

# Modelo Adaptativo Multi-Agente para la Planificación y Ejecución de Cursos Virtuales Personalizados

Tesis Doctoral  
Néstor Darío Duque Méndez



Director  
Demetrio A. Ovalle Carranza, PhD.

Comite Doctoral

Rosa Vicari, PhD. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
Ricardo A. Silveira, PhD. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil  
Jovani A. Jiménez B., PhD. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín

Doctorado en Ingeniería - Sistemas e Informática  
Escuela de Sistemas  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Octubre 2009.



# Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

John William Branch Bedoya PhD.  
Universidad Nacional de Colombia  
Presidente del Comité Doctoral

---

Demetrio Arturo Ovalle Carranza PhD.  
Universidad Nacional de Colombia  
Comité Doctoral

---

Rosa María Vicari PhD.  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
Comité Doctoral

---

Ricardo Azambuja Silveira PhD.  
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil  
Comité Doctoral

---

Jovani Alberto Jimenez Builes PhD.  
Universidad Nacional de Colombia  
Comité Doctoral

Medellín, 30 de octubre de 2009



# Dedicatoria

A Deya, Laura María, Juan Paulo y Lucas Alejandro por entender y concederme el tiempo que no les di y por su paciencia y apoyo incondicional. Hijos: Todo lo que hago es por ustedes.

A mi hermana Elizabeth por su constante motivación reconociendo mis realizaciones.

A mi abuelo y a mi mamá, ya fallecidos, quienes estarían orgullosos por este logro y quienes sin duda tienen una parte muy grande en que lo haya conseguido.

A toda mi familia, quienes siempre estuvieron en mi pensamiento y así no desfallecer.

A mis compañeros del Grupo de Investigación en Ambientes Inteligentes Adaptativos GAIA, que también es un resultado de ellos.



# Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos:

A la Universidad Nacional de Colombia, en especial a la Escuela de Sistemas en la Sede Medellín, por el apoyo recibido y permitir que avanzara y culminara esta importante etapa de mi vida.

Al profesor Demetrio Arturo Ovalle Carranza PhD., director de la tesis; por sus constantes, valiosas y oportunas orientaciones; por abrir las posibilidades para cumplir con los objetivos y por su acompañamiento en todos los momentos hasta lograr el éxito en el presente trabajo.

A Rosa María Vicari PhD., profesora de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil), por mostrarme los caminos y hacerme sentir siempre su apoyo, por el cariño con que me acogió en mis visitas a Brasil, por sus invaluable aportes que se reflejan en esta tesis, pero muy especialmente por ser un ejemplo de trabajo, de fraternidad, de colaboración y visión de la investigación como camino para una sociedad mejor.

Al profesor Ricardo Azambuja Silveira PhD., profesor de la Universidade Federal de Santa Catarina (Brasil), por su conocimiento, aportes y por compartir conmigo al ser parte del Comité Doctoral y jurado de la presente tesis.

Al profesor Jovani Jiménez PhD., profesor de la Universidad Nacional de Colombia, por animarme permanentemente, por compartir conmigo su conocimiento y trabajos, por su ejemplo de académico incansable y por aceptar ser jurado de la presente tesis.

Al profesor Flavio Prieto, PhD., por su apoyo en el inicio del doctorado.

A todos los profesores del Doctorado en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia por compartir sus conocimientos y por contribuir con su ejemplo a formar en mí la visión de investigador.

A los amigos brasileiros: Tiago Primo, Elder Santos, Evandro Miletto y en general a los miembros de la comunidad de la UFRGS por la gran amabilidad con que fui recibido durante mi pasantía.

A Héctor Mauricio González, por su apoyo en la actualización a SICAD+.

A todos los que contribuyeron para que hoy el esfuerzo se vea reflejado en esta Tesis.

Finalmente, un agradecimiento especial a mi familia: A Deya y mis hijos Laura, Juan y Lucas por ser la razón para seguir adelante. A mi hermana Elizabeth por sus ánimos permanentes. A Gloria por su presencia en la ausencia.



*Cheguei a uma conclusão amedrontadora: Sou o elemento decisivo na sala de aula. É minha relação pessoal que cria o ambiente. É meu humor diário que gera o clima.*

*Como professor, possuo tremendo poder para fazer a vida de uma criança miserável ou alegre. Posso ser a ferramenta da tortura ou o instrumento de inspiração. Posso humilhar o alegrar, ferir ou curar. Em todas as situações, é minha resposta que decidirá se uma crise poderá ser vencida ou vencedora, e se uma criança poderá ser humanizada o desumanizada.*

Ginott, Haim. O professor e a criança. Rio de Janeiro. Bloch editores, 1973



# Resumen

Las posibilidades generadas por los importantes avances en las TIC aun no se ven completamente reflejadas en los sistemas educativos. Algunas limitaciones en los sistemas tradicionales pueden ser resueltas con el apoyo de estas tecnologías, lo que debería redundar en versátiles ambientes que incluyan estrategias multimodales y el reconocimiento de las características y progresos de cada estudiante, con la consecuente mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje. Los sistemas de cursos adaptativos son parte importante en este camino y es una promesa incumplida desde los años 70.

En la revisión del estado del arte se encuentran importantes investigaciones y proyectos orientados a enfrentar esta situación, pero gran parte de ellos están aplicados a un curso particular, con estructuras de contenidos predefinidas y modelos estáticos de estudiante. Esto dificulta la reutilización de materiales y hace que el proceso de adaptatividad sea muy restringido.

Esta tesis se propuso como objetivo enfrentar algunas limitaciones encontradas en el referencial teórico respecto a deficiencias en el aprovechamiento de tecnologías de punta en los sistemas de educación virtual, en particular la falta de un esquema genérico de personalización de los cursos, lo que requiere definir los elementos que deben ser tenidos en cuenta en cada estudiante (modelo del estudiante) para adaptar el curso y a la vez asociar estas diferencias con materiales y actividades que reconozcan en la práctica al estudiante (modelo de dominio).

El resultado final es la definición e implementación de un modelo genérico de cursos adaptativos, neutro, abierto, funcional, intercambiable que privilegia al estudiante en el proceso educativo. El modelo propuesto es neutral ante las diferentes visiones y enfoques desde lo pedagógico y tecnológico y facilita que al momento de la implantación se tomen las decisiones respectivas con respecto a taxonomías, características a incluir y elementos determinantes en el proceso de adaptación, mientras que se mantenga la consistencia entre estos atributos y las reglas que guían la personalización. La inclusión de un novedoso pre-planificador da gran versatilidad al sistema y es uno de los aportes importantes de esta tesis, pues permite entregar en forma transparente el problema de la generación del curso como un problema de planificación en IA (AI Planning), para ser resuelto mediante SHOP2, un potente algoritmo HTN.

Un punto sustancial en el cumplimiento de este objetivo fue la adopción de los SMA para modelar y distribuir el conocimiento requerido. Las ventajas de modularidad, escalabilidad, cooperación, interacción e intercambiabilidad fueron ampliamente explotadas. Aprovechando las bondades de los SMA y su capacidad para permitir integración posterior, el sistema puede crecer en otros bloques de adaptación.

Podemos resumir los aportes principales de esta tesis en la definición de un modelo adaptativo de propósito general, reflejado en la no sujeción a un tipo de curso o área temática en particular; en la posibilidad de incluir diferentes visiones sobre las características relevantes del estudiante en el proceso

de enseñanza-aprendizaje, soportado en un modelo del estudiante que se actualiza dinámicamente mediante diversas técnicas de IA, lo que fortalece el proceso de adaptación; en permitir diversas formas de representar la estructura curso a partir de la jerarquía de los logros esperados (OE); en la adopción de metadatos estándares para especificar los materiales de enseñanza que soportan las actividades educativas en el proceso (UE); en la posibilidad de reutilización de las OE y UE para la composición y generación de nuevos cursos personalizados. El núcleo del sistema es un planificador inteligente que incorpora la estrategia de adaptación genérica y que, valiéndose de un novedoso pre-planificador propuesto, traduce el problema de generación del curso en un problema de planificación en IA, el cual es resuelto con el potente algoritmo HTN. La propuesta aprovecha las ventajas de los SMA para garantizar la modularidad, neutralidad, versatilidad e intercambiabilidad de sus componentes.

Recogiendo los conceptos y la propuesta del modelo planteado se diseña y construye la plataforma experimental SICAd+ (Sistema Inteligente de Cursos Adaptativos + (MultiAgent System)), una plataforma para el montaje de cursos adaptativos, que permite la selección de diversas visiones y propuestas al momento de entrar en funcionamiento. Con la definición de la estructura del curso y la determinación dinámica del perfil del estudiante se genera el curso personalizado aprovechando diversas técnicas de inteligencia artificial. El sistema fue diseñado para cursos virtuales en la Web, en un esquema cliente/servidor. Es un desarrollo con base en herramientas libres y multiplataforma, por lo que puede ser instalado en diversos y permite el acceso desde cualquier plataforma que posea un navegador Web. El modelo se validó para un área temática específica pero la esencia del mismo ha podido ser aplicada en otros dominios con los mismos resultados en la generación personalizada del curso.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Preguntas en la comunidad . . . . .	1
1.2. Espacios encontrados para investigación . . . . .	2
1.2.1. Hipótesis de Investigación . . . . .	2
1.2.2. Pregunta de Investigación . . . . .	2
1.2.3. Objetivos de la Tesis . . . . .	2
1.2.4. Metodología utilizada . . . . .	3
1.2.5. Contribuciones principales logradas . . . . .	5
1.3. Organización del documento . . . . .	6
1.4. Difusión de resultados . . . . .	7
<b>2. Conceptos Generales y Revisión Previa</b>	<b>9</b>
2.1. Fundamentación y Conceptos . . . . .	9
2.1.1. Elementos involucrados en la Planificación Instruccional . . . . .	10
2.2. Planificación Instruccional(Instructional Planning)- Revisión . . . . .	15
2.2.1. Conceptos . . . . .	15
2.3. Adaptatividad . . . . .	17
2.3.1. Conceptos . . . . .	17
2.3.2. Estrategias o espacios de adaptación . . . . .	18
2.4. Recorrido Tecnológico por los Sistemas de Educación Virtual . . . . .	18
2.4.1. Sistemas de Educación Adaptativos . . . . .	19
2.4.2. Algunos casos de Sistemas de Cursos Adaptativos . . . . .	21
2.5. Técnicas de Inteligencia Artificial Aplicadas a Educación . . . . .	23
2.5.1. Hacia donde mira la comunidad . . . . .	23
2.5.2. Redes Neuronales (RN) . . . . .	25
2.5.3. Planificación en Inteligencia Artificial (AI Planning) . . . . .	27
2.5.4. Razonamiento Basado en Casos (RBC) . . . . .	29
2.5.5. Sistemas Multi-Agente Inteligentes Pedagógicos . . . . .	30
2.6. Conclusiones del Capítulo . . . . .	30

<b>3. Modelo Propuesto: Framework para Cursos Adaptativos</b>	<b>33</b>
3.1. Enfoque del Modelo Propuesto . . . . .	33
3.2. Modelo Adaptativo Genérico . . . . .	34
3.2.1. Objetivos Educativos (OE). Intencionalidad del proceso educativo . . . . .	35
3.2.2. Unidades Educativas (UE) y separación con la estructura del curso . . . . .	35
3.2.3. Modelo del estudiante . . . . .	38
3.2.4. Estrategia de adaptación y composición del curso . . . . .	38
3.2.5. Proceso de planificación y replanificación . . . . .	40
3.2.6. Enfoque Multi-Agente . . . . .	41
3.2.7. Formalización de la estrategia de adaptación . . . . .	41
3.3. Conclusiones del capítulo . . . . .	41
<b>4. Modelo del Estudiante en la Propuesta</b>	<b>43</b>
4.1. Modelo del estudiante en el proceso de adaptación . . . . .	43
4.2. Características relevantes propuestas en el modelo del estudiante . . . . .	45
4.2.1. Datos y características personales . . . . .	45
4.2.2. Perfil académico del estudiante . . . . .	46
4.2.3. Perfil psicopedagógico . . . . .	46
4.2.4. Historial . . . . .	47
4.3. Otras características propuestas . . . . .	48
4.3.1. Psicológicas y preferencias . . . . .	48
4.3.2. Estado Anímico . . . . .	49
4.3.3. Características contextuales . . . . .	50
4.3.4. Aspecto Ambiental o de Entorno . . . . .	51
4.4. Conclusiones del Capítulo . . . . .	52
<b>5. Módulo de Planificación basado en técnicas de IA</b>	<b>53</b>
5.1. Planificación en IA . . . . .	53
5.2. Selección de la técnica de planificación . . . . .	54
5.2.1. Planificación con SHOP2 . . . . .	55
5.3. Generación de Curso Adaptativo como Problema de Planificación . . . . .	57
5.4. Módulo de Planificación . . . . .	57
5.4.1. Pre-planificación . . . . .	58
5.4.2. Generación del plan . . . . .	60
5.5. Conclusiones del capítulo . . . . .	61
<b>6. Sistema Multi-Agente para la Planificación de Cursos Virtuales Adaptativos</b>	<b>63</b>
6.1. Motivación del uso de SMA . . . . .	63
6.2. Selección de la metodología de desarrollo del SMA . . . . .	65

6.3. Análisis y diseño del SMA pedagógico . . . . .	65
6.4. Framework propuesto desde la perspectiva del SMA . . . . .	67
6.5. Conclusiones del capítulo . . . . .	68
<b>7. Validación del Modelo Adaptativo Multi-Agente. SICAD+</b>	<b>69</b>
7.1. Plataforma Experimental SICAD+ . . . . .	69
7.2. Arquitectura de SICAD+ . . . . .	70
7.3. Plataforma JADE . . . . .	70
7.4. Instalación de SICAD+ . . . . .	72
7.5. Disposición de los elementos en la aplicación . . . . .	73
7.6. Caso de Estudio . . . . .	74
7.7. Conclusiones del capítulo . . . . .	75
<b>8. Conclusiones y Trabajo Futuro</b>	<b>79</b>
8.1. Conclusiones y aportes . . . . .	79
8.2. Trabajo futuro . . . . .	81
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>83</b>
<b>A. Tests propuestos para la Clasificación de los estudiantes</b>	<b>95</b>
A.1. Test para Estilos de Aprendizaje de Felder . . . . .	95
A.1.1. Test de Felder . . . . .	95
A.2. Test para Estilos de Aprendizaje según el modelo VARK . . . . .	99
A.2.1. VARK y Copyright . . . . .	100
A.2.2. Test VARK . . . . .	100
A.3. Minitest para Personalidad de Eysenck . . . . .	103
<b>B. Técnicas Inteligentes aplicadas a Sistemas Educativos - Revisión</b>	<b>105</b>
B.1. Técnicas de Inteligencia Artificial Aplicadas a Educación . . . . .	105
B.1.1. Redes Neuronales . . . . .	106
B.1.2. AI Planning . . . . .	107
B.1.3. Razonamiento Basado en Casos (RBC) . . . . .	109
B.1.4. Algoritmos Genéticos . . . . .	111
B.1.5. Minería de Datos . . . . .	112
B.1.6. Lógica Difusa . . . . .	113
B.1.7. Redes Bayesianas . . . . .	115
B.1.8. Sistemas de Agentes Inteligentes . . . . .	116

<b>C. Desarrollo del Sistema Multi-agente - Metodología</b>	<b>121</b>
C.1. Fase de Conceptualización . . . . .	121
C.2. Fase de Análisis . . . . .	122
C.2.1. Modelo de Agente (MA) . . . . .	123
C.2.2. Modelo de Tareas (MT) . . . . .	124
C.2.3. Modelo de Comunicación (MC) . . . . .	125
C.2.4. Modelo de Coordinación (MCo) . . . . .	126
C.2.5. Modelo de la Organización (MO) . . . . .	127
C.2.6. Modelo de la Experiencia (ME) . . . . .	127
C.3. Fase de Diseño . . . . .	128
C.4. Propuesta Final . . . . .	129
<b>D. Formalización del proceso de Adaptación: Ámbito de adaptación</b>	<b>133</b>
D.1. Ámbito de adaptación . . . . .	133
D.2. Ejemplo . . . . .	135
D.3. Forma General . . . . .	136

# Índice de figuras

2.1. Objetivos Educativos - Mapa conceptual . . . . .	10
2.2. Mapa conceptual sobre planificación instruccional . . . . .	16
2.3. Técnicas de inteligencia artificial aplicadas en educación virtual . . . . .	25
3.1. Elementos involucrados en un sistema adaptativo . . . . .	35
3.2. Esquema general del modelo propuesto . . . . .	37
3.3. Diagrama de actividades . . . . .	39
4.1. Aspectos a tener en cuenta en la construcción de un modelo del estudiante . . . . .	44
4.2. Elementos o características en el modelo del estudiante . . . . .	45
5.1. Esquema de proceso de planificación . . . . .	57
5.2. Módulo de planificación . . . . .	59
6.1. Esquema del Sistema Multi-Agente propuesto . . . . .	66
6.2. Algunos modelos en el desarrollo del SMA . . . . .	67
7.1. Arquitectura de SICAD+ . . . . .	70
7.2. Plataforma JADE - Sniffer . . . . .	72
7.3. Ingresar al sistema SICAD+ . . . . .	73
7.4. Pantalla Principal SICAD+ . . . . .	74
7.5. Perfil actual del estudiante . . . . .	75
7.6. Estructura de un curso en SICAD+ . . . . .	76
7.7. Asociación de UE con los OE . . . . .	76
7.8. Ingreso a un curso en particular . . . . .	77
7.9. Plan para área temática Auditoría de Sistemas . . . . .	77
A.1. Hoja de Calificación ILS Felder . . . . .	100
C.1. Casos de Uso en forma general . . . . .	122
C.2. Diagramas de Casos de Uso . . . . .	122

C.3. Diagramas de Tareas Realizar prueba de entrada . . . . .	124
C.4. Diagramas de Tarea Consultar datos estudiante . . . . .	125
C.5. Diagramas de secuencia Consultar perfil . . . . .	126
C.6. Diagrama de secuencia Realizar pruebas . . . . .	127
C.7. Diagrama de secuencia Seleccionar UE . . . . .	128
C.8. Mensajes KQML . . . . .	129
C.9. Modelo de la Organización . . . . .	130
C.10. Modelo de la Experiencia - Seleccionar UE . . . . .	130
C.11. Modelo de la Experiencia - Ingreso al sistema . . . . .	130
C.12. Arquitectura de SICAD+ . . . . .	131
C.13. Esquema del Sistema Multi-agente propuesto . . . . .	131

# Índice de tablas

2.1. Modelos de clasificación de estilos de aprendizaje . . . . .	13
2.2. Características de adaptación en algunos sistemas . . . . .	23
3.1. Metadatos de las UE y los OE . . . . .	36
4.1. Velocidad de Conexión vs Materiales Educativos . . . . .	51
A.1. Cuadro de asignación de valores según respuestas - VARK . . . . .	103
A.2. Distancia de Paso - VARK . . . . .	103
A.3. Minitest de personalidad . . . . .	104
B.1. SMA Pedagógicos . . . . .	118
C.1. Plantilla para el Agente Estudiante . . . . .	124
C.2. Plantilla Modelo de Tarea: Administrar el perfil del estudiante . . . . .	125
C.3. Tarea: Determinar UE . . . . .	126



# Capítulo 1

## Introducción

*... La tecnología educativa no nace con el uso de la computadora en el aula. Una mirada nostálgica al uso del pizarrón y la tiza nos permite reencontrar la trascendencia de la tarea docente y la convicción de que no hay recurso, por eficiente que sea, que reemplace la mirada, la voz y los sueños de los maestros. ...*

*Angie Vidal*

Este capítulo tiene como objetivo presentar rápidamente la tesis, dar un vistazo a los orígenes de esta investigación y mostrar dónde se enmarca en los interrogantes de la comunidad. Igualmente presenta los objetivos planteados y la metodología apropiada en el cumplimiento de los mismos. Al final se explica cómo está organizado el resto del documento.

