haskell. WHAT es fruto de la preocupación de sus autores por mejorar la enseñanza de la programación a los alumnos de primer año de Matemáticas. El departamento
-

donde se desempeñan los autores imparte los lenguajes Haskell, Java y Pascal. WHAT trabaja en base a un módulo adaptativo de clases instanciando a partir de éste los modelos de alumnos individuales. La arquitectura parece estar mas basada en la experiencia docente y apoyada en el diseño curricular de la asignatura impartida, incluso permite al profesor cambiar ciertos parámetros.

- e) *Haskell-Tutor* [92]: Haskell-Tutor es un STI con arquitectura bien fundamentada basado en restricciones diseñado para ayudar a los programadores principiantes a aprender el lenguaje de programación Haskell, se diseñó como un entorno guiado de aprendizaje cuyo objetivo principal es proporcionar ayuda a los alumnos para superar algunas de las dificultades que se le presentan en el aprendizaje del lenguaje de programación funcional Haskell. Este STI se centra en ofrecer a los alumnos una instrucción efectiva imitando un tutor humano. Haskell-Tutor utiliza un enfoque de modelado del alumno basado en restricciones, que se centra en el dominio de conocimiento correcto. El dominio de conocimientos se representa como una serie de restricciones. Una restricción especifica una propiedad del dominio que es compartida por todas las soluciones correctas.
 - f) *ANDES*: Es un STI para enseñar Física Clásica Newtoniana [93], [94] especialmente destinado a alumnos universitarios de Academias Navales y de secundaria, de escuelas controladas por el departamento de Defensa de los EEUU. ANDES mantiene modelos de alumnos que se actualizan mediante redes bayesianas, que contienen 540 reglas, las cuales permiten resolver 120 problemas de mecánica. Antes de poder utilizar estas reglas es necesario estimar la probabilidad a priori de que un alumno sea capaz de aplicarlas. Para determinar estos valores se utiliza un pretest en el que cada regla es tratada como una subtarea distinta [26], [31]. De esta forma, se determina qué regla domina cada alumno. Contando el número de veces que cada una de ellas es conocida por un alumno, es posible estimar su probabilidad a priori en una cierta población. Con este fin, se desarrolló un test de 34 ítems de opción múltiple y de respuesta corta. Si el examinando respondía
-

correctamente a la pregunta, se asumía que era capaz de aplicar la regla asociada.

- g) *OLAE* (del inglés, On-Line/Off-line Assessment for Expertise) [31]: Es un sistema para el modelado del alumno basado en la técnica de seguimiento del conocimiento. *OLAE* recoge datos de estudiantes mientras que resuelven problemas de introducción a la Física. A partir de esta información, es capaz de diagnosticar el conocimiento de éstos en 290 piezas de conocimiento (representadas mediante reglas). Utiliza las acciones del alumno para evaluar la probabilidad de que éste sepa las reglas físicas o algebraicas codificadas en su modelo de conocimiento.
 - h) *POLA* (en inglés, Probabilistic On-Line Assessment) [94], [95]: Es un marco de trabajo para el modelado del alumno basado en una evaluación estadística de su comportamiento mientras que éste resuelve problemas. Hasta su aparición, el modelado del estudiante basado en probabilidades se fundamentaba en la realización de un seguimiento de su conocimiento. *POLA* fue desarrollado tomando como base *OLAE*. El objetivo inicial era la creación de un sistema que permitiera modelar al alumno aplicando las técnicas de seguimiento del modelo y de seguimiento del conocimiento.
 - *Descripción de STI de dominio genérico*. Algunos STI de dominio genérico son:
 - a) *DCG* (Dynamic Course Generation) [96]: Es una herramienta para la creación de STI a través de la Web. Permite la generación de cursos individualizados en función de los objetivos de aprendizaje y del conocimiento previo del alumno. Separa la estructura del modelo del dominio del material pedagógico. Asimismo, adapta dinámicamente el curso de acuerdo con los logros del estudiante. Dado un concepto, objeto de estudio por parte del alumno, y su modelo de usuario inicializado a través de un pretest, el planificador de instrucción busca los subgrafos del modelo del dominio que conectan los objetivos con los nodos de éste. El modelo del alumno es de superposición sobre el del dominio. El estudiante, durante el proceso de instrucción, puede ser evaluado en cualquier momento mediante la realización de un test. Para calcular su nivel de conocimiento, tras realizar
-

el test, se utiliza un heurístico. Si el alumno no tiene el nivel de conocimiento requerido en el concepto que acaba de estudiar, antes de avanzar y estudiar otros, se vuelve a mostrar el mismo, pero esta vez utilizando otro material educativo. Si vuelve a no superar el nivel necesario se llevaría a cabo una replanificación. El sistema incluye una herramienta de autor para la construcción del modelo del dominio y para la inserción de los ítems. Cada concepto tiene asociado un fichero HTML con el material educativo y applets para incluir diversos tipos de ítems. Por cada concepto, debe definirse el material educativo asociado y los ítems. Cuando se añade un ítem, debe especificarse su dificultad y un coeficiente que representa la contribución de una respuesta (correcta o incorrecta) a la puntuación global de los conceptos relacionados dentro del modelo del alumno. El nivel de conocimiento se define como el grado de conocimiento que tiene el estudiante sobre un concepto y está representado por una estimación probabilística.

- b) *QUANTI*: STI sobre Física Cuántica [97] utilizado para enseñar cómo se procesa la información cuántica. Este dominio, según los autores, requiere del uso de modelos del alumno categorizados, ya que puede aplicarse a diversas disciplinas tales como la Informática, la Química, las Matemáticas o la Física. En el modelo de dominio, el conocimiento se representa utilizando redes semánticas, es decir, un grafo donde los nodos (entidades) son piezas de conocimiento y los vértices representan relaciones entre éstos. Esta red representa el nivel superior de la base de conocimiento. Cada concepto a su vez puede descomponerse en tres tipos de nodos: componentes, características y ejemplos. Un componente es una de las piezas de conocimiento que conforman el concepto; las características están asociadas a un concepto; y por último, los ejemplos sirven para ilustrar componentes. El modelo del alumno se compone de tres submodelos, el modelo cognitivo implementado mediante un modelo de superposición que deriva su estructura directamente del modelo del dominio, el modelo afectivo que representa el estado emocional del alumno y el modelo inferencial que representa las
-

inferencias que se llevan a cabo a partir de la información de los otros dos modelos, lo cuales actualiza.

- c) *TANGOW* (en inglés, Task-based Adaptive Learner Guidance on the Web) [98]: Es un sistema que genera cursos adaptativos a través de Internet. Esta aplicación genera de forma dinámica documentos que se presentarán a los alumnos durante un curso, y que se componen a partir de fragmentos de contenido proporcionados por el diseñador del curso.

En TANGOW, cada curso viene descrito mediante un conjunto de tareas y reglas docentes. Las tareas representan las unidades en las que puede dividirse el curso, y las reglas docentes determinan las relaciones entre éstas. La adaptación de los contenidos de un curso la lleva a cabo el denominado Gestor de Tareas. Su objetivo principal es decidir en cada momento la siguiente tarea o tareas que el alumno puede o debe realizar. Esto se hace en función de: (1) la estructura del curso, esto es, las tareas y reglas definidas por el diseñador; (2) la estrategia de aprendizaje, seleccionada inicialmente por el estudiante (teoría antes de práctica o práctica antes de teoría); (3) sus datos personales, es decir, sus preferencias; y (4) las acciones que ha llevado a cabo con anterioridad durante la realización del curso.

- d) *ALICE* (en inglés, Adaptive Link Insertion in Concept-based Educational System) [32]: Es un STI basado en Web diseñado en principio para cualquier dominio, que se adapta a las características de cada usuario. Tiene un modelo del dominio basado en una red de conceptos (grafo acíclico) vinculados con relaciones de prerequisites de dos tipos: esencial, si es crucial que el usuario sepa el concepto precedente, y de soporte, si saber el concepto precedente no es fundamental, pero sí recomendable. El modelo del alumno es de superposición sobre el dominio, en el que el conocimiento de un concepto se describe mediante una tripleta de funciones miembro para conjuntos difusos de conceptos desconocidos, conocidos y aprendidos. Este modelo se actualiza mediante la aplicación de reglas difusas.

- e) *INSPIRE* (en inglés, Intelligent System for Personalized Instruction in a Remote Environment) [99]: es un STI basado en Web que acota el dominio
-

de aprendizaje al comienzo de la instrucción y lo desarrolla forma progresiva conforme se avanza en el mismo. Se basa en objetivos de aprendizaje escogidos por el alumno, en relación a los cuales se generan las lecciones. Otros parámetros del estudiante que incluyen en la selección de las lecciones son su nivel de conocimiento y el estilo de aprendizaje que ha elegido. El modelo del dominio es jerárquico y está estructurado en tres niveles: objetivos de aprendizaje, conceptos y módulos de conocimiento.

- f) *PASS*: Desarrollado por el mismo grupo de investigación que ha desarrollado *INSPIRE*, *PASS* (en inglés, *Personalized Assessment Module*) [100] fue concebido como un módulo de diagnóstico, que puede ser integrado a STI basado en Web con modelos del dominio estructurados, y modelos del alumno que almacenen información sobre cuánto sabe éste, extraída de interacciones a través de la navegación.

2.9 Conclusiones del Capítulo

En este capítulo se estudiaron los STI, su arquitectura y sus componentes, quedando de manifiesto que el desarrollo de un STI implica la conjunción de diversos campos de conocimientos como la IA (sistemas expertos, redes bayesianas, lógica difusa, etc.), psicología cognitiva e investigación educativa.

Como vimos cada uno de los componentes exige por si solo una ardua tarea para su diseño y desarrollo. Por esta razón algunos investigadores, analizan, estudian y desarrollan Sistemas Tutores Inteligentes, poniendo mayor énfasis sólo en algunos de sus componentes. No obstante a ello, existen numerosos ejemplos de aplicaciones exitosas de STI en diversas áreas tales como: *ELM-ART* (enseñanza de LISP), *ActiveMath* (matemáticas), *QUANTI* (física cuántica), *Haskell-tutor* (programación funcional en Haskell), *HEZINET* (idioma vasco), *ANDES* (física), etc.

Los STI que cubren un dominio específico asumen criterios pedagógicos ajustados al dominio, dado que el diseñador ha hecho las veces de experto o bien a trabajado estrechamente con un docente experto en el dominio, los modelos y los procesos asociados cubren adecuadamente las necesidades formativas, logrando resultados satisfactorios. La limitación real es que su implementación queda acotada precisamente a un único dominio.

En los STI para dominios genéricos, el problema surge cuando el docente experto debe adaptar los distintos componentes del diseño curricular a las especificaciones del modelo de dominio y modelo del alumno, que estarán en función del modelo pedagógico subyacente. Otra cuestión, está relacionada con la estructura de representación del conocimiento mediante redes conceptuales, semánticas y bayesianas donde los nodos almacenan distribuciones o curvas probabilísticas, que al no tener un modelo pedagógico subyacente, ocasiona problemas en la interpretación de los parámetros que se deberá proveer al STI.

Por otra parte, para actualizar el modelo del alumno, en la gran mayoría de los STI se utilizan TAI, que para la selección de los ítems que mostrarán al alumno utilizan un solo criterio, lo cual puede disminuir la adaptación y afectar rendimiento del TAI.

Como veremos en los capítulos siguientes, nuestro trabajo intenta mejorar los inconvenientes mencionados, proponiendo una nueva arquitectura genérica de STI orientada por los principios de la Enseñanza Basada en Competencias (EBC), para lo cual: (a) Diseñamos una nueva arquitectura STI basada en la EBC. (b) Utilizamos un enfoque lingüístico difuso con representación 2-tuplas para capturar conocimiento docente experto en la caracterización de ítems del banco de ítems. (c) Definimos un nuevo modelo de diagnóstico basado en TAI, el cual implementa un algoritmo lingüístico difuso dinámico, donde la selección de ítems se define como un modelo de decisión multicriterio.

Capítulo 3

La Enseñanza Basada en Competencias (EBC)

3. La Enseñanza Basada en Competencias (EBC)

En este capítulo abordaremos el modelo educativo de Enseñanza Basada en Competencias (EBC), a fin de sustentar parte de las aportaciones de nuestra investigación.

Para la definición y planificación de una propuesta formativa resulta necesario partir de un modelo pedagógico de referencia [101], cuyos principios y características orientan las decisiones del diseño que debe ser coherente con el enfoque. La elaboración de la propuesta o diseño curricular, puede realizarse adoptando distintos enfoques, cada uno de los cuales responderá a las concepciones que se sustenten sobre la formación, el enseñar, el aprender, y el papel y la organización que tendrán la teoría y la práctica [102].

Conforme lo expuesto y considerando que todo STI busca implementar una propuesta formativa, el modelo pedagógico adoptado que orientará la arquitectura de un STI, tendrá influencia sobre el diseño de los componentes [5], [6], [30],[49], [50] tales como: (a) La representación del conocimiento o perfil de competencias en el modelo de dominio y modelo del alumno. (b) El diagnóstico o evaluación. (c) Los modos de interacción con el estudiante. La nueva arquitectura STI que proponemos en el capítulo 4 de esta memoria se orienta por los principios de la EBC.

Este capítulo se estructura de la siguiente manera. En primer lugar, caracterizamos de forma general el enfoque de la EBC. En segundo término, rescatamos definiciones importantes sobre el concepto de competencia en el contexto de experiencias EBC en educación superior. En tercer lugar, nos situaremos en el Diseño Curricular Basado en Competencias (DCBC), proceso que cristaliza la EBC en una propuesta formativa. Finalmente describiremos algunos elementos y conceptos como las normas y elementos de competencias, descriptores y evidencias, así como la estructura modular del DCBC.

3.1 Caracterización de la EBC

La EBC es un modelo curricular emergente que busca dar repuesta a las demandas del contexto. Catalano [102] y Zalba [103] sostienen que los modelos curriculares por

competencias se hacen cargo de las necesidades sociales, formuladas hoy en términos de perfiles flexibles, tanto para la productividad como para la ciudadanía.

En el mismo sentido consideran que este enfoque constituye un modelo facilitador, por cuanto suponen una perspectiva interactivo-sociocultural del currículo, es decir, de un currículo derivado del contexto y de las necesidades e intereses de los destinatarios. Esto implica articular las demandas del contexto social con el desarrollo de competencias, que en definitiva posibilite al alumno desenvolverse en un mundo complejo y en permanente transformación y desempeñarse como sujetos responsables en diferentes situaciones y contextos de la vida social y personal.

Catalano [102] menciona a la formación basada en competencias como aquella que pretende alcanzar una mayor integración entre el proceso formativo del alumno y lo que sería el futuro desempeño del trabajador en una situación real de trabajo.

En el marco de la Educación Superior existen dos importantes iniciativas, el Proyecto Tuning para la construcción del Espacio Europeo para la Educación Superior [104] y ALFA Tuning en América Latina y el Caribe [105], ambos proyectos, cada uno en sus respectivas regiones, tienen como objetivo constituirse en plataforma para desarrollar puntos de referencia en el contexto de las disciplinas que son importantes a la hora de elaborar programas de estudio comparables, compatibles y transparentes. Los puntos de referencia se expresan en términos de resultados del aprendizaje y competencias. Los resultados del aprendizaje son manifestaciones de lo que se espera que un estudiante sepa, entienda y sea capaz de demostrar una vez concluido el aprendizaje. Según Tuning, los resultados del aprendizaje se expresan en niveles de competencia que debe conseguir el estudiante. Las competencias representan una combinación dinámica de las capacidades cognitivas y metacognitivas, de conocimiento y entendimiento, interpersonales, intelectuales y prácticas, así como de los valores éticos. En ambos proyectos la Enseñanza Basada en Competencias es el punto de referencia dinámico y perfectible que contribuye al logro de sus objetivos y a que la Educación Superior responda a las demandas cambiantes de una sociedad en permanente transformación.

Conforme a la literatura [102], [103], [104], [105] entre los principios más importantes que orientan la EBC se encuentran los siguientes:

- Lo significativo del conocimiento es su aplicación no su acumulación.
-

- Las propuestas desarrolladas por competencias deben centrar su aplicación en situaciones de la vida real.
- La actividad docente debe sustituir la enseñanza por el aprendizaje como centro de su razón de ser.
- El aprendizaje es un proceso de construcción donde el estudiante participa activamente.
- La metodología didáctica debe dirigirse al fortalecimiento y desarrollo de competencias.
- La evaluación pasa de ser normativa a basada en evidencias, criterios y/o desempeño de los estudiantes.
- La evaluación es un proceso de aportación de evidencias, continuo y sistemático, que se realiza a través de autoevaluación, coevaluación y heteroevaluación, con resultados sobre una base individual en forma absoluta y no comparativa.
- La especificación de resultados se basa en el nivel de logro de las competencias.
- La enseñanza pasa de ser impartida a facilitada y mediada.
- La planificación en vez de basarse en contenidos se basa en indicadores y evidencias de aprendizaje.
- El paradigma constructivista constituye el marco que orienta la acción del docente.

Según [104], [105] algunos de los aportes de la EBC a la educación son:

- Identificar perfiles profesionales y académicos de las titulaciones y programas de estudio.
 - Desarrollar un nuevo paradigma de educación, primordialmente centrada en el estudiante y la necesidad de encauzarse hacia la gestión del conocimiento.
 - Responder a las demandas crecientes de una sociedad de aprendizaje permanente y de una mayor flexibilidad en la organización del aprendizaje.
 - Contribuir a la búsqueda de mayores niveles de empleabilidad y ciudadanía.
 - Propiciar un impulso para la construcción y consolidación del Espacio América Latina, el Caribe y la Unión Europea de Educación Superior.
-

El proceso que posibilita plasmar la EBC en propuestas formativas concretas es el Diseño Curricular Basado en Competencias (DCBC), cuya metodología, componentes y elementos los abordaremos más adelante.

3.2 Las Competencias

Una vez fijado el marco de EBC, es conveniente delimitar con claridad qué entendemos por competencias en esta memoria de investigación. Perrenoud [106] define a la competencia como la "Capacidad de actuar de manera eficaz en un tipo definido de situación, capacidad que se apoya en conocimientos pero no se reduce a ellos". Además señala que para enfrentar una situación de la mejor manera posible, generalmente debemos hacer uso y asociar recursos cognitivos complementarios, entre los cuales se encuentran los conocimientos.

En Tuning [104], [105] una enunciación amplia del concepto de competencia la define como *“las capacidades que todo ser humano necesita para resolver, de manera eficaz y autónoma, las situaciones de la vida. Se fundamentan en un saber profundo, no sólo saber qué y saber cómo, sino saber ser persona en un mundo complejo cambiante y competitivo”*. En el mismo marco una definición más específica señala a las competencias como *“complejas capacidades integradas, en diversos grados, que la educación debe formar en los individuos para que puedan desempeñarse como sujetos responsables en diferentes situaciones y contextos de la vida social y personal, sabiendo ver, hacer, actuar y disfrutar convenientemente, evaluando alternativas, eligiendo las estrategias adecuadas y haciéndose cargo de las decisiones tomadas”*.

Tuning [104], [105] clasifica a las competencias de la siguiente manera:

- Las *Competencias Generales* remiten a un conjunto de conocimientos, actitudes, valores y habilidades relacionados entre sí, que permiten desempeños satisfactorios en los estudios superiores. Se agrupan en:
 - a) *Competencias Básicas*: Implican el desarrollo de saberes complejos y generales que hacen falta para cualquier tipo de actividad intelectual.
-

b) *Competencias Transversales*: Apuntan al desarrollo de dos aspectos claves para los estudios superiores, tienden a lograr en el sujeto autonomía en el aprendizaje y destrezas cognitivas generales.

- Las *Competencias Específicas*: Remiten a un conjunto de conocimientos, actitudes, valores y habilidades específicos relacionados entre sí, que permiten desempeños satisfactorios en una determinada carrera universitaria (o campo de dominio). Las competencias específicas suponen y se apoyan en las generales y ambas conforman el *perfil de competencias* del alumno en un dominio determinado.

Por otra parte la perspectiva de Zalba [103] puntualiza que las competencias:

- Constituyen un saber y saber hacer complejos, ya que integran tanto conjuntos de conocimientos como capacidades, o dicho en otros términos, integran tanto conocimientos conceptuales como procedimentales y actitudinales.
- Se van construyendo a lo largo de la vida, de acuerdo con las experiencias y prácticas en diversas situaciones de la vida personal y profesional.
- Su construcción procede de modo progresivo, en sucesivas etapas se logran mayores grados de calidad.

3.3 Diseño Curricular Basado en Competencias (DCBC)

En secciones anteriores hemos puesto de manifiesto que el objetivo principal de la EBC apunta a la pertinencia de la formación, esto es responder adecuadamente a las demandas del contexto. El Diseño curricular basado en competencias (DCBC) es el proceso que concreta una propuesta formativa conforme los principios orientadores de la EBC.

En esta sección, en primer lugar caracterizaremos el DCBC, seguidamente estudiaremos el proceso de “Análisis Funcional”, junto con sus fases y las normas de competencias resultantes que serán el principal insumo del DCBC. En segundo término centraremos nuestro análisis en el proceso de DCBC. Finalmente resaltaremos los

aspectos que servirán de base para derivar desde este enfoque los componentes del STI-Basado en competencias (STI-C).

3.3.1 Caracterización del DCBC

El diseño curricular constituye un documento donde se especifican los distintos componentes pedagógico-didácticos: intenciones, objetivos, contenidos, secuencia de contenidos, marco metodológico, criterios de enseñanza y evaluación. Así, el diseño curricular se constituye en uno de los medios que orientan la formación [102]. La elaboración del diseño curricular puede realizarse adoptando distintos enfoques, cada uno de los cuales responderá a las concepciones que se sustenten sobre la formación, sobre el enseñar, sobre el aprender, y sobre el papel y la organización que, en la propuesta formativa, tendrán la teoría y la práctica.

Para la definición y planificación de cada componente resulta necesario partir de un modelo pedagógico de referencia [101], cuyos principios y características orientan las decisiones del diseño que debe ser coherente con el enfoque.

El DCBC asumirá ciertas características particulares de acuerdo al ámbito educativo, nivel superior universitario, nivel superior no universitario, formación profesional, educación técnica, nivel medio, capacitación laboral, etc. El proceso medular de su construcción se orientará por la pertinencia de la propuesta formativa para satisfacer la demanda del contexto en el rol profesional u ocupacional del perfil de competencias definido [102].

3.3.2 Análisis Funcional Para la Definición de las Competencias de un Perfil

En la sección 3.2 hemos visto la definición de qué entendemos por competencias en el marco de la EBC. Aquí nos centramos en cómo definir esas capacidades para cada perfil del marco educativo y/o profesional.

Para llegar a la reconstrucción de los saberes, las técnicas y las decisiones que se movilizan para el ejercicio de una profesión o de un rol laboral, Catalano [102] y el

documento CONOCER [107] proponen una metodología de trabajo que se denomina *Análisis funcional*.

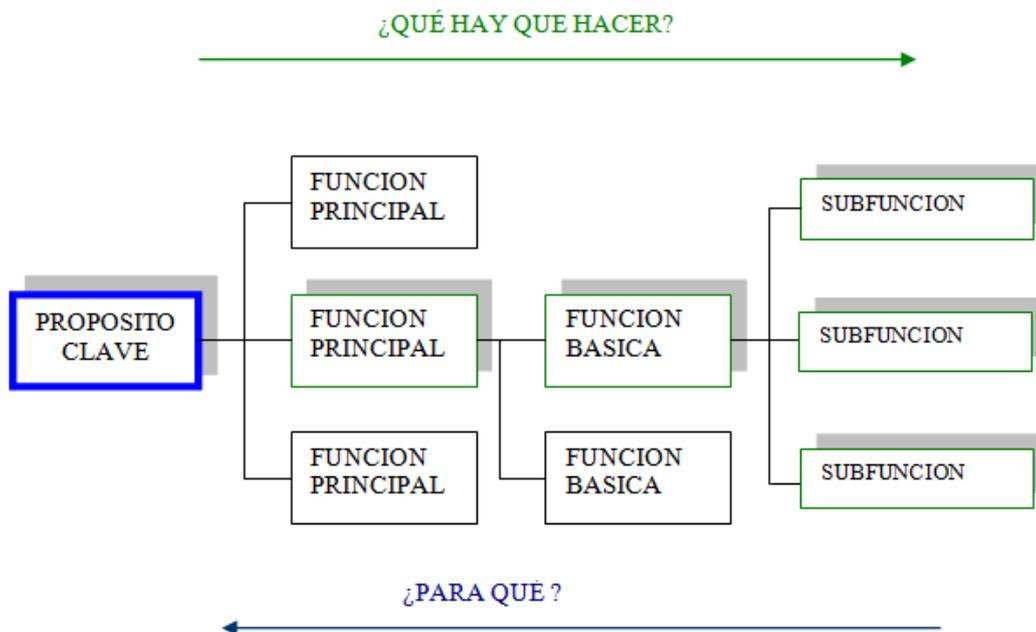


Figura 17. Proceso de análisis funcional.

El análisis funcional es una metodología de investigación que permite reconstruir las competencias que debe reunir un/a trabajador/a para desempeñarse competentemente en un ámbito de trabajo determinado [108].

“Análisis funcional: proceso de desagregación a partir del propósito clave de una empresa, una organización o un rol ocupacional, que se utiliza para identificar las competencias inherentes al ejercicio de las funciones laborales y de las actividades que las compone” [102].

En la Figura 17 se esquematiza el proceso de análisis funcional.

En la siguiente sección vamos a describir en detalle cada una de las fases a desarrollar en un proceso de análisis funcional para definir los componentes de un perfil.

3.3.3 Fases del Análisis Funcional

El proceso de análisis funcional se realiza sobre organizaciones concretas, que actúan en un determinado campo de producción de bienes o de servicios. En base a [102] y a [107] vamos a describir las ocho fases del proceso:

- *Fase 1: Selección de un conjunto de empresas u organizaciones.*
Las empresas elegidas, serán aquellas que, desde el punto de vista de las calificaciones que detentan sus trabajadores/as, resulten representativas del sector de actividad sobre el cual se focaliza la investigación.
 - *Fase 2: Selección de una empresa concreta o una organización productiva.*
A fin de estudiar -dentro de ella- uno, varios o todos los roles ocupacionales que contribuyen a alcanzar el propósito clave de la empresa.
 - *Fase 3: Definición del propósito clave.*
Este propósito clave es el que caracteriza el objetivo de la organización y el marco de condiciones dentro del cual se pretende alcanzarlo. La estructura de enunciado del propósito clave, indica una acción, un objeto o resultado de la acción, y las condiciones para su logro. La estructura gramatical se conforma de la siguiente manera, *Verbo+Objeto+Condición*, esta estructura se utiliza en cascada para definir todas las funciones realizadas que contribuyen al logro del propósito clave.
 - *Fase 4: Definición de las funciones y las sub-funciones.*
De los grandes grupos de actividades con los que se organiza una empresa, con el objeto de concretar el propósito clave enunciado.
 - *Fase 5: Selección de los roles laborales críticos.*
Dentro de esas funciones y/o sub-funciones se seleccionarán aquellos que mejor contribuyen a que la organización alcance el propósito clave enunciado.
 - *Fase 6: Entrevistas.*
Una vez seleccionado el rol laboral, se realizan entrevistas a los/as trabajadores/as que ejercen ese rol sobre las acciones que realizan, los productos o resultados que obtienen y los criterios de actuación. Para establecer cómo se
-

obtiene el propósito clave definido para cada una de las acciones se sigue el enunciado *Verbo+Objeto+Condición*.

- *Fase 7: Reconstrucción de un conjunto de acciones del rol.*

Para ello se reagrupan en grandes funciones y/o subfunciones, con el criterio que las funciones constituyan una unidad de sentido en términos de empleo y de formación. El conjunto de acciones laborales agrupadas dentro de una gran función con sentido de empleo y de formación, se denominará *unidad de competencia (uc)*. Cada conjunto de sub-funciones agrupadas que contribuyan a dar sentido a la unidad de competencia, se denominará *elemento de competencia (ec)* [102].

- *Fase 8: Reconstrucción de los elementos de competencia*

Cada elemento se reconstruye de acuerdo a los criterios que se ponen en juego para realizar la sub-función, que será enunciado como *Verbo+Objeto+Condición*. Los criterios expresan las condiciones que deben cumplirse para que la realización enunciada en el elemento de competencia ase ajuste a los requisitos de forma coherente con el propósito clave de la empresa.

- *Fase 9: Enunciar los signos para definir las buenas prácticas.*

Se indicarán los signos a partir de los cuales se hace evidente que los procedimientos que ha seguido el trabajador en su modo de operar, los resultados parciales obtenidos, o las reflexiones para tomar decisiones, son correctos y corresponden a las "buenas prácticas" sugeridas por la empresa.

Los resultados del análisis funcional se expresan en mapas funcionales [102], [107] que pueden estar referidos a la empresa o a un rol laboral. En la *Tabla 1* se presenta un ejemplo de mapa funcional.

Evaluador de competencias laborales	
MAPA FUNCIONAL	<p>Propósito clave</p> <p>Evaluar y documentar el estado de desarrollo de las competencias laborales de los (las) postulantes en función de los requerimientos fijados por la norma validada.</p> <p>a. Recopilar y analizar informaciones sobre el postulante, la empresa, el contexto productivo y tecnológico y planificar el proceso de evaluación.</p> <p>a.1. Recopilar y analizar informaciones sobre la historia laboral y de socialización del postulante para orientarlo en el proceso de certificación.</p> <p>a.2. Recopilar y analizar informaciones sobre la organización del trabajo, tecnología y productos/servicios de la empresa para contextualizar los instrumentos de evaluación.</p> <p>a.3.- Acordar con el postulante y la empresa los términos de la evaluación: norma, procedimientos, veedores internos, formas de documentación de la prueba.</p> <p>b. Definir estrategias de evaluación y diseñar instrumentos de evaluación de competencias laborales en base a normas.</p> <p>b.1 Definir estrategias y diseñar los instrumentos de evaluación de competencias laborales en base a normas y adaptarlos al contexto de trabajo donde serán aplicadas las pruebas.</p> <p>c. Evaluar las competencias laborales según los estándares establecidos en las normas validadas.</p> <p>c.1. Recopilar signos que evidencian desempeños competentes y debidamente fundamentados de la postulante.</p> <p>c.2. Valorar los resultados de la evaluación y registrarlos en soportes diversos.</p> <p>d. Comunicar los resultados de la evaluación a las partes interesadas y orientar al/a evaluado/a sobre las posibilidades de formación o necesidad de mayor experiencia laboral.</p> <p>d.1. Elaborar, entregar y comunicar los resultados de la evaluación a los actores involucrados y asesorar a los postulantes sobre acciones formativas compensatorias y/o necesidad de una mayor práctica laboral.</p>
PROGRAMA DE FORMACIÓN Y CERTIFICACIÓN POR COMPETENCIAS LABORALES	

Tabla 1. Ejemplo de mapa funcional. Tomado de Norma de competencia del evaluador. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (Argentina).

En el caso de la empresa, expresará el propósito clave de la organización, las funciones que agrupan y las actividades que se desarrollan en la misma. Cuando se construye a partir de un rol laboral, representa las distintas funciones y sub-funciones que el/la trabajador/a debe desarrollar para alcanzar el propósito clave de su rol, este mapa se expresa en unidades y en elementos de competencia.