### 1.1. Preguntas en la comunidad

Sobre los investigadores en sistemas de educación soportados en tecnologías informáticas recaen altas e inaplazables responsabilidades. Aprovechar todos los avances técnicos y colocarlos al servicio de las vanguardias en educación y fundamentalmente hacer que estas posibilidades redunden en un mejor ambiente para el estudiante y que conlleve a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

La adaptación, como un requerimiento a cumplir en estos ambientes genera muchas preguntas a resolver tanto a nivel teórico como en aplicaciones concretas que soporten estas teorías.

Entre muchos otros, el evento 3rd workshop of Authoring of Adaptive and Adaptable Educational Hypermedia, *A<sup>3</sup>EHWorkshop – AIED2005* (Cristea, Carro y Garzotto, 2005) realizado en Holanda en el 2005, plantea como interrogantes a resolver en la actualidad los siguientes :

- Cuáles son las principales características a modelar en el estudiante?
- Cómo puede ser formulado el conocimiento pedagógico de una manera reusable?
- Cómo soportar escenarios pedagógicos?

- Cómo considerar los estilos cognitivos en ambientes adaptativos?

Pero es necesario agregar otras más:

- Cómo puede ser representada la estructura del curso, respetando la intencionalidad del proceso?
- Cómo pueden ser incluidas y representadas las estrategias de enseñanza?
- Cómo permitir diversos escenarios y filosofías pedagógicas?
- Qué ambiente de adaptación es necesario definir?
- Es posible proponer un modelo de planificación que recoja los diferentes elementos y permita la replanificación adaptativa?
- Qué elementos son relevantes para poder conseguir la generación y replanificación de cursos adaptativos?
- Cuál o cuáles son las técnicas que permiten atender estos cuestionamientos?

## 1.2. Espacios encontrados para investigación

Sin duda hay un gran espacio y esta tesis enfrenta algunos de los retos planteados por la comunidad científica, abordando ciertos puntos y presenta una propuesta a la comunidad científica. Partiendo del hecho que la complejidad del problema exige atender diferentes situaciones y aprovechando las posibilidades de modularidad y distribución de inteligencia, así como adaptación, autonomía y proactividad que proveen los Sistemas Multi-Agente, se opta por este enfoque.

### 1.2.1. Hipótesis de Investigación

Es posible diseñar un Modelo Adaptativo basado en Sistemas Multi-agente para la Planificación y Ejecución de Cursos Virtuales Personalizados.

### 1.2.2. Pregunta de Investigación

Lo anterior permite plantear una pregunta de investigación *¿Cómo se puede diseñar un Modelo Adaptativo basado en Agentes de Software para la Planificación y Ejecución de Cursos Virtuales Personalizados?*.

### 1.2.3. Objetivos de la Tesis

Resultado de lo anterior se desprende un **Objetivo General** que permite resolver la pregunta de investigación: Proponer un Modelo Adaptativo basado en Agentes de Software para la Planificación y Ejecución de Cursos Virtuales personalizados.

Del cual a la vez se derivan los siguientes **Objetivos Específicos**:

1. Caracterizar los diferentes elementos y técnicas aplicables a la planificación instruccional y que permitan la personalización de cursos virtuales.
2. Determinar y proponer un modelo genérico que integre diferentes elementos y técnicas en el marco de la estrategia de adaptabilidad para la personalización de cursos virtuales.
3. Conceptualizar, analizar y diseñar el Sistema Multi-Agente, dando valor agregado al modelo propuesto.
4. Implementar y validar el modelo Adaptativo Multi-Agente para la Planificación y Ejecución de Cursos Virtuales Personalizados.

#### **1.2.4. Metodología utilizada**

En la formulación de la metodología fueron observados aspectos relacionados directamente con el proceso de enseñanza-aprendizaje, como planificación instruccional, características en el perfil del estudiante que influyen en el proceso, determinantes en la personalización de los cursos; y también los que tienen que ver con las tecnologías informáticas que soportan el proceso de adaptación del curso de acuerdo al modelo propuesto.

Previamente fue realizada una amplia revisión bibliográfica orientada a determinar los elementos importantes en un modelo como el propuesto y haciendo un recorrido tecnológico de sistemas de educación virtual y el uso de técnicas de inteligencia artificial en ambientes educativos, lo que permitió determinar el estado del arte en relación con este trabajo y entender hacia dónde se dirige la comunidad científica.

Lo anterior llevó a caracterizar los elementos y técnicas para la personalización de cursos virtuales. A partir de esto se propone un modelo para la adaptación de cursos virtuales, que integra varios elementos relevantes definidos en los componentes del modelo adaptativo; donde toman especial interés el modelo del alumno y el componente de planificación para la generación del curso. Aprovechando las ventajas de distribución de inteligencia y modularidad así como adaptación, autonomía y proactividad que ofrecen, se realiza el diseño basado en un Sistema Multi-Agente, que conduce a la implementación de un prototipo para validar la propuesta con un caso de aplicación.

En detalle la metodología de la investigación desarrollada en este trabajo se dividió en 5 etapas, subdivididas a su vez en diferentes actividades. A continuación se explica brevemente cada una de ellas:

##### **Etapas 1. Revisión Bibliográfica y Estado del Arte.**

Se realizó una amplia revisión de artículos, ponencias y proyectos presentados sobre los temas relacionados con la temática de la tesis, recogiendo los elementos que aportaban a la propuesta inicial y determinando los espacios que estaban abiertos. La organización de esta información permitió definir claramente hacia dónde orientar el trabajo y remarcar los aportes que esta investigación realiza.

El resultado de esta etapa puede verse más detalladamente en capítulo 2. Las actividades en esta etapa aportan directamente al cumplimiento del objetivo 1.

Etapa 2. Conceptualización del proceso de personalización de cursos virtuales.

A partir de la revisión y organización previa se logró la definición conceptual de los elementos relevantes que apoyan desde lo pedagógico, psicológico y psicopedagógico la adaptación del proceso enseñanza-aprendizaje, encontrando que, como es reconocido, es un proceso complejo donde intervienen diversos factores desde la concepción misma de curso, su intencionalidad, la forma de representación, los materiales y estrategias educativas, y el reconocimiento de estudiante como un ser individual, complejo, que actúa como tal ante el proceso y que algunas propiedades del mismo son mayormente relevantes en esta propuesta, en particular los estilos de aprendizaje.

De idéntica manera se realizó el primer acercamiento en la determinación desde lo tecnológico de los elementos relevantes en la adaptación: Caracterización de las técnicas de planificación instruccional, tecnologías apropiadas para la personalización en el ambiente propuesto. Esto se aprecia en el capítulo 2 y se plasma en el capítulo 3, donde se proponen los elementos principales del modelo para cursos adaptativos. Esta etapa involucra elementos orientados a cumplir con los objetivos 1 y 2 propuestos.

Etapa 3. Definición del modelo integrado para Cursos Adaptativos.

Esta etapa es una de las más importantes en el trabajo pues define el modelo propuesto con cada una de las características que permiten plasmar en ellas los aportes hechos. Se determinan tres bloques representativos: El modelo del alumno, lo referente a la representación y definición genérica del dominio y la estrategia genérica de adaptación que recoge el enfoque de esta tesis.

Este modelo es presentado en el capítulo 3. Sin embargo, por su importancia y con el ánimo profundizar en algunos aspectos se dedica el capítulo 4 al modelo del estudiante, mostrando las características incluidas y las formas de captura y actualización. También el capítulo 5 se dedica al planificador inteligente, donde se plasma la estrategia de adaptación. Esta técnica fue seleccionada dado la complejidad en un dominio detallado y jerárquico que representa el curso propuesto, la complejidad para generar un plan de curso y las ventajas reportadas por AI Planning (planificación basada en técnicas de inteligencia artificial) en casos con características similares. Se optó por un planificador de Red Jerárquica de Tareas, en particular SHOP2.

Además, se presenta como alternativa para momentos donde se desee replanificar algunas actividades del curso el uso de razonamiento Basado en Casos (RBC), pero no se profundiza en el tema, pues se considera como un trabajo de interés a desarrollar a futuro.

Todas las actividades de esta etapa están orientadas a cumplir con el objetivo de proponer un modelo genérico para la personalización de cursos virtuales.

Etapa 4. Diseño del Modelo de Sistema Multi-Agente Pedagógico.

Esta etapa está orientada a cumplir con el objetivo 3 y parte de la etapa anterior donde se definió el uso de un Sistema Multi-Agente con el fin de aprovechar su potencia en cuanto a las posibilidades de autonomía y cooperación, lo que facilita la modularidad y escalabilidad del sistema y permite que el enfoque del framework sea posible y que sea posible a futuro intercambiar agentes que respalden determinada filosofía educativa e integrarlos al sistema, al igual que crecer con otros componentes en los que se trabajara a futuro.

No se optó por una metodología específica, pero la base fue MASCommonKADS (Iglesias, 1998) y se incluyeron, por su representatividad, algunos modelos de MaSE (Diagramas de jerárquicos de tareas) (DeLoach, 2001) y de GAIA (Modelo de roles) (Wooldridge et al, 2000). En el capítulo 6 se detalla el proceso de desarrollo del sistema.

Etapa 5. Implementación y validación del Modelo Adaptativo Multi-Agente para la Planificación y Ejecución de Cursos Virtuales Personalizados.

Recogiendo las etapas anteriores se construye la plataforma experimental SICAd+ (Sistema Inteligente de Cursos Adaptativos + (El '+' corresponde al enfoque de **MultiAgent System**)) la que permite definir los objetivos educativos, la estructura del curso, almacenar las unidades educativas, determinar el perfil del alumno y generar el curso personalizado aprovechando el planificador inteligente. Es una aplicación completamente funcional, que puede ser usada para el montaje de diversos cursos y aplicando diferentes tendencias pedagógicas en el marco del modelo planteado en esta tesis. El resultado final satisface el objetivo 4 y permite respaldar el enfoque que la investigación se había propuesto.

El sistema fue diseñado para cursos virtuales en Web, en un esquema cliente/servidor en el cual se involucran varias tecnologías. Es un desarrollo con base en herramientas libres y multiplataforma, por lo cual se puede instalar los servidores tanto en Windows como Linux y permite el acceso desde cualquier plataforma que posea un navegador Web. El modelo se validó a través de un prototipo en un área temática específica, pero la esencia del mismo ha podido ser aplicada en otros dominios con los mismos resultados en la generación personalizada del curso. SICAd+ es presentado en el capítulo 7.

### 1.2.5. Contribuciones principales logradas

En el referencial teórico y estado del arte se ha encontrado que los trabajos relacionados dejan abierto espacios que fueron atacados por esta tesis. Se propone y desarrolla un modelo adaptativo de propósito general, lo cual tiene varias connotaciones:

1. A diferencia de otros proyectos que, de alguna forma, están confinados a su dominio, esta propuesta permite atender diversos tópicos o áreas temáticas, pues la estrategia de adaptación no está sujeta a un dominio específico. Se propone un esquema genérico para la estrategia de adaptación, que permite definir diversos enfoques pedagógicos y características de acuerdo a las decisiones del implantador: taxonomía de objetivos educativos, elementos del perfil de estudiante, modelo de características cognitivas del estudiante, variables relevantes en el proceso de adaptación, elementos a adaptar, reglas para la adaptación e involucrar la estrategia pedagógica en las Unidades Educativas (Objetos de Aprendizaje o materiales educativos), las que serán seleccionadas según el perfil del alumno.

2. Gran parte de la revisión del estado del arte mostró un enfoque a partir de una estructura curso orientada por contenidos e incluso sujeta a los materiales educativos. Se propone un sistema con una clara separación en los materiales educativos y la estructura del curso lo que facilita el intercambio y permite una versátil estrategia de adaptación. El proceso de recuperación de las Unidades Educativas se apoya en metadatos estándares. Además, el sistema parte de los Objetivos Educativos (OE) o competencias a desarrollar, en lo cual se manifiesta la intencionalidad del proceso educativo y los

logros esperados en un curso en particular. Esta característica y dada la alta granularidad posibles de los OE, estos pueden ser reutilizados para componer nuevos cursos o segmentos de un área específica, a partir de lo cual el sistema genera automáticamente el curso personalizado. Esto ha sido probado exitosamente.

3. A diferencia de otros modelos y dado que la estrategia de adaptación está separada de la estructura del curso y de los materiales educativos permite incluir diversas estrategias de aprendizaje y propuestas pedagógicas, que orienten la planificación y replanificación de los cursos.

4. Parte fundamental en un sistema adaptativo es el modelo del estudiante. Esta propuesta define un rico y versátil modelo de estudiante que incluye, en lo posible, las características más relevantes en el proceso enseñanza-aprendizaje. Igualmente se da un alto dinamismo y 'neutralidad' a dicho modelo. Pero siendo un modelo genérico, permite incluir otras dimensiones en el modelo del alumno tanto a nivel cognoscitivo, psicológico, psicopedagógico, afectivas, características no permanentes y contextuales.

5. Aprovechando las ventajas de los Sistemas Muti-Agente y su capacidad para integración posterior, el sistema puede crecer en otros bloques de adaptación por fuera del alcance de esta tesis (evaluación adaptativa, interfaces adaptativas, bibliotecas inteligentes, etc.) y también permite el intercambio de partes del sistema diseñados y construidos bajo otras ópticas facilitando mejoras o pruebas de alto valor investigativo.

En resumen, esta tesis propone un modelo adaptativo de propósito general, basado en un sistema de agentes pedagógicos inteligentes. La formulación de una estrategia de adaptación genérica permite que el sistema no esté sujeto a una visión pedagógica específica y admite definir las diferentes variables de los elementos constitutivos para adecuarlo a una necesidad en particular. Igualmente pueden ser utilizadas diversas técnicas para apoyar el proceso de obtención de un adecuado plan instruccional.

### **1.3. Organización del documento**

El documento está organizado de la siguiente manera; en el siguiente capítulo se presentan los conceptos generales y el resultado de la revisión previa tanto en lo educativo como en las tecnologías informáticas. El capítulo 3, corazón de esta tesis, está dedicado a sustentar el modelo propuesto, visto como un framework para la generación de cursos adaptativos. El capítulo posterior detalla el Modelo del Estudiante, en sus características y la forma de inicialización y actualización. El capítulo 5 está dedicado a la incorporación de técnicas de planificación en IA (AI planning) en la propuesta y describe tanto la forma en que seleccionó, como también los algoritmos utilizados para llevar el enfoque del curso a un problema de planificación y su resolución. El análisis y diseño del Sistema Multi-Agente es presentado en el capítulo 6, mientras que el capítulo 7 se dedica a mostrar a grandes rasgos la aplicación que respalda esta propuesta y el proceso de validación de la misma. Las conclusiones y trabajos futuros son referidos en el capítulo 8. Por último se incluye un aparte de anexos donde se ubican algunos materiales que pueden ser importantes para respaldar los conceptos presentados, como los test utilizados, ampliación de la revisión del estado del arte, un acercamiento a la formalización

matemática de la estrategia de adaptación y los modelos generados con la aplicación de la metodología para construir el SMA.