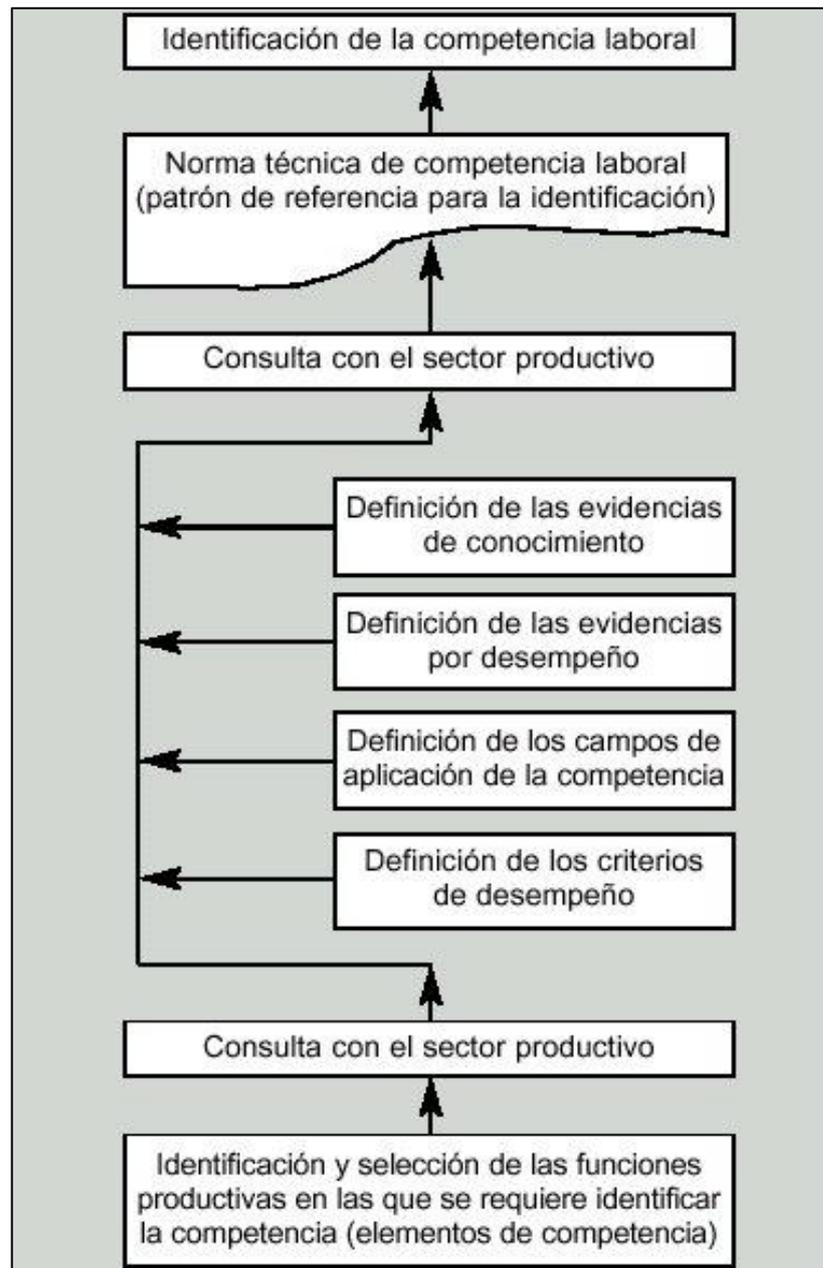


Figura 18. Proceso de identificación de la competencia [107].

3.4 Normas de Competencias

Una vez obtenidos los mapas funcionales sobre las competencias que debe incorporar un rol ocupacional, se ha de establecer la *norma de competencia*. La norma de competencia es un patrón de referencia para poder evaluar el desempeño alcanzado por los trabajadores. Su construcción involucra la aplicación de la metodología del análisis funcional [102], [107]. La creación de la norma de competencia supone la construcción de consensos entre actores, que permitan acordar tanto la metodología como los indicadores a utilizar para definir los desempeños competentes y el nivel de autonomía a asignar a quien detente una calificación.

“La norma de competencia contiene una serie de descriptores a partir de los cuales se pretenden reflejar las buenas prácticas profesionales esperables como base de un determinado rol laboral, la validez de los descriptores, se debe acordar entre los actores” [102].

Los elementos o descriptores que componen una norma de competencia se describen seguidamente.

- *Unidad de competencia (uc)*: Función productiva que describe el conjunto de las actividades diferenciadas que serán cumplidas desde el rol laboral seleccionado.
 - *Elemento de competencia (ec)*: Desagregación de la función principal que pretende especificar algunas de las actividades clave o la actividad crítica de la función. Una función, según su complejidad o su variedad, puede especificarse en uno o en varios elementos de competencia.
 - *Criterios de desempeño*: Descriptor de las reglas o juicios técnicos y éticos que orientan a el/la trabajador/a y éste/a aplica en el ejercicio profesional.
 - *Evidencias de desempeño (evd)*: Descriptor de los signos que sirven para controlar que un determinado proceso está siendo realizado de acuerdo a "buenas prácticas".
 - *Evidencias de producto (evp)*: Descriptor de los signos de evidencia tangibles en el nivel de los resultados o del producto, cuando se ha actuado a partir de consagrar las "buenas prácticas".
-

- *Evidencias de conocimiento (evc)*: Descriptor del conocimiento científico y/o tecnológico que permite al trabajador o a la trabajadora comprender, reflexionar y justificar los desempeños competentes.
- *Campo de aplicación*: Describe los diferentes contextos tecnológicos y organizacionales en los que puede insertarse una persona, y en los que puede ser evaluada para darle mayor universalidad a sus competencias.
- *Guía para la evaluación*: Establece los métodos de evaluación y las mejores formas de recolección de evidencias para acreditar o para certificar competencias.

En la Figura 18 se muestra un esquema del proceso de identificación de competencias

En las *Tablas 2 y 3* se muestra un ejemplo de los descriptores de evidencias asociados a un elemento de competencia.

Rol ocupacional: I. EVALUADOR DE COMPETENCIAS LABORALES		
Título de la Unidad de Competencia: A. RECOPIRAR INFORMACIONES SOBRE EL POSTULANTE, LA EMPRESA, EL CONTEXTO PRODUCTIVO Y TECNOLÓGICO Y DISEÑAR Y/O ADECUAR INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN BASADOS EN NORMAS DE COMPETENCIA LABORAL PARA SER UTILIZADOS EN PROCESOS DE CERTIFICACIÓN Y ACORDAR LOS TÉRMINOS DE APLICACIÓN.		
Título del Elemento de Competencia: A.1. RECOPIRAR Y ANALIZAR INFORMACIONES SOBRE LA HISTORIA LABORAL Y DE SOCIALIZACIÓN DEL POSTULANTE PARA ORIENTARLO EN EL PROCESO DE CERTIFICACIÓN		
Criterios de desempeño	Evidencias de desempeño	Evidencias de producto
<ul style="list-style-type: none"> Analizar la historia de las actividades escolares, formativas, laborales, sociales, deportivas y artísticas del postulante para evaluar las capacidades implícitas y explícitas desarrolladas. Diseñar instrumentos de recolección de datos de vida escolar, laboral, formativa, social para poder evaluar el grado de desarrollo de las capacidades laborales y ciudadanas. Ponderar las capacidades inferidas de la historia de vida del postulante y cotejarlas con las competencias requeridas por la norma en las unidades que el postulante pretende certificar. Orientar al postulante en la estrategia de certificación a seguir. 	<ul style="list-style-type: none"> Se analiza el currículo y/o documentación presentada para reconstruir la historia escolar, laboral, de formación profesional, social, artística, deportiva del postulante e infiere las capacidades que pueden haberse desarrollado en la experiencia de vida del mismo. Se entrevista al postulante para reconstruir su historia de vida escolar, laboral, de formación profesional, social, artística, deportiva para determinar el tipo de capacidades que el mismo ha desarrollado a lo largo de la vida. Se evalúa las capacidades potencialmente desarrolladas en su vida laboral y social y las objetivas a partir de una serie de preguntas o sistemas de cuestionarios. Se pondera las capacidades detectadas y les otorga un valor en el marco de las competencias generales requeridas por el ejercicio del rol que se pretende certificar. Se escribe un primer dictamen sobre el estado de desarrollo de las capacidades que presenta el candidato y analiza en base a la norma, las unidades de competencia que podría presentarse a certificar. Se entrevista, orienta al postulante acerca de las unidades de competencia a certificar, sobre la lectura e interpretación de la norma y sobre las condiciones de la evaluación para obtener la certificación. En caso de detectar dificultades en el desarrollo de las capacidades y por lo tanto en la posibilidad de certificar unidades de competencias, se orienta al postulante acerca de: <ul style="list-style-type: none"> Las unidades de competencia que certificaría con mayor oportunidad de éxito. Un rol profesional alternativo para ser certificado. Los cursos de formación profesional que debería cursar para fortalecer las competencias que desea certificar. Se compila y analiza los certificados de capacitación y/o de trabajo presentados por el/la postulante y los considera como antecedentes en la evaluación. 	<ul style="list-style-type: none"> Dictamen sobre las capacidades ciudadanas y laborales del postulante preciso y permite orientar al postulante y al evaluador en el proceso de evaluación que será aplicado. Postulante orientado acerca de las unidades de competencias que certificaría con mayor oportunidad de éxito. Postulante orientado acerca los cursos que debería realizar para certificar con éxito determinadas unidades de competencia.

Tabla 2. Ejemplo elementos de competencia y descriptores. Tomado de la Secretaría de Empleo. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (Argentina).

Evidencias de conocimiento	Conocimiento circunstancial
<p style="text-align: center;">Conocimiento fundamental</p> <ul style="list-style-type: none"> • Técnicas de recopilación de información: análisis de currículo vitae, análisis de historia laboral, técnicas de entrevistas, análisis de información laboral. • Técnicas de comunicación y de recepción y entrega de información. • Diseño de guías de entrevistas y de instrumentos de documentación de la información suministrada por el informante. • Concepto de capacidades movilizadas en la actuación laboral analizada. Metodología para inferir las capacidades laborales que se ponen en juego en las profesiones y oficios. • Conocimientos sobre el rol profesional y el área ocupacional que faciliten la interpretación de informaciones suministradas por el entrevistado/postulante. • Conocimiento de los objetivos y técnicas aplicadas en los procesos de normalización, certificación y evaluación de competencias. • Tecnología de base utilizada en los procesos productivos, materias primas e insumos utilizados, conocimientos asociados en términos de calidad, seguridad y productividad, gestión, costos, conocimiento de procedimientos y técnicas del proceso productivo correspondiente al rol a evaluar. • Conocimientos elementales del proceso de análisis funcional aplicado al reconocimiento de competencias laborales. • Comprensión, interpretación del contenido de la norma de competencia del rol a evaluar: criterios, evidencias de desempeños, resultados y conocimientos, en ella descriptos. • Procesos de evaluación de competencias laborales: características, modalidades, objetivos, etc. • Formación de criterios y su aplicación a técnicas e instrumentos que eviten prácticas discriminatorias de individuos o grupos por sus atributos de género, edad, nivel socioeconómico, etnia. • Manual de procedimientos (funciones específicas del área de diseño) • Manejo de PC, internet, mails. 	
<p style="text-align: center;">Campo de aplicación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procesos de certificación de evaluadores. • Centros de evaluación de competencias laborales. • Área de recursos de humanos de las empresas. • Consultoras de recursos humanos. 	
<p style="text-align: center;">Guías de evaluación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interpretación de una norma de competencia y definir las competencias clave a ser evaluadas dentro del rol ocupacional seleccionado o dentro de la unidad de competencia seleccionada. • Interpretación del nivel de capacidades que podría haber desarrollado el postulante a partir de su experiencia laboral y formativa a partir del análisis de historias laborales (entrevista, CV, referencias) y de entrevistas • Preparación de una guía de entrevista destinada a obtener datos de la historia laboral del postulante. • Simulación de una entrevista de devolución de informaciones sobre el proceso de certificación y de orientación acerca del fortalecimiento de competencias laborales requeridas en el proceso de certificación. 	

Tabla 3. Ejemplo elementos de competencia y descriptores, continuación Tabla 2.

3.5 El Proceso de DCBC

En la sección anterior hemos descrito el marco de EBC y caracterizado el DCBC, el proceso de análisis funcional con sus fases y el mapa funcional resultante. En esta sección en primer lugar centramos nuestro estudio en el proceso de DCBC, resaltando los aspectos que servirán de base para derivar desde este enfoque el modelado de los componentes del STI-C.

Finalmente describimos *el módulo*, la unidad que permite estructurar los objetivos, los contenidos y las actividades configurado por las problemáticas del campo profesional.

3.5.1 Proceso Inicial de DCBC

El DCBC consistirá un documento elaborado a partir de la descripción del perfil profesional, es decir, de los desempeños esperados de una persona en un área ocupacional, para resolver los problemas propios del ejercicio de su rol profesional. Procura de este modo asegurar la pertinencia de la oferta formativa diseñada.

El perfil profesional se construye a partir del análisis funcional. Tal como se expuso anteriormente la metodología permite elaborar una descripción integral y exhaustiva de los desempeños esperados en términos del propósito clave en el cual estos se sustentan, y de las unidades y elementos de competencia que se pondrán en juego en dicho desempeño.

El DCBC, al tomar como referencia de su elaboración la identificación y la descripción de los elementos de competencias de un rol o de un perfil profesional, apunta al logro de un alto grado de articulación entre las exigencias del contexto y la formación a desarrollar. En la Figura 19 se muestra un esquema de relaciones entre el análisis funcional, las normas de competencia y el DCBC, enmarcado en la EBC.

3.5.2 Capacidades, Normas y DCBC

El eje de la formación profesional es el desarrollo de capacidades profesionales que, a su vez, constituyen la base que permitirá el desarrollo de aquellos desempeños competentes en los diversos ámbitos de trabajo y de formación.

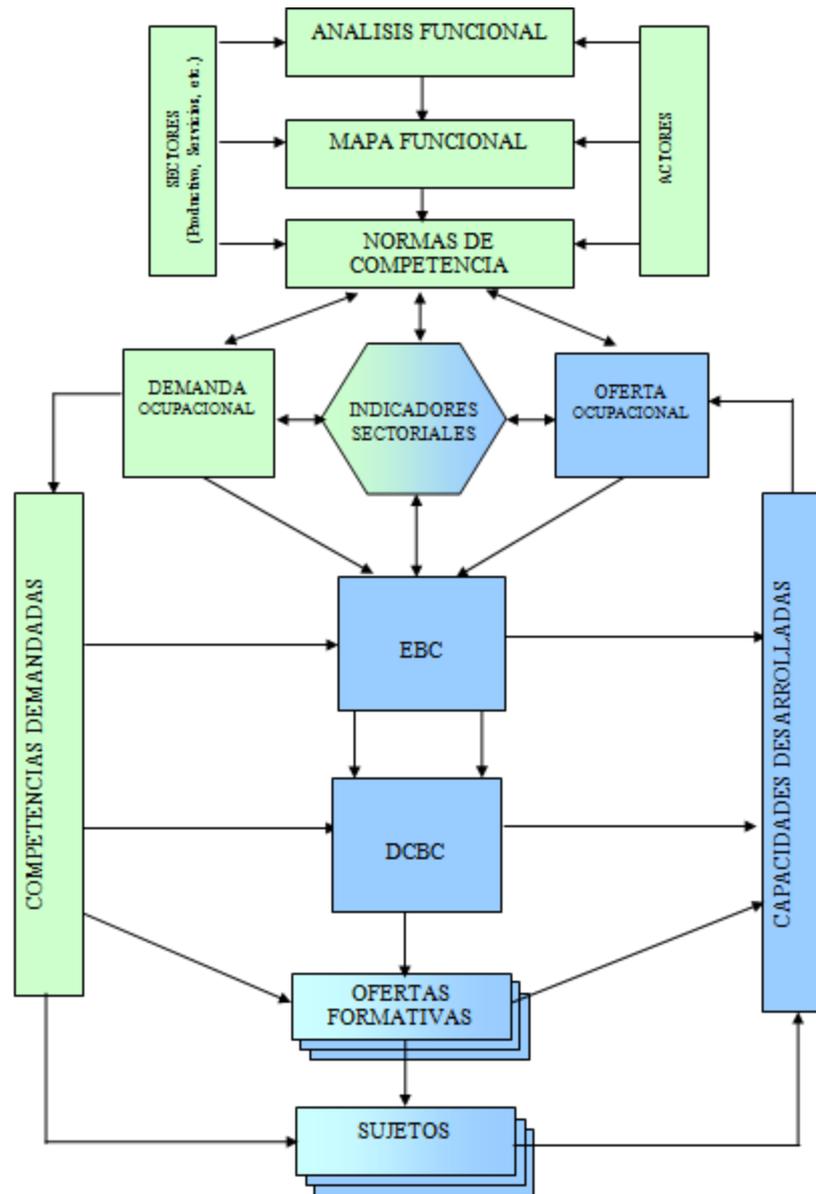


Figura 19. Esquema de relaciones: Análisis funcional-Norma de competencia-DBC y EBC.

Al elaborar el diseño curricular, se describirán las capacidades que se desarrollarán a lo largo del proceso de formación para promover en los/las egresados/as un desempeño efectivo del rol. Dichas capacidades se inferirán del análisis de cada una de las unidades y de los elementos de competencia. Un ejemplo que expone parte de un documento DCBC, se muestra en el Anexo I.

Catalano [102] menciona que las capacidades que el alumno va a desarrollar durante el proceso formativo, se vinculan con las competencias que necesitará en el futuro para desempeñarse en una situación real de trabajo. Esto hace que la actividad formativa tenga más significado para el alumno.

3.5.3 Características del DCBC

Como mencionamos en 3.3.1, el ámbito educativo, nivel superior universitario, nivel superior no universitario, formación profesional, educación técnica, nivel medio, capacitación laboral, etc., condiciona un DCBC concreto, pero el proceso medular de su construcción se orientará por la pertinencia de la propuesta formativa para satisfacer la demanda del contexto en el rol profesional u ocupacional del perfil de competencias definido. Las características que deben estar siempre presentes son:

- Las capacidades que constituyen los objetivos generales del diseño curricular, son inferidas a partir de los elementos de competencia.
- Adopta una estructura modular.
- Desarrolla un enfoque integrador respecto de todas sus dimensiones. Tiende a la integración de capacidades, de contenidos, de teoría y de práctica, de actividades y de evaluación.
- Los criterios para la aprobación de los distintos módulos se basan en los criterios de evaluación establecidos en la norma.
- Adopta para su desarrollo un enfoque de enseñanza-aprendizaje significativo.

3.5.4 Elementos de DCBC

El documento del DCBC se compone básicamente de cuatro elementos:

- *Introducción o marco de referencia.* En él se describen sintéticamente las características del contexto y del rol profesional, y las concepciones teóricas que, sobre la formación profesional, sostienen quienes elaboran el diseño curricular.
- *Objetivos generales.* Se refieren a las capacidades integradoras que se desarrollan durante todo el proceso formativo. Expresan la intención formativa de quienes elaboran el diseño. La formulación de los objetivos del diseño curricular conlleva procesos permanentes de análisis y de síntesis que considerarán, por un lado, las capacidades inferidas a partir de las características del desempeño establecidas en la norma, y por otro lado, el propósito clave del rol profesional. Los objetivos generales constituyen, en última instancia, los criterios para la evaluación y la acreditación de los aprendizajes alcanzados.
- *Estructura curricular modular.* Consiste en el conjunto ordenado e integrado de módulos didácticos que conforman el diseño.
- *Carga horaria.* Está referida en forma específica a toda la estructura de la propuesta formativa o trayecto formativo y a cada uno de los módulos que integran la propuesta.

En el Anexo I se ilustran dos ejemplos de documento DCBC, marco de referencia y objetivos.

3.5.5 El Módulo Didáctico

Desde el punto de vista del DCBC, un módulo es la unidad que permite estructurar los objetivos, los contenidos y las actividades en torno a un problema de la práctica profesional y de las capacidades que se pretenden desarrollar, las cuales, son inferidas a partir de los elementos de competencia.

Desde el punto de vista del proceso de enseñanza aprendizaje, el módulo constituye una integración de capacidades, actividades y contenidos relativos a un *saber hacer reflexivo* que se aprende a partir de una situación problemática derivada de la práctica profesional. De esta manera, el módulo implica una modalidad de enseñanza considerada como la forma más adecuada de responder, desde la perspectiva de la

formación, a una definición de competencias que integra conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes.

Una organización modular, a diferencia de una forma de organización curricular tradicional, propone un recorrido, un guión, un argumento a desarrollar configurado por las problemáticas del campo profesional que se van trabajando y en torno a las cuales se articulan los contenidos.

Los contenidos convergen porque son convocados por la situación problemática derivada de la práctica profesional. Se trata de una estructuración en torno a una situación que, vinculada a un problema, posibilita la selección de los contenidos necesarios para desarrollar las capacidades que permitirán su resolución. El módulo didáctico, desde el punto de vista del proceso de enseñanza-aprendizaje, tiende a:

- a) Desarrollar un saber hacer reflexivo y fundamentado relacionado con las unidades de competencia.
- b) Centrar las actividades en la solución de una situación problemática derivada de la práctica profesional.
- c) Seleccionar y organizar los contenidos en función de las situaciones planteadas y del aprendizaje propuesto.

Es posible afirmar que el módulo se caracteriza por la integración de todas sus dimensiones: capacidades, contenidos, actividades, teoría y práctica, formación y trabajo, modalidades de evaluación. Son estas características las que confieren a la estructura curricular modular validez y coherencia con el enfoque de competencias.

3.6 Conclusiones del Capítulo

En este capítulo se estudiaron el modelo educativo de Enseñanza Basada en Competencias (EBC), los conceptos de competencias en el marco de experiencias en educación superior, el DCBC y las normas de competencias junto con los elementos que la componen.

Quedó de manifiesto que la EBC es un modelo educativo emergente ampliamente utilizado en sistemas educativos a nivel mundial en especial en la educación superior, tal como el Proyecto Tuning [104], [105]. Un objetivo de la EBC es dar respuesta a las

demandas del contexto, es decir, el diseño de las propuestas formativas se orienta por la pertinencia de la formación.

Otro aspecto destacable del marco EBC es que el DCBC organiza las propuestas formativas en función de las normas de competencias de un rol ocupacional o perfil de competencias. Los elementos de la norma de competencias: unidades de competencias, elementos de competencias y descriptores de evidencias, sirven de base para diseñar propuestas organizadas modularmente entorno a situaciones o problemas cercanos a la realidad profesional del rol o perfil ocupacional.

Por otra parte, considerando que todo STI busca implementar una propuesta formativa, el modelo pedagógico adoptado que orientará la arquitectura de un STI, tendrá influencia sobre el diseño de los componentes [5], [6], [30],[49], [50].

En este orden de ideas, el enfoque EBC con su estructura modular de propuestas formativas derivadas de las normas de competencias, cuyos elementos aportan información que clarifican el DCBC, puede constituirse en un interesante modelo pedagógico de referencia que oriente el diseño de una arquitectura STI. Por lo cual, la nueva arquitectura STI que proponemos en el capítulo 4 de esta memoria se orienta por los principios de la EBC.

III PLANTEAMIENTO

Capítulo 4

Arquitectura STI basada en Competencias STI-C

4. Arquitectura STI Basada en Competencias (STI-C)

Los enfoques de arquitecturas STI para dominios genéricos estudiados en capítulos anteriores, representan el conocimiento en los modelos de dominio y del alumno mediante redes conceptuales, semánticas y bayesianas donde los nodos almacenan distribuciones o curvas probabilísticas. Tales arquitecturas involucran dos aspectos claves:

- i) La representación del conocimiento o perfil de competencias en el modelo de dominio y el modelo del alumno.
- ii) El proceso de diagnóstico que actualizará este último.

Ambos aspectos están estrechamente relacionados e influenciados por el modelo pedagógico de referencia que orientará su diseño [5], [6], [17]. Sin un modelo pedagógico de referencia explícito, es difícil construir un sistema que integre distintos marcos teóricos, representación del conocimiento, sentido y criterios de evaluación, también es dificultoso la interpretación de parámetros y la configuración [30], [48], [50].

Por ello, en relación con los inconvenientes planteados, nuestro objetivo en este capítulo es proponer *“un nuevo modelo de arquitectura genérica de STI basado en los principios de la EBC (STI-C)”*, en donde la representación del perfil de competencias en el modelo de dominio y el modelo del alumno, así como el proceso de diagnóstico se diseñan conforme el modelo pedagógico de referencia EBC. Para lo cual, integraremos los elementos de la EBC en el modelo de dominio, modelo del alumno y en el proceso diagnóstico basado en TAI. En este marco, la nueva arquitectura incluye: un Modelo de Dominio de Competencias (MDCo), un Modelo de Dominio Curricular (MDCu) y un Modelo del Alumno basado en Competencias (MAC). Además para la actualización del MAC, se propone un Modelo diagnóstico basado en extensiones de TAI para evaluar competencias y actualizar el MAC (TAI-C).

De esta forma, la estructura del capítulo es la siguiente. En primer término integramos y relacionamos los elementos del DCBC con los componentes del STI-C. A continuación, en base a la relación anterior explicamos el modelado y configuración de los nuevos componentes de la arquitectura: el Modelo de Dominio de Competencias

(MDCo), el Modelo de Dominio Curricular (MDCu) y el Modelo del Alumno basado en Competencias (MAC). Finalmente presentamos el proceso de diagnóstico basado en una extensión de TAI para evaluar competencias (TAI-C).

En la Figura 19 se mostró un esquema de relaciones entre el análisis funcional, las normas de competencia y el DCBC, enmarcado en la EBC. En la Figura 20 se introduce el STI-C al esquema anterior.

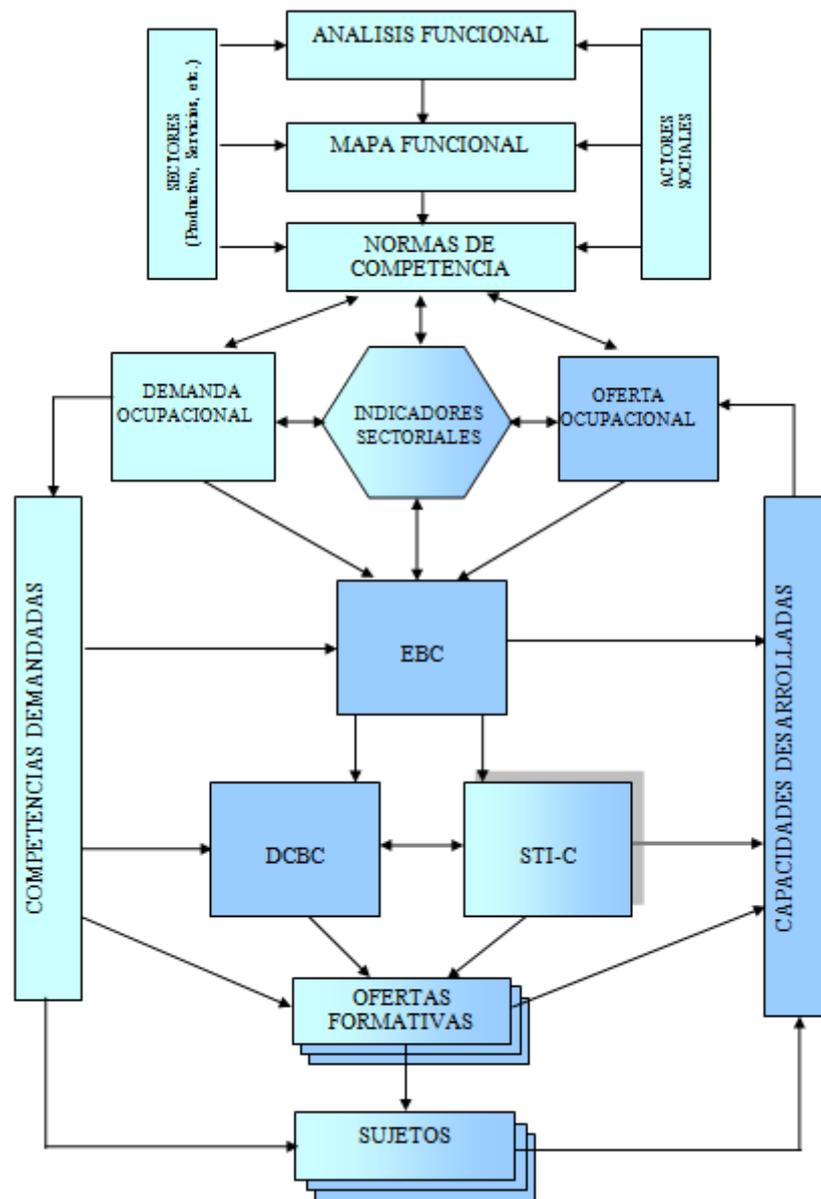


Figura 20. Relación del STI-C con el DCBC en el marco EBC.

4.1 Aproximación del DCBC con el STI-C

En esta sección exponemos una relación intuitiva entre el DCBC y el modelado de componentes del STI-C. Esta relación consiste en asociar elementos del DCBC a componentes y procesos del STI-C, para así mejorar la comprensión de su funcionamiento por parte del docente experto y por lo tanto la calidad de las implementaciones de propuestas formativas.

A continuación, describimos las siete fases que proponemos para establecer la aproximación entre el DCBC y los componentes del STI-C. Las fases 1 a 3 describen la relación entre la Norma de Competencia y el DCBC. Las fases 4 a 7 describen la relación del DCBD y los componentes del STI-C.

A) Relación de la Norma de Competencia con el DCBC

Esta relación busca organizar las *competencias* establecidas en la norma de competencia, en *capacidades* que podrán desarrollarse mediante una propuesta formativa.

1. *Punto de partida:* Como vimos en la sección 3.3, el DCBC parte del análisis funcional del sector ocupacional, donde se han definido las unidades de competencias (*uc*) y elementos de competencias (*ec*) que conforman el perfil de competencias profesional o de un dominio. Si bien el DCBC se basa en el mapa funcional, este responde a la lógica de las funciones a desempeñar por el perfil, mientras aquel se ajusta a la lógica de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Por lo tanto no existe una equivalencia directa y será necesaria una transposición.
 2. *Derivación de capacidades:* El proceso formativo apunta al desarrollo de las capacidades que permitan desempeños competentes del perfil en diversidad de situaciones. Cada capacidad a desarrollar se infiere del análisis del mapa funcional y agrega, siguiendo la lógica del proceso formativo, uno o más elementos de competencias (*ec*).
 3. *Las capacidades como nexos:* En virtud de la relación anterior y mediante los descriptores del *ec* tendremos los elementos para determinar, (a) el grado de
-

desarrollo de la capacidad, (b) las situaciones problemáticas, (c) los conocimientos y contenidos relacionados.

B) Relación del DCBC con Componentes del STI-C

Las fases siguientes, buscan establecer relaciones a diferentes niveles: a nivel perfil de competencias, a nivel de elementos de competencias y a nivel de los descriptores evidencias.

4. *Del perfil al dominio de conocimiento:* Dado que el perfil de competencias, que engloba las *uc* y los *ec*, representa el desempeño competente del experto en la función, adecuadamente organizados conformarán el dominio de conocimiento que sustentará el modelo de dominio y el modelo del alumno, los detalles de ambos modelos se abordan en las secciones 4.4 y 4.5 respectivamente.
 5. *Organización de contenidos:* Al interior de cada *ec* los descriptores *evc*, *evd* y *evp* determinan el conocimiento científico tecnológico necesario para posibilitar la comprensión, reflexión y justificación de desempeños competentes. Estos contenidos responden a una estructura lógica disciplinar por lo que su estructuración didáctica deberá otorgarle significación lógica y psicológica para facilitar su apropiación.
 6. *Módulo didáctico:* Conforme criterios y objetivos pedagógicos, el DCBC reorganiza los *ec* de manera modular conformando los módulos didácticos (M_i) de un itinerario formativo. Cada M_i se organizará alrededor de una situación problema que apunta al desarrollo de una o más capacidades. El módulo incluirá uno más elementos de competencias (*ec*) relacionados con las capacidades a desarrollar.
 7. *De la evidencia al diagnóstico:* Los descriptores de evidencias *evc*, *evd* y *evp* conforme se describen en la norma de competencias, brindan un marco adecuado y las pautas para evaluar las capacidades abordadas en los elementos de competencias (*ec*) de un módulo determinado (M_i).
-

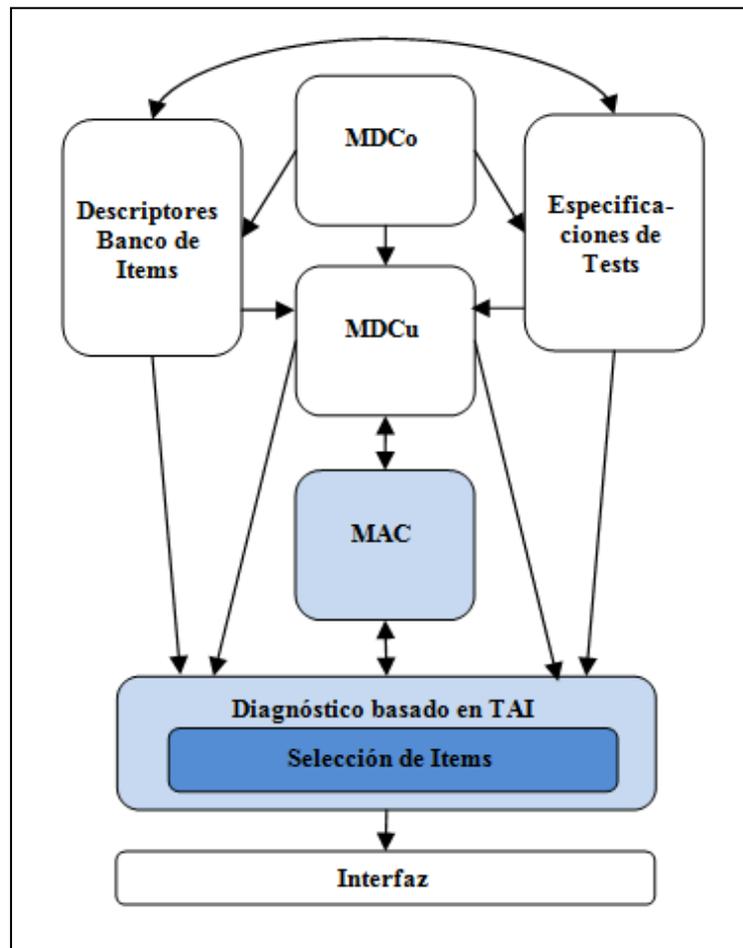


Figura 21. Nueva arquitectura STI-C.

4.2 Descripción de la Arquitectura Propuesta para el STI-C

En esta sección presentamos de manera general la nueva arquitectura propuesta para el STI-C, cuyo diseño busca ser coherente con los principios del enfoque del DCBC. La nueva propuesta presenta innovaciones en la estructura y representación del modelo de dominio, del modelo del alumno y el proceso de diagnóstico. Seguidamente describimos cada uno de los mencionados componentes. En la Figura 21 se esquematiza la arquitectura propuesta.

A) Modelo de Dominio Basado en Competencias

Este modelo contiene el perfil de competencias del experto en un dominio de conocimiento. Se estructura a su vez, en cuatro componentes.

1. Un *modelo de dominio de competencia (MDCo)*: El cual se deriva del mapa funcional, facilitando la definición del perfil de competencias del experto en un dominio de conocimiento. A diferencia de otras propuestas de representación del conocimiento que utilizan redes conceptuales o redes bayesianas, el MDCo se representa mediante una red semántica de competencias que incluye unidades de competencia (*uc*), elementos de competencia (*ec*), descriptores y las relaciones entre estos.
2. Un *modelo de dominio curricular (MDCu)*: Que se organiza en módulos didácticos, es elaborado por el docente, en base al DCBC sobre el MDCo. El MDCu permite reorganizar modularmente las unidades de competencias del MDCo, conforme criterios y objetivos pedagógicos definidos por el docente experto.
3. Un conjunto de *descriptores evidencias evp, evd y evc*: Estos descriptores evidencias se relacionan con cada *ec* que componen un módulo didáctico. Los descriptores posibilitan el diagnóstico (evaluación) de las capacidades abordadas en los *ec* pertenecientes a un módulo didáctico.
4. Un *banco de ítems*: Cada ítem se relaciona con el descriptor evidencia (evp, evd o evc) al cual evalúa. Los ítems que evalúan un mismo descriptor, conforman el banco de ítems de ese descriptor. Los ítems y las especificaciones del funcionamiento del TAI son definidos por el docente.

En la sección 4.4 detallamos la organización y estructura del MDCo y MDCu.

B) Modelo del Alumno Basado en Competencias

El modelo del alumno basado en competencias (*MAC*), se encarga de almacenar toda la información referente al alumno, perfil de competencias, y su representación relacionada con el modelo de diagnóstico. Para ello, utiliza un modelo de superposición sobre el MDCu, es decir, tendrá la misma estructura de organización y representación del perfil de competencias que el MDCu. Lo cual, permitirá acreditar las capacidades asociadas a los elementos de competencias que conforman un módulo didáctico. En la sección 4.4 describiremos el modelado del MAC de manera detallada.

C) Diagnóstico Basado en TAI para Evaluar Competencias

El TAI para evaluar competencias (*TAI-C*), posibilita evaluar el nivel de competencias del alumno y actualizar el perfil de competencias en función de las respuestas del alumno a los ítems del TAI. El TAI-C extiende la propuesta de TAI cognitivo [65] a fin de adaptarlo a la evaluación de competencias en el STI-C. En la sección 4.4 exponemos en detalle el funcionamiento del TAI-C.

4.3 Modelado del Dominio basado en Competencias

En la sección 4.1 se realizó una aproximación desde los principios del DCBC a los procesos y componentes del STI-C con la finalidad de orientar su estructura y modelado, en la sección 4.2 hemos descrito, de manera general, una nueva arquitectura de STI-C, siguiendo con este planteamiento, a continuación definimos en mayor detalle los componentes del STI-C.

4.3.1 Modelado del MDCo y MDCu

El modelo de dominio está compuesto por el MDCo y el MDCu, a continuación describimos detalladamente ambos modelos.

A) Modelo de Dominio de Competencias (MDCo)

El MDCo contiene el perfil de competencias del experto en un dominio de conocimiento, se representa mediante una red semántica de competencias que incluye unidades de competencia (*uc*), elementos de competencia (*ec*), descriptores (*evc*, *evd* y *evp*) y las relaciones entre estos.

Es importante remarcar que a diferencia de los STI mencionados en la sección 2.8, la red semántica del MDCo no representa el conocimiento del experto, sino el perfil de competencias, es decir, capacidades mucho más complejas que integran al conocimiento como un componente. Esta estructura se fundamenta en el mapa funcional y la norma de competencia derivada, es bien conocida por el docente experto. Seguidamente describimos los pasos en la organización del mismo:

1. Partimos del *perfil de competencias* profesionales, o de un determinado dominio.
2. Descomposición del perfil en *unidades de competencias (uc)*, una *uc* se ubica en el más alto nivel dentro del perfil de competencias.
3. Cada *unidad de competencia (uc)* se desagrega en *elementos de competencias ec*, una *uc* según su complejidad o su variedad, puede especificarse en uno o en varios *ec*, un *ec* implicará una capacidad de actuación o desempeño susceptible de ser observada mediante una serie de descriptores.
4. Cada *ec* tiene asociado descriptores que representarán la *evidencia de desempeño (evd)*, la *evidencia de producto (evp)* y la *evidencia de conocimiento (evc)*, juntas configurarán el nivel de competencia alcanzado.
5. *Evidencias de desempeño (evd)*: Son descriptores de los signos que transparentan o sirven para controlar que un determinado proceso está siendo realizado de acuerdo a *buenas prácticas*.
6. *Evidencias de producto (evp)*: Son descriptores de los signos de evidencia tangibles en el nivel de los resultados o del producto, cuando se ha actuado a partir de consagrar las buenas prácticas.
7. *Evidencias de conocimiento (evc)*: Son descriptores del conocimiento científico tecnológico que permite al trabajador o a la trabajadora comprender, reflexionar y justificar los desempeños competentes.
8. Desde el punto de vista evaluativo el nivel de competencias puede ser abordado desde una óptica dimensional de sus componentes (conocimientos, actitudes y aptitudes), las evidencias en situación dada serán indicativas del nivel de competencia alcanzado.

Los pasos descritos anteriormente están relacionados con las normas de competencias, que generalmente están establecidas en el documento que define el perfil de competencias profesional u ocupacional de un rol laboral. En otras palabras el MDCo se deriva de las normas de competencias de un rol ocupacional o profesional. En la Figura 22 mostramos un esquema del *modelo de dominio de competencias* que conjuga la representación del perfil de competencias en el modelo de dominio.

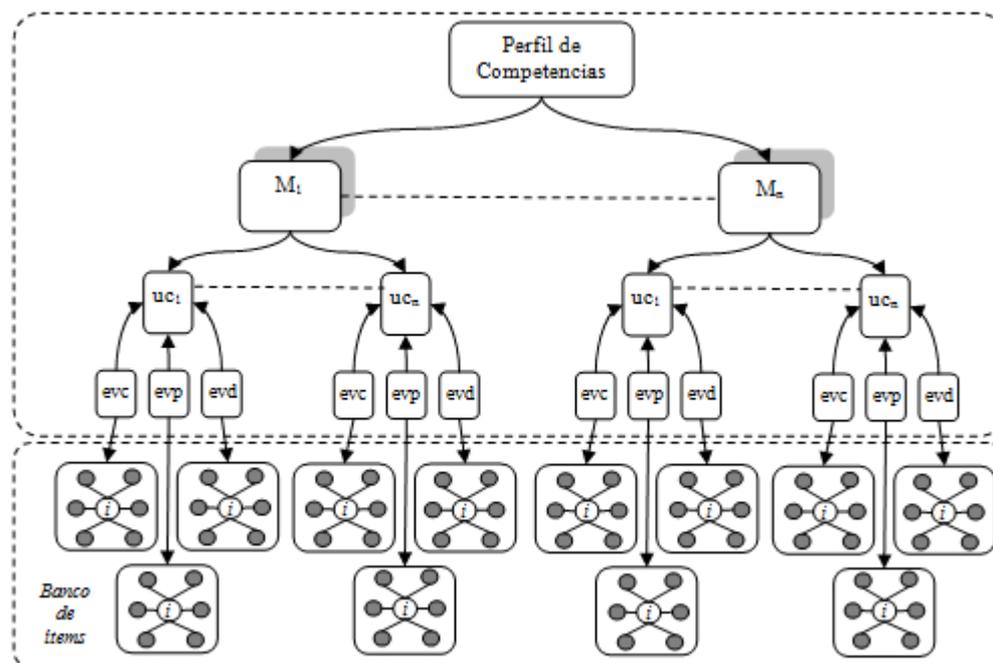


Figura 22. Estructura del MDCo.

B) Modelo de Dominio de Curricular (MDCu)

Conforme se determinó en la sección 4.2, el MDCu reorganiza el MDCo siguiendo la lógica del proceso de enseñanza-aprendizaje. El proceso formativo apunta al desarrollo de las capacidades que permitan desempeños competentes del perfil en diversidad de situaciones. Cada capacidad a desarrollar se infiere del análisis del mapa funcional y agrega, siguiendo la lógica del proceso formativo, uno o más elementos de competencias (*ec*). En virtud de la relación anterior y mediante los descriptores del *ec* tendremos los elementos para determinar:

- a) El grado de desarrollo de la capacidad.
- b) Las situaciones problemáticas.
- c) Los conocimientos (contenidos) relacionados.

El MDCu tendrá una estructura modular, un módulo didáctico (M_i) es la unidad que permite estructurar los objetivos, los contenidos y las actividades en torno a un problema de la práctica profesional y de las capacidades que se pretenden desarrollar, las cuales, son inferidas a partir de los elementos de competencia.

Como se vio, el MDCu se puede construir en forma casi transparente desde el DCBC de una propuesta a implementar.

El MDCu puede verse como un grupo de módulos relacionados, donde cada módulo esta formado por cuatro componentes: (i) El conjunto de elementos de competencias (*ec*), que conforman las capacidades abordadas en el módulo. (ii) El conjunto de nodos evidencias (*evc*, *evp* y *evd*) asociados a cada *ec*. (iii) El banco de ítems pertenecientes a los nodos evidencias. (iv) Las especificaciones de tests que determinarán el funcionamiento de los TAI. En la Figura 23 se esquematiza el MDCu.

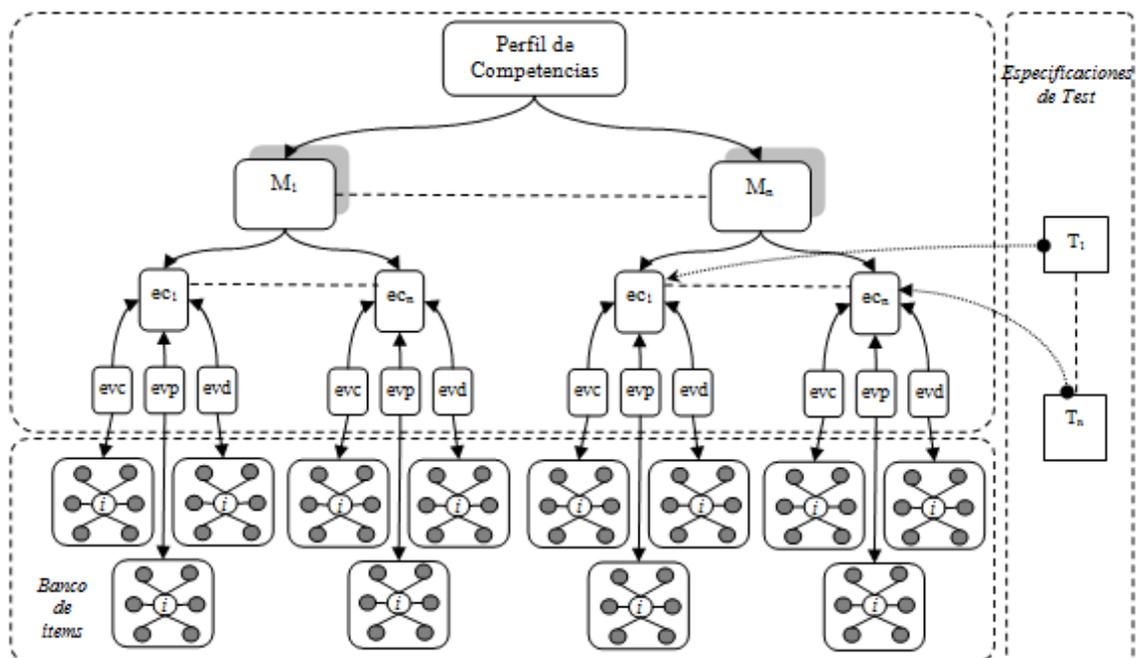


Figura 23. Estructura del MDCu.

4.3.2 Modelado del MAC

El MAC almacena toda la información referente al alumno y su representación relacionada con el proceso de diagnóstico, para ello utiliza un modelo de superposición sobre la red semántica de competencias del MDCu, esto permitirá acreditar las capacidades asociadas a los elementos de competencias *ec* que componen un módulo didáctico M_i .

Cada nodo de la red MAC relativos a las evidencias *evc*, *evp* y *evd* almacena un vector de probabilidades correspondiente al conocimiento técnico científico del alumno

sobre el descriptor, el cual se infiere de las respuestas a los ítems que componen un TAI. Cada componente del vector está asociado a un nivel de competencia y representa la probabilidad que el estudiante tenga dicho nivel de competencia en el nodo descriptor.

La representación de los vectores de probabilidades asociados a los nodos evidencias evc , evp y evd viene dado por:

- $P(\theta_{evc} = k_{evc} | \vec{U});$
- $P(\theta_{evp} = k_{evp} | \vec{U});$
- $P(\theta_{evd} = k_{evd} | \vec{U});$

Donde k_{evc} , k_{evp} y k_{evd} representan un valor de la escala de niveles de competencias en los que se evalúa al alumno y \vec{U} es el patrón de respuesta del alumno a los ítems presentados en un TAI.

Cada nodo ec almacena un vector de probabilidades correspondiente al conocimiento técnico científico del alumno sobre el mismo y estará en función de los evc , evp y evd que agrega. Cada componente del vector está asociado a un nivel de competencia y representa la probabilidad que el estudiante tenga dicho nivel de competencia en el nodo ec .

La representación del vector de probabilidades asociados a los nodos ec viene dado por:

- $P(\theta_{ec} = k_{ec} | \vec{U});$

Donde k_{ec} representa un valor de la escala de niveles de competencias en la que se evalúa al alumno y \vec{U} el patrón de respuesta del alumno a todos los ítems presentados en el TAI realizado.

Cada nodo de módulo didáctico M_i almacena un vector de probabilidades correspondiente al conocimiento técnico científico del alumno sobre el mismo y estará en función de los ec que agrega. Cada componente del vector está asociado a un nivel de competencia y representa la probabilidad que el estudiante tenga dicho nivel de competencia en las capacidades abordadas en el módulo.

La representación del vector de probabilidades asociado a un módulo M_i viene dado por:

- $P_M(\theta_M = k_M | \vec{U});$
-

Donde k_M representa un valor de la escala de niveles de competencias y \vec{U} el patrón de respuesta del alumno a todos los ítems presentados en los TAI realizados. Los valores de los componentes del vector, se obtienen agregando los datos de los *ec* asociados al módulo.

Los métodos de actualización de los vectores de probabilidades asociados a los nodos del MAC, así como las agregaciones que permiten obtener el nivel de competencia en cada nodo lo exponemos en la siguiente subsección.

4.4 TAI para Evaluar Competencias (TAI-C)

En esta sección vamos a presentar otro aporte de nuestra investigación, un proceso de diagnóstico basado en un TAI para evaluar competencias (TAI-C), cuyo objetivo es adecuar la evaluación en el marco de un Sistema Tutor Inteligente basado en Competencias (STI-C) [50]. Para lo cual, se propone una extensión del TAI cognitivo basado en la TRI [65]. En primer lugar describiremos los principales componentes relacionados con el funcionamiento del TAI-C, a continuación exponemos los métodos de actualización de los diferentes nodos que componen el MAC y finalmente mostramos el funcionamiento del algoritmo del TAI-C donde explicamos los procesos de selección de ítems, cómputo y actualización del MAC.

4.4.1 Componentes del TAI-C

Los principales componentes de un TAI-C son:

- *Un modelo de respuesta asociado a los ítems:* Describe el rendimiento esperado del estudiante de acuerdo con su nivel de competencias estimado. Un STI-C utiliza un modelo de respuesta discreto y no paramétrico basado en la TRI [12] que permite evaluar ítems de opción múltiple [50], [65].
 - *Banco de ítems:* Cada ítem I_i , está asociado a un descriptor de evidencias (*evd*, *evp* o *evc*) y a cada opción de I_i le corresponde una curva característica de opción (CCO) obtenida en un proceso de calibración basado en el algoritmo de Ramsay [65], [109]. Cada CCO se representa mediante una distribución de
-

probabilidad, $P(\vec{u}_i|\theta_0)$, donde cada componente representa la probabilidad que el estudiante seleccione el patrón de respuesta \vec{u}_i , dado su nivel de competencia θ .

- *Especificaciones de test*: Para desarrollar un test el profesor debe proveer las especificaciones de test, considerando el ámbito de aplicación y las necesidades de aprendizajes de los estudiantes, a saber:
 - a) *Nivel de competencia inicial*: La estimación inicial del nivel de competencia es un aspecto importante ya que puede determinar la longitud del TAI para cada estudiante. Puede ser estimado empleando diferentes modelos, siendo uno de los más utilizados la asignación de un nivel promedio centrado en un valor o bien una distribución constante donde todos los niveles son equiprobables.
 - b) *Criterio de selección de descriptor (evp, evd o evc)*: El algoritmo selecciona el nodo descriptor que tiene el nivel de conocimiento asociado con menor probabilidad [9], [13]:

$$\min(\theta_{ev}) = \min(MAP(P(\theta_{ev}|\vec{u}_n))) \quad (5)$$

- c) *Criterio de selección de ítems*: El mecanismo adaptativo de TAI utiliza diferentes métodos para seleccionar los ítems del test, un método común es el de máxima información [9], [84] que selecciona el ítem que maximiza la información en la distribución provisional de conocimiento del estudiante. La función de información para el ítem, I_j , se calcula de la siguiente forma:

$$PI_j(\theta_i) = \frac{(P_j'(\theta_i))^2}{P_j(\theta_i)(1 - P_j(\theta_i))} \quad (6)$$

Donde θ_i es el nivel de conocimiento del estudiante i , $P_j(\theta_i)$ el valor de la CCO para el nivel del estudiante, y $P_j'(\theta_i)$ la función derivada de la CCO en el punto. Otros criterios de selección fueron propuestos en [9], [84].

- d) *Criterio de finalización*: El test finaliza cuando el nivel de conocimiento del estudiante alcanza una precisión fijada a priori, aunque hay otros criterios como un número máximo de ítems o límites de tiempos.

4.4.2 Estimación del Nivel de Competencias

Durante el funcionamiento del TAI-C, el nivel de competencias del estudiante se estima cada vez que el/ella responde a un ítem. Seguidamente exponemos el proceso de actualización de las distribuciones de niveles de competencias de los nodos que componen el MAC.

4.4.2.1 Actualización de Nodos Evidencias (*evc*, *evd*, y *evp*)

Para actualizar las distribuciones de los nodos evidencias se utiliza el método Bayesiano de Owen [84]:

$$P(\theta_{ev}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_i) = \begin{cases} |P(\theta_{ev}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1})P(\vec{u}_i|\theta_o)| & \text{si } I_i \text{ evalúa } evd_j, \\ & evc_j \text{ o } evp_j. \\ P(\theta_{ev}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1}) & \text{en otro caso.} \end{cases} \quad (7)$$

Donde $P(\theta_{ev}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1})$ es la estimación a priori del nivel de conocimiento del estudiante en el nodo *evd*, *evp* o *evk*, y $P(\vec{u}_i|\theta_o)$ la CCO de la opción del patrón de respuesta del estudiante.

Después de que el proceso de actualización de los nodos evidencias alcanzan el criterio de finalización, el sistema estima el nivel correspondientes a las distribuciones mediante el uso de una de las dos opciones introducidas en los TAI [9], [65], [84]:

- i) *Esperanza a posteriori (EAP)*:

$$\theta_{ev} = EAP(P(\theta_{ev}|\vec{u}_n)) = \sum_{k_{ev}=1}^n k_{ev} P(\theta_{ev} = k_{ev}|\vec{u}_n). \quad (8)$$

Siendo $P(\theta_{ev}|\vec{u}_n)$ la distribución de probabilidades en el nodo *evd*, *evp* o *evk* y k_{ev} el nivel de competencia respectivo.

- ii) *Máximo a posteriori (MAP)*:

$$\theta_{ev} = MAP(P(\theta_{ev}|\vec{u}_n)) = \max P(\theta_{ev} = k_{ev}|\vec{u}_n). \quad (9)$$

Siendo $P(\theta_{ev}|\vec{u}_n)$ la distribución de probabilidades en el nodo evd , evp o evk y k_{ev} el nivel de competencia respectivo.

4.4.2.2 Actualización de Nodos ec

Cada componente del vector de probabilidades de un nodo correspondiente a un elemento de competencia ec , se actualiza de la siguiente manera:

$$P(\theta_{ec} = k_{ec}|\vec{U}) = \frac{P(\theta_{evc} = k_{evc}|\vec{u}_n) + P(\theta_{evp} = k_{evp}|\vec{u}_n) + P(\theta_{evd} = k_{evd}|\vec{u}_n)}{3}. \quad (10)$$

Siendo $P(\theta_{evc} = k_{evc}|\vec{u}_n)$, $P(\theta_{evp} = k_{evp}|\vec{u}_n)$ y $P(\theta_{evd} = k_{evd}|\vec{u}_n)$ las distribuciones de probabilidades sobre los descriptores evc , evp y evd , y k_{evc} , k_{evp} y k_{evd} los niveles de competencia respectivos.

El nivel de competencia de un nodo correspondiente a un elemento de competencia ec , se computa como:

$$\theta_{ec} = \sum_{k_{ec}=1}^n k_{ec} P(\theta_{ec} = k_{ec}|\vec{U}_n). \quad (11)$$

Siendo $P(\theta_{ec}|\vec{U}_n)$ la distribución de probabilidades en el nodo ec , y k_{ec} el nivel de competencia respectivo.

O bien:

$$\theta_{ec} = |k_{evc}P(\theta_{evc} = k_{evc}|\vec{u}_n) + k_{evp}P(\theta_{evp} = k_{evp}|\vec{u}_n) + k_{evd}P(\theta_{evd} = k_{evd}|\vec{u}_n)|. \quad (12)$$

Siendo $P(\theta_{evc} = k_{evc}|\vec{u}_n)$, $P(\theta_{evp} = k_{evp}|\vec{u}_n)$ y $P(\theta_{evd} = k_{evd}|\vec{u}_n)$ las distribuciones de probabilidades sobre los descriptores evc , evp y evd , y k_{evc} , k_{evp} y k_{evd} los niveles de competencia respectivos.

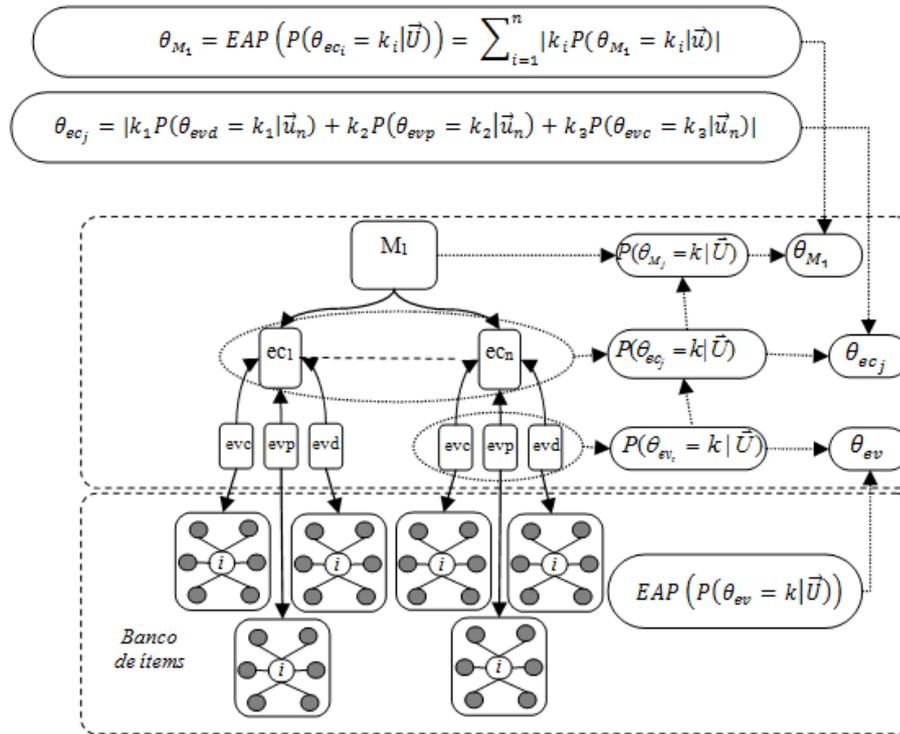


Figura 24. Proceso de actualización de las distribuciones de competencias en los nodos *evc*, *evd*, *evp*, *ec* y *M* del Modelo del Alumno.

4.4.2.3 Actualización del Nodo de un Módulo *M*

Cada componente del vector de probabilidades de un nodo correspondiente a un módulo M_i , se actualiza de la siguiente manera:

$$P(\theta_M = k_M | \vec{U}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P(\theta_{ec} = k_{ec} | \vec{U}_n)_i \tag{13}$$

Siendo $P(\theta_{ec} = k_{ec} | \vec{U}_n)_i$ la probabilidad de cada elemento de competencias que componen el módulo M_i , k_{ec} el nivel de competencia respectivo y m el número de *ec* que componen el módulo M_i .

El nivel de competencia del nodo correspondiente a un módulo M , se computa como:

$$\theta_M = \sum_{k_M=1}^n k_M P(\theta_M = k_M | \vec{U}_n). \quad (14)$$

Siendo $P(\theta_M = k_M | \vec{U}_n)$ la distribución de probabilidades en el nodo M , y k_M el nivel de competencia respectivo.

La Figura 24 muestra las ecuaciones que actualizan los nodos del Modelo del Alumno.

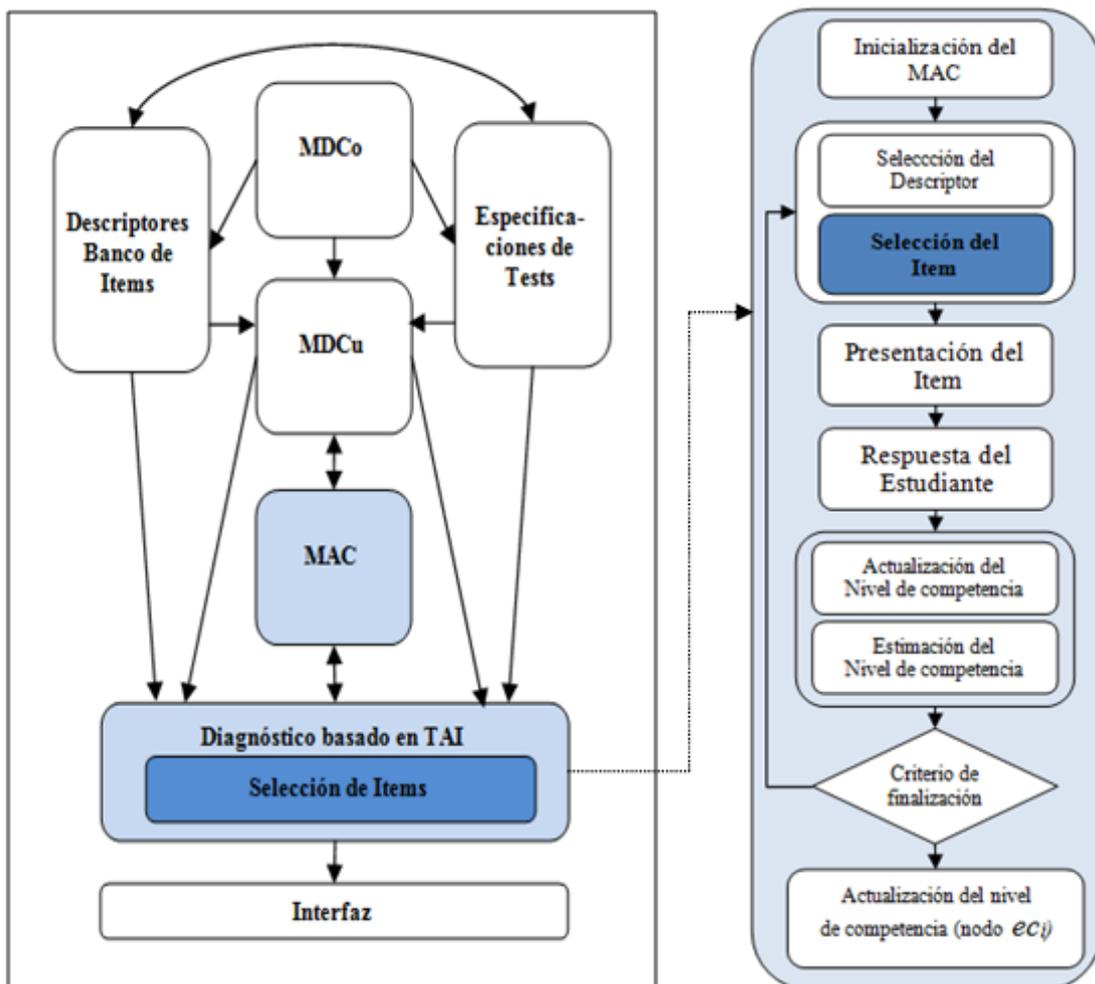


Figura 25. Diagnóstico y algoritmo de selección de ítem.

4.4.2.4 Algoritmo de Diagnóstico del TAI-C

El algoritmo de diagnóstico que presentamos en esta subsección ilustra el funcionamiento central del TAI-C, incluye el proceso de selección de nodo descriptor y selección ítems, la actualización de las distribuciones de probabilidades y la estimación de los niveles de competencias en los diferentes nodos del MAC (Ver Algoritmo 1). Gráficamente se muestra en la Figura 25.

```

DO WHILE NOT stop criterion
  evc_node ← MAP (P(θevc = k| $\vec{u}_n$ ))
  evd_node ← MAP (P(θevd = k| $\vec{u}_n$ ))
  evp_node ← MAP (P(θevp = k| $\vec{u}_n$ ))
  min_node ← Equation1(evc_node, evd_node, evp_node)
  maxinf_item ← 0
  FOR Ii ∈ item-bank-of min_node
    IF maxinf_item < Equation2(Ii)
      maxinf_item ← Equation2(Ii)
      selected_item ← Ii
    ENDIF
  ENDFOR
  SHOW selected_item
  item_response ← student_response_ $\vec{u}$ 
  DO CASE
  CASE min_node = evc_node
    FOR k=1 TO l
      P(θevc = k| $\vec{u}_{n-1}$ ) ← P(θevc = k| $\vec{u}_n$ )
      P(θevc = k| $\vec{u}_n$ ) ← Equation3(P(θevc = k| $\vec{u}_{n-1}$ ), item_response)
    ENDFOR
    θevc ← Equation5(P(θevc = k| $\vec{u}_n$ ))
    CASE min_node = evd_node
    FOR k=1 TO l
      P(θevd = k| $\vec{u}_{n-1}$ ) ← P(θevd = k| $\vec{u}_n$ )
      P(θevd = k| $\vec{u}_n$ ) ← Equation3(P(θevd = k| $\vec{u}_{n-1}$ ), item_response)
    ENDFOR
    θevd ← Equation5(P(θevd = k| $\vec{u}_n$ ))
    CASE min_node = evp_node
    FOR k=1 TO l
      P(θevp = k| $\vec{u}_{n-1}$ ) ← P(θevp = k| $\vec{u}_n$ )
      P(θevp = k| $\vec{u}_n$ ) ← Equation3(P(θevp = k| $\vec{u}_{n-1}$ ), item_response)
    ENDFOR
    θevp ← Equation5(P(θevp = k| $\vec{u}_n$ ))
  ENDCASE
  ENDDO
  θec ← Equation10(P(θevc = k| $\vec{u}_n$ ), P(θevd = k| $\vec{u}_n$ ), P(θevp = k| $\vec{u}_n$ ))
  RETURN

```

Algoritmo 1. Algoritmo de diagnóstico en STI-C

4.5 Conclusiones del Capítulo

En este capítulo hemos presentado un nuevo modelo de arquitectura STI basado en la EBC (STI-C), la nueva arquitectura del STI-C intenta solventar los problemas de representación del perfil de competencias en el modelo de dominio, el modelo del alumno y el proceso de actualización de este último. Para lo cual, favorece implementaciones de STI genéricos de manera más comprensible para el docente experto. Si bien la red semántica de competencias para representación del MDCo, MDCu y el MAC conjugan la EBC de manera comprensible y el TAI-C propuesto evalúa y actualiza el MAC en base a los principios EBC, todavía existen cuestiones no resueltas o que pueden mejorarse relacionadas con la actualización del MAC mediante el TAI-C. En tal sentido el proceso de selección de ítems utilizado está basado en un único criterio estático, lo cual puede afectar la adaptación del TAI y por lo tanto disminuir la eficacia del diagnóstico.