## 1.4. Difusión de resultados

### Artículos en revistas.

- Ovalle, D., Duque, N. Intelligent System For Adaptive Courses. Revista Dyna. Medellín. Recibido para revisión. Octubre 2009. ISSN: 0012-7353.
- López Bedoya, Karol. Duque Méndez, Néstor D. Brochero Bueno, Darwin. Replanificación de Actividades en Cursos Virtuales Personalizados con Árboles de Decisión, Lógica Difusa y Colonias de Hormigas. Presentado para evaluación en la Revista Avances en Sistemas e Informática. Octubre 2009. ISSN 1657-7663.
- Duque, N. ; Ovalle, Demetrio; Vicari, Rosa ; Silveira, R. A. Modelo Inteligente Genérico para Adaptatividad de Cursos Virtuales. RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação, Vol. 6, No. 1, 2008. ISSN 1679-1916.
- González, H. Duque, N y Ovalle, D. Modelo del Estudiante para Sistemas Adaptativos de Educación Virtual. Revista Avances en Sistemas e Informática, Vol. 5 No. 1. Pag 190-199 Medellín, 2008. ISSN 1657-7663
- Duque M., Néstor D, Demetrio A. Ovalle C. Jiménez, J. Modelo Adaptativo para Cursos Virtuales basado en Técnicas de Planificación Inteligente. Revista Avances en Sistemas e Informática, Vol. 4 No. 1 . Medellín, 2007 . ISSN 1657-7663
- Duque Méndez, Néstor D. Agudelo, Alfonso. Sistema Multiagente para la Evaluación Personalizada en Cursos Virtuales. Revista Avances en sistemas e informática Volumen 3 No 2. Medellín. Diciembre de 2006. ISSN 1657-7663

### Capítulos de libros de investigación.

- González, Héctor Mauricio; Duque M, Néstor Darío. Técnicas de Inteligencia Artificial Aplicadas para un Modelo Dinámico del Estudiante. Capítulo libro de investigación Tendencias en Ingeniería de Software e Inteligencia Artificial - Volumen 3. Pag 189-198. Octubre 2009. ISBN: 978-958-44-5820-9.
- Ovalle, D. Duque, N. Sistema Inteligente Genérico para el Manejo de la Adaptatividad del Proceso de Enseñanza / Aprendizaje en Cursos Virtuales. Colombia, Tendencias en Ingeniería de Software e Inteligencia Artificial, Vol. 1, págs: 85 - 82. Ed. Editorial Medellín 2007. ISBN: 978-958-44-1344-4.

### Ponencias en eventos.

- Duque M., Néstor D, Ovalle, Demetrio. Silveira, Ricardo. Adaptive Virtual Courses Development Based On Multi-Agent System Approach. WCCE 2009. Bento Goncalves. Brazil. 2009
- Duque Méndez, N.D.; Jimenez Builes, J.A.; Carranza, D.O. Adaptive Planning System for Virtual Courses. Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, 2007. CERMA 2007 Volume I

Pag 572-578. Sept. 2007, ISBN:0-7695-2974-7

- Duque M., Néstor D, Demetrio A. Ovalle C. Jiménez, J. Artificial Intelligence For Automatic Generation Of Customized Courses. ED-MEDIA 2006. World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications. AACE. Orlando Fl. 2006. ISBN:1-880094-59-2
- Duque M, Néstor Darío, Ovalle C, Demetrio, Jiménez B, Jovani. Sistema Inteligente de Cursos Adaptativos basado en el Perfil del Estudiante En 5ta Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática CИСCI 2006, 2006, Orlando, FL., USA. ISBN:980-6560-89-2
- Jiménez B, Jovani, Duque, Néstor Darío, Ovalle, Demetrio. Modelo de Sistema Multi-Agente de Cursos Adaptativos integrados con Ambientes Colaborativos de Aprendizaje En 5ta Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática CИСCI 2006, Orlando, FL., USA. 2006.
- Duque Méndez, Néstor Darío. Inteligencia Artificial para la Generación de Cursos Personalizados. VI Congreso Internacional Virtual de Educación. CIVE 2006. Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca 2006. ISBN:84-7632-978-4

#### **Participación en proyectos.**

- 2009 - 2010 Modelo apoyado en tecnología de agentes inteligentes, para el almacenamiento, recuperación y recomendación de materiales educativos en Web, en un ambiente de TV Digital. Convocatoria Nacional para el Intercambio de Investigadores e Innovadores en el marco de Proyectos de Colaboración Conjunta de Colombia con Brasil, Chile Y México. Participan: Brasil - Colombia. Aprobado 2009.
- 2008 -2010. Projeto H-NET. Health Education Network. Rede de Ensino em Saúde. Proyecto Prosul. Participan: Brasil, Colombia, Chile, Uruguay. Estudiante Doctorado.
- 2007-2008. Sistema de Cursos Virtuales Personalizados basado en Competencias con Modelo Dinámico de Estudiante. Convocatoria Nacional de Investigación Universidad Nacional de Colombia. Grupos Categoría B. Investigador Principal.
- 2007- 2008 Modelo de Sistema Multi-Agente de Cursos Adaptativos integrados con ambientes colaborativos de aprendizaje. Proyecto de investigación DIME. Vicerrectoria de Investigación, Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Co investigador.
- 2006-2008. Diseño, Aplicación y Validación de un Ambiente Informático Adaptativo para el Aprendizaje en Educación Básica. Convocatoria para la financiación de proyectos de investigación conjuntos entre grupos de trabajo académico de la Universidad de Caldas y Universidad Nacional. Manizales

#### **Tesis de Maestría.**

- Modelo Dinámico del Estudiante En Cursos Virtuales Adaptativos Utilizando Técnicas De Inteligencia Artificial. Héctor Mauricio González Gutiérrez Maestría en Ingeniería de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. 2009.
- Modelo de Replanificación Adaptativa de Actividades en Cursos Virtuales basado en Agentes Inteligentes. Karol Lina López Bedoya. Maestría en Automatización. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. 2009.

## Capítulo 2

# Conceptos Generales y Revisión Previa

*...Esta es la educación que queremos?: Una educación para que el individuo rinda cuentas sobre resultados del saber y no para que acceda a pensar en los procesos que condujeron a ese saber o a los resultados de ese saber. Le ahorran a uno la angustia de conocer, lo cual es un pésimo negocio, tanto en la educación, como en cualquier otro campo del saber ...*

*Estanislao Zuleta*

Este capítulo tiene como objetivo reflejar la revisión previa tanto en las tecnologías informáticas como educativas. Inicialmente se ubican los elementos conceptuales importantes para una planificación instruccional personalizada, resaltando aquellos que se retomarán en la tesis. Se presenta la definición conceptual de los puntos relevantes que apoyan desde lo pedagógico, psicológico y psicopedagógico la adaptación del proceso enseñanza-aprendizaje, viéndolo como un proceso complejo donde intervienen diversos factores desde la concepción misma de curso, su intencionalidad, la forma de representación, los materiales y estrategias educativas, y el reconocimiento del estudiante como un ser individual y complejo.

Posteriormente se presenta el estado del arte en cuanto a las diferentes tecnologías aplicadas a educación en trabajos anteriores, en particular las técnicas de Inteligencia Artificial (IA), analizando críticamente las posibilidades no cubiertas y retomando los elementos promisorios para esta investigación. Dicho análisis permitió orientar con mayor rigor la propuesta y los aportes esperados. La organización de estos resultados se refleja en el modelo planteado.

### 2.1. Fundamentación y Conceptos

En Colombia el artículo 19o. de la Ley 115 de 1994 estipula que los componentes del currículo o elementos que lo determinan directamente, incluyen los fundamentos conceptuales que orientan la

actividad pedagógica, los objetivos de la educación en el nivel y ciclo correspondiente, los indicadores de logros, los planes de estudio, los actores involucrados en los procesos formativos, los métodos, el desarrollo, la gestión e investigación, los criterios para la evaluación y todos aquellos otros requeridos para adelantar adecuadamente su proceso de construcción permanente.

La estructura del currículo está constituida por relaciones sistémicas entre referentes y componentes que permiten establecer y organizar prioridades y orientar la consecución de propósitos comunes, adecuados a los objetivos y a las características de los niveles y ciclos de la educación formal (MinEdu-cación, 1989). A través de la estructura del currículo se debe conseguir la articulación, jerarquización y convergencia de sus referentes y componentes, para ponerlos como un todo al servicio del desarrollo integral humano, dentro de una dinámica del proceso formativo. Esto nos da un marco de la orientación posible para enfocar el modelo.

### 2.1.1. Elementos involucrados en la Planificación Instruccional

En los temas relacionados con la educación y pedagogía se encuentran diversidad de conceptos y posiciones, cada uno apoyado en más o menos razones. Enseguida se exponen puntos que se acogen a todas las escuelas y corrientes. Dentro de los aspectos que comprende el planeamiento curricular están la definición de los objetivos educacionales y la selección de contenidos y actividades que permitan acercar al alumno a la idea propuesta por la filosofía educativa en que se fundamenta.

#### Objetivos Educativos (OE)

También referidos, con pocas diferencias, como objetivos instruccionales, objetivos pedagógicos y muchas más denominaciones. Hoy tiene especial relevancia el tema de formación por competencias. Los OE son definidos por (Lizcano, 1989) como enunciados que describen, en términos de conducta observable, los resultados que se esperan obtener a través del proceso de enseñanza-aprendizaje.

La figura 2.1 permite apreciar diferentes visiones sobre este concepto.

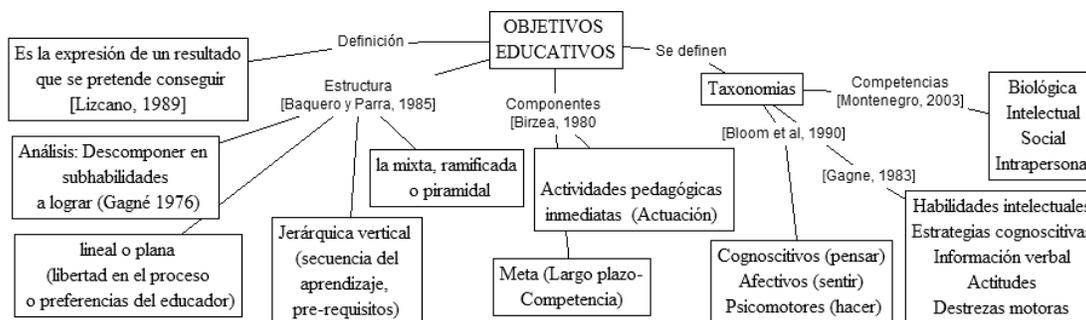


Figura 2.1: Objetivos Educativos - Mapa conceptual

Un Objetivo es la expresión de un resultado que se pretende conseguir y no la descripción de un

índice de las materias que se trataran en un curso. Las causas que impiden la aplicación general de objetivos pedagógicos en la elaboración de los programas, vienen dadas especialmente por sus límites metodológicos y por las dificultades técnicas de este proceso: No hay unanimidad en los criterios de operativización, el plazo de actuación, el paso del modelo teórico a las actuaciones propiamente dichas y por último el escepticismo y desidia en el uso en la planificación educativa (Birzea, 1980). En (Herrera, 2003) se pueden encontrar en detalle estos elementos.

En cuanto a las Competencias, tan de moda actualmente, a pesar que no es un concepto novedoso, se puede entender a partir de sus fundamentos que se pone énfasis a la importancia de trascender la educación memorística y de acumulación mecánica de información, para privilegiar la comprensión, el análisis y la solución de problemas. La competencia se puede concebir como un conocimiento integrado, producto tanto del desarrollo como del aprendizaje (Tobón, 2005). En nuestro medio han tomado especial aplicación el desarrollo de competencias interpretativa, argumentativa y propositiva

### **Perfil del estudiante**

Sin lugar a dudas un elemento importante en el diseño y construcción de un sistema educativo inteligente es el modelo del alumno y los elementos que en él se modelan. Son cada vez más los trabajos y eventos que se ocupan de esto.

En los sistemas adaptativos, en palabras de Brusilovsky y Maybury (2002), se puede afirmar que un componente principal de estos sistemas es un modelo explícito del estudiante, el cual representa el conocimiento, metas, intereses, y otras características que permiten al sistema distinguir entre diferentes usuarios. El modelo de alumno en un sistema de educación virtual se puede entender como todas aquellas características del estudiante que son relevantes en el desempeño del sistema y la interrelación entre éstas. Estas características pueden ser cognitivas, metacognitivas, psicopedagógicas (estilos de aprendizaje, capacidades intelectuales: lógicas, matemáticas, lingüísticas, etc.), psicológicas, afectivas, cualidades dinámicas (estados de motivación o emocionales, atención, cansancio, etc.), atributos estáticos (género, lengua madre, raza, etc.), características ambientales que se refieren a aspectos como entorno (brillo, nivel del ruido de fondo, clima, estrato, ubicación geográfica, etc.), contextuales (dispositivos de salida, tipo de conexión, tipo de sistema) y el ambiente social (profesor, colegas, etc.).

Zaitseva y Boule (2003) en una revisión de 16 modelos o sistemas analizando 8 parámetros que consideraron esenciales para la efectividad del proceso de instrucción sacaron como conclusión que el parámetro más utilizado es el nivel de conocimiento, con un pobre resultado en las características psicológicas y psicopedagógicas.

La enseñanza individualizada se basa en la adaptación de los contenidos y en la modelización de cada alumno caracterizado a través de una serie de variables de tipo cualitativo y cuantitativo. El modelo del alumno se construye a partir del perfil (variables referentes a las características personales en cuanto a sus preferencias y atributos más permanentes) y el historial (variables dinámicas referentes al proceso de aprendizaje del alumno). En particular se resalta:

- **Perfil Académico.** El estudiante tiene asociado un historial de logros que definen su perfil académi-

co, por lo cual la evaluación del perfil de estudiante está directamente relacionada con los avances obtenidos. Dicha evaluación tiene por objeto conocer la situación en que se halla el alumno en cuanto a habilidades, conocimientos, valores, etc.; por otro lado identificar aspectos que pueden influir positiva o negativamente en el aprendizaje del alumno durante el desarrollo del currículo. Existen diferentes procedimientos para evaluar los conocimientos o habilidades que posee una persona a través de instrumentos de medición que implican procedimientos sistemáticos para ponderar una propiedad definida dentro del cuerpo teórico de la psicología (Herrera, 2003). Las pruebas tienen diferente utilidad para evaluar las diferentes categorías según la taxonomía preferida.

- **Características Personales.** Atributos relativamente permanentes tales como su edad cognitiva, edad cronológica, sexo, visión, audición, lateralidad, etc.

- **Características Psicológicas y Preferencias.** Es posible realizar tests de actitudes e intereses en los que se emplean cuestionarios de auto-aplicación, donde el propio sujeto indica sus preferencias entre una serie de actividades profesionales lo que permite predecir los índices de satisfacción futura en una determinada actividad. Pueden ser variables como el ser o no campo-dependiente, la capacidad de concentración, confianza en sí mismo y la persistencia (Vassileva, 1995).

- **Características Contextuales.** Actualmente y dadas las diferentes posibilidades tecnológicas y ambientales viene tomando fuerza, en los procesos adaptativos, incluir en el modelo del estudiante, sin ser precisamente una característica propia de este, variables que involucran estos aspectos. Se tiene en cuenta el dispositivo de acceso del cliente, el tipo de acceso a la red, el estado de la red y el estado de carga del servidor, etc. (Mérida y Fabregat, 2003).

- **Perfil psicopedagógico.** Son muchas las situaciones que influyen en los resultados obtenidos por parte de los aprendices en el proceso enseñanza-aprendizaje (ambiente, personalidad, motivación, etc.), pero Alonso, Gallego y Honey (1999) después de analizar distintas investigaciones llegan a la conclusión que parece suficientemente probado que los estudiantes aprenden con más efectividad cuando se les enseña con sus Estilos de Aprendizaje predominantes. Es un hecho que las personas perciben y adquieren conocimiento de manera distinta, tienen ideas, piensan y actúan de manera distinta. Además, las personas tienen preferencias hacia unas determinadas estrategias cognitivas que les ayudan a dar significado a la nueva información. El término Estilos de Aprendizaje (Learning Styles) se refiere a esas estrategias preferidas que son, de manera más específica, formas de recopilar, interpretar, organizar y pensar sobre la nueva información (Gentry, 1999). Para Alonso los estilos de aprendizaje son los rasgos cognitivos, efectivos y fisiológicos, que sirven como indicadores relativamente estables, de cómo los discentes perciben, interactúan y responden a sus ambientes de aprendizaje. La tabla 2.1 presenta algunas de las más comunes agrupaciones de Estilos de Aprendizaje.

Desde el punto de vista de la aplicación en cursos se deben preferir taxonomías que ofrezcan (Peña et al, 2002):

- i. Una base instruccional y psicológica clara, pero privilegiar los que se acercan a los principios pedagógicos válidos (pueden ser muy útiles los modelos basados en el constructivismo).
- ii. Que presenten tests ampliamente probados.

Tabla 2.1: Modelos de clasificación de estilos de aprendizaje

Modelo	Autor	Clasificación Estilos	Obs	Referencia
Myers-Briggs Type Indicator (MBTI)	Myers , I.B. y McCauley M.H	Extroversión/Introversión, Sensitivo/Intuitivo, Pensador/Sensorial, Juzgador/Perceptivo	Más orientado a personalidad que al Estilo de Aprendizaje	(Montgomery, 1995), (Myers,1986)]
FSLSM (Felder and Silverman LS Model)	Felder y Silverman	Activo/Reflexivo, Sensitivo/Intuitivo, Inductivo/Deductivo, Visual/Verbal, and Secuencial/Global	Facilita ofrecer materiales pedagógicos dinámicos adaptados a preferencias particulares de aprendizaje	(Peña et al, 2002), (Felder, 1996)
ILS Felder/Soloman	Richard Felder and Barbara Soloman	Activo/Reflexivo, Sensitivo/Intuitivo, Visual/Verbal, Secuencial/Global	Preguntas simples, fácil de contestar y ayudan a clasificar su Estilo de Aprendizaje (procesamiento, percepción, formato de entrada y entendimiento)	(Montgomery, 1995), (Felder y Soloman,1997)
Kolb/McCarthy	David Kolb	Divergente, Convergente, Asimilador, Acomodador	Preguntas abrumadas de jerga y son complicadas de contestar	(Montgomery, 1995), (Kolb, 1984)
Alva Learning Systems	Laura Summers	Visual, Kinestésico, Auditivo		(Summers, 2000)
VARK	Neil Fleming	Visual, Auditivo, lector/escritor, Kinestésico	Adecuado al tipo de materiales que apoyan el proceso educativo. Es simple en la valoración y en su implementación. No mide estrictamente el Estilo de Aprendizaje	(Fleming, 2001)
Honey/Mumford Honey/Alonso CHAEA	Honey/Mumford	Activo, reflexivo, teórico, pragmático		(Honey y Alonso, 2000), (Honey, 2000)

- iii. Con garantizada confiabilidad de los métodos de diagnóstico.
- iv. Una base instruccional idónea para aprendizaje a través de cursos virtuales.
- v. Facilidades para el desarrollo de los materiales en áreas de interés.

Como materialización de la valoración de Estilos de Aprendizaje en proyectos concretos, Montgomery (1995), comenta su experimento en clase con el test Soloman donde los estudiantes las encontraron muy fácil de contestar y permitió clasificar su estilo de aprendizaje a lo largo de cuatro dimensiones: Procesamiento, percepción, formato de entrada y entendimiento. Peña et al (2002), diseñaron los materiales educativos, asociándolos con el Estilo de Aprendizaje y el test FSLM, pero sólo en dos dimensiones: Como percibe más efectivamente la información sensorial: Visual o verbal?; cómo logra entender el estudiante: Secuencial o globalmente? Park (2005) aplica los cuestionarios ILS y plantea que el resultado provee una clara guía para determinar el tipo de contenido en el proceso de aprendizaje usando medios. Con el uso del test propuesto por Honey/Mumford en los cursos del proyecto

3DE se obtiene un patrón personal para cada estudiante, el cual puede escoger una versión específica para su estilo predominante u optar por una versión abierta. En SICAD (Sistema Inteligente de Cursos ADaptativos) se aplicó VARK (Visual, Auditivo, Lector/escritir, Kinestésico) como discriminador de los estudiantes y permitió a partir de metadatos asociadas a las Unidades Educativas (UE), generar cursos personalizados en ambientes virtuales (Duque, 2005). Valencia et Al. (2008) implementan parte de un curso en Educación Ambiental apoyados en Escuela Nueva y tomando como parámetros para el estilo de aprendizaje una combinación de VARK y FLSM reportando que el proceso de validación permitió observar que los materiales personalizados son pertinentes, agradables y llamativos para los niños y niñas en estas edades y que estos materiales educativos favorecen el aprendizaje de los estudiantes respetando sus ritmos y estilos para aprender.

### **Unidades Educativas (UE)**

Otro elemento relevante en la Planificación Instruccional son las UE, también conocidas como unidades de conocimiento, materiales educativos, materiales de enseñanza, unidades conceptuales, materiales pedagógicas y un término más actual y especializado: Objetos de Aprendizaje (Learning Objects). Están asociadas con los ejes temáticos y son materiales que apoyan el proceso para lograr los objetivos. Estas deben responder a las necesidades de los alumnos para quienes se planea el currículo. Entre otros criterios que deben tenerse en cuenta para la selección de los materiales de enseñanza están: El nivel de conocimiento en que se encuentran los educandos, la edad, el nivel de dificultad de cada asignatura, la estructura del contenido, etc. (Lizcano, 1989). Genéricamente, los contenidos, reflejados en estas unidades, pueden ser conceptuales, procedimentales y actitudinales.

Dentro de las alternativas más reconocidas en cuanto a modelos de materiales educativos, relacionadas con el almacenamiento y distribución de información, con posibilidades de reutilización en diferentes sistemas de enseñanza virtual tenemos: La propuesta presentada en (Wiley, 2000), donde los autores los definen como cualquier recurso digital que pueda ser utilizado como soporte a la enseñanza y la idea principal es fragmentar el contenido educacional en pequeños pedazos que puedan ser reutilizados en diferentes ambientes de aprendizaje. Martin y Odell (1996) usan el término componente para referirse a una pieza de software que cumple dos condiciones: no depende de la aplicación que la utiliza y se puede utilizar en diversas aplicaciones. Existen estándares reconocidos y dentro de ellos están:

(a) la propuesta de la IEEE (IEEE, 2002) de un estándar que especifica la sintaxis y semántica de metadatos de los Objetos de Aprendizaje, conocidos como LOM (Learning Object Metadata), que son los atributos requeridos para la completa y adecuada descripción de estos objetos y se dividen en nueve (9) categorías.

(b) El Education Working Group de DCMI (DCMI, 1999), ha impulsado un foro abierto que busca el desarrollo de un estándar de metadatos interoperables en línea aplicados en recursos educativos. El Dublín Core es el primer intento de construir un estándar simple y común para descubrimiento de recursos en la Web y define 15 elementos asociados a sus elementos de datos (Vercoustre y McLean, 2003). La propuesta de IMS Global Learning Consortium, con su Instructional Management Systems

(IMS), busca que en la definición de los objetos de aprendizaje esté presente la interoperatividad, definiendo tres aspectos: objetivos, contenido instruccional y práctica o feedback y los metadatos deben ser almacenados usando XML; además de permitir intercambio con otros esquemas (IMS, 2004). Para comparación entre diferentes estándares para metadatos en objetos educativos, se puede consultar el reporte de EASEL en [www.flearning.com/easel/documents/EvaluationReport.doc](http://www.flearning.com/easel/documents/EvaluationReport.doc).

Según Romero (2002) las actividades de aprendizaje, apoyadas en las UE, estimulan al estudiante para que viva experiencias de aprendizaje.

Luego de abordar esta primera sección, queda claro que son diversos los componentes a incluir en la planificación del curso y que dentro de cada uno existen diversas posibilidades. La propuesta que se adelanta en este trabajo propone un modelo no atado a una visión en particular, pero trata de incluir muchos de los elementos acá referidos.

## **2.2. Planificación Instruccional(Instructional Planning)- Revisión**

### **2.2.1. Conceptos**

La Planificación Instruccional (PI) nace del deseo de un control más flexible en los sistemas de enseñanza asistidos por computador. La planificación instruccional se considera como una tarea pedagógica de nivel global a diferencia de las tácticas y estrategias instruccionales conocidas como locales.

El mapa conceptual que se presenta en la figura 2.2 permite apreciar que la PI puede ser aplicada en dos niveles (Vassileva y Wasson, 1996):

- Planificación de contenidos, la cual involucra la generación, ordenamiento y selección de los contenidos metas en que se debe enfocar la interacción instruccional a partir del estado actual del estudiante, además de monitorear la ejecución del plan con el fin de determinar cuándo replanificar o generar un nuevo plan (Wasson, 1990). Existen dos técnicas de secuenciación del currículo: una secuenciación de alto nivel o secuenciación del conocimiento que determina cuál será el próximo concepto o tema a ser aprendido y una secuenciación a bajo nivel o secuenciación de tareas que determina la siguiente tarea de aprendizaje a realizar (problema, ejemplo, evaluación) del tema actual.

- Planificación de entregas (delivery), se define como el proceso de óptima selección y secuencia de interacciones tutoriales enfocadas en un contexto dado. Enfatiza en escoger las actividades e interacciones instruccionales que realmente ayudan al aprendiz a alcanzar sus metas, esto es lo que comúnmente se llama Estrategias de Enseñanza. El sistema esencialmente arranca con un contenido escogido y se concentra en cómo entregar éste mediante formas pedagógicas efectivas. El planificador debe decidir la secuencia de explicaciones, pruebas, presentación, problemas y cómo manejar la iniciativa en un diálogo tutorial (Vassileva y Wasson, 1996).

Otro elemento involucrado en PI está relacionado con la localización del control sobre la instrucción. Dentro de las propuestas que otorgan el control completo al sistema se encuentran numerosos CAI

(Computer Assisted Instruction) e ITS (Intelligent Tutorial Systems) basados en el currículo. Por el otro lado, los micromundos, los sistemas abiertos de aprendizaje y los sistemas educativos hipermedia tienden a dar todo el poder al aprendiz, dejando relegado el sistema computacional a ser un medio más, neutral, en el proceso educativo. La planificación instruccional es irrelevante si todo el control se otorga al estudiante y el computador no es más que un medio pasivo (Vassileva y Wasson, 1996). Los desarrollos recientes median entre estos dos extremos los cuales pueden ser mezclados, pues como lo dice Pontecorvo (1993) la instrucción es una actividad sistemática y planeada que está animada al aprendizaje e incluye la enseñanza. Esta no es una oposición entre la visión de aprendiz constructivista y la visión de un profesor planificador.



Figura 2.2: Mapa conceptual sobre planificación instruccional

En la implementación de un curso se pueden representar los métodos de resolución de problemas utilizados por los psicólogos, sicopedagogos o profesores como un proceso de planificación. En este proceso de planificación los nodos del árbol de búsqueda son situaciones de los alumnos (nivel de cumplimiento de los objetivos) y el camino de un nodo a otro es el plan para pasar de una situación a otra. En palabras de Tate la planificación es el proceso de generar (posiblemente en forma parcial) las representaciones de futuras conductas a tomar para que los planes restrinjan o controlen esas conductas. La salida es usualmente un conjunto de acciones con restricciones, para la ejecución de estas tareas (Tate et al, 1990).

Como ejemplo de un planificador instruccional basado en esta técnica clásica se puede tomar a PEPE (Wasson, 1990), un planificador de contenido que ve la toma de decisiones pedagógicas como un problema de planificación. Codifica la estrategia de tutores en 51 reglas con enfoque top-down. El centro del planificador son los contenidos metas. Su arquitectura incluye una base de conocimiento de conceptos (conceptos, prerrequisitos, subconceptos, especialización, etc.), la base de conceptos

erróneos, el modelo estudiante, la historia del estudiante y la historia de planes. La planificación consiste en tres fases: Generación de metas, generación del plan y monitoreo del plan. Maneja dos tipos de reglas: reglas de planificación pedagógica y reglas de control. Cada nodo en el plan consiste de un operador, un modificador y un contenido. Esta planificación es de mundo cerrado, por lo tanto no reconoce los cambios ocurridos en la generación del plan.

Una variante a esta limitación son los llamados sistemas de planificación reactivos, que reconocen los cambios en el mundo en tiempo de ejecución. TOBIE (Teaching Operators-Based Instructional Environment), es un planificador que permite representar el conocimiento en diferentes niveles, en forma uniforme y modular. Es un planificador de contenido que consiste en un componente pedagógico (planificador y ejecutor), un modelo estudiante y la base de conocimiento del dominio (un grafo and/or dirigido, expresado mediante un conjunto de reglas de producción, apoyado en operadores de enseñanza (TO). Los TO son operadores tipo STRIPS ampliados, que consisten en 6 partes: Nombre, Precondiciones, Efectos, Acción, Diagnóstico y tipo. El sistema implementa los dos estilos de enseñanza, antes contrapuestos: Estilo instructor y estilo de entrenamiento. En caso de diferencias en la ejecución con respecto a lo esperado puede suceder que el sistema ignore la situación, tome una reacción local, invoque una reparación local del plan o realice una replanificación global (Vassileva, 1995).

El Sistema Inteligentes de Cursos ADaptativos (SICAD) (Duque, 2005) es una plataforma experimental para la generación adaptativa de cursos, que se basa en un planificador inteligente de Red Jerárquica de Tareas (HTN) y permite la generación dinámica adaptativa de curso. El sistema se adapta a las características propias de cada estudiante. El Modelo está orientado por las metas u Objetivos Educativos, que se espera logre un estudiante cuando toma un curso, que pueden ser cubiertos ofreciendo múltiples materiales educativos o actividades de acuerdo a la trayectoria académica (logros obtenidos) y asociadas al perfil psicopedagógico del aprendiz (estilo de aprendizaje). La especificación de las propiedades de las unidades educativas se acoge, en lo posible, a estándares internacionalmente reconocidos. Ante la complejidad de la generación de los cursos, dado el nivel de detalle y la estructura jerárquica en los objetivos pedagógicos, se optó por el uso de técnicas de planificación inteligente.

## 2.3. Adaptatividad

### 2.3.1. Conceptos

Puede entenderse como la capacidad del sistema para que dinámicamente adapte su conducta a los requerimientos de la interacción usuario-sistema. La adaptación esta asociada con un amplio rango de características y capacidades del sistema. Pueden ser identificados diferentes tipos de adaptación, de acuerdo al fin deseado, entre otras: Previa o reactiva, autónoma o planeada, genérica o selectiva.

### **2.3.2. Estrategias o espacios de adaptación**

En la literatura consultada se pueden encontrar dos enfoques más o menos formales, respecto a cómo enfrentar un proceso de diseño de un sistema adaptativo.

#### **Estrategia de Adaptación**

La adaptación debe realizarse mediante una determinada estrategia de adaptación. Una estrategia debe incluir, según (Karagiannidis et al, 1996) los siguientes elementos:

Qué Adaptar (definir los aspectos materia de adaptación), llamados componentes de adaptatividad.

Cuándo adaptar (implica la evaluación de ciertos estados en la interacción, que condicionan la adaptatividad) llamados determinantes de adaptatividad.

Por qué adaptar (los objetivos del proceso de adaptatividad), llamados metas de adaptatividad; éstas son definidas por el diseñador.

Cómo adaptar (conjunto de criterios que asignan ciertos componentes de adaptatividad a determinantes de adaptatividad específicos con el propósito de conseguir las metas de adaptatividad, se conocen como reglas de adaptatividad.

#### **Espacio de adaptación**

El espacio de adaptatividad entendido como un contexto de referencia que determina el ámbito de la conducta de adaptación y el orden parcial de los casos de adaptación. Cada caso representa una vía específica de adaptación en un mismo programa. En general un espacio de adaptación consiste en dos componentes principales: Un conjunto de disparadores de adaptación y un conjunto de casos de adaptación asociados con los disparadores (Paques et al, 2004). Un espacio de adaptación es una colección de configuraciones alternativas, llamadas casos de la adaptación, con sus respectivas precondiciones. Un espacio de adaptación puede cubrir solamente un subconjunto de las configuraciones concebibles de sus componentes como casos de la adaptación.(Cowan et al, 1996).

## **2.4. Recorrido Tecnológico por los Sistemas de Educación Virtual**

En la generación de cursos, ya desde los años 70s el uso de tecnologías informáticas en la educación abrigaba muchas esperanzas. Stolurow (1970) afirmaba que con el computador se abrían nuevos espacios, en primer lugar se tiene la oportunidad de tomar en serio la individualización o personalización de la enseñanza, intentando determinar las necesidades del alumno y decidiendo luego como se cumplen estas necesidades. La segunda dimensión se refiere a la selección de los medios a través de los cuales mejor aprenden las personas. En tercer lugar, permitir la enseñanza multimodal.

En los años 80s surgieron los sistemas generativos (también llamados sistemas adaptativos). Estos van asociados a una nueva filosofía educativa que manifiesta que 'los aprendices aprenden mejor en-

frentándose a problemas de dificultad adecuada, que atendiendo a explicaciones sistemáticas', es decir, adaptando la enseñanza a sus necesidades. Pero, en general, la solución para un problema concreto no es única, sin embargo, los sistemas generativos crean sólo una solución que es la base de su diagnóstico (Urretavizcaya, 2001).

Sin duda la aparición y evolución de Internet y tecnologías asociadas, marca grandes cambios en diferentes esferas y la Educación no está por fuera de estas. Con base en la división planteada por Brusilovsky y Maybury (2002) se pueden establecer tres momentos de los sistemas de educación virtual personalizada:

1. Pre-Web, en los cuales la adaptación está orientada hacia la presentación de los contenidos y la navegación sobre los mismos a partir de las diferencias en el grado de conocimiento del aprendiz y en las metas u objetivos planteados.
2. Web. Aprovechando las inmensas posibilidades que ofrece Internet los cursos se adaptan a los estudiantes no sólo en presentación y facilidades de navegación sino que aparece la posibilidad de recomendar enlaces y actividades según el avance del estudiante, del cual además de su conocimiento y metas se reconoce los intereses particulares.
3. Sistemas Móviles. Como en los 90s Internet, el presente milenio trajo una nueva revolución: Los sistemas móviles. Juntos juegan un gran papel en el mundo actual y sin duda impactarán la educación, teniendo estudiantes accediendo a los cursos desde dispositivos celulares o similares, lo cual implica que el sistema reconozca, además de las características propias del estudiante, las relacionadas con el contexto tecnológico para así poder adaptar el tipo de materiales y actividades educativas propuestas.

Pero estos cambios también han sido marcados por un elemento que cubre gran importancia en los sistemas de educación virtual: La aplicación de técnicas de IA, las cuales crean un impacto positivo en los procesos de adaptación. A finales de los años 70s los sistemas de Instrucción Asistida por Computador (CAI), reciben el influjo de técnicas inteligentes permitiendo una mejor evaluación de los avances de los estudiantes y facilitando el proceso más versátil en la secuencia de los fragmentos instruccionales y en el análisis inteligente de soluciones. La aparición y consolidación de los Sistemas Tutoriales Inteligentes (ITS) hacia los años 90s orientados a dar soporte interactivo en la solución de problemas y presentar algunas alternativas en el desarrollo de los contenidos con gran aporte multimedial, reafirma la importancia de la Inteligencia Artificial en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

#### **2.4.1. Sistemas de Educación Adaptativos**

Los problemas asociados a la adaptación son investigados desde los inicios de los ITS, los cuales usan el conocimiento acerca del dominio, el aprendiz y las estrategias de enseñanza para suministrar aprendizaje individualizado y tutoría flexible, no obstante son limitados en las variantes ofrecidas y en el perfil del estudiante.

Los sistemas adaptativos se dividen en tres grupos (Brusilovsky, 1998):

- Sistemas de Información Adaptativa: Permiten suministrar información personalizada, especialmente en los sistemas on-line(Nakagawa, 2004).
- Sistemas de Filtro Adaptativo: Ayudan a los usuarios a encontrar información relevante en el océano de información disponible.
- Sistemas Educativos Adaptativos: Las técnicas de adaptación hacen referencia a los métodos que suministran la adaptación en los sistemas de enseñanza-aprendizaje mediados por computador. Algunas de ellas son:
  - Secuencia del Currículo.
  - Análisis Inteligente de las Soluciones.
  - Soporte Interactivo a la Solución de Problemas.
  - Solución de Problemas basados en Ejemplos.
  - Soporte Colaborativo Adaptativo.
  - Presentación Adaptativa.
  - Soporte Adaptativo de Navegación.
  - Evaluación Adaptativa.