En el capítulo siguiente presentamos una extensión del TAI-C, al cual denominamos TAI difuso multicriterio (TAI-DM). En el enfoque del TAI-DM utilizamos conocimiento experto, lingüísticamente modelado, para caracterizar y evaluar la utilidad de los ítems mediante múltiples criterios, además el proceso de selección de ítems se reformula como un problema de toma de decisiones multicriterio (TDMC).

Capítulo 5

TAI Difuso Multicriterio (TAI-DM)

5. TAI Difuso Multicriterio (TAI-DM)

En el capítulo anterior hemos presentado una nueva arquitectura de Sistema Tutor Inteligente basado en la EBC (STI-C), en la cual para el diagnóstico del perfil de competencias del MAC utilizamos una extensión de TAI para evaluar competencias (TAI-C). La adaptación del TAI-C al perfil de competencias del estudiante resulta clave en el rendimiento del STI-C, dicha adaptación depende del algoritmo de selección de ítems que permite seleccionar el ítem que mejor contribuya a la evaluación. En el TAI-C y en la gran mayoría de los enfoques de TAI existentes, sólo se utiliza un criterio de selección de ítems, que además, generalmente permanece estático durante el funcionamiento del TAI [7], [9], [10], [11], [110]. De ahí, que la selección de ítem pueda visualizarse como un problema de decisión multicriterio que refleje la dinámica presente en un TAI.

Por ello, y en relación con los inconvenientes planteados, un objetivo de la presente memoria de investigación es definir un nuevo modelo de diagnóstico basado en TAI-C [50], el cual implementa un algoritmo lingüístico difuso dinámico, donde la selección de ítems se define como un modelo de decisión multicriterio.

El nuevo TAI difuso multicriterio (TAI-DM) utiliza un enfoque lingüístico difuso para capturar conocimiento docente experto en la valoración de utilidad de ítems, implementa un algoritmo lingüístico difuso donde la selección de ítems se define como un modelo de decisión multicriterio e incluye dinamismo en el problema de decisión [110].

De esta forma, el capítulo se estructura de la siguiente manera. En primer lugar revisamos brevemente algunos conceptos importantes sobre toma de decisión, clasificación de los problemas de toma de decisiones y el modelado de preferencias en la toma de decisiones. En segundo lugar exponemos el enfoque lingüístico difuso, los procesos computación con palabras y el modelo con representación lingüístico basado en 2-tuplas. En tercer lugar describimos el marco de representación utilizado y el modelado de la utilidad de los ítems. Finalmente se introduce el nuevo algoritmo de selección de ítem basado en un método de decisión lingüístico difuso multicriterio que incrementa el rendimiento y adaptabilidad del TAI-DM en el STI-C

5.1 Toma de Decisión

La Toma de Decisiones (TD) es una de las actividades fundamentales de los seres humanos, dado que constantemente nos estamos enfrentamos a situaciones en las que existen varias alternativas y, al menos en algunas ocasiones, tenemos que decidir cuál es mejor, o que acción realizar [111], [112], [113], [114]. En esta sección, revisaremos distintos conceptos básicos y características de los problemas de toma de decisión.

Un problema clásico de decisión tiene los siguientes elementos básicos [115]:

1. Un conjunto de alternativas o decisiones posibles.
2. Un conjunto de estados de la naturaleza que definen el contexto en el que se plantea el problema.
3. Un conjunto de valores de utilidad, cada uno de los cuales está asociado a un par formado por una alternativa y un estado de la naturaleza.
4. Una función que establece las preferencias del experto (decisor) sobre los posibles resultados.

De acuerdo a las características de los elementos del problema de decisión, éstos podrían clasificarse atendiendo a diferentes perspectivas. Por otro lado, la naturaleza de la información que define el marco del problema y su modelado influirán también en el modelo de resolución del problema de decisión [116].

A continuación, en primer término describiremos la clasificación de los problemas de toma de decisión según la teoría de decisión. En segundo lugar revisaremos el modelado de preferencias, debido a su papel principal en los procesos de toma de decisión. Finalmente, expondremos brevemente un esquema básico de resolución de un problema de decisión.

5.1.1 Clasificación de los Problemas de Toma de Decisiones

Ante la amplia gama de problemas de decisión que se presentan en el mundo real, la Teoría de Decisión clasifica los problemas de decisión atendiendo a diferentes criterios [117], [118]: (i) Según el número de criterios o atributos que se han de valorar en la

toma de decisión. (ii) Según el ambiente de decisión en el que se han de tomar las decisiones. (iii) Según el número de expertos que participan en el proceso de decisión.

A continuación describiremos cada categoría de la mencionada clasificación.

C) Número de Criterios

El número de criterios o atributos considerados en los procesos de decisión para obtener la solución permite clasificar a los problemas de decisión en dos tipos [119], [120], [121], [122], [123], [124]:

1. *Problemas con un sólo criterio o atributo.* Son problemas de decisión que implican una “optimización simple” de las alternativas de acuerdo a un único criterio. El criterio o atributo representa la valoración dada a esa alternativa. La solución se obtiene como la alternativa que mejor resuelve el problema teniendo en cuenta este único criterio.
2. *Problemas multicriterio o multiatributo.* Son problemas de decisión que implican una “optimización múltiple” de acuerdo a varios criterios, en los que para evaluar las alternativas, se tienen en cuenta dos o más criterios o atributos que definen cada alternativa. La alternativa solución será aquella que mejor resuelva el problema considerando todos estos criterios o atributos.

D) Ambiente de Decisión.

El ambiente de decisión está definido por el marco o contexto en el que se va a llevar a cabo la toma de decisión. La teoría clásica de la decisión distingue tres tipos de ambientes de decisión [117], [118]:

1. *Ambiente de certidumbre.* Un problema de decisión está definido en un ambiente de certidumbre cuando todos los elementos o factores que intervienen en el problema son conocidos con exactitud. Esta situación posibilita asignar valores cuantitativos de utilidad a cada una de las alternativas del problema.
 2. *Ambiente de riesgo.* Un problema de decisión está definido en un ambiente de riesgo cuando alguno de los elementos o factores que intervienen están sujetos a las leyes del azar. En estos casos, los problemas pueden ser resueltos utilizando la teoría de la probabilidad.
-

3. *Ambiente de Incertidumbre.* Un problema de decisión está definido en un ambiente de incertidumbre cuando la información disponible sobre las distintas alternativas puede ser incompleta, vaga o imprecisa, lo que implica que la utilidad asignada a cada alternativa tenga que ser valorada de forma cualitativa. Esta incertidumbre surge a raíz del intento de modelar la imprecisión propia del comportamiento humano o la inherente a ciertos fenómenos que por su naturaleza son inciertos (imprecisos).

Tradicionalmente, los enfoques determinísticos, o probabilísticos se han utilizados para tratar los problemas de toma de decisión. El enfoque determinístico ignora completamente la incertidumbre, mientras que el enfoque probabilístico asume que cualquier incertidumbre puede ser representada como una distribución de probabilidad. Sin embargo, en problemas reales (ingeniería, planificación, etc.) las decisiones han de tomarse bajo situaciones con información vaga, imprecisa e incierta. Habitualmente, la incertidumbre es de naturaleza no probabilística como, por ejemplo, la que puede surgir al intentar valorar fenómenos relacionados con percepciones personales. Ante la necesidad de herramientas para tratar este tipo de incertidumbre, surgen la teoría de los conjuntos difusos [125], [126], rough sets [127], [128], [129], conjuntos difusos intuicionistas [130], [131], [132], [133], etc. La lógica difusa y el enfoque lingüístico difuso serán las herramientas que utilizaremos en nuestra propuesta de TAI-DM, puesto que el uso de la información lingüística aumenta la flexibilidad y fiabilidad los modelos de decisión bajo incertidumbre.

E) Número de Expertos

La última perspectiva en la clasificación de los problemas de decisión, focaliza en el número de expertos o fuentes de información que toman parte en el problema de decisión. Un problema de toma de decisión, en el que participan varios expertos, es más complejo que otro en el que la toma de decisión se realiza de forma individual. No obstante, el hecho de que intervengan varios expertos perspectivas diferentes puede ofrecer una solución más satisfactoria al problema [118], [134].

Según el número de expertos que intervienen en el proceso de Toma de Decisión, los problemas de decisión se pueden clasificar en dos tipos [135], [136], [137], [138]:

1. *Unipersonales o individuales*. Las decisiones son tomadas por un único experto. En los problemas de decisión unipersonales o individuales, cada alternativa es valorada por un único experto.
2. *En Grupo o Multiexperto*. Las decisiones son tomadas en conjunto por un grupo de expertos que intentan alcanzar una solución, en común, al problema. El número de expertos en problemas de decisión multiexperto se asume que es finito.

Existen situaciones, bastante habituales, en las que cada experto debe expresar sus preferencias sobre distintos criterios que definen cada alternativa, en estos casos estamos ante problemas de decisión multiexperto multicriterio [118].

5.1.2 Modelado de Preferencias en Toma de Decisión

El modelado de preferencias es clave en los procesos de toma de decisión ya que se utiliza para que los expertos, en base a su conocimiento, experiencias y creencias, expresen sus valoraciones sobre el conjunto de alternativas y establezcan una preferencia sobre la idoneidad de cada una ellas como solución al problema. Un modelado de la información apropiado posibilita que los expertos expresen mejor sus preferencias. Factores como la naturaleza de la alternativa y los criterios que la definen, junto con el perfil de conocimiento del experto, orientan el modelado de la información en cada problema. Seguidamente haremos una breve revisión sobre el modelado de preferencias, para lo cual vamos a considerar dos perspectivas diferenciadas pero igualmente importantes: (i) *El dominio de expresión*: Conjunto de valores utilizados por los expertos para expresar sus preferencias. (ii) *La estructura de representación*: Estructura usada en el problema para almacenar las preferencias de los expertos.

A) Dominios de Expresión de Preferencias

En el ámbito de los problemas de decisión entendemos por dominio de expresión de preferencias al conjunto de valores utilizado por los expertos para emitir sus

preferencias. La elección de un dominio de información para expresar las preferencias puede obedecer a varios motivos:

1. *Naturaleza cuantitativa o cualitativa de la información.* La naturaleza del atributo puede condicionar el dominio utilizado para su valoración. Atributos de naturaleza cuantitativa se ajustan mejor a valoraciones de tipo numérico que aquellos de naturaleza cualitativa en los que al tratarse, por ejemplo, de sensaciones o percepciones subjetivas, el uso de otro tipo de valoraciones como palabras o términos lingüísticos (bueno, malo, mejor, etc.) suele ser más apropiado.
2. *Pertenencia de los expertos a diferentes áreas de conocimiento.* Siempre que sea posible, cada experto tenderá a utilizar un dominio de información que le resulte cercano al tipo de información con el que esté habituado a trabajar en su ámbito de laboral o profesional. Así, expertos pertenecientes a áreas técnicas se sentirían cómodos utilizando valoraciones numéricas. Sin embargo, aquellos pertenecientes a áreas sociales pueden preferir utilizar otro tipo de valoraciones no numéricas como las lingüísticas.
3. *Expertos con diferente grado de conocimiento sobre el problema.* La experiencia de los expertos en la resolución de problemas similares puede implicar que unos expertos opten por elegir dominios de expresión precisos como, por ejemplo, escalas con un elevado número de valoraciones, frente a otros expertos con menos experiencia y que se sientan más cómodos utilizando escalas con un menor número de valoraciones.

Ajustar y adaptar el modelado de preferencias al marco del problema de decisión posibilita que los expertos se sientan más cómodos y seguros a la hora de valorar sus preferencias y, por lo tanto, que la solución final tenga mayor fiabilidad.

En la literatura, encontramos que en los problemas de toma de decisión la información puede ser expresada en distintos dominios, siendo los más comunes los siguientes:

1. *Dominio Numérico* [117], [124].
 2. *Dominio Intervalar* [131], [136], [139], [140].
 3. *Dominio Lingüístico* [137], [141], [142], [143], [144].
-

En nuestra propuesta de TAI-DM, nos centramos en capturar el conocimiento del docente experto, donde sus preferencias expresan las valoraciones sobre la utilidad de los ítems en la evaluación de un nodo evidencia y conforme a un conjunto de criterios. Como vimos en 5.1.1, el uso de información lingüística para modelar esta información otorga mayor flexibilidad e idoneidad. En el capítulo siguiente, Modelado Lingüístico Difuso, revisaremos en detalle la herramienta que hemos utilizado para modelar este tipo de información, el enfoque lingüístico difuso [145], [146], [147].

B) Estructuras de Representación de Preferencias

Una vez conocidos los dominios de expresión más comunes en problemas de toma de decisión, vamos a revisar qué tipos de estructuras son más comunes en los problemas de decisión para representar las preferencias:

1. *Ordenes de Preferencia.* Este formato de representación de preferencias establece un ranking u orden de alternativas que representa la idoneidad de cada alternativa como solución al problema de decisión según el punto de vista de cada experto.

Las preferencias de un experto, $e_i \in E$, sobre un conjunto de alternativas X , se describen mediante un orden de preferencias individual, $O^i = \{o^i(1), \dots, o^i(n)\}$, donde $o^i(\cdot)$ es una función de permutación sobre el conjunto de índices $\{1, \dots, n\}$, para dicho experto [148], [149].

De esta forma, un experto, según a su punto de vista, proporciona un vector de alternativas ordenado de mejor a peor. Para todo orden de preferencia O^i supondremos, sin pérdida de generalidad, que cuanto menor es la posición de una alternativa en dicho orden, mejor satisface dicha alternativa el objetivo del experto que proporciona dicho orden y viceversa.

2. *Vectores de Utilidad.* Los valores de utilidad han sido un formato de representación de preferencias muy utilizado en la literatura clásica [150], [151].

En este caso, las preferencias de un experto, $e_i \in E$, sobre un conjunto de posibles alternativas X , se describen mediante un vector de n valores de utilidad en un dominio D , $U^i = \{u_1^i, \dots, u_n^i\}$, $u_j^i \in D$.

Este formato de representación de preferencias es más refinado que el anterior, por lo que un experto puede utilizarlo para representar sus preferencias sobre las alternativas, siendo necesario que el experto sea capaz de evaluar cada alternativa de manera global con respecto a las demás.

En nuestra propuesta de TAI-DM del STI-C, las preferencias del docente experto en relación con la utilidad de los ítems serán recogidas a través de vectores de utilidad, en un dominio de expresión lingüístico.

3. *Relaciones de Preferencia.* Según la Teoría Clásica de Preferencias [152], las preferencias sobre un conjunto de alternativas $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, se pueden modelar a través de una relación binaria R definida como sigue:

$$x_i R x_j \Leftrightarrow "x_i \text{ no es peor que } x_j".$$

Esta definición considera una relación binaria como una relación de preferencia débil, e implica que dicha relación R es reflexiva. Con esta definición, es natural asociar un número real, llamado valoración y denotado $R(x_i, x_j) \in \mathbb{R}$, el cual representa el grado de verdad de la afirmación " x_i no es peor que x_j ", o grado de preferencia de la alternativa x_i sobre la alternativa x_j . Cuando el conjunto de alternativas es finito, podemos asociar una matriz P_R a la relación R , tomando como elemento ij -ésimo el valor $R(x_i, x_j)$ [138], [153], [154].

Sea $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ ($m > 2$) un conjunto finito de expertos que han de expresar sus preferencias sobre un conjunto finito de alternativas $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ($n = 4$). Una relación de preferencia individual se representa como una matriz $P_{e_l} \subset X \times X$, donde el valor $\mu_{P_{e_l}}(x_i, x_j) = p_l^{ij}$ representa el grado de preferencia de la alternativa x_i sobre la alternativa x_j según el experto e_l .

$$P_{e_l} = \begin{pmatrix} p_l^{11} & \dots & p_l^{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ p_l^{m1} & \dots & p_l^{mn} \end{pmatrix}$$

5.1.3 Procesos de Resolución de Problemas de Toma de Decisiones

No obstante a la existencia de los distintos tipos de problemas de decisión, se propone un esquema básico de resolución [111], [116], [120], [155], [156], para los mismos, basado en dos fases: (i) agregación y (ii) explotación, que son descritas a continuación (Ver Figura 26):

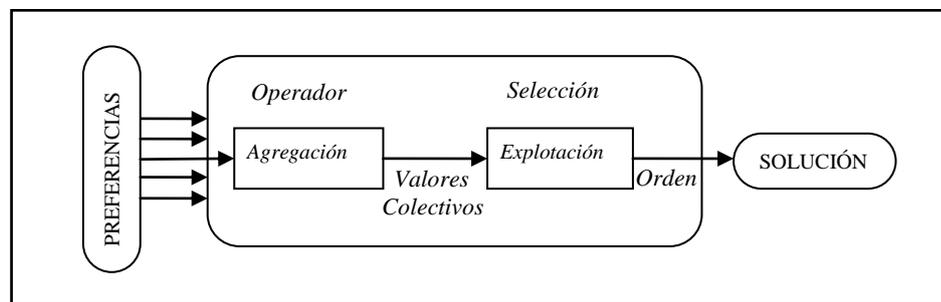


Figura 26. Proceso de resolución de TD.

- a) *Fase de Agregación:* Su objetivo es obtener un valor colectivo de preferencia por cada unidad de representación, en función de los valores individuales de preferencias provistos por los expertos o los criterios involucrados en el problema. Para ello se utiliza un operador de agregación de información. El problema de la agregación de información ha sido estudiado ampliamente en la literatura [157], [158], [159], [160], [161], [162], [163].
 - b) *Fase de Explotación:* La información de entrada son los valores colectivos obtenidos en la fase previa. Su objetivo es seleccionar la mejor alternativa de entre los valores colectivos. Esto se realiza utilizando una función o criterio de selección que permite ordenar y seleccionar la mejor alternativa del vector de utilidad o relaciones de preferencias [164], [165], [166].
-

5.2 Modelado Lingüístico Difuso

Debido a que nuestra nueva propuesta de TAI-DM utiliza el enfoque lingüístico difuso para capturar conocimiento docente experto en la valoración de utilidad de ítems, e implementa un algoritmo lingüístico difuso, donde la selección de ítems se define como un modelo de decisión multicriterio, nuestro interés se focaliza en problemas de decisión definidos bajo circunstancias de incertidumbre con información vaga e imprecisa [167], [168], [169], donde los expertos usualmente proporcionan información lingüística. En general, este tipo de información es modelada lingüísticamente, originando la toma de decisiones lingüística (TDL) [114]. Entre las herramientas para hacer frente a tal tipo de incertidumbre, están la lógica difusa y el enfoque lingüístico difuso.

La utilización de herramientas de la lógica difusa y el enfoque lingüístico difuso para tratar la TD bajo incertidumbre han producido resultados satisfactorios. Diferentes modelos computacionales lingüísticos han sido aplicados para realizar procesos de Computación con Palabras (CW) en problemas de TDL [170], [171]. El uso de la información lingüística mejora la confiabilidad y flexibilidad de los modelos de decisión clásicos [172].

En esta sección, en primer lugar describimos el enfoque lingüístico difuso, luego revisamos modelos computacionales para operar con palabras y por último exponemos en detalle el modelo basado en 2-tupla lingüística.

5.2.1 Enfoque Lingüístico Difuso

Los problemas que ocurren en el mundo real presentan aspectos que pueden ser de distinta naturaleza. Cuando dichos aspectos o fenómenos son de naturaleza cuantitativa, éstos se valoran fácilmente utilizando valores numéricos más o menos precisos. Sin embargo, cuando la naturaleza de tales aspectos no es cuantitativa sino cualitativa o cuando la información es vaga e imprecisa, no es sencillo ni adecuado utilizar un modelado de preferencias numérico. En estos casos, se ha mostrado adecuado el uso del modelado lingüístico, ya que mejora la fiabilidad y flexibilidad.

Este tipo de aspectos suele aparecer frecuentemente en problemas que presentan incertidumbre en los que se pretenden evaluar fenómenos relacionados con percepciones y relaciones de los seres humanos (diseño, gusto, diversión, etc.). En estos casos, se suelen utilizar palabras del lenguaje natural (bonito, feo, dulce, alto, bajo, mucha, poca, etc.) en lugar de valores numéricos para emitir tales valoraciones. Como se indica en [173], [174], el uso de un modelado lingüístico de preferencias puede deberse a varias razones:

- La información disponible es demasiado vaga o imprecisa para ser valorada por los expertos utilizando mediante valores numéricos.
- Situaciones en las que la información no puede ser cuantificada debido a su naturaleza y sólo puede medirse utilizando términos lingüísticos.
- Información cuantitativa que no puede medirse porque no están disponibles los elementos necesarios para llevar a cabo una medición exacta o porque el coste de su medición es muy elevado. En este caso, el uso de un valor aproximado que permita reflejar los distintos valores del problema puede ser adecuado

En la literatura existen diferentes enfoques para modelar la información lingüística [137], [145], [146], [147], [175], [176]. En nuestra propuesta de TAI-DM, para modelar las valoraciones de la utilidad de los ítems por parte del docente experto, nosotros utilizaremos el enfoque lingüístico difuso ya que proporciona un método directo para modelar información lingüística mediante variables lingüísticas cuyo dominio de expresión son conjuntos de palabras o términos lingüísticos [145], [146], [147].

El enfoque lingüístico difuso, que tiene como base teórica la Teoría de Conjuntos Difusos, se ha mostrado eficaz para valorar cuestiones de naturaleza cualitativa [137], [177], [178], [179], [180], [181]. Para ello, representa los aspectos cualitativos como valores lingüísticos, utilizando variables lingüísticas cuyo dominio de expresión son conjuntos de palabras o términos lingüísticos [145], [146], [147]. Seguidamente presentamos las definiciones importantes relacionadas con el enfoque difuso, en el Anexo III describimos las Nociones y Conceptos Básicos de la Teoría de Conjuntos Difusos.

Definición 1. *Una variable lingüística está caracterizada por una quintupla $(H, T(H), U, G, M)$, en la que:*

- *H es el nombre de la variable.*
- *T(H) es el conjunto de valores lingüísticos o etiquetas lingüísticas.*
- *U es el universo de discurso de la variable.*
- *G es una regla sintáctica (que normalmente toma forma de gramática) para generar los valores de T(H).*
- *M es una regla semántica que asocia a cada elemento de T(H) su significado. Para cada valor $L \in T(H)$, $M(L)$ será un subconjunto difuso de U.*

Una variable lingüística se caracteriza por un valor sintáctico o etiqueta y por un valor semántico o significado. La etiqueta es una palabra o frase perteneciente a un conjunto de términos lingüísticos y el significado de dicha etiqueta viene dado por un subconjunto difuso en un universo de discurso. Al ser las palabras menos precisas que los números, el concepto de variable lingüística es una buena propuesta para caracterizar aquellos fenómenos que no son adecuados para poder ser evaluados mediante valores numéricos precisos.

Para resolver un problema desde el punto de vista del enfoque lingüístico difuso es necesario llevar a cabo dos operaciones fundamentales:

1. Elección de una adecuada sintaxis del conjunto de términos lingüísticos, $T(H)$.
2. Definición de la semántica asociada a cada término lingüístico.

Ambas operaciones se describen a continuación.

5.2.1.1 Sintaxis del Conjunto de Términos Lingüísticos

Para que una fuente de información pueda expresar con facilidad su información y conocimiento es necesario que disponga de un conjunto apropiado de descriptores lingüísticos. Dos aspectos muy importantes, que son necesario analizar con el fin de establecer la descripción de una variable lingüística, son: (i) La granularidad de la incertidumbre [182], es decir, la cardinalidad del conjunto de términos lingüísticos usado para expresar y representar la información. (ii) Generación de los términos lingüísticos.

A) Cardinalidad del Conjunto de Términos Lingüísticos

Una granularidad baja o cardinalidad pequeña del conjunto de etiquetas lingüística, es adecuada cuando el conocimiento de los expertos sobre la variable a valorar es bajo. Sin embargo, si el experto tiene un alto grado de conocimiento, este tipo de granularidad puede producir una pérdida de expresividad y, por lo tanto, de información.

Una granularidad alta o cardinalidad grande del conjunto de etiquetas lingüística es adecuada cuando el conocimiento de los expertos sobre la variable a valorar es alto. Sin embargo, si el experto tiene un grado de conocimiento bajo, este tipo de granularidad puede producir una excesiva complejidad en la elección del término o etiqueta.

Habitualmente, la cardinalidad usada en los modelos lingüísticos suele ser un valor impar como 5, 7 o 9, no superando las 11 o 13 etiquetas.

El término medio representa una valoración de aproximadamente 0.5 y el resto de los términos se distribuye alrededor de éste [182]. Estos valores clásicos de cardinalidad parecen estar dentro de la línea de observación de Miller [183] sobre la capacidad humana, en la que se indica que se pueden manejar razonablemente y recordar alrededor de 7 o 9 términos diferentes.

B) Generación de los Términos Lingüísticos

Una vez establecida la cardinalidad, se aplicará un mecanismo para generar la sintaxis de los términos lingüísticos. Existen dos enfoques para esto, el primero define la sintaxis a partir de una gramática libre de contexto y el segundo utiliza una escala con un orden total definido. A continuación, analizamos brevemente el segundo enfoque, dado que es mecanismo que utilizaremos para generar términos lingüísticos en el marco de nuestra propuesta de TAI-DM.

El *enfoque basado en términos primarios con una estructura ordenada* constituye una alternativa para reducir la complejidad de definir una gramática, éste enfoque consiste en dar directamente un conjunto de términos distribuidos sobre una escala con un orden total definido [142], [181], [184]. Por ejemplo, consideremos el siguiente conjunto de siete etiquetas $T(H)=\{N,MB,B,M,A,MA,P\}$:

$S_0=N=Nada$
 $S_1=MB=Muy_Bajo$
 $S_2=B=Bajo$
 $S_3=M=Medio$
 $S_4=A=Alto$
 $S_5=MA=Muy_Alto$
 $S_6=P=Perfecto$

Donde $S_i < S_j$ si y sólo si $i < j$.

En estos casos es necesario que el conjunto de términos lingüísticos satisfagan las siguientes condiciones [162].

1. Existe un operador de negación. Por ejemplo, $Neg(s_i) = s_j$, $j = g - i$ ($g + 1$ es la cardinalidad de $T(H)$).
2. Tiene un operador de maximización: $máx(s_i, s_j) = s_i$ si $s_i \geq s_j$.
3. Tiene un operador de minimización: $mín(s_i, s_j) = s_i$ si $s_i \leq s_j$.

5.2.1.2 Semántica del Conjunto de Términos Lingüísticos

Además de la sintaxis, el enfoque lingüístico difuso define una semántica para dar significado a cada una de las etiquetas del conjunto de términos. La literatura menciona varios enfoques para definir la semántica del conjunto de etiquetas lingüísticas [184], [185], siendo uno de los más utilizados el enfoque basado en funciones de pertenencia [179], [186], [187]. Este enfoque define la semántica del conjunto de términos lingüísticos utilizando números difusos en el intervalo $[0; 1]$ donde cada número difuso es descrito por una función de pertenencia.

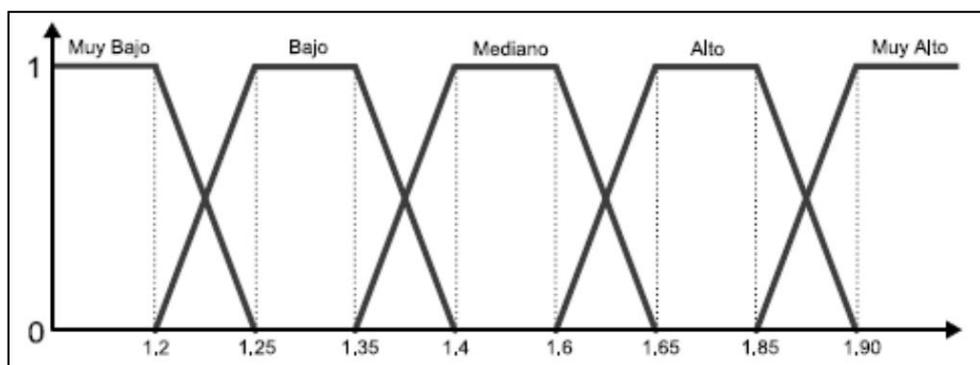


Figura 27. Definición semántica de la variable lingüística altura.

En la Figura 27 se muestra la semántica de una variable lingüística que evalúa la altura de una persona, utilizando números difusos definidos por funciones de pertenencia trapezoidales:

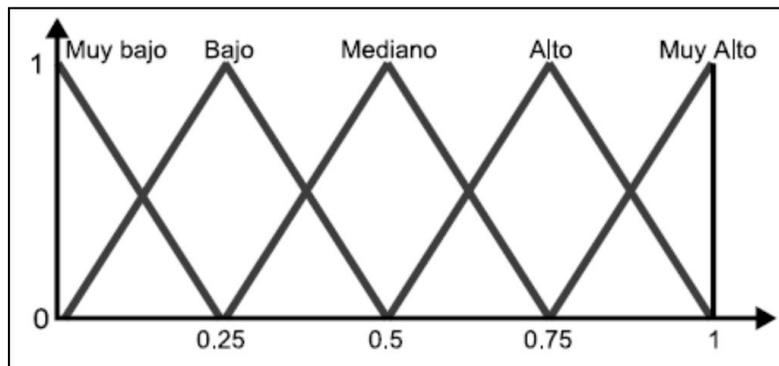


Figura 28. Conjunto de 5 etiquetas lingüísticas uniformemente distribuidas.

La Figura 28 muestra un conjunto similar al anterior, con igual sintaxis pero ahora su semántica es representada con funciones de pertenencia triangulares.

Este enfoque implica establecer las funciones de pertenencia asociadas a cada etiqueta. Esta tarea presenta el problema de determinar los parámetros según los puntos de vista de todas las fuentes de información. En la realidad, es difícil que todas las fuentes de información propongan exactamente las mismas funciones de pertenencia asociadas a los términos lingüísticos, debido a que cada una de ellas puede interpretar de forma parecida, pero a la vez diferente, el mismo concepto. Por ejemplo, dos percepciones muy cercanas pero diferentes de la evaluación del concepto excelente pueden verse en la Figura 29.

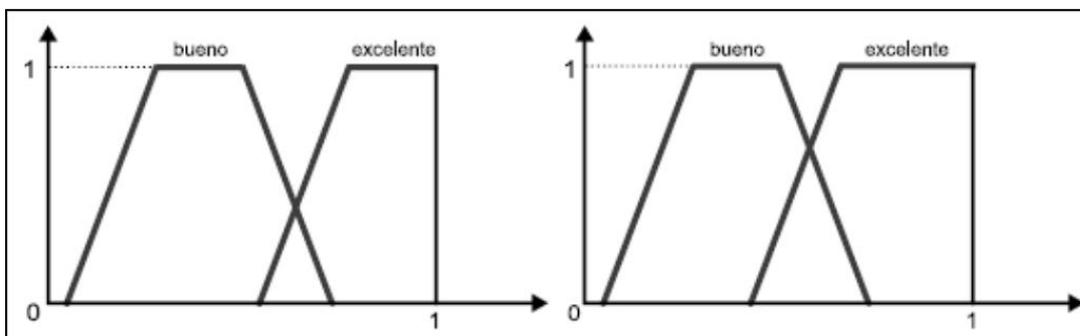


Figura 29. Distribuciones diferentes del concepto excelente.

Por lo cual puede ocurrir que términos lingüísticos con una sintaxis similar tengan diferente semántica [180].

5.2.2 Computación con Palabras

El uso de variables lingüísticas implica la necesidad de realizar procesos de computación con palabras, tales como comparación, negación y agregación de variables lingüísticas. Dichos procesos se han llevado a cabo utilizando distintos modelos:

- *Modelo Basado en el Principio de Extensión* [188]. En él, las operaciones se realizan utilizando la aritmética difusa [125] sobre los números difusos que soportan la semántica de las etiquetas lingüísticas. Por tanto, los resultados obtenidos son números difusos y para expresarlos mediante etiquetas lingüísticas hay que llevar a cabo procesos de aproximación lingüística.
- *Modelo Simbólico* [179]. Las operaciones se realizan sobre los índices de las etiquetas lingüísticas que son valores discretos. Debido a la naturaleza discreta de estos valores para obtener un resultado final en el conjunto de etiquetas hay que realizar operaciones de aproximación.

Los modelos anteriores están basados en el uso del enfoque lingüístico y presentan una seria limitación como es la pérdida de precisión al realizar las operaciones sobre las etiquetas a la hora de resolver problemas definidos en contextos complejos como los mostrados en [189]. Para solventar estos problemas se desarrolló un modelo de representación de información lingüística basado en la 2-tupla [167], [190] con un conjunto de operadores que permiten operar con precisión en conjuntos de etiquetas simétricamente distribuidas.

- *Modelo Basado en la Representación 2-tupla Lingüística* [167], [190]. Las operaciones se realizan sobre información lingüística expresada mediante 2-tuplas, permitiendo trabajar en un dominio de expresión lingüístico pero tratándolo como un universo continuo. Lo cuál, es una importante ventaja sobre los modelos anteriores, ya que no hay que realizar operaciones de aproximación para expresar los resultados, ganándose precisión en los mismos.
-

En la siguiente subsección, revisamos el modelo de representación basado en las 2-tuplas y su modelo computacional, ya que es modelo utilizado en el TAI-DM para operar con la información lingüística.

5.2.3 Modelo de Representación Lingüístico basado en 2-Tupla

El modelo de representación lingüístico basado en 2-tuplas fue presentado en [167] para mejorar los problemas de pérdida de información en los procesos de computación con palabras de otros modelos [190]: Modelo basado en el Principio de Extensión [188] y Modelo Simbólico [179]. En nuestra propuesta TAI-DM nos centramos modelo de representación lingüístico basado en 2-tuplas, por su flexibilidad y precisión para la computación con palabras.

El modelo de representación lingüístico basado en 2-tupla se basa en el concepto de traslación simbólica.

Definición 2. *La Traslación Simbólica de un término lingüístico s_i es un número valorado en el intervalo $[-0.5, 0.5)$ que representa la diferencia de información entre una cantidad de información expresada por el valor $\beta \in [0, g]$ obtenido en una operación simbólica y el valor entero más próximo $i \in \{0, \dots, g\}$ que indica el índice de la etiqueta lingüística (s_i) más cercana en S .*

A partir de este concepto, se presentó un nuevo modelo de representación para la información lingüística, el cual usa como base de representación un par de valores o 2-tupla, (s_i, α_i) , donde $s_i \in S$ es un término lingüístico y $\alpha_i \in [-0.5, 0.5]$ es un valor numérico que representa la traslación simbólica. Este modelo de representación define un conjunto de funciones que facilitan las operaciones sobre 2-tuplas.

Definición 3. *Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y $\beta \in [0, g]$ un valor que representa el resultado de una operación simbólica. Entonces la 2-tupla que expresa la información equivalente a β es obtenida con la siguiente función:*

$$\Delta: [0, g] \rightarrow S \times (-0.5, 0.5)$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ con } \begin{cases} s_i & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha & \alpha = \beta - i \end{cases} \quad \alpha \in [-0.5, 0.5) \quad (15)$$

Donde $\text{round}(\cdot)$ es el operador de redondeo usual, s_i es la etiqueta con índice más cercano a " β " y " α " es el valor de la traslación simbólica.

Conviene señalar que Δ es biyectiva [167], y $\Delta^{-1}: S \times [-0.5, 0.5) \rightarrow [0, g]$ es definida como $\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha = \beta$. En este sentido, la 2-tupla queda identificada con un valor en el intervalo $[0, g]$.

Comentario 1. A partir de las definiciones anteriores, la conversión de un término lingüístico en una 2-tupla consiste en añadir el valor cero como traslación simbólica:

$$s_i \in S \Rightarrow (s_i, 0) \quad (16)$$

Este modelo de representación definió un modelo computacional basado en las funciones Δ y Δ^{-1} (Martínez & Herrera, 2012), en que se definían:

1. *Operador de comparación de 2-tupla:* La comparación de información lingüística representada por medio de 2-tupla se realiza de acuerdo a un orden lexicográfico. Consideremos dos 2-tuplas (s_k, α_1) y (s_l, α_2) que representan cantidades de información:
 - Si $k < l$, entonces (s_k, α_1) es menor que (s_l, α_2) .
 - Si $k = l$, entonces
 - a) Si $(\alpha_1 = \alpha_2)$, entonces (s_k, α_1) y (s_l, α_2) representan la misma información.
 - b) Si $(\alpha_1 < \alpha_2)$, entonces (s_k, α_1) es menor que (s_l, α_2) .
 - c) Si $(\alpha_1 > \alpha_2)$, entonces (s_k, α_1) es mayor que (s_l, α_2) .
2. *Operador de negación 2-tupla:* El operador de negación sobre una 2-tupla se define como:

$$\text{Neg}(s_i, \alpha) = \Delta\left(g - \left(\Delta^{-1}(s_i, \alpha)\right)\right).$$

Siendo $g+1$ la cardinalidad del conjunto de etiquetas S .

3. *Operador de agregación de 2-tupla:* La agregación de información consiste en obtener un valor que resuma un conjunto de valores. En la literatura, podemos encontrar numerosos operadores de agregación que nos permiten combinar la información de acuerdo a distintos criterios. Cualquiera de estos operadores puede ser extendido para trabajar con 2-tuplas sin pérdida de información.

Definición 4. Siendo $X = \{(s_1, \alpha_1), (s_2, \alpha_2), \dots, (s_n, \alpha_n)\}$ un conjunto de varias 2-tuplas lingüísticas, la 2-tupla que simboliza la media aritmética, \bar{x}^e , se calcula de la siguiente forma:

$$\bar{x}^e[(s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)] = \Delta\left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i)\right) = \Delta\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i\right). \quad (17)$$

Definición 5. Siendo $X = \{(s_1, \alpha_1), (s_2, \alpha_2), \dots, (s_n, \alpha_n)\}$ un conjunto de 2-tuplas y $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ un vector numérico con los pesos asociados a cada 2-tupla. La media ponderada extendida \bar{x}^e se define como:

$$\bar{x}^e = \Delta\left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i) \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}\right) = \Delta\left(\frac{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}\right). \quad (18)$$

Una modificación interesante sobre este el operador, \bar{x}^e , sería que los pesos w_i fuesen también valores lingüísticos (2-tuplas). A dicho operador lo notamos como \bar{x}_i^e y lo definimos como sigue:

Definición 6. Siendo $X = \{(s_1, \alpha_1), (s_2, \alpha_2), \dots, (s_n, \alpha_n)\}$ un conjunto de 2-tuplas y $W = \{(w_1, \alpha_1), (w_2, \alpha_2), \dots, (w_n, \alpha_n)\}$ un vector numérico con los pesos asociados a cada 2-tupla. La media ponderada extendida \bar{x}_i^e se define como:

$$\bar{x}_i^e = \Delta\left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i) \cdot \Delta^{-1}(w_i, \alpha_i)}{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(w_i, \alpha_i)}\right) = \Delta\left(\frac{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \beta_{w_i}}{\sum_{i=1}^n \beta_{w_i}}\right) \quad (19)$$

Donde $\beta_{w_i} = \Delta^{-1}(w_i, \alpha_i)$.

5.3 TAI Difuso Multicriterio (TAI-DM)

En este apartado introducimos una extensión de Test Adaptativo Informatizado denominado TAI difuso multicriterio (TAI-DM), que posibilite mejorar la adaptación y rendimiento del TAI-C utilizado en el marco del STI-C presentado en el capítulo 4, y lograr que el proceso de diagnóstico del TAI-DM actualice de forma efectiva y eficiente el MAC.

El nuevo enfoque presentado, utiliza conocimiento experto lingüísticamente modelado para caracterizar y evaluar la utilidad de los ítems mediante múltiples criterios, además el proceso de selección de ítems dentro del diagnóstico se reformula como un problema de toma de decisiones multicriterio (TDMC), esto implica:

- Modelar el conocimiento del docente experto referente a la utilidad de ítems mediante información lingüística difusa.
- Reformular la selección de ítems como un problema de toma de decisiones multicriterio (TDMC).
- Incluir dinamismo en el proceso de selección de ítems.

Por ello, en primer lugar definimos el marco de decisión específico para el diagnóstico mediante TAI-DM. En segundo lugar, introducimos un proceso de resolución dinámico para seleccionar ítems durante la ejecución del TAI-DM que actualiza la información en el MAC del STI-C.

Eventualmente detallamos el algoritmo del proceso de selección. En la Figura 30 se muestra la integración del enfoque propuesto dentro del proceso de diagnóstico.

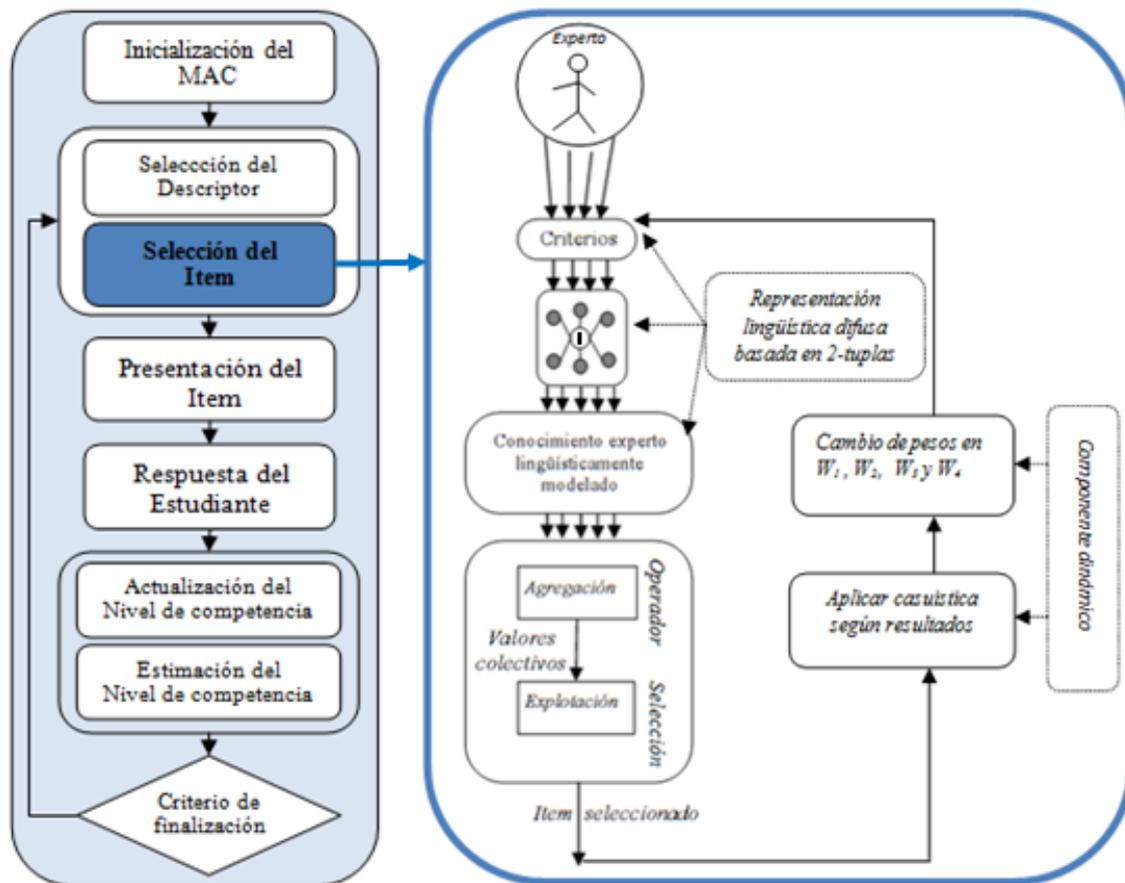


Figura 30. Proceso dinámico de selección de ítems mediante TD lingüística.

5.3.1 Marco del Diagnóstico Mediante TAI-DM

El primer paso del enfoque de representación difuso basado en 2-tupla consiste en definir los descriptores y la semántica que serán utilizados para representar la información en el modelo. En este apartado definimos el marco de representación difuso basado en 2-tupla, junto con los descriptores y la semántica que serán utilizados para caracterizar los ítems del banco de ítems en base a conocimiento experto lingüísticamente modelado.

El marco define el dominio de expresión y escalas que utilizará el docente experto para proporcionar sus valoraciones. Para nuestra propuesta de TAI-DM, el marco se basa en una estructura con:

- $I = \{I_1, I_2, \dots, I_m\}$ Conjunto de ítems (alternativas) a ser evaluadas.

- $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ Conjunto de criterios que caracteriza cada ítem I_i evaluado. Los criterios mencionados en la literatura [9], [10], [11] que utilizaremos en nuestra propuesta son:
 - *Discriminación* (c_1): Contribuye a diferenciar los niveles de conocimiento en las distribuciones de posibilidad poco dispersas.
 - *Información* (c_2): Contribuye a aumentar la precisión de la estimación del nivel de habilidades con la obtención de distribuciones apuntadas.
 - *Cercanía* (c_3): Contribuye a seleccionar el ítem cuya resolución requiere un nivel de competencias cercano al nivel de competencias del estudiante evaluado.
 - *Dificultad* (c_4): Contribuye a determinar los niveles de competencia para el cual el valor de la posibilidad de responder correctamente al ítem, es el mismo que el de responder de forma incorrecta.

Sobre estos criterios el docente experto expresa sus opiniones mediante etiquetas lingüísticas de un conjunto de términos lingüísticos:

- $S = \{s_0: \text{Muy Bajo (MB)}; s_1: \text{Bajo (BA)}; s_2: \text{Medio (ME)}; s_3: \text{Alto (AL)}; s_4: \text{Muy Alto (MA)}\}$
- $X_{ij}^k = \{x_{i1}^k, x_{i2}^k, \dots, x_{im}^k\}$ Vector de utilidad, donde $x_{ij}^k \in S$ es la valoración del docente experto concerniente a la contribución del ítem I_i en la evaluación del nivel de competencia k , de acuerdo con el criterio c_j .

Los criterios tienen un peso de acuerdo a su relevancia dentro del proceso de selección. Dicha relevancia está asociada a un vector de pesos, W , que se modifica a través del tiempo mediante un proceso dinámico.

- $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ Conjunto de pesos asociados a cada criterio c_j . Dado que utilizamos cuatro criterios y cada criterio tiene un peso asociado, entonces $m=4$.

5.3.2 Actualización del MAC Mediante TAI-DM

Una vez definido el marco de representación lingüística basado en 2-tuplas para el diagnóstico mediante TAI-DM, aquí definiremos el funcionamiento del TAI-DM que actualiza la información del MAC.

Durante la administración de un TAI-DM, cada vez que el alumno responde a un ítem I , la actualización del vector de probabilidades asociado al nodo evidencia evaluado se realizará de manera similar a lo indicado en 4.3.3.1, no obstante a ello, seguidamente describimos el proceso con mayor detalle a fin de clarificar su funcionamiento en el TAI-DM:

$$P(\theta_{evc}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_i) = \begin{cases} |P(\theta_{evc}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1})P(\vec{u}_i|\theta_o)| & \text{si } I_i \text{ evalúa } evc, \\ P(\theta_{evc}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1}) & \text{en otro caso.} \end{cases} \quad (20)$$

Donde $P(\theta_{evc}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1})$ es la estimación a priori del nivel de conocimiento del estudiante en el nodo evc , y $P(\vec{u}_i|\theta_o)$ la CCO de la opción del patrón de respuesta del estudiante.

$$P(\theta_{evd}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_i) = \begin{cases} |P(\theta_{evd}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1})P(\vec{u}_i|\theta_o)| & \text{si } I_i \text{ evalúa } evd, \\ P(\theta_{evd}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1}) & \text{en otro caso.} \end{cases} \quad (21)$$

Donde $P(\theta_{evd}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1})$ es la estimación a priori del nivel de conocimiento del estudiante en el nodo evd , y $P(\vec{u}_i|\theta_o)$ la CCO de la opción del patrón de respuesta del estudiante.

$$P(\theta_{evp}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_i) = \begin{cases} |P(\theta_{evp}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1})P(\vec{u}_i|\theta_o)| & \text{si } I_i \text{ evalúa } evp, \\ P(\theta_{evp}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1}) & \text{en otro caso.} \end{cases} \quad (22)$$

Donde $P(\theta_{evp}|\vec{u}_1, \dots, \vec{u}_{i-1})$ es la estimación a priori del nivel de conocimiento del estudiante en el nodo evp , y $P(\vec{u}_i|\theta_o)$ la CCO de la opción del patrón de respuesta del estudiante.

Una vez alcanzado el criterio de finalización para los nodos evc , evd y evp , la actualización del vector de probabilidades correspondiente al nodo ec relacionado, se realiza de la siguiente manera:

$$P(\theta_{ec} = k_{ec}|\vec{U}) = \frac{P(\theta_{evc} = k_{evc}|\vec{u}_n) + P(\theta_{evp} = k_{evp}|\vec{u}_n) + P(\theta_{evd} = k_{evd}|\vec{u}_n)}{3}. \quad (23)$$

Siendo $P(\theta_{evc} = k_{evc}|\vec{u}_n)$, $P(\theta_{evp} = k_{evp}|\vec{u}_n)$ y $P(\theta_{evd} = k_{evd}|\vec{u}_n)$ las distribuciones de probabilidades sobre los descriptores evc , evp y evd , y k_{evc} , k_{evp} y k_{evd} los niveles de competencia respectivos.

De manera similar, el vector de probabilidades correspondiente al nodo de un módulo M_i se actualizará de la siguiente forma:

$$P(\theta_M = k_M|\vec{U}) = \sum_{i=1}^m P(\theta_{ec} = k_{ec}|\vec{U}_n)_i. \quad (24)$$

Siendo $P(\theta_{ec} = k_{ec}|\vec{U}_n)_i$ la probabilidad de cada elemento de competencias que componen el módulo M , k_{ec} el nivel de competencia respectivo y m el número de ec que componen el módulo M .

5.3.3 Funcionamiento del TAI-DM

Aquí detallaremos las principales novedades que hemos introducidos en el funcionamiento del TAI-DM. Para lo cual, seguidamente exponemos los pasos necesarios para su implementación:

- 1- *Recopilación del conocimiento experto*: Este es un paso previo a la implementación del TAI-DM, se lleva a cabo al momento de configurar el STI-C, donde los profesores involucrados proporcionan sus conocimientos respecto a la utilidad de los ítems. Para cada ítem, el docente experto valora la contribución de un ítem I_i en la evaluación del nivel de competencia, k , de acuerdo a cada criterio c_j por medio de un valor lingüístico, x_{ij}^k , en S .
 - 2- *Contribución del Item*: Una vez que se conoce la contribución del ítem de acuerdo a cada criterio, una contribución global, x_i^k , debe ser computada teniendo en cuenta la contribución de cada x_{ij}^k . Esta contribución de ítem es computada mediante la agregación de las contribuciones individuales utilizando la Ecuación (19).
 - 3- *Selección de Item*: El próximo paso es obtener el ítem más adecuado en función de las contribuciones globales anteriores. Por lo tanto, se aplica un proceso de
-

explotación que selecciona el ítem con la máxima utilidad o contribución.

$I_i = \max(x_i^k)$ siendo k el nivel de competencia actual del estudiante evaluado.

Este es el proceso de selección de ítems que se utiliza como parte del proceso de diagnóstico TAI-DM en un STI-C. Una vez que el ítem ha sido elegido todavía hay algunos pasos adicionales que deben tenerse en cuenta.

- 4- *Diagnóstico de estudiante*: El ítem es removido del banco de ítems y se presenta al estudiante para que lo resuelva. Después se calcula la nueva distribución $P(\theta = k|\vec{u})$ del nivel de competencia del nodo evaluado y el nivel de competencia correspondiente $\theta = k$.
- 5- *Criterio de finalización*: Si el umbral de exactitud requerida para la evaluación del estudiante se ha alcanzado, entonces el TAI-DM termina, de lo contrario un proceso dinámico recalcula los pesos del vector, W , asociado a los criterios y entonces el proceso vuelve al paso 2.

A partir del proceso anterior vamos a describir con más detalle sus principales novedades: la etapa de agregación (paso 2) y el proceso dinámico del criterio de parada (paso 5). Los otros pasos han sido descritos en el capítulo 4 y están detallados en la literatura [9], [13], [75],:

- *Proceso de agregación*. Obtiene una evaluación colectiva lingüística, x_i^k , por cada ítem, I_i , mediante la agregación de la evaluación lingüística del experto, x_{ij}^k . Este valor colectivo representa la contribución del ítem I_i en la evaluación del nivel de competencia, k . Para realizar el proceso de agregación debe seleccionarse un operador de agregación [114]. Se ha señalado que el modelo 2-tupla ofrece un marco preciso, comprensible, fácil de utilizar y con buenos resultados en CW. Por lo tanto, se propone el uso del operador de media ponderada extendido a 2-tupla lingüística propuesto por [167]:

$$X_i^k = \Delta \left(\frac{\sum_{j=1}^m \Delta^{-1}(s_j, \alpha_j) \bullet w_j}{\sum_{j=1}^m w_j} \right) = \Delta \left(\frac{\sum_{j=1}^m \beta_j \bullet w_j}{\sum_{j=1}^m w_j} \right) \quad (25)$$

Siendo $\{(s_1, \alpha_1), \dots, (s_m, \alpha_m)\}$ las valoraciones lingüísticas ha ser agregadas, (w_1, \dots, w_m) el vector de pesos asociado a cada criterio C y β_j el valor numérico obtenido mediante la función Δ (ver Ecuación (15)).

- *Computación dinámica del vector de pesos:* Durante el proceso de diagnóstico es lógico que los pesos asignados a los criterios utilizados en la selección de ítems cambien a través del tiempo [13], estos cambios ocurren en función de la aproximación del nivel de competencia inferido ($\theta_{ev}^{n-1} = k_{n-1}$) en un momento o iteración $t=n-1$ y el nivel de competencia actual en el momento $t=n$ inferido después de la respuesta al enésimo ítem del TAI-DM. Por lo tanto, en el proceso de selección de ítems proponemos el siguiente proceso dinámico para manejar los cambios de los pesos del vector a través del tiempo.

- a) Inicialmente, $t=1$, los pesos (w_j) para los criterios son uniformemente distribuidos, es decir, $(n = 4 \Rightarrow w_j = 0.25)$.
- b) Se define, δ_k , como el incremento de la probabilidad para el nivel de competencia actual $\theta_{ev}^n = k_n$ respecto de la probabilidad de $\theta_{ev}^{n-1} = k_{n-1}$:

$$\delta_k = P(\theta_{ev}^n = k_n | \overrightarrow{u_n}) - P(\theta_{ev}^{n-1} = k_{n-1} | \overrightarrow{u_{n-1}})$$

Notamos como indicador de convergencia a un número real positivo ε . Los valores de δ_k y ε afectarán los pesos de los criterios según los siguientes principios propuestos en la literatura:

- La información aumenta con la dificultad en relación con el nivel de competencia del estudiante [10], [9];
 - La entropía es una medida de la uniformidad de una distribución. Su objetivo es obtener una distribución apuntada y seleccionar el ítem que representa la mayor disminución de la entropía [11];
- c) El indicador de convergencia ε se define como un número real positivo pequeño, $0 < \varepsilon < 0,05$. Tal que, de acuerdo a la relación entre δ_k y ε el vector de pesos para la siguiente iteración, $t=n+1$, es recalculado basado en los principios propuestos por [9], [10], [11] mencionados en el párrafo anterior:

d) Por lo tanto la computación dinámica de los pesos del vector, W , se basa en los siguientes casos:

- Si $\theta_{ev}^{n-1} = \theta_{ev}^n$ y $\delta_k > \varepsilon$ entonces el nivel converge a k_n . Por lo tanto los pesos del vector deberán cambiar:
 - Incrementando el peso de w_3
 - Decreciendo los pesos de w_1 y w_4
 - Manteniendo el valor de w_2

Los ítems con máxima contribución serán aquellos cuya dificultad es cercana al nivel de competencia actual del estudiante, mejorando así la adaptación y por lo que la exactitud de la evaluación.

$$\begin{cases} w_1 = 0,125 \\ w_2 = 0,25 \\ w_3 = 0,50 \\ w_4 = 0,125 \end{cases} \quad (26)$$

- Si el nivel $\theta_{ev}^{n-1} = \theta_{ev}^n$ y $0 \leq \delta_k \leq \varepsilon$ entonces el nivel converge a k_n lentamente. Por lo tanto los pesos del vector deberán cambiar:
 - Incrementando el peso de w_2
 - Decreciendo los pesos de w_1 y w_4
 - Manteniendo el valor de w_3

Incrementando la precisión en la estimación de la evaluación y acelerando la convergencia de la evaluación.

$$\begin{cases} w_1 = 0,125 \\ w_2 = 0,50 \\ w_3 = 0,25 \\ w_4 = 0,125 \end{cases} \quad (27)$$

- Si el nivel $\theta_{ev}^{n-1} = \theta_{ev}^n$ and $-\varepsilon \leq \delta_k < 0$ entonces el nivel no converge a k_n y pierde precisión. Es necesario que el algoritmo seleccione el ítem que mejore la discriminación y la convergencia de la evaluación. Por lo tanto los pesos del vector deberán cambiar:

$$\begin{cases} w_1 = 0,50 \\ w_2 = 0,25 \\ w_3 = 0,125 \\ w_4 = 0,125 \end{cases} \quad (28)$$

- Si el nivel $\theta_{ev}^{n-1} \neq \theta_{ev}^n$ ha ocurrido un cambio en el nivel de competencias estimado. Por lo tanto los pesos del vector deberán cambiar:
 - Incrementando el peso de w_4
 - Decreciendo los pesos de w_3 y w_2
 - Manteniendo el valor de w_1

En este caso los ítems con mayor utilidad serán aquellos que tienen la misma posibilidad de ser respondidos correctamente o incorrectamente.

$$\begin{cases} w_1 = 0,25 \\ w_2 = 0,125 \\ w_3 = 0,125 \\ w_4 = 0,50 \end{cases} \quad (29)$$

5.3.4 Algoritmo del Proceso de Selección de Ítems

Dentro de la operación de un TAI-DM en un STI-C, los pasos del algoritmo de selección de ítems (*Algoritmo 2*), son los siguientes (Ver Figura 31):

```

INIT
FOR j=1 TO m
  wj ← 0.25
ENDFOR
DO WHILE NOT stop criterion
  evc_node ← MAP (P(θevc = k|ūn))
  evd_node ← MAP (P(θevd = k|ūn))
  evp_node ← MAP (P(θevp = k|ūn))
  min_node ← MIN(evc_node, evd_node, evp_node)
  Xik ← 0
  ε ← 0.05
  FOR Ii ∈ item-bank-of min_node
    IF Xik < Equation25(Ii)
      Xik ← Equation25(Ii)
      selected_item ← Ii
    ENDIF
  ENDFOR
  SHOW selected_item
  item_response ← student_response ū
  DO CASE
    CASE min_node = evc_node
      FOR k=1 TO l

```

```

     $P(\theta_{evc} = k|\vec{u}_{n-1}) \leftarrow (P(\theta_{evc} = k|\vec{u}_n))$ 
     $P(\theta_{ev} = k|\vec{u}_{n-1}) \leftarrow (P(\theta_{evk}|\vec{u}_{n-1}))$ 
     $P(\theta_{evc} = k|\vec{u}_n) \leftarrow \text{Equation20}(P(\theta_{evc} = k|\vec{u}_{n-1}), \text{item\_response})$ 
     $P(\theta_{ev} = k|\vec{u}_n) \leftarrow (P(\theta_{ev} = k|\vec{u}_n))$ 
  ENDFOR
   $\theta_{evc} \leftarrow \text{Equation9}(P(\theta_{evc} = k|\vec{u}_n))$ 
   $\theta_{ev}^{n-1} \leftarrow \text{Equation9}(P(\theta_{ev} = k|\vec{u}_{n-1}))$ 
   $\theta_{ev} \leftarrow \text{Equation9}(P(\theta_{ev} = k|\vec{u}_n))$ 
  CASE min_node = evd_node
  FOR k=1 TO l
     $P(\theta_{evd} = k|\vec{u}_{n-1}) \leftarrow (P(\theta_{evd} = k|\vec{u}_n))$ 
     $P(\theta_{ev} = k|\vec{u}_{n-1}) \leftarrow (P(\theta_{evd}|\vec{u}_{n-1}))$ 
     $P(\theta_{evd} = k|\vec{u}_n) \leftarrow \text{Equation21}(P(\theta_{evd} = k|\vec{u}_{n-1}), \text{item\_response})$ 
     $P(\theta_{ev} = k|\vec{u}_n) \leftarrow (P(\theta_{evd} = k|\vec{u}_n))$ 
  ENDFOR
   $\theta_{evd} \leftarrow \text{Equation9}(P(\theta_{evd} = k|\vec{u}_n))$ 
   $\theta_{ev}^{n-1} \leftarrow \text{Equation9}(P(\theta_{ev} = k|\vec{u}_{n-1}))$ 
   $\theta_{ev} \leftarrow \text{Equation9}(P(\theta_{ev} = k|\vec{u}_n))$ 
  CASE min_node = evp_node
  FOR k=1 TO l
     $P(\theta_{evp} = k|\vec{u}_{n-1}) \leftarrow (P(\theta_{evp} = k|\vec{u}_n))$ 
     $P(\theta_{ev} = k|\vec{u}_{n-1}) \leftarrow (P(\theta_{evp}|\vec{u}_{n-1}))$ 
     $P(\theta_{evp} = k|\vec{u}_n) \leftarrow \text{Equation22}(P(\theta_{evp} = k|\vec{u}_{n-1}), \text{item\_response})$ 
     $P(\theta_{ev} = k|\vec{u}_n) \leftarrow (P(\theta_{evp} = k|\vec{u}_n))$ 
  ENDFOR
   $\theta_{evp} \leftarrow \text{Equation9}(P(\theta_{evp} = k|\vec{u}_n))$ 
   $\theta_{ev}^{n-1} \leftarrow \text{Equation9}(P(\theta_{ev} = k|\vec{u}_{n-1}))$ 
   $\theta_{ev} \leftarrow \text{Equation9}(P(\theta_{ev} = k|\vec{u}_n))$ 
  ENDCASE
  IF  $\theta_{ev}^{n-1} = \theta_{ev}$ 
     $\delta_k \leftarrow P(\theta_{ev}^n|\vec{u}_n) - P(\theta_{ev}^{n-1}|\vec{u}_{n-1})$ 
    DO CASE
      CASE  $\delta_k > \varepsilon$ 
        FOR j=1 to m
           $w_j \leftarrow \text{casuistic26}$ 
        ENDFOR
      CASE  $0 \leq \delta_k \leq \varepsilon$ 
        FOR j=1 to m
           $w_j \leftarrow \text{casuistic27}$ 
        ENDFOR
      CASE  $-\varepsilon \leq \delta_k < 0$ 
        FOR j=1 to m
           $w_j \leftarrow \text{casuistic28}$ 
        ENDFOR
    ENDCASE
  ELSE
    FOR j=1 to m
       $w_j \leftarrow \text{casuistic29}$ 
    ENDFOR
  ENDIF
  ENDDO
   $\theta_{ce} \leftarrow \text{Equation12}(P(\theta_{evk} = k|\vec{u}_n), P(\theta_{evd} = k|\vec{u}_n), P(\theta_{evp} = k|\vec{u}_n))$ 
  RETURN

```

Algoritmo 2. Algoritmo multicriterio dinámico de selección de ítems.

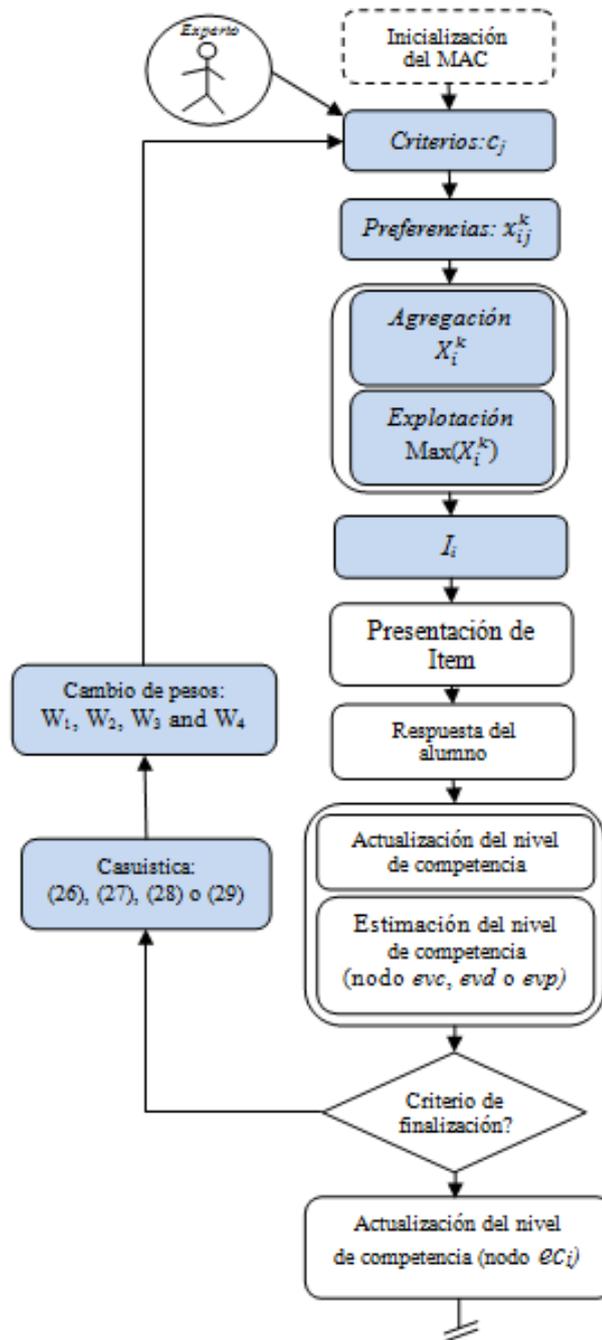


Figura 31. Nuevo algoritmo lingüístico difuso en la selección de ítems.