El proceso de enseñanza-aprendizaje individualizado se basa en la adaptación de los contenidos a transmitir y en el modelamiento de cada alumno caracterizado a través de una serie de variables de tipo cualitativo y cuantitativo. En el caso de ambientes de aprendizaje el sistema debe continuamente sentir e interpretar las características importantes del estudiante, diagnosticar errores y limitaciones, predecir las ramificaciones de las subsecuentes actividades, revisar (modificar) el plan tutorial para conseguir las metas planteadas, realizar las actividades requeridas y explicar sus decisiones (Murray, 1988). Los procesos de adaptación parten de ofrecer a los estudiantes acceso individualizado a los recursos, según sus necesidades, preferencias, características (estilos de aprendizaje, cultura, situación, etc.) y entorno (dónde, cuándo y cómo acceder al aprendizaje, tecnología, tipo de conexión, modo de estudio y condiciones ambientales) (Pearson y Jones, 2006). Las esperanzas en los sistemas adaptativos de aprendizaje buscan el ideal de una educación individualizada e implica un cambio desde el énfasis tradicional en las características técnicas hacia el cubrimiento de las necesidades desde lo pedagógico. Consecuente con esto, las diferencias en necesidades en aprendizaje deben ser reconocidas en el proceso del diseño del sistema y de los materiales educativos.

Se puede afirmar que un componente principal de los sistemas adaptativos es un modelo explícito del estudiante (Brusilovsky y Maybury, 2002). También están estrechamente ligadas a la estrategia de adaptación, las Unidades Educativas u objetos de aprendizaje (Learning Objects). Nunca antes ha despertado tanto interés la definición y construcción de estos objetos de aprendizaje, con posibilidades de reutilización en diferentes sistemas de enseñanza virtual. Los metadatos asociados permiten guiar la selección de los mismos en el proceso de adaptación.

### 2.4.2. Algunos casos de Sistemas de Cursos Adaptativos

La interacción estudiante-sistema es compleja. Cuando los estudiantes interpretan lo que se muestra, deducen diferentes significados dependiendo de las connotaciones que ellos asocian con las señales y del comportamiento de los objetos mostrados. Los estudiantes atenderán a diferentes aspectos de la interfaz de diferentes maneras. La adaptabilidad ofrece al estudiante la posibilidad de realizar cambios en la interfaz de modo que la adapte a sus necesidades. La adaptación de los cursos a las características personales del usuario es uno de los principales elementos en el nuevo paradigma en los sistemas de educación apoyados en las nuevas tecnologías (Giraffa y Vicari, 1997). Benyon (1993) hace una revisión del estado del arte donde se recogen los elementos más relevantes hasta ese momento, muchos de los cuales aun tienen vigencia. Sin embargo, las investigaciones en este campo indican que se está lejos de conseguir un juicio unánime tanto en los aspectos pedagógicos como en los técnicos.

En Karagiannidis (1996) se propone un marco para sistemas de presentación inteligentes en multimedia que involucra los diferentes aspectos antes enunciados. Oppermann (2001) propone que la orientación en el sistema está soportada por una presentación clara y separada de las instrucciones, materiales de aprendizaje y retroalimentación. Benyon (1993) entrega algunas sugerencias para un enfoque de desarrollo de interfaces adaptativas, a partir de las diferencias de los individuos, separándolos en clases, de acuerdo a sus características y frecuencia de uso del sistema. Otto y Schumann (1999) proponen un modelo de información que se usa en el proceso de generación de presentaciones, permitiendo presentaciones flexibles según la información requerida, facilitando intuitivamente seleccionar información y objetos para la presentación. Mientras que Muckenaupt et al (2006) introducen componentes multimedia en los sistemas hipertexto adaptativos, presentando métodos y técnicas de adaptación, además de su forma de marcado mediante XML. Brusilovsky y Vassileva (2003) hablan de 'Courseware Engineering' y ubican 3 enfoques como los más usados para la secuencia de cursos, en particular en el contexto Web. El primero basado en los sistemas de administración de cursos, permite evaluar diferentes rutas posibles a partir de requerimientos o condiciones en el curso mismo. Otra visión es la generación en un impacto de cursos adaptativos a partir de materiales de enseñanza reutilizables almacenados en un repositorio común. Por último se refieren a la generación dinámica de cursos, a partir de metas de aprendizaje y nivel inicial de conocimiento del estudiante. La diferencia con el anterior radica en que el sistema observa y se adapta a los progresos del estudiante, realizando una replanificación dinámica.

A nivel internacional y aplicando las ventajas de estas ideas existen varios trabajos importantes, algunos de los cuales son resumidos en la tabla 2.2, mostrando sus características, ventajas y desventajas.

En el caso particular de (Brusilovsky y Vassileva, 2003) (DGCC - Dynamic Generation of Customized Courses) y Atlas - TangoW (Castells y Macías, 2000) y (Carro, Pulido y Rodríguez, 2003) parten de la explícita representación de la estructura de conceptos del dominio, separada de los materiales de enseñanza y las tareas pedagógicas; AHA!, usa XML para marcar los conceptos, reglas de adaptación y salidas. La adaptación de contenidos está basada en atributos asociados con los conceptos) (De Bra

y Calvi, 1998). Wu, Houben y De Bra (1998) proponen un modelo de referencia para la arquitectura de aplicaciones de hipermedia adaptable (AHAM). La adaptación en AHAM se basa en el modelo del dominio (DM), el modelo del usuario (UM) y el modelo de adaptación (AM), basado en un sistema de reglas para definir las estrategias de personalización y las cuales el administrador de la aplicación puede cambiar. El proyecto LON-CAPA (Learning On-line Network with Computer-Assisted Personalized Approach) de la Universidad del Michigan presenta gran fortaleza en la recopilación de datos del usuario (momento de uso del recurso, cuánto tiempo y cuántas veces se accede a un recurso, número de ejercicios correcta e incorrectamente respondidos, número de respuestas acertadas en el primer intento), clasificándolo en grupos utilizando minería de datos (Minaei-Bidgoli, 2004), pero no adapta los contenidos aprovechando todo el conocimiento individual que se tiene acerca del usuario.

Otros trabajos que tienen elementos importantes y contribuyen a conformar la visión expresada en esta propuesta son ELM-ART (Weber y Specht, 1997); Sigue (Carmona et al, 2002); MultiBook (MultiBook, 1997); Por otro lado el sistema AHES, motor de hipermedia adaptativa para componentes de software desarrollado en la Universidad de Tubingen en Alemania, amplía los límites de adaptar objetos multimedia convencionales a adaptación de componentes de software multimediales, incluyendo adaptación de estructura interna, gráficos, interacciones y algoritmos (Muckenhaupt et al, 2006). Vale la pena mencionar el llamativo prototipo de AdeLE (Adaptive e-Learning with Eye-Tracking), una innovadora propuesta para e-learning adaptativo. La principal idea es la observación del aprendiz usando un seguimiento de ojos (eye-tracking) para obtener información en tiempo real del estado del usuario y a partir de esto definir las recomendaciones específicas. Dada su fase experimental aún no está claro si la información obtenida del ojo es suficiente para realizar el proceso de adaptación (Mödrtscher et al, 2006). Puede ser probado en: <http://adeledemo.iicm.edu:8880/adl/runtime/LMSMain.htm>.

En el ámbito nacional, el trabajo de Moreno (2003) concibe un modelo de recursos educativos bajo el esquema de componentes reutilizables y su correspondiente lenguaje de manipulación, lo que permite crear componentes educativos y consultar los que existen, permitiendo, bajo algunas reglas, individualizar los cursos. Duitama (2005) propone un sistema de aprendizaje adaptativo que soporta la herramienta ENG-WATS, que personaliza los contenidos dependiendo de los objetivos del curso y metas del aprendiz. La información del nivel de conocimientos del usuario se actualiza cada vez que un aprendiz toma una lección. Combina la tecnología de componentes, metadatos y reglas de adaptación para la creación y administración del sistema. Los elementos a adaptar son contenidos y enlaces. Duque (2005) presenta un Modelo de Generación de Cursos Virtuales que se adaptan a las características propias de cada estudiante. La estructura del curso se expresa mediante un árbol jerárquico de objetivos y el plan se genera automáticamente a partir de Unidades Educativas, seleccionadas según el perfil del usuario (académico, psicopedagógico, pedagógico, contextual). Dado el nivel de detalle y la estructura jerárquica el proceso de generación aplica técnicas de planificación inteligente (Duque, Guzmán y Jiménez, 2004).

En la tabla 2.2 se detallan las características en la adaptación de algunos de los sistemas más importantes (Duque, Ovalle y Jiménez, 2006), (Duque, 2006).

Tabla 2.2: Características de adaptación en algunos sistemas

	Qué Adapta	Cómo	Qué determina la adaptación	Características Relevantes	Desventajas
DCG	Secuencia / Material Educativo / Tácticas	Reglas / Subgrafo: secuencia	Conocimiento Previo	Separación Estructura / Materiales	Pobre Perfil Estudiante
ELM-ART	Secuencia, Presentación, Soluc Inteligente, Soporte a solución de problemas	Árbol	Conocimiento Previo. Preferencias	Conceptos - prerequisites	Curso Particular
SIETTE	Evaluación. Presentación	Árbol	Rendimiento Previo	Evaluación adaptativa	Dirigida proceso evaluación
AHA	Secuencia (fragmentos)	Esquema metas - conocimiento	Conocimiento Previo	Conceptos - prerequisites. AHA! usa XML	Pobre perfil del estudiante
MultiBook	Secuencia / material	Papeles Relaciones	Conceptos Vistos - Tests	Hipermedia - ITS Lecciones Modulares	Pobre perfil del estudiante
Atlas-TangoW *	Secuencia	Reglas docentes	Conocimiento: Novato / Avanzado Perfil psicológico*	Separación Estructura / Materiales. Fragmentos	Solo HTML (grupos) Curso Particular. Generación interactiva
SIGUE	Secuencia - Presentación, Idioma	Árbol de conceptos	Conocimiento/Libre. Preferencias	Parte de / Pre-requisito. Tipos / dificultad	No caracteriza contenidos. Perfil basado en visitas
AHES	Estructura interna, gráficos, interacciones y algoritmos	árbol de conceptos	Overlay Preferencias	Adapta componentes a presentar y su contenido interno. Se inicializa con cuestionario y crece con navegación	El perfil académico no se usa para adaptación
LON-CAPA	Solo clasifica	Recopilación datos del usuario en interacción	-	Clasifica estudiantes utilizando minería de datos	No adaptación
MAS-Plang	Secuencia / Presentación	RBC	Estilo Aprendizaje	SMA	Orientada por Contenidos
ML-Tutor WebCO-BALT	Filtrado de contenidos Filtrado Colaborativo	Filtrado adaptativo de información	Intereses		No tiene en cuenta otras tecnologías
Hyper Classroom	Monitoreo Inteligente de clases	Acciones de usuario	Resultados		No tiene en cuenta otras tecnologías
AMPLIA	Tácticas Pedagógicas		Conocimiento / afectivo / emocional	Estrategias afectivas	No tiene en cuenta otras tecnologías
SICAD	Secuencia Instruccional, Selección Actividades Educativas	Planificación Inteligente	Perfil Académico y psicopedagógico	Parte de Objetivos Educativos, Separación Estructura / Recursos, Estilo Aprendizaje	Sólo la generación del plan

## 2.5. Técnicas de Inteligencia Artificial Aplicadas a Educación

### 2.5.1. Hacia donde mira la comunidad

El nuevo milenio es el escenario de los Sistemas Educativos Adaptativos Inteligentes en Web (Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems, AIWBES), caracterizados por adaptar en forma inteligente las diferentes actividades propuestas al estudiante en un ambiente de gran independencia, con ricos y diversos materiales de enseñanza multimedia, muchas veces en línea y con el uso extensivo de hipermedia adaptativa para la secuenciación de currículo y el análisis inteligente de soluciones (Brusilovsky y Peylo, 2003), (Brusilovsky et al, 2005). Lo anterior unido, con tecnologías modernas como recuperación de información, ambientes colaborativos de aprendizaje apoyados por computador (Computer Supported Collaborative Learning, CSCL), la minería de datos (Datamining) y el aprendizaje de máquina han permitido el filtrado adaptativo de información, el monitoreo inteligente de las actividades del estudiante y los ambientes de aprendizaje inteligentes colaborativos, dando gran dina-

mismo y abriendo un amplio espectro a las investigaciones en estos campos. En un lugar importante se consolidan los Sistemas Multi-agente Pedagógicos, aprovechando su gran versatilidad, modularidad y facilidad de distribución.

La revisión del estado del arte permite expresar que la vanguardia en proyectos e investigaciones está orientada a ambientes de aprendizaje integrados (individuales-colaborativos), la recuperación inteligente de materiales multimedia, el acceso desde diversos dispositivos incluidos los móviles, la representación integral del aprendiz en un modelo dinámico de estudiante y el uso de tecnologías que permitan el diseño y construcción de sistemas inteligentes adaptativos que creen un ambiente adecuado, motivador y con excelentes resultados en el proceso de enseñanza - aprendizaje (ITS, 2004), (CIVE, 2006), (Brusilovsky y Maybury, 2002), (Ovalle y Jiménez, 2004), (De Vicente, 2003). Dentro de las técnicas de Inteligencia Artificial se reportan la aplicación de Razonamiento Basado en Casos (RBC), Redes Neuronales (RN), Planificación Inteligente (AI Planning), Redes Bayesianas (RB), Sistemas Fuzzy y Algoritmos Genéticos (AG). En varios de los trabajos revisados hay un enfoque apoyado en Sistemas de Agentes Inteligentes (SMA), que parece ser una promisoriosa alternativa (Vicari, 2005), (Jaques et al, 2004), (Jaques y Vicari, 2005), (Mérida y Fabregat, 2003), (Martins et al, 2004) y (Nakagawa, 2004). En algunos se presenta integración de técnicas de IA tales como el sistema ALLEGRO (Jiménez, 2006), el cual combina SMA con planificación instruccional, RBC, ITS y ambientes colaborativos de aprendizaje (ACA).

La gráfica 2.3 recoge en un mapa conceptual las diferentes técnicas inteligentes y su aplicación, producto de una amplia revisión de propuestas recientes (Duque, 2006).

Los interrogantes a resolver están asociados a la definición con calidad de un modelo estudiante y ofrecer estrategias de enseñanzas que puedan involucrarse de manera reusable buscando procesos de adaptación que respeten las características e intereses del estudiante y el conocimiento pedagógico. A la par el proyecto ADAPT se enfoca en la representación de problemas y soluciones en un ambiente Hipermedia Adaptativo Educativo en las dimensiones del Contexto de Uso, el Contenido del Dominio, la Estrategia Instruccional, el Modelo del Estudiante, el Modelo de Adaptación y los Mecanismos de Detección (Brown et al, 2005). Para Pearson y Bohman (2006), program chairs del importante evento ED-MEDIA 2006 World Conference on Multimedia, Hypermedia & Telecommunications, celebrado en junio del 2006 en Orlando, Florida, el uso de los video juegos, las simulaciones, los ambientes virtuales y las tecnologías móviles en el contexto educativo son áreas de acrecentada atención, con la reducción de los costos de tecnologías, incremento de ancho de banda y la posibilidad de participación remota. Adicionalmente, las investigaciones se centran más que en los retos tecnológicos de creación y uso, en su potencial para soportar competición, colaboración, comunicación y mejorar las habilidades de socialización como clave en todos los niveles. Los Objetos de Aprendizaje (OA), repositorios y sistemas que soportan el desarrollo, uso, reuso y compartición de objetos educativos tienen mucho que contribuir en el soporte de un ambiente de aprendizaje inclusivo. Las actuales investigaciones en el área se mueven hacia construir OA adaptables a las necesidades, preferencias y ambientes en que el aprendiz particular se desenvuelve.

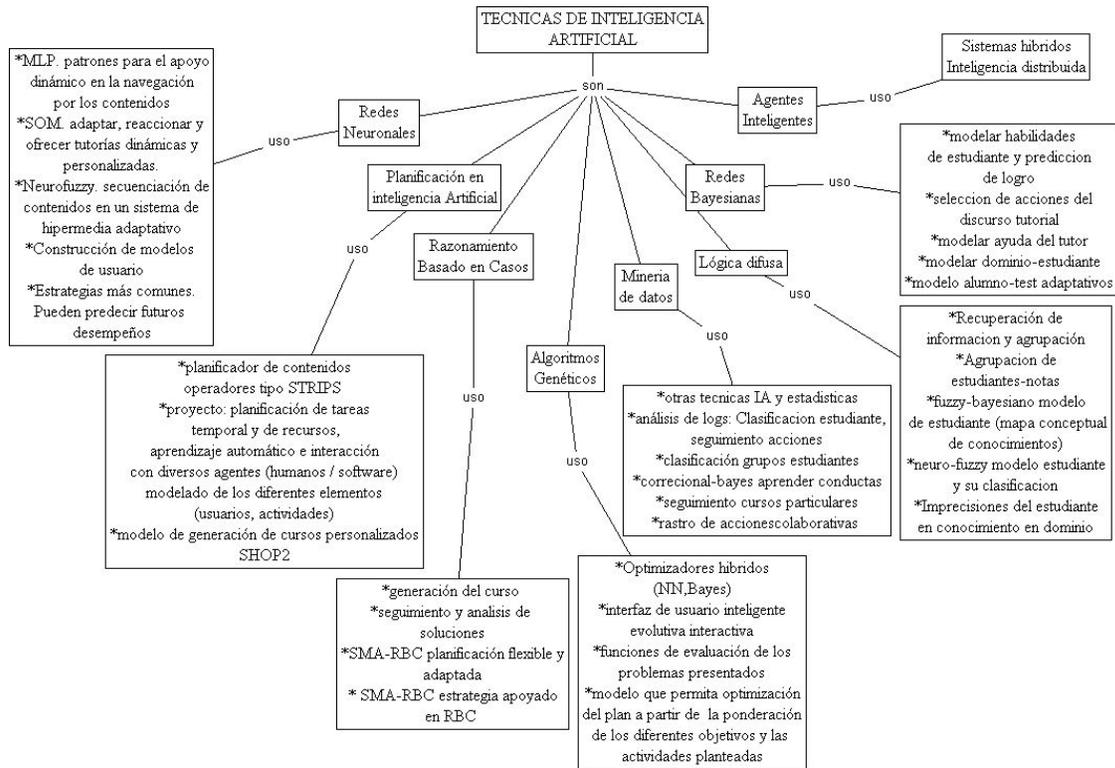


Figura 2.3: Técnicas de inteligencia artificial aplicadas en educación virtual

A continuación se relacionan algunos casos concretos y puntuales que representan una referencia o marco para la propuesta desarrollada. El anexo B recoge con mayor detalle otros trabajos realizados. Allí se hace una ampliación y cubrimiento de otras técnicas, con las posibilidades que se ofrecen en sistemas análogos al presentado y que pueden entenderse como trabajos futuros a enfrentar.

### 2.5.2. Redes Neuronales (RN)

Esta técnica es utilizada fundamentalmente en procesos de asociación o clasificación.

Dos proyectos desarrollados en la Universidad de Goiás en Brasil, han utilizado RN para los procesos de generación dinámica de lecciones. El primero muestra que las redes perceptrones multicapa (MLP) pueden encontrar importantes patrones para el apoyo dinámico en la navegación por los contenidos (Alencar, 2000). Por otro lado Martins y Diniz de Carvalho (2004) presentan un ITS basado en RN del tipo Self-organizing maps (SOM - mapas de Kohonen) unidimensional que permite adaptar, reaccionar y ofrecer tutorías dinámicas y personalizadas, con muy buenos resultados en su aplicación y sin requerir conocimiento experto. La RN es entrenada para imitar la mejor navegación por los contenidos, obtenida de la experiencia de los alumnos. Cada nivel está orientado a un tipo de estado del

estudiante.

Papanikolaou, Magoulas y Grigoriadou (2000), aplican el sinergismo neuro-fuzzy para implementar la secuenciación de contenidos en un sistema de hipermedia adaptativo. El nivel de entendimiento del estudiante es usado para construir lecciones adaptadas a sus metas de conocimiento y nivel de experiencia en el dominio concreto. La evaluación del estudiante está basada en la definición apropiada de conjuntos fuzzy y la caracterización de las respuestas del alumno con el conocimiento apropiado. La estructura conexionista es adoptada para representar el dominio (los nodos representan los conceptos del curso y los pesos las relaciones ente ellos) e inferir la estrategia de planificación para generar las páginas hipermedia desde las piezas de material educativo. Las acciones de los estudiantes son seguidas y usadas para evaluar el nivel de conocimiento involucrado en cada concepto. El sistema puede optar por tres caminos en la adaptación: Adaptar la lección al nivel de conocimiento y las metas; actualizar el modelo del alumno con las evidencias de las interacciones o explotar las capacidades de entrenamiento y generalización de la RN y extraer información para actualizar el perfil del estudiante en los niveles de los aprendices y de los posibles caminos de aprendizaje.

La investigación de Langley aplica técnicas de aprendizaje de máquina, en particular RN, para la construcción de modelos de usuario. La red recibe una parte de la historia de la interacción como entrada y aprende a identificar por ejemplo los estereotipos. Dado esta experiencia parcial con el dominio, un algoritmo de aprendizaje de máquina puede inducir más allá de los patrones de entrenamiento. Estas técnicas se ven como una posible manera de ocuparse del problema de escalabilidad, presentadas por técnicas empleadas en problemas de pequeño tamaño, pero que cuando se aplican al universo decremantan dramáticamente su desempeño (Langley, 1997).

Orientado a desarrollar modelos predictivos de cómo los estudiantes aprenden técnicas para resolución de problemas en química cualitativa (Stevens et al, 2004), esta investigación busca usar estos modelos en aplicaciones activas y en tiempo real, cuando el estudiante aparezca menos que el óptimo esperado. Se usan SOM para identificar las estrategias más comunes en los estudiantes en las tareas en línea y luego se aplica modelamiento de Markov a la secuencia de estas estrategias para modelar la trayectoria de aprendizaje. Se encontró que las trayectorias difieren entre géneros, grupos colaborativos y habilidades de los estudiantes. Este modelo, plantean los autores, puede ser usado para predecir futuros desempeños.

Cómo se aprecia el uso de las RN es usada para clasificación y predicción a partir de los datos recolectados. Su uso se ha centrado en el modelamiento del dominio y en pocos casos en características asociadas al perfil del estudiante, pero el representar el modelo de estudiante sujeto al modelo del dominio limita su aplicación a un curso en particular, representado en los nodos y conexiones, lo cual no es deseable.

#### **Aplicación de RN en esta Tesis:**

Su aplicación es mostrada en el trabajo reciente de (González, Duque y Ovalle, 2008) donde se realiza un análisis del log de interacción del usuario con el sistema por medio de RN con el fin de clasificar, desde lo anímico, el alumno en alguno de los 3 grupos: positivo, neutral o negativo. Los aspectos a tener

en cuenta en este análisis son tiempo ocioso, tiempo de respuesta a cuestionamientos, tiempo de lectura de una actividad y diferentes respuestas a diálogos entre el usuario y la plataforma. Se concluyó que el modelo neuronal más apropiado para el problema específico es el de las Redes de Kohonen, las cuales tratan los datos de entrada estableciendo variables comunes entre estos vectores. Se definen las características del estudiante a tener en cuenta (vector de entrada) que reflejan el estado anímico del mismo hacia la plataforma de educación virtual (salida), y al presentarse situaciones comunes arrojará una clasificación similar. Dentro de las redes de Kohonen se seleccionó las de tipo LVQ pues la salida es de dimensión simple (3 grupos). Esta propuesta permite la actualización novedosa del modelo del estudiante en forma dinámica. Este componente se describe con mayor profundidad en el capítulo 4.

### 2.5.3. Planificación en Inteligencia Artificial (AI Planning)

Presenta interés para esta tesis los trabajos que utilicen técnicas formales de planificación, buscando su aplicación o generalización (Tate et al, 1990).

PASER es un sistema para la generación automática del currículo usando técnicas de AI Planning y tecnologías de Web Semántica. El uso de la planificación clásica permite al sistema dinámicamente construir la ruta de enseñanza recuperando desde un repositorio los objetos de aprendizaje, teniendo en cuenta el perfil del estudiante y los autores proponen una ontología para competencias sobre PASER, usando esquema RDF y la recomendación W3C, que proveen mecanismos para describir clases y propiedades específicas a la aplicación (Kontopoulos et al, 2008). Los autores manifiestan que es posible ver el problema de la síntesis automática de recursos educativos, como un problema de planificación. La solución adoptada es modelar el problema mediante el clásico planificador STRIPS (S, D, G), donde los hechos son las competencias definidas en la ontología del área temática, un estado es el conjunto de competencias actuales del estudiante, el estado de inicial (S) son las competencias desarrolladas previamente por el aprendiz, los objetivos (G) son el conjunto de competencias a adquirir por el estudiante, el dominio (D) está conformado por el operador *consume*(recursoEducativo) y los operadores *analizar* y  *sintetizar* competencias, que permiten manejar los niveles de abstracción de las competencias. Reconociendo la dificultad de traducir el curso a un problema de planificación proponen un pre-planificador para el curso específico. Como puntos débiles se pueden señalar que los operadores *analizar* y  *sintetizar* requieren la definición específica para cada curso o conjunto de competencias. Además, esta propuesta tiene la limitación de usar el planificador STRIPS en un problema que claramente maneja jerarquías, lo que lo acerca más a un planificador del tipo Red Jerárquica de Tareas (HTN), como el propuesto en (Ullrich, 2005) y (Duque, Guzmán y Jiménez, 2004).

Con HTNCG (Ullrich, 2005) se describe la generación de un curso basado en tareas pedagógicas y métodos, formalizados en un planificador HTN. En una primera evaluación el autor resalta el valor práctico de la propuesta. Expresa los objetivos pedagógicos como tareas y las vías para conseguirlos como métodos. Una tarea pedagógica se define como una tupla  $(l, c)$ , donde  $l$  es el objetivo pedagógico y  $c$  el objeto de aprendizaje. Propone una tarea de alto nivel para ensamblar una secuencia estructurada

de objetos de aprendizaje que ayudan a conseguir el objetivo. Como limitación, subsanable, está el hecho que la tarea de enseñar un concepto se descompone en varios escenarios predefinidos en un método del planificador. Por otro lado está la necesidad de una extensa información del dominio para ser codificada en la definición del problema de planificación.

En un trabajo de tesis de maestría, en (Duque, 2005), se presenta un modelo de generación de cursos virtuales que se adapta a las características propias de cada estudiante. El modelo está orientado por las metas u OE, que pueden ser cubiertos ofreciendo múltiples materiales educativos o actividades, de acuerdo a la trayectoria académica (perfil académico) y asociadas al perfil psicopedagógico del aprendiz (estilo de aprendizaje). Ante la complejidad de la generación de los cursos, dado el nivel de detalle y la estructura jerárquica en los objetivos pedagógicos, se optó por el uso de técnicas de planificación en inteligencia artificial, en particular por el sistema planificador jerárquico SHOP2 (Nau et al, 2003). El mayor obstáculo encontrado en la aplicación de AI Planning para la solución de este problema es la dificultad de poder llevar los diferentes elementos del modelo del curso al ambiente del planificador. Se plantea como trabajo futuro mejorar los algoritmos de traslado y los componentes del dominio del planificador, que permita modelar una estrategia de adaptación genérica.

Vassileva (Vassileva, 1995) propone una arquitectura de planificador reactivo llamado TOBIE (Teaching Operators-Based Instructional Environment), que permite representar el conocimiento en diferentes niveles, en forma uniforme y modular. Es un planificador de contenidos que consiste en un componente pedagógico (planificador y ejecutor), un modelo estudiante y la base de conocimiento del dominio (un grafo and/or dirigido, expresado mediante un conjunto de reglas de producción, apoyado en operadores de enseñanza, TO). Un TO es un operadores tipo STRIPS, ampliado, que se compone de 6 partes: Nombre, Precondiciones, Efectos, Acción, Diagnóstico y tipo. Como limitación se puede enunciar, la dificultad de mapear la estructura jerárquica del curso en este tipo de planificador y la complejidad de los TOs.

ADAPTAPLAN (Adaptación basada en aprendizaje, modelado y planificación para tareas complejas orientadas al usuario), disponible en <http://adenu.ia.uned.es/adaptaplan/> es un proyecto en desarrollo que busca construir una plataforma que integre planificación de tareas temporal y de recursos, aprendizaje automático e interacción con diversos agentes (humanos / software), modelado de los diferentes elementos (usuarios, actividades) y computación, soportada por diversos tipos de dispositivos. El sistema vislumbra problemas abiertos en planificación, que van desde aspectos de ingeniería del conocimiento, como la adquisición y validación de dominios (incluyendo modelos jerárquicos), pasando por la adquisición y tratamiento de diferentes formas de incertidumbre, y la definición y adquisición (manual o automática) de heurísticas de planificación, hasta la monitorización de la ejecución, y las posibles formas de resolver problemas de ejecución.

#### **Utilización de Técnicas de Planificación en IA en esta Tesis:**

La experiencia previa del autor en la utilización de AI planning, afianzó las posibilidades y necesidad del uso de ésta técnica, cerrando parte de los espacios pendientes. Esto implica la redefinición del mecanismo automático para el traslado de los componentes del curso al ambiente de planificación, la

determinación del modelo de acción del planificador: definición de operadores, métodos y el expresar genéricamente el problema en términos del planificador seleccionado. El capítulo 5 describe en detalle y muestra el desarrollo de este componente.

#### **2.5.4. Razonamiento Basado en Casos (RBC)**

PERSO basa la generación del curso en RBC. Se apoya en la principal hipótesis de RBC: Problemas similares tienen soluciones similares, lo que permite reusar las soluciones exitosas ante problemas similares (Chorfí y Jemni, 2004). En este mismo sentido Leake (Leake, 1993), plantea que las estrategias de adaptación así conseguidas difieren de las reglas de adaptación normales en que ponen en código los procedimientos de búsqueda de memoria generales, por encontrar la información necesitada durante la adaptación del caso específico. El tema de RBC Educativo (SRBCE) se torna más efectivo cuando el estudiante usa conscientemente sus funciones cognitivas superiores para conseguir sus objetivos, por lo cual se plantea que tanto la técnica tradicional como la de RBC deben ser adaptadas de forma que la responsabilidad en el proceso de aprendizaje sea compartida por el estudiante y por el sistema. En la práctica implica que no sólo se debe presentar la solución antes probada sino que se debe dejar claro por qué ésta es una buena solución (de Lacerda et al, 1998).

En ALLEGRO (Jiménez, 2006), (Ovalle y Jiménez, 2005), que es un Ambiente Multi-Agente de Enseñanza Aprendizaje que implementa dentro de su mecanismo de Planificación Instruccional la técnica RBC (CBR, por sus siglas en inglés, Case-Based Reasoning). El propósito es ofrecer recursos instruccionales adaptados al perfil cognitivo de cada uno de los aprendices, de manera similar a como lo hacen los humanos utilizando la experiencia acumulada en casos similares. ALLEGRO es un entorno inteligente conformado por un ITS el cual permite brindar aprendizaje adaptado en forma individualizada y un Ambiente Colaborativo de Aprendizaje (CSCL) que ofrece aprendizaje en modo colaborativo. Afirman los autores que el sistema aprende en forma autónoma a partir de la experiencia acumulada con los aprendices, convirtiendo a la planificación instruccional en una herramienta flexible con capacidad de adaptar los conocimientos con determinado grado de abstracción dependiendo del alumno

En la propuesta de Salcedo, (Salcedo, 2000), que combina (algo muy común) RBC con sistemas multi-agente, tanto la estrategia preferida por el estudiante para el aprendizaje como los datos personales del mismo se obtienen a través de un test que el estudiante realiza la primera vez que accede a un curso, y son almacenados por el sistema para su uso tanto en la sesión actual como en sesiones posteriores. El Agente Coordinador proporciona la información sobre las acciones llevadas a cabo por el estudiante y sus resultados (el número de páginas visitadas, el número de actividades logradas, el número de ejercicios resueltos correctamente, etc.) al agente pedagógico, el cual genera la estrategia apoyado en un razonamiento basado en el caso más efectivo acorde a sus características (RBC). El Agente Coordinador a su vez en comunicación con el Agente Material determinará las actividades a seguir del estudiante en un momento y espacio dado, según su perfil.

Para esta tesis el análisis de esta técnica estuvo centrado en ver cuáles y en qué forma se codificaban los casos y su posterior recuperación, más que en ver los espacios dejados por las propuestas bajo

revisión. A pesar de las bondades de RBC presenta como desventajas la necesaria acumulación de casos antes de ser usada y que ante muchas variables del modelo del estudiante eventualmente no se encuentren casos similares o se requerirá de una estrategia de ponderación de características, lo que puede complicar la solución.

**Aplicación en esa Tesis:**

Dentro de las ventajas reconocidas de la técnica de RBC se encuentra el no requerir un modelo explícito del dominio y también el hecho de haber mostrado muy buenos resultados, con una forma relativamente simple de implementarla, de aprender por la adquisición de conocimientos de nuevos casos, facilitando de esta forma su mantenimiento, casi sin intervención humana. Esta técnica se propone como una buena alternativa para atender situaciones donde el aprendiz encuentre dificultades en el logro de los OE y se requiera la replanificación, apoyándose en información que el sistema ha obtenido de las experiencias exitosas almacenadas en la memoria de casos.

## **2.5.5. Sistemas Multi-Agente Inteligentes Pedagógicos**

Son un gran número las propuestas que se apoyan en el enfoque de Sistemas Multi-agente, SMA, para modelar el problema. Además del volumen de casos y de que las visiones son similares, diferenciándose únicamente en la arquitectura y el conocimiento otorgado a cada agente, en este aparte no detallaremos estos trabajos, los que pueden verse en el anexo B.

**Utilización de SMA Pedagógicos en esa Tesis:**

Las principales ventajas esperadas y reportadas al usar agentes inteligentes son autonomía, proactividad, habilidad social, flexibilidad, escalabilidad y la capacidad de integración posterior con otros sistemas. Esta investigación aprovecha estas ventajas y propone un SMA, el cual es presentado en detalle en el capítulo 6.

Para finalizar esta parte de este capítulo, se puede concluir que en gran medida las técnicas de IA han sido utilizadas para modelar el estudiante, para capturar dinámicamente su comportamiento o para representar la estructura del dominio. Menos, pero presentes, apoyan la redefinición de estrategias pedagógicas en el proceso educativo, las cuales son de gran interés para esta tesis. En el caso de RBC y planificación en IA estas técnicas son promisorias para los procesos de planificación y replanificación adaptativa.

## **2.6. Conclusiones del Capítulo**

Luego de esta rápida revisión se puede concluir que la planificación instruccional es sólo una técnica, se caracteriza por ser neutral a la filosofía educativa particular sobre la que subyace el sistema, por lo tanto es posible proponer un Framework que permita al momento de la implantación decidir sobre diferentes enfoques a ser incluidos, a saber: Taxonomía de Objetivos Educativos, determinación de elementos en el perfil del estudiante, modelo de estilos de aprendizaje, propuesta de materiales

educativos, entre otros. Igualmente, pueden ser utilizadas diversas técnicas para apoyar el proceso de obtener un adecuado plan instruccional.

Como se expresó en el capítulo anterior, la revisión previa permitió esclarecer que los trabajos relacionados presentan limitaciones lo que deja abierto espacios que son atacados por esta tesis de doctorado. Se espera proponer un modelo adaptativo de propósito general, apoyado en diversas técnicas inteligentes, que no esté confinado a un dominio de conocimientos particular, orientado por los OE, con separación de la estructura del curso, los materiales y la estrategia de adaptación y consecuente con un rico modelo del estudiante. Para garantizar su modularidad, autonomía y escalabilidad se recurre a un enfoque de SMA. La formulación de una estrategia de adaptación genérica permite que el sistema no esté sujeto a una visión pedagógica específica y admita definir las diferentes variables de los elementos constitutivos para adecuarlo a una necesidad en particular.