5.3.5 Ejemplo de Funcionamiento del TAI-DM

Para ilustrar el funcionamiento del TAI-DM, seguidamente presentamos un sencillo ejemplo:

Ejemplo de funcionamiento del TAI-DM. Supongamos que un estudiante está siendo evaluado en un nodo evidencia *evc*, el cual tiene la siguiente distribución de probabilidades de niveles de competencia:

$$\left. \begin{aligned} P(\theta_{evc} = 1|\vec{u}_i) &= 0,10 \\ P(\theta_{evc} = 2|\vec{u}_i) &= 0,10 \\ P(\theta_{evc} = 3|\vec{u}_i) &= 0,30 \\ P(\theta_{evc} = 4|\vec{u}_i) &= 0,40 \\ P(\theta_{evc} = 5|\vec{u}_i) &= 0,10 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \theta_{evk}^{n-1} = k = 4$$

La Tabla 4 contiene las valoraciones de los ítems para el nivel de competencia 4, la representación 2-tupla y la agregación (X_i^k) del vector de preferencias:

I_{ik}	Criterios				X_i^k
	$0,25*C_1$	$0,25*C_2$	$0,25*C_3$	$0,25*C_4$	
I_{14}	(MA,0)	(BA,0)	(AL,0)	(MB,0)	(ME,0)
I_{24}	(MB,0)	(MA,0)	(MB,0)	(MB,0)	(BA,0)
I_{i4}	I_{34} (MA,0)	(BA,0)	(MA,0)	(MA,0)	(ME,0.25)
	I_{44} (BA,0)	(MB,0)	(BA,0)	(BA,0)	(BA,-0.25)
	I_{54} (MB,0)	(BA,0)	(MB,0)	(MA,0)	(MB,0.25)
...

Tabla 4. Valoraciones del docente experto sobre los ítems para el nivel de competencias 4. Ejemplo TAID-DM.

Sean los valores de CCO para los ítems I_3 y I_4 para el nivel 4:

		CCO4	CCO4
		$P(\vec{u}_4 \theta_k)$	$P(\vec{u}_4 \theta_k)$
		(0,0/k=1)	(0,0/k=1)
I_3	I_4	(0,0/k=2)	(0,0/k=2)
		(0,05/k=3)	(0,05/k=3)
		(0,90/k=4)	(0,05/k=4)
		(0,05/k=5)	(0,4/k=5)

Tabla 5. Valores de los CCO de los ítem I_3 y I_4 para el nivel N. Ejemplo TAID-DM.

- *Paso 1:* Se selecciona el ítem con $\max(X_i^k)$ es decir, I_3 , el ítem es presentado al estudiante evaluado.

- *Paso 2:* En base a la respuesta del estudiante, se computa la nueva distribución de probabilidades del nivel de competencia, se utiliza la Ecuación (20) para actualizar cada componente del vector y la Ecuación (9) para hallar θ_{evc}^n , asumiendo que seleccionó la opción 4.

$$\left. \begin{aligned} |P(\theta_{evc} = 1|\vec{u}_i)(\vec{u}_4|\theta_1)| &= |0,10 * 0,00| = 0,00 \\ |P(\theta_{evc} = 2|\vec{u}_i)(\vec{u}_4|\theta_2)| &= |0,10 * 0,00| = 0,00 \\ |P(\theta_{evc} = 3|\vec{u}_i)(\vec{u}_4|\theta_3)| &= |0,30 * 0,05| = 0,12 \\ |P(\theta_{evc} = 4|\vec{u}_i)(\vec{u}_4|\theta_4)| &= |0,40 * 0,90| = 0,72 \\ |P(\theta_{evc} = 5|\vec{u}_i)(\vec{u}_4|\theta_5)| &= |0,10 * 0,05| = 0,16 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \theta_{evk}^n = k = 4$$

- *Paso 3:* Dado que no se ha alcanzado el umbral de precisión requerido, se prosigue con el paso 4.

- *Paso 4:*

$$\delta_k = 0,72 - 0,40 = 0,32;$$

Dado que $\theta_{evk}^{n-1} = \theta_{evk}^n$ y $0 \leq \delta_k \leq \varepsilon$ entonces se aplica la casuística (27)

- *Paso 5:* Se cambian los pesos de los criterios c_j , se recalculan X_i^k obteniéndose los siguientes valores:

I_{ik}	Criterios				X_i^k
	$0.125 * C_1$	$0.50 * C_2$	$0.25 * C_3$	$0.125 * C_4$	
I_{14}	(MA,0)	(BA,0)	(AL,0)	(MB,0)	(ME, -0.25)
I_{24}	(MB,0)	(MA,0)	(MB,0)	(MB,0)	(ME, 0)
I_{44}	(BA,0)	(MB,0)	(BA,0)	(BA,0)	(BA, -0.75)
I_{54}	(MB,0)	(BA,0)	(MB,0)	(MB,0)	(BA, -0.375)

Tabla 6. Valores recalculados de X_i^k . Ejemplo TAID-DM.

Se observa que en la iteración previa $X_2^4 < X_1^4$, pero con el cambio de pesos w_j y el nuevo cómputo de X_i^k ahora $X_2^4 > X_1^4$ ((ME, 0) > (ME, -0.25)) y, aunque ambos tienen la misma etiqueta es posible seleccionar el ítem con mayor valor de utilidad, lo cual refleja la dinámica presente en el proceso de selección. Además, la representación de la información lingüística con 2-tuplas, permite seleccionar una alternativa de entre varias que tienen el mismo valor de etiqueta.

- Se continúa con el *Paso 1*.

IV APLICACION

Capítulo 6

STI-C con Proceso de Diagnóstico basado en Test Adaptativo Informatizado Difuso (M-Taid)

6. STI-C con Proceso de Diagnóstico basado en Test Adaptativo Informatizado Difuso (M-Taid)

Aquí mostramos una aplicación piloto que hemos desarrollado denominada Micro Test Adaptativo Informatizado Difuso (M-Taid), tal aplicación se implementa sobre la Plataforma para dispositivos móviles Android. Si bien el M-Taid no es completamente funcional, permite desplegar los componentes de la nueva arquitectura STI-C propuesta y su proceso de diagnóstico.

A continuación describiremos brevemente las características más importantes de la aplicación M-Taid, en primer lugar mostraremos la arquitectura y la tecnología. Luego, los perfiles de usuarios utilizados para su implementación. Finalmente, se describe el funcionamiento del M-Taid y su rendimiento en un ejemplo concreto.

6.1 Aplicación M-Taid

Hemos optado por desarrollar la aplicación piloto M-Taid sobre la plataforma para dispositivos móviles (Android) por las siguientes razones:

- La penetración que tienen los dispositivos móviles en amplias franjas de edades, especialmente en la población joven que cursa sus estudios en niveles educativos medios y superiores.
- La característica modular del modelo de dominio que permite construir y distribuir M-Taid aptos para ejecutarse en diferentes dispositivos móviles.
- Android es un sistema operativo móvil basado en Linux, que junto con aplicaciones middleware está enfocado para ser utilizado en dispositivos móviles como teléfonos inteligentes, tabletas, Google TV y otros dispositivos. Es desarrollado y respaldado por la Open Handset Alliance, la cual es liderada por Google.
- El desarrollo de aplicaciones para Android no requiere aprender lenguajes complejos de programación. Todo lo que se necesita es un conocimiento aceptable de Java y estar en posesión del kit de desarrollo de software o (SDK)

provisto por Google el cual se puede descargar gratuitamente. Todas las aplicaciones están comprimidas en formato Application Package File (APK es un paquete variante del formato JAR de Java y se usa para distribuir e instalar componentes empaquetados para la plataforma Android), que se pueden instalar sin dificultad desde cualquier explorador de archivos en la mayoría de dispositivos.

6.2 Arquitectura y Tecnología

M-Taid fue desarrollada para funcionar en dispositivos móviles (smartphones y tablets) sobre la plataforma Android, las principales características de la arquitectura son:

- La estructura del sistema operativo Android se compone de aplicaciones que se ejecutan en un framework Java de aplicaciones orientadas a objetos sobre el núcleo de las bibliotecas de Java en una máquina virtual Dalvik con compilación en tiempo de ejecución. Las bibliotecas escritas en lenguaje C incluyen un administrador de interfaz gráfica (surface manager), un framework OpenCore, una base de datos relacional SQLite, una Interfaz de programación de API gráfica OpenGL ES 2.0 3D, un motor de renderizado WebKit, un motor gráfico SGL, SSL y una biblioteca estándar de C Bionic.
 - La mayoría de las aplicaciones están escritas en Java, no hay una máquina virtual Java en la plataforma. El bytecode Java no es ejecutado, sino que primero se compila en un ejecutable Dalvik y corre en la Máquina Virtual Dalvik. Dalvik es una máquina virtual especializada, diseñada específicamente para Android y optimizada para dispositivos móviles que funcionan con batería y que tienen memoria y procesador limitados.
 - Como es obvio hemos utilizado el lenguaje java y para almacenamiento persistente de los datos implementamos una base de datos SQLite.
 - El desarrollo del diseño genérico del M-Taid se realizó sobre Android utilizando el SDK, se utilizó el lenguaje de programación Java y la base de datos Sqlite provista por la plataforma. El resultado es una APK que puede ser descargada
-

por el profesor experto para su parametrización y distribución (Figura 32). O bien un paquete del proyecto que puede ser trabajado mediante un entorno integrado de desarrollo que incorpore ADT (por sus siglas en inglés - Android Development Tools), como por ejemplo Eclipse.

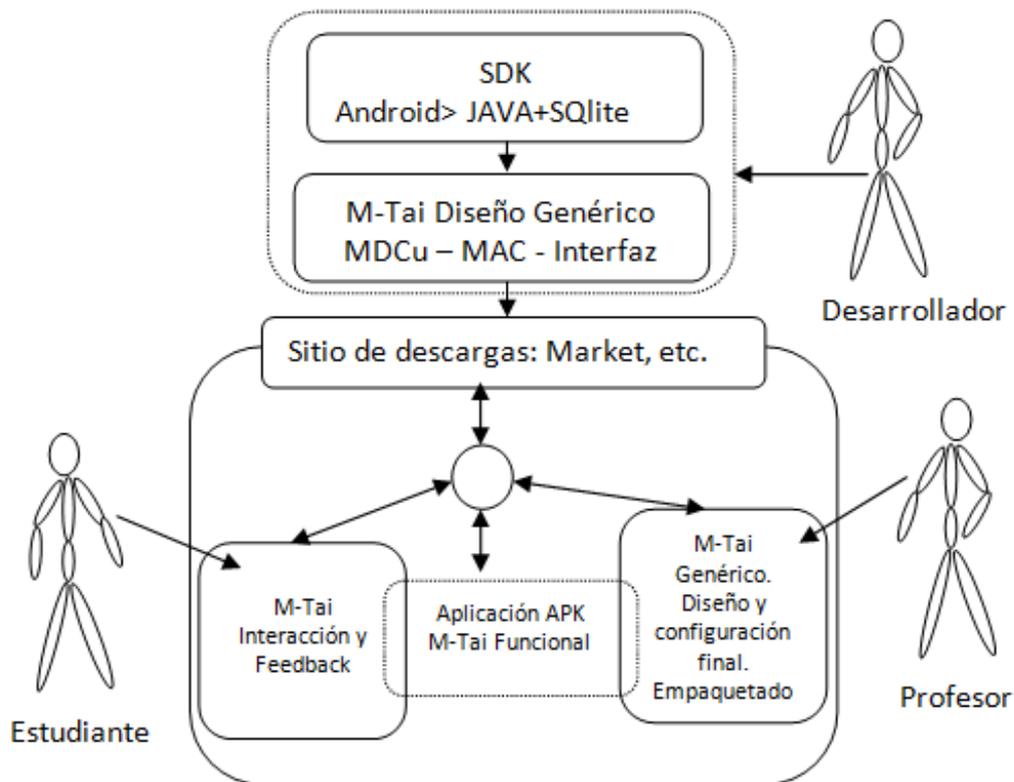


Figura 32. Arquitectura y tecnología utilizada en M-Taid.

6.3 Interfaz de Usuario

Nuestro prototipo M-Taid tiene un doble objetivo, en primer lugar facilitar al docente experto el diseño de M-Taid sobre algún dominio de conocimiento, incluyendo la construcción del banco de ítems y luego distribuirlos para ser utilizados por los alumnos. En segundo lugar permitir a los estudiantes acceder en sus dispositivos móviles a M-Taid capaces de evaluar competencias modularmente con un feedback al alcance de las manos. Por lo dicho contamos con dos tipos de usuarios, i) Profesor experto. ii) Estudiante.

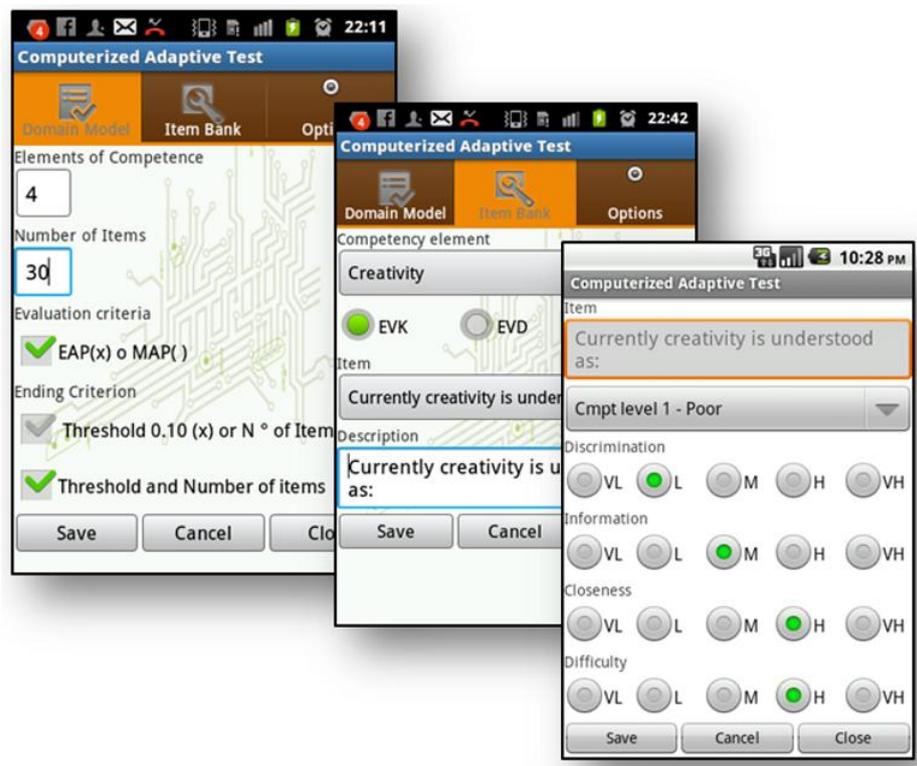


Figura 33. M-Taid –Interfaz del profesor.

1. *Profesor experto.* Es el encargado de parametrizar el diseño de M-Taid, provee toda la información necesaria para la implementación:
 - Parámetros del M-Taid: Una vez descargado el M-Taid el profesor tiene dos alternativas de parametrización:
 - Desde un dispositivo móvil: utilizando la funcionalidad de las interfaces provistas por la aplicación (Figura 33), donde tendrá que ingresar datos referentes a los módulos (cantidad, descripción), criterios de evaluación y finalización, etc. Finalmente deberá configurar el banco de ítem, cantidad de ítem, descripción, opciones de respuestas, etc. Así como también valorar la utilidad de cada ítem conforme los criterios establecidos en el modelo.
 - La otra posibilidad consiste en trabajar directamente sobre paquete del proyecto (mediante un entorno integrado de desarrollo que incorpore ADT, como por ejemplo Eclipse) e incorporar directamente

la base de datos SQLite respetando el formato preestablecido para M-Taid.

En ambos casos el paso siguiente consiste en la generación de la aplicación APK M-Taid, lista para su distribución.

- Empaquetado y distribución
 - Conforme las especificaciones establecidas por el profesor, el empaquetado permite generar la aplicación lista para instalarse en un dispositivo.
 - La distribución posibilita poner a disposición la aplicación. Podrá hacerse vía Google Play (antes Android Market), sitio de descarga o cualquier medio de distribución con que se cuente.
2. *Estudiante*. Es el destinatario final del M-Taid, descarga e instala la aplicación, realiza los test propuestos y la interacción (Figura 34). Está habilitado a:
- Consultar estado del modelo del alumno.
 - Seleccionar Elemento de competencia a evaluar
 - Establecer opciones del sistema.
 - Realizar el M-Taid.

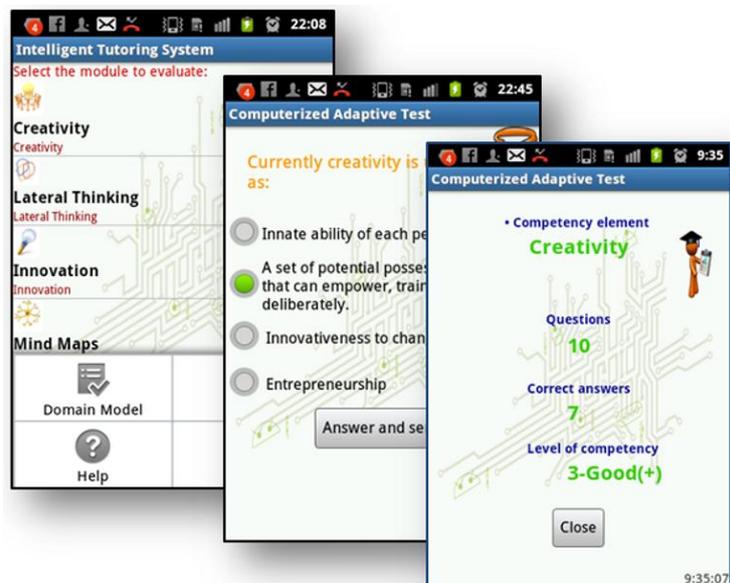


Figura 34. M-Taid –Interfaz del estudiante.

Como se ha indicado al principio, el software presentado es un prototipo que seguiremos desarrollando y mejorando con el fin de obtener un software final.

6.4 Funcionamiento del M-Taid

A continuación describiremos las funcionalidades básicas del prototipo M-Taid, para lo cual en primer término nos referiremos al módulo diseñado para que el docente experto pueda configurar, parametrizar e implementar una propuesta formativa. En segundo lugar mostraremos los aspectos relativos al módulo utilizado por los estudiantes.

- *El módulo del profesor:* Este módulo del M-Taid permite que el profesor experto diseñe y realice el modelado del perfil o Modelo del Alumno de Competencias (MAC) sobre el dominio de competencias de una propuesta formativa determinada o Modelo de Dominio de Competencias Curricular (MDCu), defina los parámetros de configuración y determine las especificaciones de funcionamiento del test adaptativo. Seguidamente exponemos la secuencia de operación de este módulo:
 1. Desde la pantalla inicial (Figura 35) se accede a las opciones de configuración general del MDCu, edición de los elementos de competencias (*ec*) de cada módulo, configuración del entorno y ayuda.
 2. Configuración general del MDCu: habilita una interface de fichas o solapas (Figura 36) en la cual en la primera ficha (*Domain Model*) se puede establecer la cantidad de módulos que componen el MDCu, el número de elementos de competencias (*ec*) por cada módulo y el número de ítems del banco de ítems asociado a cada *ec*. También se puede determinar el tipo de agregación para el cálculo del nivel de competencia de un nodo y el criterio de finalización del test ya sea mediante un umbral o bien cuando se llegue a un número determinado de ítems.
-

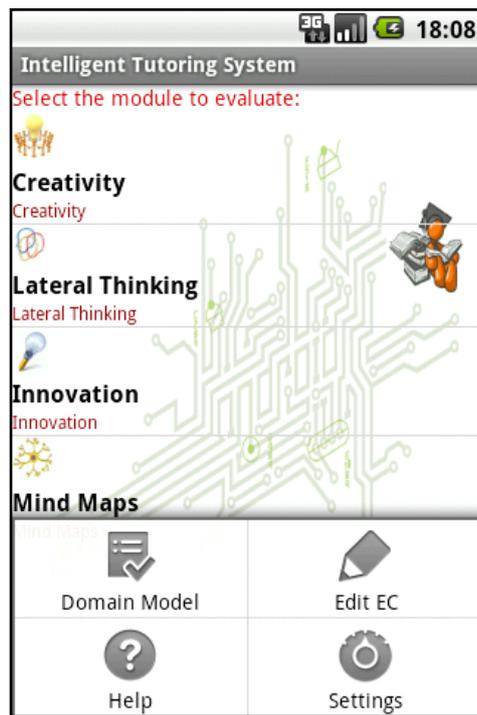


Figura 35. Interfaz inicial de M-Taid y botones de opciones de configuración.

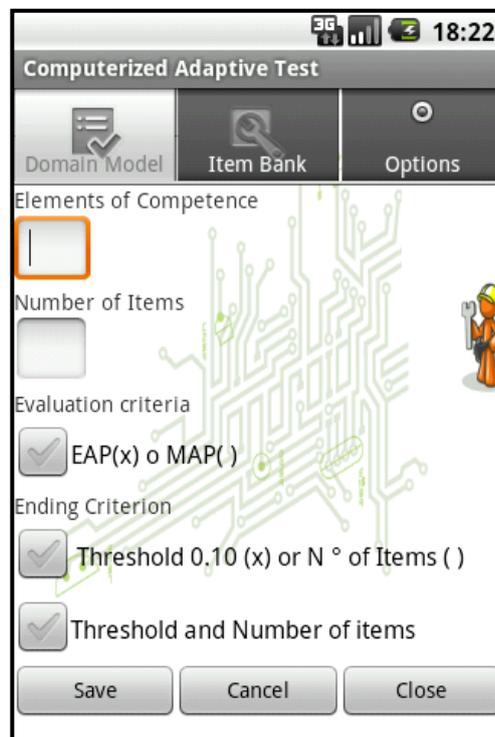


Figura 36. Ficha de configuración general del modelo de dominio en el M-Taid.

La segunda ficha (*Item Bank*), posibilita configurar los *ec*, por cada *ec* se definen los ítems del banco de ítems asociados a cada nodo evidencia (*evc*, *evd* y *evp*) (Figura 37). Para ello en primer lugar se selecciona el *ec*, luego el nodo evidencia (*evc*, *evd* o *evp*) y finalmente se selecciona el ítem para proceder a la modificación de la cabecera del mismo.

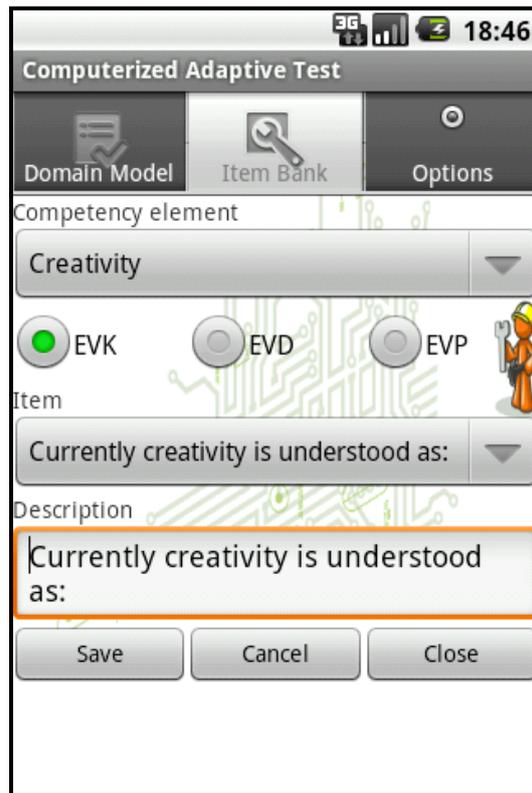


Figura 37. Ficha de configuración del banco de ítems en el M-Taid.

Una vez guardados los cambios realizados, se habilita la interfaz mostrada en la Figura 38, donde el profesor experto procederá a valorar la contribución del ítem en la evaluación de un alumno para cada nivel de la escala de niveles de competencias y de acuerdo a los criterios definidos en el M-Taid. Para ello en primer lugar deberá seleccionar el nivel de la escala de competencias y luego para cada criterio deberá seleccionar el término lingüístico correspondiente a su valoración.

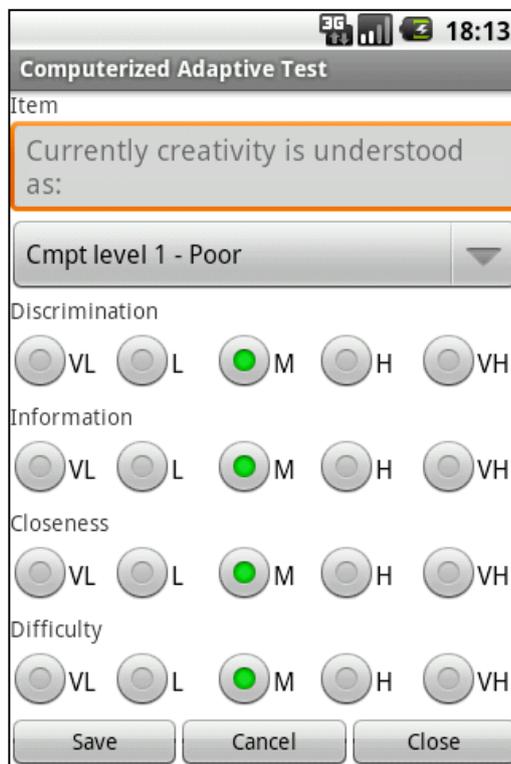


Figura 38. Interfaz donde el docente experto realiza las valoraciones de ítems del banco de ítems.

La ficha de *Opciones* (Figura 39), posibilita configurar cada una de las opciones relacionadas a cada ítem del banco de ítems. Primero se debe seleccionar el ítem correspondiente, luego se selecciona la opción, se modifica el texto de la respuesta, el valor de verdad de dicha opción de respuesta y finalmente por cada nivel de la escala de niveles de competencia se debe determinar la posibilidad que un alumno con dicho nivel seleccione la opción en cuestión.

El botón de *edición de los ec* (Figura 40) permite editar el nombre descriptivo de cada *ec* que componen un módulo.

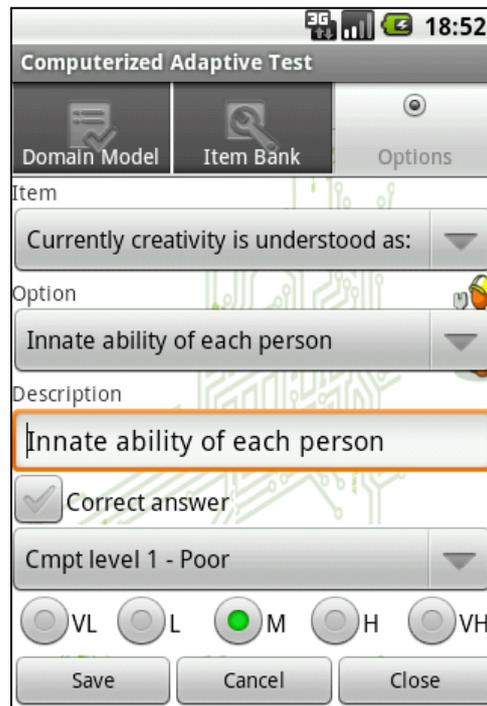


Figura 39. Ficha de configuración *Opciones* relacionadas a cada ítem en el M-Taid.

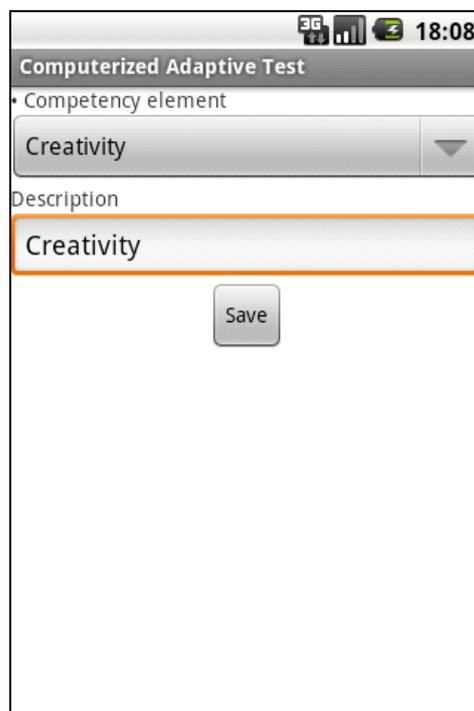


Figura 40. Ficha de edición de los *ec* relacionadas a cada módulo en el M-Taid.

- *El módulo del alumno:* Este módulo del M-Taid habilita a los estudiantes a realizar el TAI correspondiente al módulo seleccionado. Además permite que el alumno comparta los resultados del TAI, vía alguna de las posibilidades ofrecidas por el dispositivo móvil.

Una vez descargada e instalada la aplicación M-Taid (Figura 41), la interfaz inicial posibilita que el alumno seleccione el módulo en el que será evaluado.

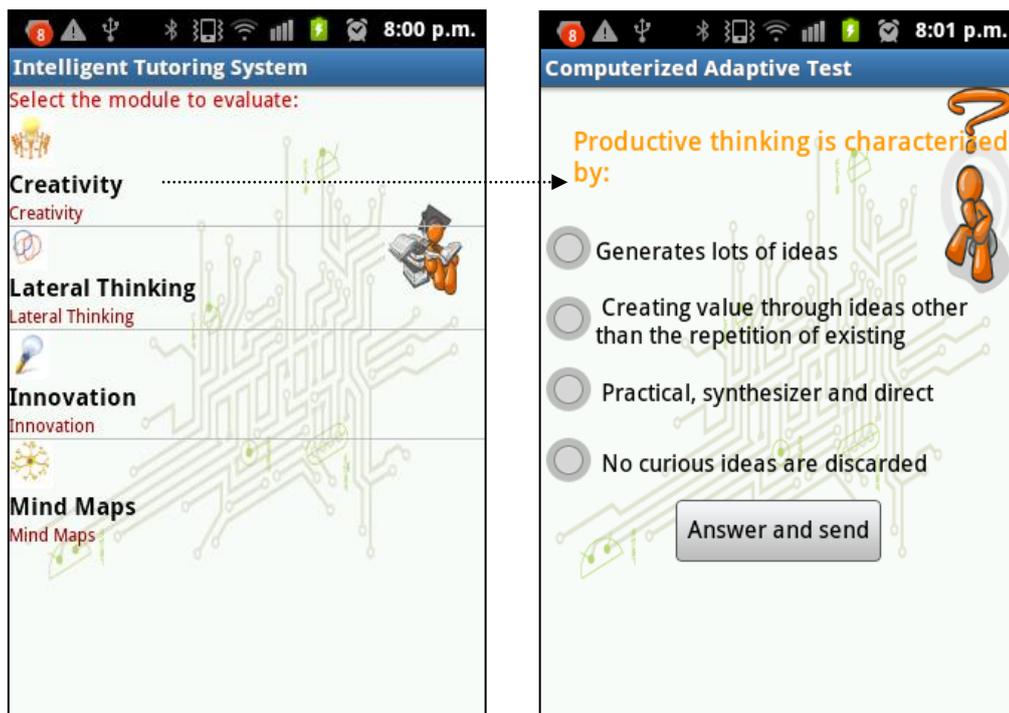


Figura 41. Inicio del test en M-Taid.

El MAC se inicializará con los valores de los nodos con distribuciones de niveles de competencias equiprobables. Conforme las respuestas dadas por el alumno a los ítems presentados, se irá actualizando el MAC hasta llegar al criterio o umbral de finalización y luego se mostrará el resultado del diagnóstico (Figura 42).

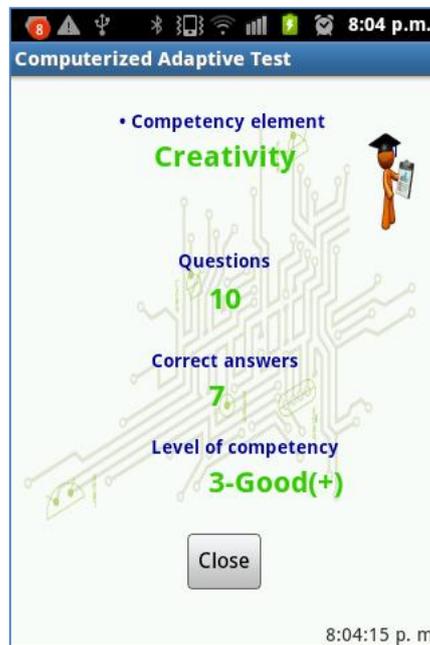


Figura 42. Resultados al finalizar el TAI asociado a un *ec*.

Al cerrar la interfaz se podrá enviar el resultado del TAI mediante alguno de los medios disponibles en el dispositivo móvil (Figura 43).



Figura 43. Interfaz que permite compartir los resultados del TAI.

6.5 Ejemplo de Funcionamiento

Para ilustrar el funcionamiento del M-Taid, utilizamos el mismo ejemplo mostrado en 5.3.5, pero ahora considerando el entorno M-Taid.

Supongamos que un estudiante está siendo evaluado mediante un M-Taid en un nodo evidencia *evc*, el cual tiene la siguiente distribución de probabilidades de niveles de competencia:

$$\left. \begin{aligned} P(\theta_{evc} = 1|\vec{u}_i) &= 0,10 \\ P(\theta_{evc} = 2|\vec{u}_i) &= 0,10 \\ P(\theta_{evc} = 3|\vec{u}_i) &= 0,30 \\ P(\theta_{evc} = 4|\vec{u}_i) &= 0,40 \\ P(\theta_{evc} = 5|\vec{u}_i) &= 0,10 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \theta_{evk}^{n-1} = k = 4$$

La Tabla 7 contiene las valoraciones de los ítems para el nivel 4, la representación 2-tupla y la agregación (X_i^k) del vector de preferencias:

I_{ik}	Criterios				X_i^k	
	$0,25*C_1$	$0,25*C_2$	$0,25*C_3$	$0,25*C_4$		
I_{14}	(MA,0)	(BA,0)	(AL,0)	(MB,0)	(ME,0)	
I_{24}	(MB,0)	(MA,0)	(MB,0)	(MB,0)	(BA,0)	
I_{i4}	I_{34}	(MA,0)	(BA,0)	(MA,0)	(MA,0)	(ME,0.25)
	I_{44}	(BA,0)	(MB,0)	(BA,0)	(BA,0)	(BA,-0.25)
	I_{54}	(MB,0)	(BA,0)	(MB,0)	(MA,0)	(MB,0.25)
...

Tabla 7. Valoraciones del docente experto sobre los ítems para el nivel 4.

Sean los valores de CCO para los ítems I_3 y I_4 para el nivel 4 (Tabla 8):

		CCO4	CCO4
		$P(\vec{u}_4 \theta_k)$	$P(\vec{u}_4 \theta_k)$
		(0,0/k=1)	(0,0/k=1)
I_3	I_4	(0,0/k=2)	(0,0/k=2)
		(0,05/k=3)	(0,05/k=3)
		(0,90/k=4)	(0,05/k=4)
		(0,05/k=5)	(0,4/k=5)

Tabla 8. Valores de los CCO de los ítem I_3 y I_4 para el nivel N.

Paso 1:

Se selecciona el ítem con $\max(X_i^k)$ es decir, I_3 , el ítem es presentado al estudiante evaluado (Ver Fig. 44).

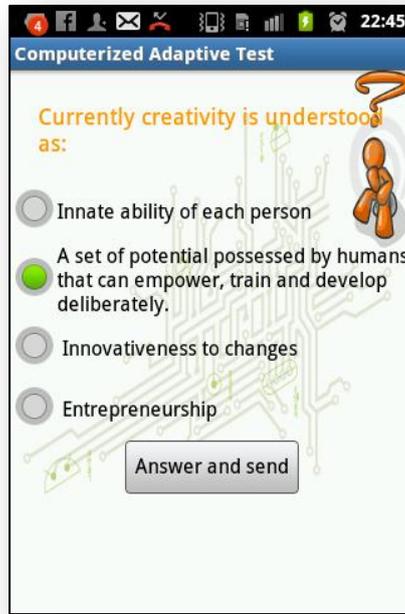


Figura 44. Pregunta dentro del M-Taid implementado en una aplicación piloto para dispositivos móviles (Plataforma Android).

Paso 2:

En base a la respuesta del estudiante, se computa la nueva distribución de probabilidades del nivel de competencia, se utiliza la Ecuación (20) para actualizar cada componente del vector y la Ecuación (9) para hallar θ_{evc}^n , asumiendo que seleccionó la opción 4;

$$\left. \begin{aligned} |P(\theta_{evc} = 1|\vec{u}_i)(\vec{u}_4|\theta_1)| &= |0,10 * 0,00| = 0,00 \\ |P(\theta_{evc} = 2|\vec{u}_i)(\vec{u}_4|\theta_2)| &= |0,10 * 0,00| = 0,00 \\ |P(\theta_{evc} = 3|\vec{u}_i)(\vec{u}_4|\theta_3)| &= |0,30 * 0,05| = 0,12 \\ |P(\theta_{evc} = 4|\vec{u}_i)(\vec{u}_4|\theta_4)| &= |0,40 * 0,90| = 0,72 \\ |P(\theta_{evc} = 5|\vec{u}_i)(\vec{u}_4|\theta_5)| &= |0,10 * 0,05| = 0,16 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \theta_{evk}^n = k = 4$$

Paso 3:

Dado que no se ha alcanzado el umbral de precisión requerido, se prosigue con el paso 4.

Paso 4:

$$\delta_k = 0,72 - 0,40 = 0,32;$$

Dado que $\theta_{evk}^{n-1} = \theta_{evk}^n$ y $0 \leq \delta_k \leq \varepsilon$ entonces se aplica la casuística (27);

Paso 5:

Se cambian los pesos de los criterios c_j , se recalculan X_i^k obteniéndose los siguientes valores (Tabla 9):

I_{ik}	Criterios				X_i^k
	$0,125 * C_1$	$0,50 * C_2$	$0,25 * C_3$	$0,125 * C_4$	
I_{14}	(MA,0)	(BA,0)	(AL,0)	(MB,0)	(ME, -0.25)
I_{i4}	I_{24} (MB,0)	(MA,0)	(MB,0)	(MB,0)	(ME, 0)
	I_{44} (BA,0)	(MB,0)	(BA,0)	(BA,0)	(BA, -0.75)
	I_{54} (MB,0)	(BA,0)	(MB,0)	(MB,0)	(BA, -0.375)

Tabla 9. Valores recalculados de X_i^k .

Se observa que en la iteración previa $X_2^4 < X_1^4$, pero con el cambio de pesos w_j y el nuevo cómputo de X_i^k ahora $X_2^4 > X_1^4$ ((ME, 0) > (ME, -0.25)) y, aunque ambos tienen la misma etiqueta es posible seleccionar el ítem con mayor valor de utilidad, lo cual refleja la dinámica presente en el proceso de selección.

Paso 6:

Si no se ha alcanzado el criterio de finalización (en nuestro ejemplo, diez ítems como máximo), se continúa con el *Paso 1*.

Paso 7. Finalización:

Supongamos que el alumno ha respondido diez preguntas del M-Taid, entonces se computa el su nivel de competencias final y se muestra el resultado (Figura 45).

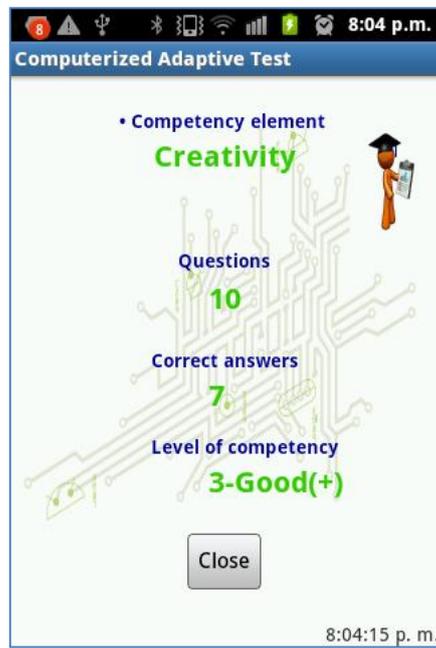


Figura 45. Resultados al finalizar el M-Taid.

V CONCLUSIONES FINALES

Capítulo 7

7. Conclusiones y Trabajos Futuros

En este capítulo, revisamos las principales propuestas y resultados obtenidos a lo largo de esta memoria. A continuación, sobre la base del trabajo realizado proponemos las líneas de investigación y trabajos futuros que nos planteamos desarrollar a partir de estos resultados. Finalmente, presentamos una lista de las publicaciones fruto de nuestra investigación relacionada con este campo.

7.1 Conclusiones

Durante el desarrollo de esta memoria hemos puesto de manifiesto que la arquitectura de un Sistema Tutor Inteligente (STI) involucra dos cuestiones claves: (1) la representación del conocimiento o perfil de competencias en el modelo de dominio y el modelo del alumno y (2) el proceso de diagnóstico que actualizará este último, ambos aspectos están estrechamente relacionados e influenciados por el modelo pedagógico de referencia que orientará su diseño, sin un modelo pedagógico de referencia explícito es difícil construir un sistema que integre distintos marcos teóricos, representación del conocimiento, sentido y criterios de evaluación. También es dificultoso la interpretación de parámetros y la configuración, especialmente en los STI de dominio genérico.

Por otra parte los Test Adaptativos Informatizados (TAI) que utilizan la mayoría de los STI en el diagnóstico, generalmente adaptan su funcionamiento al perfil del estudiante en base a un único criterio estático en la selección de ítems, lo cual puede disminuir el rendimiento del TAI y la adaptación al nivel de competencias del estudiante.

Atendiendo a estos planteamientos, los resultados en esta memoria pueden resumirse en los siguientes apartados:

- A. Nueva arquitectura para un Sistema Tutor Inteligente basado en Competencias (STI-C):
 1. El diseño de componentes de la arquitectura está orientada por los principios de la EBC como modelo pedagógico de referencia.
-

2. Un nuevo modelo de dominio del STI-C, compuesto por un Modelo de Dominio de Competencias (MDCo) y un Modelo de Dominio Curricular (MDCu), derivados del mapa funcional de un perfil ocupacional o profesional y orientado por el DCBC.
 3. Un nuevo Modelo del Alumno basado en Competencias (MAC), modelado como una red semántica de competencias como superposición del MDCu y actualizado mediante una extensión de TAI para evaluar competencias (TAI-C).
- B. Nuevo modelo de diagnóstico basado en Test Adaptivo Informatizado Difuso Multicriterio (TAI-DM):
1. Diseño de un TAI-DM lingüístico difuso basado en 2-tuplas, adaptado para evaluar competencias y actualizar el perfil de competencias del modelo del alumno (MAC).
 2. Nuevo algoritmo dinámico lingüístico difuso en el TAI-DM, que define el proceso de selección de ítems como un modelo de decisión multicriterio.
- C. Prototipo de M-Taid desarrollado sobre plataforma para dispositivos móviles (Android) para un dominio de conocimiento específico. Dicho software implementó de forma modular la parte funcional de la arquitectura STI-C propuesta:
1. Modelado del perfil de competencias en el Modelo de dominio y Modelo del alumno.
 2. Test Adaptivo Informatizado con algoritmo dinámico lingüístico difuso y selección multicriterio de ítems (TAI-DM).

La nueva arquitectura provee una plataforma, que en base al conocimiento experto del docente, facilita la implementación de una propuesta formativa de manera casi transparente desde la EBC al Sistema Tutor Inteligente basado en Competencias (STI-C). El diagnóstico en base al nuevo TAI-DM mostró un buen rendimiento en la evaluación del perfil de competencias del modelo del alumno y el nuevo algoritmo de selección de ítems mostró buena eficiencia computacional y eficacia evaluativa.

Adicionalmente la estructura modular de la nueva arquitectura STI-C es especialmente viable para implementaciones graduales sobre dispositivos móviles.

7.2 Trabajos Futuros

De cara a mejorar la propuesta actual de STI-C y trasladarla a diferentes contextos de aplicación, en el futuro consideramos trabajar sobre las siguientes actividades y estudios:

- Aplicar la arquitectura STI-C en el desarrollo de Micro-STIC sobre dispositivos móviles en diferentes dominios de conocimientos y ampliar el estudio evaluativo de manera procesual o formativa.
- Validar Procesual y sumativamente la arquitectura STI-C aplicada a Micro-STIC sobre dispositivos móviles en diferentes dominios de conocimientos.
- Adaptar el modelo de TAI-DM y aplicarlo como modelo evaluativo a diferentes contextos (desempeño, impacto, calidad, etc.).

7.3 Publicaciones

Por último, respecto a la difusión y publicación de los resultados presentados en esta memoria, seguidamente mencionamos las publicaciones derivadas:

- Publicaciones en Revistas Internacionales:

Badaracco, M. and L. Martínez, An Intelligent Tutoring System Architecture for Competency-Based Learning, in Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, A. König, et al., Editors. 2011, Springer Berlin / Heidelberg. p. 124-133.

Badaracco, M. and L. Martínez, A fuzzy linguistic algorithm for adaptive test in Intelligent Tutoring System based on competences. *Expert Systems with Applications*, (2013). En prensa.

- Presentaciones en Congresos Nacionales:

Badaracco, M. and Martínez, L., Design of an Architecture for Intelligent Tutor System Based on Competencies (ITS-C), in XVI Argentine Congress on Computer Science. 2010: Buenos Aires.

Badaracco, M. and Martínez, L., Intelligent Tutoring System Architecture for Competency-based Learning. Simulated evaluative study, in XVI Argentine Congress on Computer Science. 2010: Buenos Aires.

ANEXOS

Anexo I

FICHAS DE EJEMPLO Nº 1: DISEÑO CURRICULAR PARA LA FORMACIÓN DE EL/LA MAQUINISTA DE IMPRESIÓN OFFSET A PLIEGOS

(Tomado de Catalano, A., et al. [102])

MARCO REFERENCIAL

La necesidad de formación permanente en el trabajo y para el trabajo, se ha incrementado en las últimas décadas como consecuencia, fundamentalmente, de los cambios en las condiciones de competitividad de las economías, de la innovación tecnológica y organizacional de los procesos productivos, y de la introducción de programas de mejoramiento de la calidad de los procesos y los productos de las empresas. Estas innovaciones han sido profundas en la industria gráfica, generando en ella redefiniciones de procesos y de funciones operativas que demandan alcanzar un desempeño competente de los trabajadores.

Este sector ha recibido la influencia del cambio tecnológico y de la introducción de sistemas de calidad, los cuales han producido redefiniciones de las funciones en las que actúan los/as trabajadores/as en las diversas fases del proceso: la pre-impresión, la impresión y la post-impresión. El Programa de Certificación de Competencias Laborales ha emprendido el análisis del proceso de **impresión de productos gráficos mediante la tecnología offset a pliegos** en sus distintas fases, discriminando las funciones operativas en las que cada maquinista impresor/a debe demostrar desempeños competentes. Esta detección es fundamental porque amplía el campo de las funciones técnicas que tradicionalmente fueron atendidas por los/las profesionales, mediante la incorporación de funciones relativas a la gestión de la información, de la comunicación, de la tecnología, de la calidad, de los costos y de la productividad en condiciones de trabajo seguras.

La detección de la actuación en diversas funciones implica que en el futuro, cuando se determinen las competencias que le son requeridas a cada operador/a, deberá definirse el grado de alcance de su actuación en cada función. Es decir, habrá que determinar si

en la función un/a trabajador/a valora y ejecuta instrucciones, o bien participa en procesos de mejora de desempeños, o diseña y desarrolla alternativas de actuación.

De estas funciones y elementos de competencia se desprende que el propósito clave del rol ocupacional de el/la maquinista de impresión offset a pliegos es **imprimir pliegos de diversos sustratos mediante el procedimiento de offset a pliegos, de acuerdo con los estándares de producción establecidos en la orden de trabajo que fuera confeccionada según los requerimientos del cliente, operando de acuerdo a criterios de seguridad ambiental y de prevención de accidentes para sí, para terceros y para los equipos a su cargo.**

Las actuaciones de el/la maquinista de impresión offset a pliegos han sido especificadas en estándares de desempeño que pueden ser consultados en el capítulo referido a las normas. Las mismas constituyen un referencial para definir criterios de selección de personal, de capacitación laboral complementaria, de diseño de cursos de formación profesional, y de diseño de instrumentos de evaluación para la certificación de cada una de las competencias que se desea analizar.

En el siguiente apartado se definirán las competencias que deben demostrar los/as operarios/as para actuar en esas funciones.

- Gestión de la información y la verificación de las condiciones operativas de la máquina a su cargo.
 - Organización de las tareas de impresión y administración de las materias primas y de los insumos.
 - Arranque y puesta a punto de la máquina.
 - Operación sobre la máquina en régimen de producción, en condiciones de seguridad para las personas y los equipos.
 - Mantenimiento operativo y preventivo de la máquina y del entorno de trabajo.
- Estas competencias han sido desagregadas a partir de la aplicación de la metodología del análisis funcional, conformando los siguientes elementos de competencia:
-

MAPA FUNCIONAL Maquinista de impresión offset a pliegos	
Propósito clave: Imprimir pliegos de diversos sustratos, por el procedimiento de offset plano, de acuerdo a los estándares de producción establecidos en la orden de trabajo que fuera confeccionada según los requerimientos del cliente, operando de acuerdo a criterios de seguridad ambiental y de prevención de accidentes para sí y terceros y para los equipos a su cargo.	
a. Gestionar la información y verificar las condiciones operativas de la máquina a su cargo.	<ul style="list-style-type: none"> a.1. Analizar el programa de producción y la orden de trabajo y comunicar al personal a su cargo las características del mismo. a.2. Verificar las condiciones operativas de la máquina previas al trabajo, e informar a mantenimiento las anomalías observadas y/o adaptaciones a realizar en el equipo. a.3. Registrar, en el parte de producción y de calidad, los datos referidos a la productividad e incidentes del proceso e informarlos al área correspondiente.
b. Organizar las tareas de impresión y administrar materias primas e insumos.	<ul style="list-style-type: none"> b.1. Organizar el trabajo a cargo de sus ayudantes, monitorearlos e instruirlos acerca de las contingencias y de la prevención de riesgos. b.2. Controlar que los materiales e insumos a utilizar sean entregados de acuerdo con lo establecido en la orden de trabajo.
c. Arrancar y poner a punto la máquina.	<ul style="list-style-type: none"> c.1. Armar tinteros y definir el perfil de tintaje. c.2. Verificar el montaje o montar planchas de impresión y verificar el estado de las mantillas. c.3. Ajustar los componentes móviles de los mecanismos de alimentación y salida de pliegos, y del sistema de rodillos. c.4. Arrancar la máquina, entintar y registrar los colores. c.5. Verificar las condiciones del pliego impreso a la salida de máquina y obtener el conforme.
d. Operar la máquina en régimen de producción y en condiciones de seguridad de personas y equipos.	<ul style="list-style-type: none"> d.1. Controlar las condiciones de operación de la máquina en régimen de producción.
e. Mantener operativa y preventivamente la máquina y el entorno de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> e.1. Parar la máquina, administrar el producto terminado, ordenar el control de desechos e informar resultados en el parte de producción. e.2. Administrar el orden y la limpieza del sector, máquina, componentes y herramientas. e.3. Cumplir con el programa de mantenimiento preventivo de la máquina impresora.

Tabla 10. Ejemplo de mapa funcional.

Anexo II

FICHA DE EJEMPLO Nº 2: DISEÑO CURRICULAR PARA LA FORMACIÓN PROFESIONAL DE EL/LA OPERADOR/A DE MOLDEO Y NOYERÍA

(Tomado de Catalano, A., et al. [102])

OBJETIVOS DEL DISEÑO CURRICULAR

El diseño curricular que se propone, tiene como finalidad el desarrollo de las capacidades que permiten desempeñarse competentemente en el ámbito laboral. Estas capacidades no se agotan en los requerimientos que puntualmente se les hacen a los/las operadores/as de procesos de moldeo y noyería. Tienen en cuenta, además, los intereses que estos, como ciudadanos/as, poseen respecto a realizar progresos en sus trayectorias laborales, de desempeñarse en condiciones dignas de seguridad e higiene, de contribuir a la preservación del medio ambiente, de encarar procesos de innovación, aprendizaje y mejora continua en su trabajo cotidiano.

El/la operador/a de procesos de moldeo y noyería debe desarrollar las siguientes capacidades para poder gestionar el proceso en el que actúa:

- Interpretar la lectura de los instrumentos de medición; determinar el ajuste de acuerdo con las órdenes de trabajo y con las variables técnicas de control del proceso, y regular los equipos involucrados.
 - Reconocer contingencias durante los procesos de preparación de la tierra y fabricación de moldes y noyos; seleccionar estrategias de prevención y resolución de las situaciones problemáticas que plantean, y discernir acerca de las situaciones que deben ser derivadas para la intervención del superior jerárquico.
 - Comunicar las anomalías y/o acontecimientos relevantes, utilizando lenguaje oral, escrito o gráfico en forma clara y precisa.
-

- Seleccionar y adaptar las técnicas conocidas con el propósito de resolver las situaciones propias de las distintas etapas de los procesos de elaboración de tierra de molde, moldes, y noyos.
 - Seleccionar y utilizar, o manipular con destreza, los elementos, herramientas y materias primas necesarios para desarrollar las actividades del proceso de elaboración de tierra de molde, moldes y noyos.
 - Interpretar los planos, los croquis, las instrucciones, los informes y la simbología, relevando los datos necesarios para los procesos de elaboración de la tierra y fabricación de moldes y noyos.
 - Planificar la secuencia de actividades a realizar para la fabricación de moldes y noyos.
 - Analizar críticamente el proceso productivo en su espacio de trabajo e inferir las posibles mejoras a introducir para obtener un producto con la calidad requerida. Interactuar en el ámbito de trabajo con una actitud abierta a la participación, al trabajo grupal, al aprendizaje permanente y a la mejora continua de los procesos en los que está involucrado/a.
 - Ordenar, limpiar y mantener los equipos, los instrumentos y el ambiente físico de trabajo para lograr condiciones operativas seguras y eficientes.
 - Identificar criterios de seguridad industrial, generales y específicos, para los procesos de elaboración de la tierra de molde y la fabricación de moldes y noyos.
 - Analizar y reconocer los factores de riesgo en la elaboración de las tierras, los moldes y los noyos.
 - Valorar y desarrollar procedimientos de prevención de factores de riesgo especialmente adaptados a las condiciones de trabajo de las fases de elaboración de tierras de molde y fabricación de moldes y noyos. Estas capacidades generales se infirieron a partir de las capacidades específicas, derivadas de las unidades y elementos de competencia del perfil profesional de el/la operador/a de moldes y noyos.
-

Anexo III

Nociones y Conceptos Básicos de la Teoría de Conjuntos Difusos

La teoría de conjuntos difusos propuesta por L. Zadeh en la década de los 60 [191], [126], tenía por objeto modelar aquellos tipos problemas donde el enfoque de la teoría clásica de conjuntos resultaba insuficiente o no operativa. La mencionada teoría generaliza la noción de conjunto e introdujo el concepto de *conjunto difuso* como aquel conjunto cuya frontera no es precisa. Los conjuntos difusos surgen como una nueva forma de representar la imprecisión y la incertidumbre [169], diferente al tratamiento tradicional llevado a cabo por la teoría clásica de conjuntos y la teoría de la probabilidad.

A lo largo de las cinco décadas de existencia de la Teoría de Conjuntos Difusos, gran cantidad de investigadores le han prestado atención en sus investigaciones y la han aplicado en dos vertientes principales [192]:

1. Como una teoría matemática formal [193], ampliando conceptos e ideas de otras áreas de la matemática como, por ejemplo, el Algebra, la Teoría de Grafos, la Topología, etc., al aplicar conceptos de la Teoría de Conjuntos Difusos a dichas áreas.
2. Como una herramienta potente para tratar situaciones del mundo real en las que aparece incertidumbre (imprecisión, vaguedad, inconsistencia, etc.). Debido a la generalidad de esta teoría, ésta se adapta con facilidad a diferentes contextos y problemas. De esta forma, se ha demostrado como una herramienta de gran utilidad en numerosas áreas como, por ejemplo: toma de decisión [135], [161], [184], [194], evaluación sensorial [116], [195], servicios electrónicos inteligentes [196], teoría de sistemas [197], bases de datos [198], operadores de agregación [191], etc.

En este Anexo exponemos una breve revisión de los conceptos básicos de la teoría de conjuntos difusos. Esta introducción no pretende ser exhaustiva sino una resumida presentación de dichos conceptos. Para mayor detalle, véase [191].

A) Conjuntos Difusos y Funciones de Pertenencia

La noción de conjunto refleja la idea de agrupar colecciones de objetos que cumplan una o varias propiedades que caractericen a dicho conjunto. Una propiedad puede ser considerada como una función que le asigna un valor en el conjunto $\{0, 1\}$ a cada elemento del universo de discurso U , de forma que si el elemento pertenece al conjunto, es decir, cumple la propiedad, se le asigna el valor 1, o, en caso contrario, el valor 0. La teoría de conjuntos difusos se fundamenta en el concepto de *conjunto difuso* [126] que relaja el requerimiento anterior y admite valores intermedios en la función característica, que se denomina *función de pertenencia*. Esto permite una interpretación más realista de la información, puesto que la mayoría de las categorías que describen los objetos del mundo real, no tienen unos límites claros y bien definidos.

Un conjunto difuso puede definirse como una colección de objetos con valores de pertenencia entre 0 (exclusión total) y 1 (pertenencia total). Los valores de pertenencia expresan los grados con los que cada objeto es compatible con las propiedades o características distintivas de la colección. Formalmente podemos definir un conjunto difuso como sigue.

Definición 7. *Un conjunto difuso \tilde{A} sobre un dominio o universo de discurso U está caracterizado por una función de pertenencia que asocia a cada elemento del conjunto el grado de pertenencia a dicho conjunto, asignándole un valor en el intervalo $[0; 1]$:*

$$\mu_{\tilde{A}}: U \rightarrow [0,1]$$

Así, un conjunto difuso \tilde{A} sobre U puede representarse como un conjunto de pares ordenados de un elemento perteneciente a U y su grado de pertenencia, $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in U, \mu_{\tilde{A}} \in [0,1]\}$.

Los gráficos que representan una función de pertenencia pueden adoptar distintas formas (ver Figura 46), cumpliendo propiedades específicas, pero es el contexto de la aplicación el que determina la representación más adecuada en cada caso. Puesto que las valoraciones lingüísticas dadas por los usuarios son únicamente aproximaciones, algunos autores [199] consideran que las funciones de pertenencia paramétricas lineales

son suficientemente buenas para capturar la imprecisión de tales valoraciones lingüísticas.

La representación paramétrica es obtenida a partir de una 4-tupla $(a; b; d; c)$, donde b y d indican el intervalo en que el valor de pertenencia es 1, y donde a y c indican los límites izquierdo y derecho del dominio de definición de la función de pertenencia trapezoidal.

Un caso particular de este tipo de representación son las valoraciones lingüísticas cuyas funciones de pertenencia son triangulares, es decir, $b = d$, por lo que se representan por medio de una 3-tupla $(a; b; c)$. Otros autores usan otro tipo de funciones como, por ejemplo, las funciones Gaussianas [186].

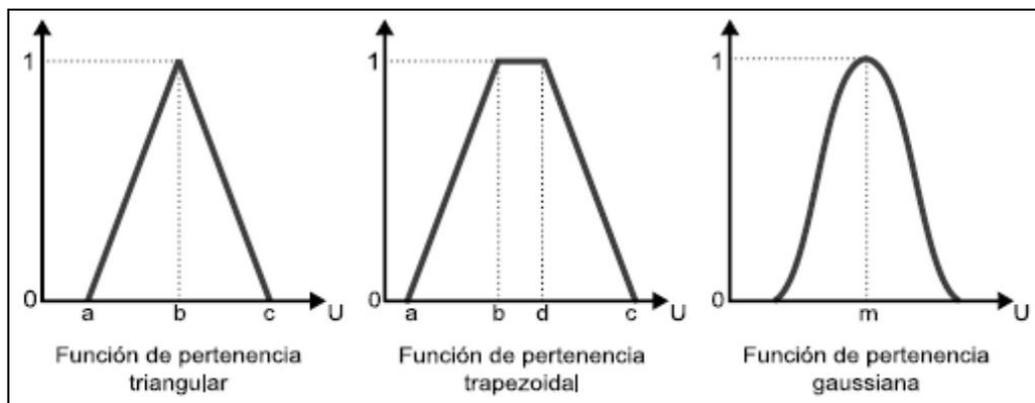


Figura 46. Representación gráfica de las funciones de pertenencia triangular, trapezoidal y gaussiana.

B) Definiciones Básicas Relacionadas con Conjuntos Difusos

A continuación, introducimos las definiciones de otros conceptos que son básicos a la hora de trabajar con conjuntos difusos, como son: el *soporte*, la *altura*, *conjunto de niveles* y el α -*corte* de un conjunto difuso.