## Capítulo 3

# Modelo Propuesto: Framework para Cursos Adaptativos

*... Sabiendo lo que se sabe sobre estilos de aprendizaje, tipos de inteligencia y estilos de enseñanza, es absurdo que se siga insistiendo en que todos los alumnos aprendan de la misma manera. ...*

*Gardner*

Este capítulo presenta en forma detallada el modelo propuesto, inicialmente en forma general para luego especificar cada uno de sus diferentes componentes.

### 3.1. Enfoque del Modelo Propuesto

El enfoque propuesto se orienta a cubrir las expectativas expresadas desde tiempo atrás por Eraut y Stolurow, de una educación individualizada, apoyada en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), donde se reconozca a cada estudiante en particular, se omita la instrucción hacia logros ya obtenidos, respetando el ritmo de avance del aprendiz, posibilitando diferentes caminos hacia el objetivo educativo propuesto, con ricos materiales y actividades multimodales (Eraut, 1970), (Stolurow, 1970).

El modelo adaptativo planteado busca la generación automática de cursos personalizados, que garanticen la cobertura pedagógica a diversos estilos cognitivos, psicológicos, psicopedagógicos, características no permanentes y contextuales de los alumnos, planteando actividades educativas adecuadas en cada caso, para obtener los OE definidos.

Para el éxito del sistema adaptativo se debe reconocer que es la unión de dos esfuerzos. Por una parte de la tecnología informática encargada del diseño e implementación de una plataforma que soporte la estrategia de adaptación y por la otra, desde lo pedagógico y educativo, la determinación de las 'instancias' que orienten esa estrategia de adaptación. En este enfoque se optó por modelar

mediante un sistema multi-agente que debe estar en capacidad de amalgamar estas dos perspectivas, desde diferentes enfoques, para entregar al estudiante un curso personalizado.

La estrategia de adaptación parte de definir los elementos a adaptar (estrategia de enseñanza-aprendizaje, formato del material, nivel de dificultad, forma de presentación de los temas, actividades a desarrollar, etc.); los determinantes para esa adaptación (nivel académico representado en objetivos instruccionales, características permanentes y no permanentes, grado de motivación, ubicación, etc.) y lo más importante las reglas para realizar esa adaptación, con el fin de lograr las metas propuestas en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Las reglas y las unidades educativas deben condensar las estrategias de enseñanza y aprendizaje y en últimas todo el modelo de enseñanza-aprendizaje que apoya el proceso y donde el papel del educador es relevante.

A decir de Souto et al (2000), para conseguir la adaptación a las características individuales el sistema debe conocer: a) los patrones cognitivos del alumno y sus implicaciones pedagógicas b) el espacio de conocimiento del curso c) la organización del material instruccional o recursos didácticos. Esta propuesta respeta estos planteamientos pero considera que pueden ser tenidos en cuenta otras características del estudiante y que deben enriquecerse los materiales educativos para que, a través de sus metadatos, aporten al proceso complejo de adaptación.

La formulación de una estrategia de adaptación genérica permite que el sistema no esté sujeto a una visión pedagógica o tecnológica específica y admite definir las diferentes variables de los elementos constitutivos para adecuarlo a una necesidad e interés en particular. Igualmente, pueden ser utilizadas diversas técnicas para apoyar el proceso de obtención del curso personalizado.

## 3.2. Modelo Adaptativo Genérico

El modelo recoge los diferentes conceptos planteados con anterioridad y desarrolla la propuesta de un modelo adaptativo de propósito general, basado en un sistema de agentes pedagógicos inteligentes, lo que posibilita la modularidad, escalabilidad e intercambiabilidad de los componentes. La implementación mediante un sistema multi-agente y la definición de un framework para especificar la estrategia de adaptación permite incorporar variados enfoques pedagógicos y tecnológicos, según las visiones del equipo en la instalación concreta. La generación automática entrega un curso personalizado aplicando una explícita estrategia de adaptación, orientada por los OE del curso.

Ampliando las nociones previas y representando gráficamente los diferentes bloques que interactúan en un sistema adaptativo para lograr su fin, la figura 3.1 muestra que es necesario que tanto las características del curso, como las del modelo del estudiante compartan valores comunes, los que serán utilizados por la estrategia de adaptación para lograr el objetivo buscado.

El diagrama de la figura 3.2 permite apreciar los elementos involucrados en el modelo propuesto y la relación entre ellos.

A continuación se especifican algunos detalles de los componentes del sistema.

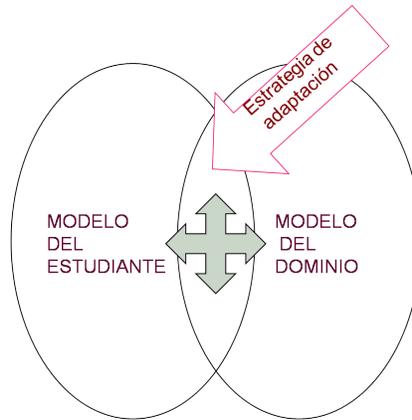


Figura 3.1: Elementos involucrados en un sistema adaptativo

### 3.2.1. Objetivos Educativos (OE). Intencionalidad del proceso educativo

La educación es un proceso intencional, tiene un fin, es, o debe ser, una actividad planeada; exige una premeditación del educador y también del educando. La intencionalidad es un distintivo de la actividad sistemática. No basta con una secuencia de contenidos, es necesario plantear con claridad la intencionalidad del proceso de enseñanza. Cuando se parte de los OE, se permite definir claramente los fines buscados, lo que sirve de marco para la disposición de los demás elementos en el proceso. Esta propuesta está orientada hacia el logro de las metas planteadas en el proceso educativo y está centrada en el hombre y su satisfacción personal y cultural.

Como se puede apreciar en la figura 3.2 esta estructura puede ser tan compleja como se requiera y muestra una disposición típica para un curso real, donde los OE se dividen en sub-objetivos y se definen pre-requisitos entre ellos. Un aspecto importante es la definición de OE de grano fino, en particular en los nodos hojas, lo que además de especificar en detalle los logros esperados, también permite que puedan ser reutilizados en la composición de otros cursos. La fina granularidad en la estructura facilita a los estudiantes, docentes o administradores seleccionar y reconstruir con las piezas significativas nuevas tareas, cursos o temas.

A cada objetivo se le puede asociar un tópico, que permita su fácil ubicación para su administración y si se desea valores de alguna taxonomía para su clasificación. Los atributos de esta entidad se pueden apreciar en la tabla 3.1

### 3.2.2. Unidades Educativas (UE) y separación con la estructura del curso

El modelo propone y permite una clara separación entre la estructura del curso (expresada en OE) y los medios para conseguir esos logros (Unidades Educativas, UE), lo que facilita la reutilización, recomposición y actualización en diferentes áreas temáticas y cumplen el fin de adaptar los cursos a cada alumno.

Tabla 3.1: Metadatos de las UE y los OE

Tablas	Atributos
Objetivo Educativo OE	#Id * Description o Taxonomy * Topic o Part_of
Unidad Educativa UE	* Title <sup>2</sup> o Creator <sup>2</sup> * Subject <sup>2</sup> * Description <sup>2</sup> * Date <sup>2</sup> * Type <sup>2, 4</sup> * Format <sup>2, 4</sup> # Identifier <sup>2</sup> o Language <sup>2</sup> o Version <sup>3</sup> * Size <sup>3</sup> o InteractivityLevel <sup>3</sup> o TypicalAgeRange <sup>3</sup> o Difficulty <sup>3, 4</sup> o TypicalLearningTime <sup>3</sup> o Prerequisite o Part_of * LearningStyle <sup>4</sup> o Perfil <sup>4</sup>
1:Los nombres de atributos están en inglés para mantener la compatibilidad con los estándares mencionados 2:Metadatos DCMI 3:Metadatos LOM 4:Se tienen tablas de referencia para determinar valores posibles.	
#:Identificador *:Obligatorio o:Opcional	

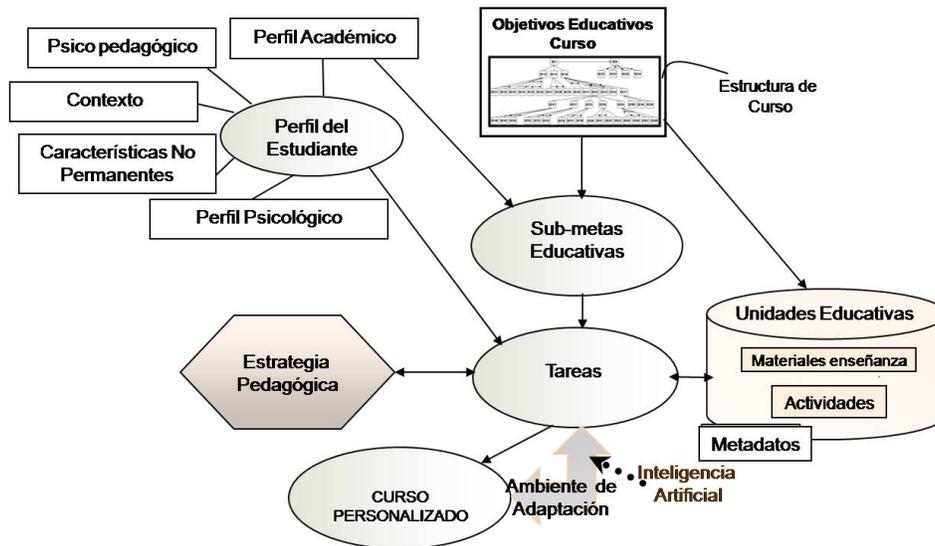


Figura 3.2: Esquema general del modelo propuesto

Dicha separación implica que puede existir más de una UE asociada a un OE y permite que en cualquier momento se puedan mejorar e intercambiar los materiales educativos sin afectar el curso propiamente dicho. De aquí se deriva la posibilidad de reutilizar las UE en diferentes momentos educativos; todo esto conlleva a la posibilidad de una estrategia de adaptación independiente de los materiales del curso, que es el deseo de este trabajo.

Las UE contienen el saber pedagógico y la lógica actitudinal y hacen posible la asociación diversa para abordar los mismos temas por otras vías. Estas UE pueden ser compuestas, si es el querer del docente y diseñador instruccional, permitiendo estrategias de enseñanza-aprendizaje complejas. La experiencia del aprendizaje está mediatizada por la actividad. En esta mediación se utilizan recursos simbólicos a través de imágenes o textos, situaciones de la vida real, simuladores, juegos, lecturas, resolución de problemas y aplicación de conocimientos a situaciones reales, que pueden ser aprovechados para la creación o desarrollo de competencias o el logro del OE, lo cual se condensa en la UE. Se entiende la UE como una herramienta pedagógica natural o creada, que pueda ser aprovechada para la formación y/o desarrollo de competencias o logro del OE.

Un elemento relevante en el sistema es el diseño de dichas unidades y la definición de los metadatos asociados. Los metadatos de las UE, son una mezcla ampliada de LOM (IEEE, 2002) y DCMI (DCMI, 1999), y permiten al planificador seleccionar las UE que formaran el plan de actividades personalizado propuesto. Un metadato importante son los OE que apoyan. Parte de los metadatos serán automáticamente determinados por el sistema (tamaño, formato, aplicación asociada, etc.).

Es importante resaltar que para posibilitar el intercambio con otras plataformas, se han respetado elementos de las propuestas de metadatos de LOM y DCMI (incluyendo el nombre de los atributos

y sus posibles valores) y la alternativa de conformación de OA tipo IMS (IMS, 2004) (por esta razón se deja abierta la opción de UE compuestas). En estos estándares están incluidos propiedades de los objetos de aprendizaje que pueden ser usados en el proceso de adaptación de los cursos tales como: Nivel de dificultad, tamaño de la unidad, tiempo propuesto de instrucción, edad típica y nivel de interactividad.

La tabla 3.1 muestra los metadatos de las UE y algunas particularidades de los mismos.

Para poder atender desde el punto de vista pedagógico adaptativo a diversos estudiantes se requiere tener una serie de recursos educativos multimediales, actividades y estrategias, por lo cual la posibilidad de reutilización es fundamental y la granularidad fina en las UE puede contribuir a esto. No obstante, se reconoce, que éste es uno de los problemas que se presenta en la construcción de los sistemas adaptativos: el crecimiento exponencial de los recursos y actividades en la medida que se incrementan los componentes y determinantes de adaptación.

### 3.2.3. Modelo del estudiante

Otro componente muy importante en la propuesta es un rico modelo del estudiante, pues sus atributos son determinantes en el proceso de adaptación. Se revisaron diferentes enfoques y se han seleccionado algunas propiedades que se consideran relevantes en el proceso educativo, pero en la perspectiva de un modelo genérico queda abierto el espacio para que sean intercambiadas o ajustadas a criterio del implantador, guardando consistencia con los metadatos de la UE. No obstante se insiste en que una característica de *obligatoria* inclusión es el Estilo de Aprendizaje (Learning Style) por su probado efecto exitoso en el proceso.

Como algunas propiedades varían en el tiempo se propone y desarrolla un **modelo dinámico** del aprendiz, que se ajuste con la interacción de estudiante, buscando hacer más efectivo el proceso de adaptación. El capítulo 4 está dedicado a explicar en detalle los elementos incluidos y la forma en que éstos se capturan y actualizan.

### 3.2.4. Estrategia de adaptación y composición del curso

Se puede notar que crear un nuevo curso implica definir la estructura del mismo en términos de OE, los cuales se toman de los ya formulados o se definen otros nuevos. El docente puede crear materiales de enseñanza en el caso que algunos OE no sean atendidos, los cuales serán adecuados y sus metadatos asociados para construir las UE, teniendo en cuenta los estándares definidos.

Si se plantea que la estructura de un curso está expresada por los OE y las relaciones entre éstos; es necesario reconocer que, en ocasiones, diferentes docentes pueden optar por estructuras diferentes para una misma área temática, buscando siempre los resultados esperados, pero por caminos diferentes. Por lo anterior el modelo debe permitir que varias estructuras sean definidas para un mismo curso.

En la figura 3.3 se aprecian conceptualmente las actividades involucradas en el proceso de generación de un curso personalizado, según la propuesta.

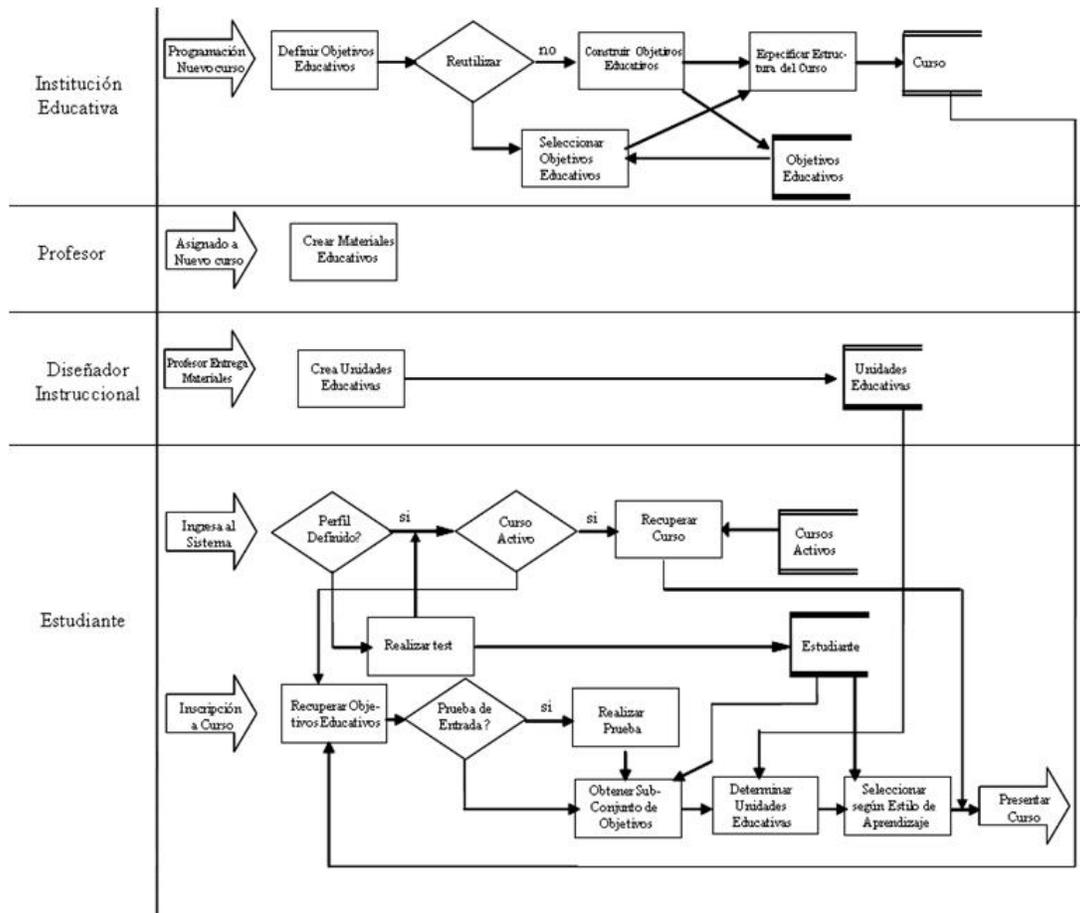


Figura 3.3: Diagrama de actividades

La personalización se realiza mediante una estrategia de adaptación que relaciona los componentes de adaptación (características particulares en las UE) con los determinantes de la adaptación (perfil del estudiante y condiciones actuales). Esta estrategia siendo genérica, no está alamburada a un curso en particular y puede ser automatizada mediante diversas técnicas. En este caso se aprovecharon las técnicas de Planificación en Inteligencia Artificial, que han mostrado su potencial en diversos ambientes y problemas complejos.

Un punto importante es que, en este caso, el modelo de enseñanza-aprendizaje está inmerso en las estrategias de adaptación y planificación. El plan de curso, con el nivel de detalle deseado, está representado por una trayectoria propuesta de actividades respaldadas por UE, seleccionadas específicamente para el aprendiz particular, según la información en el modelo del estudiante.