Definición 8. Se define el **soporte** de un conjunto difuso \tilde{A} en el universo U , como el conjunto formado por todos los elementos de U cuyo grado de pertenencia a \tilde{A} sea mayor que 0:

$$\text{supp}(\tilde{A}) = \{x \in U / \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\}$$

Definición 9. Se define la **altura** de un conjunto difuso \tilde{A} como el mayor grado de pertenencia de todos los elementos de dicho conjunto:

$$h(\tilde{A}) = \max\{\mu_{\tilde{A}}/x \in U\}$$

Definición 10. El α -corte de un conjunto difuso \tilde{A} es el conjunto formado por todos los elementos del universo U cuyos grados de pertenencia en \tilde{A} son mayores o iguales que el valor de corte $\alpha \in [0, 1]$:

$$\alpha_{\tilde{A}} = \{x \in U / \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}$$

Definición 11. Se denomina **conjunto de niveles** de un conjunto difuso \tilde{A} , al conjunto de grados de pertenencia de sus elementos:

$$L(\tilde{A}) = \{\alpha / \mu_{\tilde{A}}(x) = \alpha, x \in U\}$$

BIBLIOGRAFIA

1. Wenger, E., *Artificial intelligence and tutoring systems*. 1987, Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
 2. Roger Nkambou, J.B., and Riichiro Mizoguchi, *Introduction: What Are Intelligent Tutoring Systems, and Why This Book?*, in *Advances in Intelligent Tutoring* R. Nkambou, J. Bourdeau, and R. Mizoguchi, Editors. 2010, Springer Berlin / Heidelberg. p. 1-12.
 3. Sleeman, D., & Brown, J. S., *Intelligent tutoring systems*. Academic Press, Inc., 1982.
 4. Polson, M.C., & Richardson, J. J., *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*. 1988, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
 5. Nkambou, R., C. Frasson, and G. Gauthier, *CREAM-Tools: An Authoring Environment for Knowledge Engineering in Intelligent Tutoring Systems*, in *Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments: Toward cost-effective adaptative, interactive, and intelligent educational software*, T. Murray, S. Blessing, and S. Ainsworth, Editors. 2003, Kluwer Publ. p. 93-138.
 6. Bourdeau, J., et al. *When the Domain of the Ontology is Education*. in *User Centered Knowledge Environments: from theory to practice. The fourth annual LORNET conference I2LOR 2007 of the LORNET Research Network*. 2007.
 7. Suarez-Cansino, J. and R.A. Hernandez-Gomez, *Adaptive testing system modeled through fuzzy logic*, in *Proceedings of the 2nd WSEAS International Conference on Computer Engineering and Applications*. 2008, World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS): Acapulco, Mexico. p. 85-89.
 8. Kavcic, A., et al. *Student modeling based on fuzzy inference mechanisms*. in *EUROCON 2003. Computer as a Tool. The IEEE Region 8*. 2003.
 9. Guzmán, E., R. Conejo, and J. Pérez de la Cruz, *Adaptive testing for hierarchical student models*. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 2007. **17**(1): p. 119-157.
 10. Neira, A., *Tests Adaptativos Informatizados utilizando conjuntos borrosos*. *Revista de la Asociación Española de Metodología de las Ciencias del Comportamiento (AEMCCO)*, 2002.
 11. Rudner, L.M., *An examination of decision-theory adaptive testing procedures*. 2009: D. J. Weiss (Ed.), *Proceedings of the 2009 GMAC Conference on Computerized Adaptive Testing*.
 12. van der Linden, W.J. and R.K. Hambleton, eds. *Handbook of modern item response theory*. 1997: New York: Springer Verlag.
 13. Badaracco, M. and L. Martínez, *Architecture and Diagnosis for Intelligent Tutoring System based on Competency-based Education*, in *Technical Report: CIATIC-Centro de Estudios Avanzados en TIC, UJA*. 2012: Jaén, España.
 14. Carbonell, J., *AI in CAI: An Artificial Intelligence Approach to Computer-Assisted Instruction*. *IEEE Tr. On Man-Machine Systems*, 1970. **11**: p. 190–202.
 15. BLOOM, B.S., *The 2 Sigma Problem: The Search for Methods of Group Instruction as Effective as One-to-One Tutoring*. *Educational Researcher*, 1984. **13**(6): p. 4-16.
 16. Self, J., *Theoretical Foundations for Intelligent Tutoring Systems*, in *JAIED*. 1990. p. 3-14.
-

17. Nwana, H., *Intelligent tutoring systems: an overview*. Artificial Intelligence Review, 1990. **4**(4): p. 251-277.
 18. Woolf, B., *Building Intelligent Interactive Tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning*. 2008, Burlington Morgan Kaufmann.
 19. Woolf, B., Aimeur, E., Nkambou, R., Lajoie, S., ed. *ITS 2008*. Intelligent Tutoring Systems. Vol. 5091. 2008, Springer Berlin Heidelberg.
 20. Nkambou, R., *Modeling the Domain: An Introduction to the Expert Module*, in *Advances in Intelligent Tutoring Systems*, R. Nkambou, J. Bourdeau, and R. Mizoguchi, Editors. 2010, Springer Berlin / Heidelberg. p. 15-32.
 21. Millán, E., *Sistema Bayesiano para Modelado del alumno*. , in *System and Computer Thesis*. 2000, University of Malaga. Spain.: Málaga. p. 183.
 22. Anderson, J.R., *The Expert Module*. M. C. Polson & J. J. Richardson (eds.). Foundations of Intelligent Tutoring Systems., 1988.
 23. Brown, J.S. and R.R. Burton, *SOPHIE: a pragmatic use of artificial intelligence in CAI*, in *Proceedings of the 1974 annual ACM conference*. 1974. p. 571-579.
 24. Clancey, W.J., *GUIDON*. Journal of Computer Based Instruction, 1983. **10**(1+2): p. 8-15.
 25. Shortliffe, E.H., *Computer Based Medical Consultation: MYCIN*. 1976, Elsevier Science Publishers: New York.
 26. VanLehn, K., et al., *The Andes Physics Tutoring System: An Experiment in Freedom*, in *Advances in Intelligent Tutoring Systems*, R. Nkambou, J. Bourdeau, and R. Mizoguchi, Editors. 2010, Springer Berlin / Heidelberg. p. 421-443.
 27. Woolf, B., *Student Modeling*, in *Advances in Intelligent Tutoring Systems*, R. Nkambou, J. Bourdeau, and R. Mizoguchi, Editors. 2010, Springer Berlin / Heidelberg. p. 267-279.
 28. Frasson, C. and P. Chalfoun, *Managing Learner's Affective States in Intelligent Tutoring Systems*, in *Advances in Intelligent Tutoring Systems*, R. Nkambou, J. Bourdeau, and R. Mizoguchi, Editors. 2010, Springer Berlin / Heidelberg. p. 15-32.
 29. Mayo, M. and A. Mitrovic, *Optimising its behaviour with bayesian networks and decision theory*. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2001. **12**: p. 124-153.
 30. Bourdeau, J. and M. Grandbastien, *Modeling Tutoring Knowledge*, in *Advances in Intelligent Tutoring Systems*, R. Nkambou, J. Bourdeau, and R. Mizoguchi, Editors. 2010, Springer Berlin / Heidelberg. p. 123-143.
 31. VanLehn, K. and J. Martin, *Evaluation of an assessment system based on bayesian student modeling*, in *International Journal of Artificial Intelligence and Education*. 1998.
 32. Kavcic, A., et al., *Educational hypermedia alice: an evaluation study*, in *11th Mediterranean Electrotechnical Conference. MELECON 2002*. 2002. p. 80 - 84
 33. Holt, P., Dubs, S., Jones, M. y Greer, J. , *The state of student modelling in Student modelling: The key to individualized knowledge- based instruction*, J.E. Greer and G. McCalla, Editors. 1994, Springer-Verlag: Berlin. p. 3-35.
-

34. Shute, V.J., *Intelligent Tutoring Systems: Past, Present and Future*, in *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*, D. Jonassen, Editor. 1995, Scholastic Publications.
 35. Verdejo, M.F., *Building a student model for an intelligent tutoring system*, in *Student modelling: The key to individualized knowledge-based instruction*, J.E. Greer and G. McCalla, Editors. 1994, Springer-Verlag: Berlin. p. 147-163.
 36. Brusilovsky, P., *The Construction and Application of Student Models in Intelligent Tutoring Systems*. *Journal of computer and systems sciences international*, 1994. **32**(1): p. 70-89.
 37. Ohlsson, S., *Constraint-based student modelling*, in *Student modelling: The key to individualized knowledge-based instruction* J.E.G.y.G. McCalla, Editor. 1994, Springer Verlag: New York. p. 167-190.
 38. Mitrovic, A. and S. Ohlsson, *Evaluation of a Constraint-Based Tutor for a Database Language*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 1999. **10**.
 39. Eliot, C., *An Intelligent Tutoring System Based Upon Adaptive Simulation*, *Computer Science Department*. 1996, University of Massachusetts, Amherst
 40. Greer, J.E. and G. McCalla, *Granularity-based reasoning and belief revision in student models*, in *Student modelling: The key to individualized knowledge-based instruction*, J.E. Greer and G. McCalla, Editors. 1994, Springer Verlag: New York. p. 39-62.
 41. Shapiro, S.C., & William J. Rapaportx, *The SNePS family in Computer and Mathematics with Application; reprinted in Fritz Lehman, Semantic Networks in Artificial Intelligence*. 1992, Oxford / Pergamon Press p. 243-275.
 42. Schank, R.C. and C. Cleary, *Engines for education*. 1994, Lawrence Erlbaum Associates.
 43. Rodríguez Artacho, M., *Una arquitectura cognitiva para el diseño en entornos telemáticos de enseñanza y aprendizaje*, in *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales*. 2000, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED): Madrid.
 44. Pearl, J., ed. *Probabilistic Reasoning in Expert Systems: Networks of Plausible Inference*. 1988, Morgan Kaufmann Publishers, Inc.: San Francisco. 545.
 45. Burns, H.L. and C.G. Capps, *Foundations of intelligent tutoring systems: An introduction*. In M. C. Polson y J. J. Richardson. *Foundations of intelligent tutoring system*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc, 1988.
 46. Taatgen, N.A., C. Lebiere, and J.R. Anderson, *Modeling Paradigms in ACT-R*, in *Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation*, R. Sun, Editor. 2006, Cambridge University Press. p. 29-52.
 47. Alevin, V., et al. *The Cognitive Tutor Authoring Tools (CTAT): Preliminary evaluation of efficiency gains*. in *Proceedings of 8th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS 2006)*. 2006: Springer Verlag, Berlin.
 48. Mizoguchi, R., Y. Hayashi, and J. Bourdeau, *Ontology-Based Formal Modeling of the Pedagogical World: Tutor Modeling*, in *Advances in Intelligent Tutoring Systems*, R. Nkambou, J. Bourdeau, and R. Mizoguchi, Editors. 2010, Springer Berlin / Heidelberg. p. 123-143.
-

49. Badaracco, M. and L. Martínez, *Design of an Architecture for Intelligent Tutor System Based on Competencies (ITS-C)*, in *XVI Argentine Congress on Computer Science*. 2010: Buenos Aires.
 50. Badaracco, M. and L. Martínez, *An Intelligent Tutoring System Architecture for Competency-Based Learning*, in *Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, A. König, et al., Editors. 2011, Springer Berlin / Heidelberg. p. 124-133.
 51. VanLehn, K., *Intelligent tutoring systems for continuous, embedded assessment*, in *The future of assessment: Shaping teaching and learning*, C.A. Dwyer, Editor. 2008, Lawrence Erlbaum Assoc: New York: NY. p. 113-138.
 52. Arroyo, I., et al. *Emotion Sensors Go To School*. in *Proceedings from 14th International Conference on AIED*. 2009. Amsterdam IOS Press.
 53. Alvarez, J. and O. Rampnoux. *Serious Game: Just a question of posture?* in *Proc. from Artificial & Ambient Intelligence AISB 2007*. 2007. Newcastle - UK.
 54. Cataldi, Z., et al., *Estrategias metodológicas para el diseño de sistemas tutores inteligentes*, in *VI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación* 2004. p. 105-110.
 55. Burton, R., *The Environmental Module of Intelligent Tutoring Systems*. M. C. Polson & J. J. Richardson (eds.), *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*., 1988.
 56. D'Mello, S.K., R. Picard, and A.C. Graesser, *Towards an Affect Sensitive Auto-Tutor*. *IEEE Intelligent Systems*, 2007. **22**(4): p. 53-61.
 57. McQuiggan, S.W. and J. Lester, *Modeling and Evaluating Empathy in Embodied Companion Agents*. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2007. **65**(4).
 58. Mott, B., et al. *Towards narrative-centered learning environments*. in *Proceedings of the 1999 Fall Symposium on Narrative Intelligence*. 1999. MA.
 59. McQuiggan, S.W. and J.C. Lester, *Learning empathy: a data-driven framework for modeling empathetic companion agents*, in *Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*. 2006, ACM: Hakodate, Japan. p. 961-968.
 60. McQuiggan, S.W. and J.C. Lester, *Modeling and evaluating empathy in embodied companion agents*. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2007. **65**(4): p. 348-360.
 61. Ochs, M. and C. Frasson. *Emotionally Intelligent Tutoring System*. in *Proceedings the FLAIRS*. 2004. Florida.USA
 62. Blanchard, E. and C. Frasson. *An autonomy-oriented system design for enhancement of Learner's motivation in eLearning*. in *ITS 2004. LNCS*. 2004: Springer, Heidelberg.
 63. Graesser, A., et al. *Exploring Relationships Between Affect and Learning with AutoTutor*. in *Proceedings of the 13th International Conference of Artificial Intelligence in Education (AIED 2007). Workshop on Modeling and Scaffolding Affective Experiences to Impact Learning*. 2007. Marina Del Rey, CA, USA.
 64. McCalla, G., *May the Forcing Functions be with You: The Stimulating World of AIED and ITS Research*, in *Advances in Intelligent Tutoring* R. Nkambou, J.
-

- Bourdeau, and R. Mizoguchi, Editors. 2010, Springer Berlin / Heidelberg. p. Foreword.
65. Guzmán de los Riscos, E., *Un modelo de evaluación cognitiva basado en TAI para el diagnóstico en STI*, in *DEPARTAMENTO DE LENGUAJES Y CIENCIAS DE LA COMPUTACION*. 2005, Universidad de Málaga: Málaga.
 66. Weiss, D.J., *Applied Psychological Measurement*, in *Improving measurement quality and efficiency with adaptive testing*. 1982. p. 473-492.
 67. Brusilovsky, P. and P. Miller. *Web-based testing for distance education*. in *Proceedings of webnet'99, world conference of the www and internet*. 1999: AACE.
 68. Anderson, J.R., F.G. Conrad, and A.T. Corbett, *Skill Acquisition and the LISP Tutor*. *Cognitive Science*, 1989. **13**(4): p. 467-505.
 69. Parshall, C.G., T. Davey, and P.J. Pashley, *Innovate item types for computerized testing* in *Computerized adaptive testing: Theory and practice*, W.J.v.d. Linden and C.A.W. Glas, Editors. 2000, Dordrecht (NL): Kluwer Academic. p. 129-148.
 70. Wise, S.L., *Tests autoadaptados informatizados: fundamentos, resultados de investigación e implicaciones para la aplicación práctica*, in *Tests informatizados: Fundamentos y aplicaciones*, J. Olea, V. Ponsoda, and G. Prieto, Editors. 1999, Pirámide. p. 189-203.
 71. Patelis, T., *An overview of computer-based testing (Research Notes)*. 2000, The College Board. Office of Research and Development.
 72. Hively, W., *Introduction to domain-reference testing*. *Educational Technology*, 1974. **14**(6): p. 5-10.
 73. Martínez Arias, R., *Psicometría: Teoría de los test psicológicos y educativos*. 1995: Madrid: Síntesis, S.A.
 74. Rocklin, T.R. and A.M. O'Donnell, *Self-adaptive testing: A performance-improving variant of computerized adaptive testing*. *Journal of Educational Psychology*, 1987. **79**: p. 315-319.
 75. Wainer, H. and R.J. Mislevy, *Item response theory, item calibration and proficiency estimation*, in *Computerized adaptive testing: A primer*, H. Wainer, Editor. 1990, Lawrence Erlbaum Associates, Inc. p. 65-102.
 76. Olea, J., V. Ponsoda, and G. Prieto, *Tests informatizados: Fundamentos y aplicaciones*. 1999, Pirámide.
 77. Flaugher, R., *Item pools*, in *Computerized adaptive testing: A primer*, H. Wainer, Editor, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers. p. 51-65.
 78. Barbero, M.I., *Gestión informatizada de bancos de ítems*, in *Tests informatizados: Fundamentos y aplicaciones*, J. Olea, V. Ponsoda, and G. Prieto, Editors. 1999, Pirámide. p. 68-83.
 79. Thissen, D. and R. Mislevy, *Testing algorithms*, in *Computerized adaptive testing: A primer*, H. Wainer, Editor. 1990, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. p. 103-136.
 80. Collins, J.A., J.E. Greer, and S.X. Huang. *Adaptive assessment using granularity hierarchies and bayesian nets*. in *Proceedings of the 3rd international*
-

- conference on intelligent tutoring systems. its 1996. lecture notes in computer science.* 1996: New York: Springer Verlag.
81. Mislevy, R.J. and R. Almond, *Graphical models and computerized adaptive testing.* (Informe Técnico No. 434). 1997, Center of the Study of Evaluation (CSE).
 82. Mills, G.N. and M. Steffen, *The gre computer adaptive test: Operational issues,* in *Computerized adaptive testing: Theory and practice*, W.J.v.d. Linden and C.A.W. Glas, Editors. 2000, Dordrecht (NL): Kluwer Academic Publishers. p. 77-100.
 83. Sands, W.A., B.K. Waters, and J.R. McBride, *Computerized adaptive testing: From inquiry to operation.* 1996, Washington, DC (USA): American Psychological Association.
 84. Owen, R.J., *A bayesian approach to tailored testing (Research Report No. 69),* in *Educational Testing Service*, W.J.v.d. Linden, Editor. 1969: Princeton. p. 69-92.
 85. Owen, R.J., *A bayesian sequential procedure for quantal response in the context of adaptive mental testing.* Journal of the American Statistical Association, 1975. **70**(350): p. 351-371.
 86. B.Woolf, *Student Modeling*, in *Advances in Intelligent Tutoring Systems*, R. Nkambou, J. Bourdeau, and R. Mizoguchi, Editors. 2010, Springer Berlin / Heidelberg. p. 267-277.
 87. Weber, G. and M. Specht. *User modeling and adaptive navigation support in www-based tutoring systems.* in *Proceedings of the 6th international conference on user modelling um'97.* 1997.
 88. Weber, G., & Brusilovsky, P., *Elm-art: An adaptive versatile system for web-based instruction.* International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2001. **12**(4): p. 352-384.
 89. Melis, E., Andres, E., BÄundenbender, J., Frischauf, A., Gogvadze, G., Libbrecht, P., Pollet, M. y Ullrich, C. , *Activemath: A generic and adaptive web-based learning environment.* International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2001. **12**(4): p. 385-407.
 90. López Cuadrado, J., et al., *Generation of computerized adaptive tests in an adaptive hypermedia system,* in *Educational technology: International conference on tic's in education*, A.M. Vilas, J.A.M. González, and I.S.d. Zaldívar, Editors. 2002.
 91. López, N., et al., *What: Web-Based Haskell Adaptive Tutor*, in *Artificial Intelligence: Methodology, Systems, and Applications*, D. Scott, Editor. 2002, Springer Berlin Heidelberg. p. 71-80.
 92. Xu L. & Sarrafzadeh, A. *Haskell-Tutor: An Intelligent Tutoring System for Haskell Programming.* in *1st Postgraduate Conference of the Institute of Information and Mathematical Sciences.* 2004.
 93. Conati, C., et al. *On-line student modellingfor coached problem solving using bayesian networks.* in *Proceedings of the 6th international conference on user modelling. um'97.* 1997: New York: Springer Verlag.
-

94. Conati, C., A. Gertner, and K. VanLehn, *Using Bayesian Networks to Manage Uncertainty in Student Modeling*. Journal of User Modeling and User-Adapted Interaction, 2002. **12**(4): p. 371-417.
 95. Conati, C. and K. VanLehn. *Pola: A student modeling framework for probabilistic on-line assessment of problem solving performance*. in *Proceedings of the 5th international conference on user modeling*. um'96. 1996: User Modeling Inc.
 96. Vassileva, J. *Dynamic course generation on the www*. in *Proceedings of the Knowledge and media in learning systems 8th world conference on artificial intelligence in education aied'97*. 1997.
 97. Aimeur, E., et al. *Quanti: A multidisciplinary knowledge-based system for quantum information processing*. in *Proceedings of international conference on computer aided learning in engineering education*. calie'01. 2001.
 98. Carro, R.M., E. Pulido, and P. Rodriguez, *Tangow: A model for internet based learning*. International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning, IJCEELL, 2001. **11** (Special Issue on "Internet based learning and the future of education").
 99. Gouli, E., Kornilakis, P. H., K. A., and M. Grigoriadou, *Adaptive assessment improving interaction in an educational hypermedia system*, in *Human computers interaction. PanHellenic conference with international participation*. 2001. p. 2217-222.
 100. Gouli, E., Papanikolaou, K. A. y Grigoriadou., *Personalizing assessment in adaptive educational hypermedia systems*., in *Proceedings of the 2nd international conference on adaptive hypermedia and adaptive web-based systems*. 2002, Springer Verlag: New York.
 101. Santángelo, H.N., *Modelos pedagógicos en los sistemas de enseñanza no presencial basados en nuevas tecnologías y redes de comunicación*. Revista Iberoamericana de Educación, OEI - Ediciones, 2000. **024**: p. 135-159.
 102. Catalano, A., S. Avolio de Cols, and M. Sladogna, eds. *Curriculum design based on standards of occupational competence*. Concepts and methodological guidelines. 2004, CINTERFOR OIT: Buenos Aires.
 103. Zalba, E.a.G., *N An approach to education based on competencias*. 2006 20/02/2008]; Available from: http://www.me.gov.ar/spu/guia_tematica/CPRES/cpres-comision.html.
 104. Europe TUNING, E.S. *Una introducción a la contribución de las universidades al proceso de Bolonia*. 2000 20/09/2009]; Available from: http://tuning.unideusto.org/tuningeu/images/stories/Template/General_Brochure_Spanish_version.pdf.
 105. Proyecto Tuning, A.L. *Informe Final del Proyecto Tuning América Latina: Reflexiones y perspectivas de la Educación Superior en América Latina*. 2007 20/09/2009]; Available from: <http://tuning.unideusto.org/tuningal>.
 106. Perrenoud, P. and M. Lorca, *Construir competencias desde la escuela*. 2006: J. C. Sáez Editor.
 107. Consejo de Normalización y Certificación de Competencia Laboral CONOCER, *Análisis Ocupacional y Funcional del Trabajo*, I.C.y.I.C.O. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, Editor. 2000: Madrid.
-

108. Mertens, L., *Competencia laboral: Sistemas, surgimiento y modelos*. 1996, Montevideo: Cinterfor/OIT.
 109. Ramsay, J.O., *Kernel smoothing approaches to nonparametric item characteristic curve estimation*. *Psychometrika*, 1991. **56**: p. 611-630.
 110. Badaracco, M. and L. Martínez, *A fuzzy linguistic algorithm for adaptive test in Intelligent Tutoring System based on competences*. *Expert Systems with Applications*, 2013. **40**(8): p. 3073-3086.
 111. Clemen, R.T., *Making Hard Decisions. An Introduction to Decision Analysis*. 1995, Duxbury Press.
 112. Evangelos, T., *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*. 2000, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht.
 113. Zhang, L., et al. *An Improvisational AI Agent and Emotionally Expressive Characters*. in *Workshop on Narrative Learning Environments, AIED*. 2007.
 114. Martínez, L., D. Ruan, and F. Herrera, *Computing with Words in Decision support Systems: An overview on Models and Applications*. *International Journal of Computational Intelligence Systems (IJCIS)*, 2010. **3**(4): p. 382-395.
 115. Chernoff, H., *Elementary decision theory*. 1987, Dover Publications: New York.
 116. Espinilla, E.M., *Nuevos Modelos de Evaluación Sensorial con Información Lingüística*, in *Escuela Politécnica Superior de Jaén. Departamento de Informática*. 2009, Universidad de Jaén: Jaén. p. 278.
 117. Duncan, R. and H. Raiffa, *Games and decision. Introduction and critical survey*. 1985, Dover Publications: New York.
 118. Triantaphyllou, E., *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*. 2000, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht/Boston/London.
 119. Choi, D.H., B.S. Ahn, and S.H. Kim, *Multicriteria group decision making under incomplete preference judgments: using fuzzy logic with a linguistic quantifier*. *International Journal of Intelligent Systems*, 2007. **22**(6): p. 641-660.
 120. Fodor, J. and M. Roubens, *Fuzzy preference modelling and multicriteria decisionsupport*. 1994, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht.
 121. Jiménez, A., S. Ríos-Insúa, and A. Mateos, *A decision support system for multiattribute utility evaluation based on imprecise assignments*. *Decision Support Systems*, 2003. **36**(1): p. 65-79.
 122. Lu, J., Zhang, and D. Ruan, *Intelligent multi-criteria fuzzy group decision-making for situation assessments*. *Soft Computing*, 2008. **12**(3): p. 289-299.
 123. Ma, J., et al., *A fuzzy-set approach to treat determinacy and consistency of linguistic terms in multi-criteria decision making*. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2007. **44**(2): p. 165-181.
 124. Romero, C., *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. 1993, Alianza Universidad: Madrid.
 125. Dubois, D. and H. Prade, *Fuzzy sets and systems: theory and applications*. 1980, Academic Press: New York.
 126. Zadeh, L.A., *Fuzzy sets*. *Information and Control*, 1965. **8**(3): p. 338-353.
 127. Dubois, D. and H. Prade, *Rough fuzzy-sets and fuzzy rough sets*. *International Journal of General Systems*, 1990. **13**(2-3): p. 191-209.
-

128. Greco, S., B. Matarazzo, and R. Slowinski, *Rough sets theory for multicriteria decision analysis*. *European Journal of Operational Research*, 2001. **129**(1): p. 1-47.
 129. Inuiguchi, M. *Generalizations of rough sets: from crisp to fuzzy cases*. in *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. 2004.
 130. Xu, Z.S., *Intuitionistic preference relations and their application in group decision making*. *Information Sciences*, 2007. **177**(11): p. 2363-2379.
 131. Bustince, H., E. Barrenechea, and V. Mohedano, *Intuitionistic fuzzy implication operators: an expression and main properties*. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2004. **12**(3): p. 387-406.
 132. Bustince, H. and P. Burillo, *Perturbation of intuitionistic fuzzy relations*. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2001. **9**(1): p. 81-103.
 133. Atanassov, K. and G. Gargov, *Interval valued intuitionistic fuzzy-set*. *Fuzzy Sets and Systems*, 1989. **31**(3): p. 343-349.
 134. Saint, S. and J.R. Lawson., *Rules for reaching consensus. A modern approach to decision making*. 1994, Jossey-Bass: San Francisco.
 135. Herrera-Viedma, E., et al., *A consensus model for group decision making with incomplete fuzzy preference relations*. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2007. **15**(5): p. 863-877.
 136. Herrera, F., L. Martínez, and P.J. Sánchez, *Managing non-homogeneous information in group decision making*. *European Journal of Operational Research*, 2005. **166**(1): p. 115-132.
 137. Xu, Z.S., *A method based on linguistic aggregation operators for group decision making with linguistic preference relations*. *Information Sciences*, 2004. **166**(1-4): p. 4-19.
 138. Kacprzyk, J. and M. Fedrizzi, *Multiperson decision making models using fuzzy sets and possibility theory*. 1990, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht.
 139. Xu, Z.S., *On compatibility of interval fuzzy preference relations*. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 2004. **3**(3): p. 217-225.
 140. Bilgiç, T., *Interval-valued preference structures*. *European Journal of Operational Research Letters in the Information and Mathematical Sciences*, 1998. **105**(1): p. 162-183.
 141. Cheng, C.H. and Y. Lin, *Evaluating the best main battle tank using fuzzy decisiontheory with linguistic criteria evaluation*. *European Journal of Operational Research Letters in the Information and Mathematical Sciences*, 2002. **142**(1): p. 174-186.
 142. Herrera, F. and E. Herrera-Viedma, *Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problems under lingusitic* *Fuzzy Sets and Systems*, 2000. **115**: p. 67-82.
 143. Herrera, F., E. Herrera-Viedma, and J.L. Verdegay, *A sequential selection process in group decision making with a linguistic assessment approach*. *Information Sciences*, 1995. **85**(4): p. 223-239.
 144. Tang, Y., *A collective decision model involving vague concepts and linguistic expressions*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B: Cybernetics*, 2008. **38**(2): p. 421-428.
-

145. Zadeh, L.A., *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—II*. Information Sciences, 1975. **8**(4): p. 301-357.
 146. Zadeh, L.A., *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I*. Information Sciences, 1975. **8**(3): p. 199-249.
 147. Zadeh, L.A., *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—III*. Information Sciences, 1975. **9**(5): p. 43-80.
 148. Nurmi, H., *Non-conventional preference relations in decision making, chapter Assumptions of individual preferences in theory of voting procedures*. 1988, J. Kacprzyk and M. Roubens: Springer-Verlag, Berlín.
 149. Tanino, T., *Fuzzy preference orderings in group decision making*. Fuzzy Sets and Systems, 1984. **12**(2): p. 117-131.
 150. Chiclana, F., F. Herrera, and E. Herrera-Viedma, *Integrating three representation models in fuzzy multipurpose decision making based on fuzzy preference relations*. Fuzzy Sets and Systems, 1998. **97**(1): p. 33-48.
 151. Xu, Z.S., *Goal programming models for obtaining the priority vector of incomplete fuzzy preference relation*. International Journal of Approximate Reasoning, 2004. **36**(3): p. 261-270.
 152. Roubens, M. and P. Vincke, eds. *Preference modelling*. 1985, Springer-Verlag: Berlín/Heidelberg.
 153. Szmidt, E. and J. Kacprzyk, *A consensus-reaching process under intuitionistic fuzzy preference relations*. International Journal of Intelligent Systems, 2003. **18**(7): p. 837-852.
 154. Tanino, T., *On group decision making under fuzzy preferences*, in *Multiperson Decision Making Using Fuzzy Sets and Possibility Theory*, J.K.a.M. Fedrizzi, Editor. 1990, Kluwer Academic Publishers.
 155. Roubens, M., *Fuzzy Sets and Decision Analysis*. Fuzzy Sets and Systems, 1997. **90**: p. 199-206.
 156. Martínez, L., J. Liu, and J. Yang, *A Fuzzy Model for Design Evaluation Based on Multiple Criteria Analysis in Engineering Systems*. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems 2006. **14**(3): p. 317-336.
 157. Beliakov, G., R. Mesiar, and L. Valaskova, *Fitting generated aggregation operators to empirical data*. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 2004. **12**(2): p. 219-236.
 158. Beliakov, G. and J. Warren, *Appropriate choice of aggregation operators in fuzzy decision support systems*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2001. **9**(6): p. 773-784.
 159. Calvo, T., R. Mesiar, and R.R. Yager, *Quantitative weight and aggregation*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2004. **12**(1): p. 62-69.
 160. Gómez, D. and J. Montero, *A discussion on aggregation operators*. Kybernetika, 2004. **40**(1): p. 107-120.
 161. Yager, R.R., *On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B: Cybernetics, 1988. **18**(1): p. 183-190.
 162. Yager, R.R., *Aggregation operators and fuzzy system modelling*. Fuzzy Sets and Systems, 1993. **67**(2): p. 129-145.
-

163. Yager, R.R., *Aggregation of ordinal information*. Fuzzy Optimization and Decision Making, 2007. **6**(3): p. 199-219.
 164. Herrera, F. and E. Herrera-Viedma, *Choice functions and mechanisms for linguistic preference relations*, in *European Journal of Operational Research*. 2000. p. 144-161.
 165. Orlovski, S.A., *Decision-making with fuzzy preference relations*. Fuzzy Sets and Systems, 1978. **1**(3): p. 155-167.
 166. Roubens, M., *Some properties of choice functions based on valued binary relations*. European Journal of Operational Research, 1989. **4**(3): p. 309-321.
 167. Herrera, F. and L. Martínez, *A 2-tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2000. **8**:6(6): p. 746-752.
 168. Bellman, R.E. and L. Zadeh, *Decision Making in a Fuzzy Environment*. Management Science, 1970. **17**(4): p. 141-164.
 169. Zimmermann, H.J., *Fuzzy Sets, Decision Making and Expert Systems*, Kluwer Academic. 1987.
 170. Pedrycz, W., P. Ekel, and R. Parreiras, eds. *Fuzzy Multicriteria Decision-Making: Models, Methods and Applications*. 2011, John Wiley & Sons, Ltd.: Chichester, UK.
 171. Martínez, L. and F. Herrera, *An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges*. Information Sciences, 2012. **207**(0): p. 1-18.
 172. Martínez, L., et al., *Linguistic decision making: Tools and applications*. Information Sciences, 2009. **179**(14): p. 2297-2298.
 173. Chen, S.J. and C.L. Hwang, *Fuzzy multiple attribute decision-making: methods and applications*. 1992, Springer-Verlag: Berlín/New York.
 174. Zadeh, L.A., *Fuzzy logic = computing with words*. Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, 1996. **4**(2): p. 103-111.
 175. Lawry, J., *A methodology for computing with words*. International Journal of Approximate Reasoning, 2001. **28**: p. 51-89.
 176. Mendel, J.M., *Computing with words and its relationships with fuzzistics*. Information Sciences, 2007. **177**(4): p. 998-1006.
 177. Adamopoulos, G.I. and C.P. Pappis, *A fuzzy linguistic approach to a multicriteria sequencing problem*. European Journal of Operational Research, 1996. **92**(3): p. 628-636.
 178. Bonissone, P.P., *Approximate Reasoning in Decision Analysis*, M.M. Gupta and E. Sánchez, Editors. 1982, North-Holland Publishing Company.
 179. Delgado, M., J.L. Verdegay, and M.A. Vila, *Linguistic decision making models*. International Journal of Intelligent Systems, 1992. **7**: p. 13.
 180. Herrera, F., E. Herrera-Viedma, and L. Martínez, *A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making*. Fuzzy Sets and Systems, 2000. **114**(1): p. 43-58.
 181. Yager, R.R., *An approach to ordinal decision making*. International Journal of Approximate Reasoning, 1995. **12**(3-4): p. 237-261.
 182. Bonissone, P.P. and K.S. Decker, *Selecting uncertainty calculi and granularity: an experiment in trading-off precision and complexity*, in *Uncertainty in*
-

- Artificial Intelligence*, E. L.H. Kanal and J.F. Lemmer, Editor. 1986: North-Holland. p. 217-247.
183. Miller, G.A., *The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity of processing information*. *Psychological Review*, 1956. **63**(2): p. 81-97.
184. Bordogna, G., M. Fedrizzi, and G. Pasi, *A linguistic modeling of consensus in group decision making based on OWA operators*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans*, 1997. **27**(1): p. 126-133.
185. Torra, V., *Negation function based semantics for ordered linguistic labels*. *International Journal of Intelligent Systems*, 1996. **11**(11): p. 975-988.
186. Bordogna, G. and G. Pasi, *A fuzzy linguistic approach generalizing boolean information retrieval: a model and its evaluation*. *Journal of the American Society for Information Science*, 1993. **44**(2): p. 70-82.
187. Tong, M. and P.P. Bonissone, *A linguistic approach to decision making with fuzzy sets*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans*, 1980. **10**(11): p. 716-723.
188. Degani, R. and G. Bortolan, *The problem of linguistic approximation in clinical decision making*. *International Journal of Approximate reasoning*, 1988. **2**(2): p. 143-162.
189. Delgado, M., et al., *Combining numerical and linguistic information in group decision making*. *Information Sciences*, 1998. **107**(1-4): p. 177-194.
190. Herrera, F. and L. Martínez, *The 2-tuple linguistic computational model. Advantages of its linguistic description, accuracy and consistency*. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2001. **9**(Suppl.): p. 33-49.
191. Herrera, F. and E. Herrera-Viedma, *Aggregation operators for linguistic weighted information*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans*, 1997. **27**(5): p. 646-656.
192. Pedrycz, W. and F. Gomide, *An introduction to fuzzy sets*. 1998.
193. Moderson, J.N. and P.S. Nair, *Fuzzy mathematics*. 1998, Physica-Verlag: New York.
194. Ben-Arieh, D. and Z. Chen, *Linguistic-labels aggregation and consensus measure for autocratic decision making using group recommendations* *IEEE Transactions on Fuzzy Systems, on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans*, 2006. **36**(3): p. 558-568.
195. Martínez, L., M. Espinilla, and L.G. Pérez, *A linguistic multigranular sensory evaluation model for olive oil*. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 2008. **1**(2): p. 148-158.
196. L. Martínez, M.B., L.G. Pérez, and M. Espinilla, *A knowledge based recommender system with multigranular linguistic information*. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 2008. **1**(3): p. 225-236.
197. Bubnicki, Z., *Analysis and decision making in uncertain systems*. 2004, Springer-Verlag: Berlín/London/New Yor.
198. Bosc, P., D. Kraft, and F. Petry, *Fuzzy sets in database and information systems: status and opportunities*. *Fuzzy Sets and Systems*, 2005. **156**(3): p. 418-426.
-

199. Delgado, M., M.A. Vila, and W. Voxman, *On a canonical representation of fuzzy numbers*. Fuzzy Sets and Systems, 1998(94): p. 125-135.
-