Cuando un estudiante ingresa por primera vez al sistema se debe registrar, suministrando los datos requeridos y se le realizan las pruebas o test requeridos. Se le ofrece la posibilidad de inscribirse en

algún curso, lo que llevaría al proceso de generación del plan adaptativo. Los OE junto con el perfil académico del estudiante, determinan el subconjunto de objetivos a ser cumplidos. A partir de éstos se seleccionan las tareas que el alumno realizará durante el curso, reflejadas en las UE seleccionadas acorde con el perfil del estudiante. Estas pueden ser desde visualizar alguna información a través de una sencilla presentación hasta las evaluaciones para ponderar los logros obtenidos, pasando por ejemplos demostrativos, ejercicios, simulaciones, laboratorios, etc. Si se quiere, este proceso se puede ejecutar cada vez que el estudiante ingrese lo que haría que se adaptará el curso a las condiciones actuales, siendo más adaptativa la propuesta. La automatización de este proceso requiere y exige una estrategia clara de adaptación que conjugue estos elementos mediante reglas o algoritmos que ponderando las necesidades y metas expresadas entregue un curso personalizado a cada estudiante.

Al ingresar un estudiante registrado tendrá la opción de entrar en los cursos activos, en cuyo caso se le ubicará en el punto donde terminó la última sesión trabajada.

### **3.2.5. Proceso de planificación y replanificación**

Como se manifestó en el aparte anterior, luego de evaluar las diversas posibilidades y dada la complejidad de la construcción de un curso con este nivel de detalle y con las múltiples opciones orientadas a la personalización se propone la generación automática utilizando técnicas de planificación en inteligencia artificial (AI Planning), una potente herramienta para la generación de planes en ambientes complejos, como lo es el caso tratado.

El módulo de planificación recurre a técnicas de Planificación de Red Jerárquica de Tareas (HTN) aprovechando la similaridad en la forma de representación con la estructura de curso propuesta. Pero la aplicación de dichas técnicas implica mapear los diferentes elementos del curso en términos del planificador y las relaciones entre ellos. Dado que este trabajo se orienta a un modelo genérico se vio promisorio y necesario el incluir un pre-planificador que genere automáticamente el dominio y especifique la generación del curso personalizado como un problema de planificación. Además, el pre-planificador permitirá que al momento de la implantación se tomen decisiones importantes sobre los elementos a incluir en el curso y las visiones propias sin requerir alterar las otras partes asociadas al proceso de generación de los cursos personalizados.

Al final se aprovechó el algoritmo básico modificado del planificador SHOP2 (Nau et al, 2003) para obtener el plan instruccional. Dada la importancia que este módulo representa se ha dedicado el capítulo 5 para su descripción.

En el caso que la ejecución del plan no produzca los resultados esperados o el aprendiz encuentre dificultades en el logro de los OE, se requiere la replanificación del curso en forma local o global. Dado que la solución a este problema no está incluida en el alcance de esta tesis no se profundiza, pero se propone como una buena y sencilla alternativa la utilización de la técnica de inteligencia artificial conocida como Razonamiento Basado en Casos (RBC). El principio básico en RBC es que problemas similares tienen soluciones similares, lo que permite reutilizar las soluciones exitosas ante problemas similares. Para el caso particular implica recuperar la información que el sistema ha obtenido de las

experiencias exitosas de planes anteriores con el fin de atender los objetivos propuestos, en estudiantes con perfil similar. Los casos se extraerían del historial que recoge las diferentes interacciones de los aprendices con los cursos y los resultados obtenidos en las mismas y el sistema seleccionaría aquel caso exitoso que menor distancia tenga respecto a la situación actual. Esto se conoce como replanificación local. Pero en los casos que haya recurrencia en los bajos logros o que el estudiante no se sienta cómodo con el sistema, se puede optar por la replanificación global, lo que lleva a ejecutar nuevamente el algoritmo de planificación, que utilizando los datos en el momento considerado, generan un nuevo curso.

### **3.2.6. Enfoque Multi-Agente**

Tratando de atender los retos planteados por la comunidad esta propuesta se orienta hacia la definición de una estrategia genérica de adaptatividad que permita incluir diversos enfoques pedagógicos y tecnológicos. Esto genera nuevos desafíos y sin duda hace más compleja la labor. El camino tomado fue la descomposición en bloques funcionales, sin perder la visión sistémica, y esto conlleva a distribuir la solución en diversas entidades que requieren conocimiento específico, procesamiento y comunicación entre ellas. Ante estas características modelar el problema mediante un Sistema Multi-agente (SMA) se vio prometedor. La motivación principal para optar por un SMA está en la posibilidad de distribuir los componentes de inteligencia enmarcados en la solución al problema propuesto. Esto repercute directamente en el desarrollo modular del sistema, lo que a la vez facilita la refinación o intercambio, según el enfoque del implementador de cada uno de los aspectos, sin afectar los demás sustancialmente. Como soporte a estas expectativas el referencial teórico muestra que en la solución a problemas como el planteado, basados en conocimiento, se ha conseguido muy buenos resultados y se espera aprovechar estas posibilidades.

El capítulo 6 se dedica a la conceptualización y desarrollo del Sistema Multi-agente.

### **3.2.7. Formalización de la estrategia de adaptación**

La formalización matemática del proceso de adaptación permite una mirada general hacia la propuesta. Este aparte se puede entender como un valor agregado de la tesis, dado que no hace parte de los objetivos propuestos y se presenta a manera de esbozo preliminar como base para un trabajo futuro de investigación. El anexo D incluye un acercamiento a la propuesta mediante un modelo matemático.

## **3.3. Conclusiones del capítulo**

En este capítulo se presentó una visión general, pero completa del modelo Framework para Cursos Adaptativos propuesto. Algunas características importantes de este modelo se resumen a continuación:

- El modelo está orientado por la intencionalidad del proceso, reflejada en la estructura del curso en términos de los OE.

- Se ofrece la posibilidad de especificar los OE a través de diversos enfoques (Conducta observable o competencias), dejando al diseñador e implantador en libertad de tomar la decisión de acuerdo a sus preferencias. De la misma manera puede especificar la taxonomía que mejor se acomode al curso según su visión.
- Se presenta un modelo genérico adaptativo de cursos virtuales que reconoce la intencionalidad del proceso educativo y se basa en las características permanentes y transitorias del estudiante. La separación de la estructura del curso y los materiales educativos y la independencia de la estrategia de adaptación ofrecen una propuesta no atada a un curso ni a una visión específica tanto en lo tecnológico como en lo pedagógico.
- Los Objetivos y las Unidades Educativas con alto nivel de detalle, lo que facilita su reutilización en diferentes áreas temáticas o cursos. La especificación de las Unidades Educativas respetando los estándares reconocidos permite su uso en diferentes plataformas y sistemas.
- Facilidad de configurar el sistema según diferentes características del aprendiz y diferentes estrategias de adaptación, aplicables al caso de cursos virtuales. Generación del curso aplicando técnicas de planificación en IA y uso de un pre-planificador para la construcción del dominio y permitir la transparencia ante las decisiones tomadas en la implantación del sistema.
- Se propone, pues, un Modelo Adaptativo de Propósito General, basado en Agentes Pedagógicos.
- El enfoque multi-agente da la posibilidad de distribuir los componentes de inteligencia enmarcados en la solución al problema propuesto, lo que a la vez facilita la refinación o intercambio sin afectar sustancialmente el sistema. Esto ya ha sido probado con buenos resultados.

A partir de esta propuesta se pueden adelantar nuevos proyectos permitiendo intercambiar los diferentes componentes y evaluando su efectividad tanto en su desempeño tecnológico como en el proceso educativo. Igualmente quedan abiertos espacios a atacar en trabajos futuros, como son los módulos de evaluación adaptativa, interfaces adaptativas, replanificación y herramientas de autor que faciliten el proceso de construcción de las partes del curso.

## Capítulo 4

# Modelo del Estudiante en la Propuesta

*... La educación actual, y siempre debió ser así, debe estar orientada a lograr un nuevo hombre, integral y por eso el estudiante debe ser el centro del proceso ...*

Por la importancia del modelo del usuario en cualquier sistema adaptativo, se dedica un capítulo completo al modelo del estudiante, componente relevante en la propuesta planteada. Se hace un recorrido por los diferentes elementos a tener en cuenta, las características preponderantes y las técnicas de captura y actualización recomendadas.

### 4.1. Modelo del estudiante en el proceso de adaptación

Sin lugar a dudas un elemento importante en el diseño y construcción de un sistema educativo inteligente es el modelo del alumno y los elementos que en él se modelan. El diseño y construcción del modelo de usuario, como se muestra en la figura 4.1, exige definir qué se va a modelar, cómo será modelado, cómo se capturaran inicialmente los valores de las propiedades y cómo se realizará el proceso de actualización.

Como lo muestra el esquema uno de los asuntos a definir son las características distintivas y más relevantes de cada usuario en el proceso de enseñanza-aprendizaje para el sistema adaptativo. Son múltiples los enfoques encontrados sobre el tema y el mapa conceptual que se propone en la figura 4.2 trata de resumir las opiniones de varios autores desde diferentes puntos de vista.

Para esta propuesta es muy importante la correcta definición de los elementos a incluir en el perfil del aprendiz, pues deben ser éstos los que guiarán el proceso de adaptación. Se debe aclarar que en la orientación a un modelo genérico, son estas características las que, según la revisión, mejor papel pueden jugar en el sistema, pero queda abierto el espacio para que sean intercambiadas con las específicas que el diseñador decida. De la misma forma, para cada propiedad, es posible optar por una visión concreta

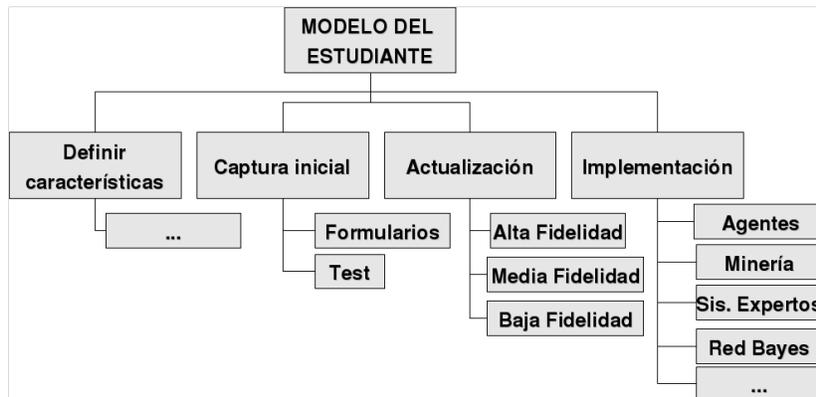


Figura 4.1: Aspectos a tener en cuenta en la construcción de un modelo del estudiante

seleccionada al momento de la implantación, manteniendo la consistencia con los metadatos de las UE. El pre-planificador propuesto en el capítulo siguiente permitirá estas adecuaciones sin generar traumatismos en el proceso de generación de los cursos personalizados.

Además, es reconocido que varias de estas propiedades son cambiantes lo que requiere actualizar dinámicamente el modelo. Consistente con esto proponemos un **modelo dinámico del estudiante** que de acuerdo a los cambios se ajuste dinámicamente, buscando hacer más efectivo el proceso de adaptación. La actualización de algunas de estas propiedades se realiza por medio de diversas técnicas de IA, a partir de la interacción usuario-sistema, combinado con otras variables para obtener el valor apropiado que permita la modificación automática del perfil del aprendiz.

Siguiendo el esquema de la figura 4.1 se presentan cada una de las características gestionadas en la propuesta y cabe resaltar que éstas pueden ser modificadas según el interés particular, da que el modelo lo permite.

Dentro del análisis realizado para la actualización dinámica de las características del estudiante se han tenido en cuenta los criterios siguientes:

- Viabilidad teórica
  - Si verdaderamente cambia en el tiempo.
  - Si es lo suficientemente relevante para el proceso de aprendizaje.
  
- Viabilidad técnica
  - Si la técnica de actualización es susceptible de ser implementada bajo un entorno Web.
  - Costo de procesamiento.

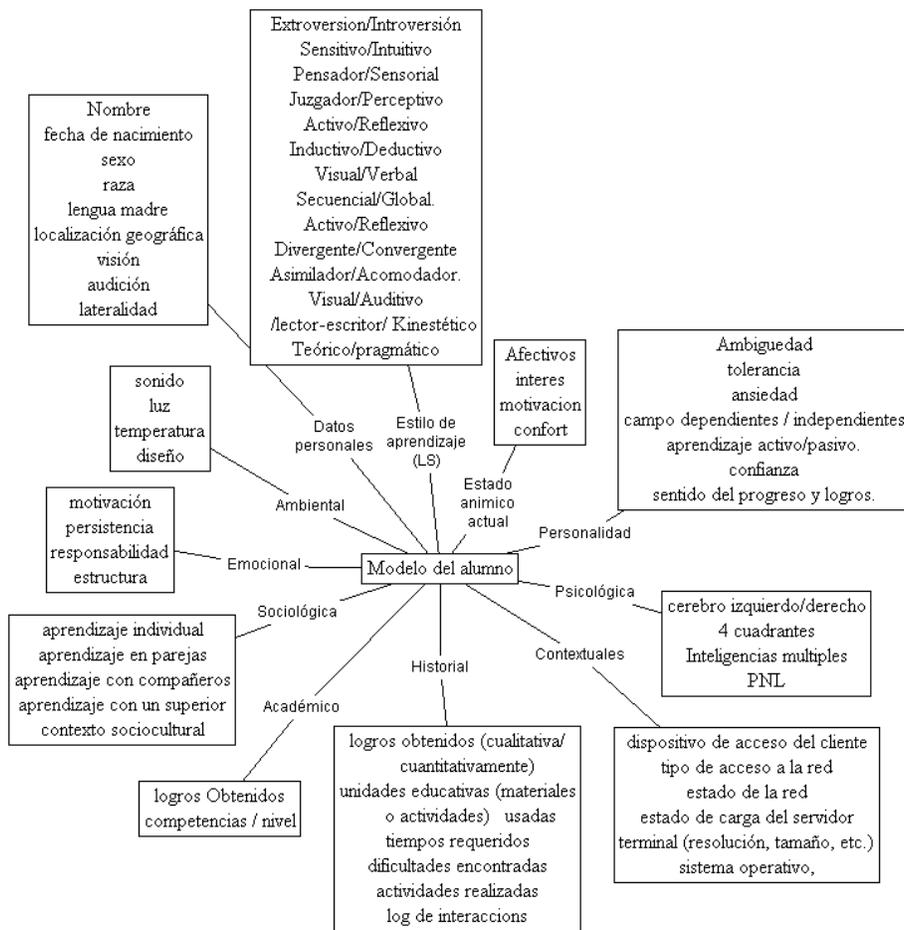


Figura 4.2: Elementos o características en el modelo del estudiante

## 4.2. Características relevantes propuestas en el modelo del estudiante

### 4.2.1. Datos y características personales

Contiene la información básica sobre un determinado estudiante y permite además identificar al usuario en el sistema y gestionar algunas características que influirán en la generación del curso. Entre estas propiedades están: Nombre, usuario, contraseña, fecha de nacimiento, sexo, raza, lengua madre, localización geográfica, fotografía. Es posible utilizar esta información para personalizar la presentación con el nombre del alumno, su edad, sexo, país, idioma.

## **Captura Inicial y Actualización**

La forma de captura de los valores iniciales se realiza por medio del diligenciamiento de un formulario con cada variable, el cual se presenta al estudiante cuando se esté registrando en la plataforma. El estudiante podrá actualizar su perfil, en cualquier instante del proceso, mediante el formulario, editando los valores consignados. Es importante resaltar que aspectos tales como la edad serán actualizados dinámicamente por la plataforma, lo que asegura la validez de la información. Las entradas, como en otros componentes, se almacenan como un par atributo/valor.

### **4.2.2. Perfil académico del estudiante**

Este es un elemento distintivo y sustancial, pues está representado por los OE alcanzados, los cuales se almacenan, diferenciándose de otras propuestas ligadas a modelos overlay, que están en relación con un curso en particular. La jerarquía de los objetivos conlleva a que se almacenen con diferente nivel de granularidad, siendo compatibles con diferentes enfoques. Lo anterior permite que puedan ser tenidos en cuenta en cualquier curso o área temática que el estudiante enfrente.

## **Captura Inicial y Actualización**

Al ingresar por primera vez al sistema el estudiante inicia sin datos, pero para un curso en particular, es posible que se realice una prueba de entrada para conocer cuáles OE ya ha alcanzado. Posteriormente, en la medida que alcance logros, este estado se actualiza automáticamente.

Cuando se logren OE, éstos se incluyen en el modelo del estudiante, lo que permite cubrir prerrequisitos de otros cursos y omitir posibles objetivos comunes de cursos futuros. Es posible almacenar también aquellos objetivos enfrentados por el alumno pero que no fueron superados.

### **4.2.3. Perfil psicopedagógico**

En particular proponemos, de acuerdo a la revisión bibliográfica y a la experiencia propia, incluir como variable determinante en el modelo el estilo de aprendizaje del estudiante (Learning Styles). La propuesta es neutral, en cuanto a los enfoques de diferentes autores para la clasificación, pero acorde con los expresado en el capítulo 2, se consideran que los modelos VARK (Fleming, 2001) e ILS (Felder y Soloman, 1997) e incluso una combinación de éstos se acoge a los requerimientos para implementar la estrategia adaptativa planteada. VARK, desarrollado en Lincoln University en Nueva Zelanda, está muy adecuado al tipo de materiales que apoyan el proceso educativo y es simple en la valoración de los educandos y en su implementación práctica, a pesar que no mide estrictamente el estilo de aprendizaje, según su mismo autor, pero en cambio intenta mirar un aspecto particular de percepción del estudiante y de interacción más estrechamente con los materiales de aprendizaje; permite mediante un sencillo test de 13 preguntas clasificar al estudiante como Visual, Auditivo, Lector/escritor o Kinestético. El Índice de los Estilos de Aprendizaje, ILS (Index of Learning Styles) de Felder y Silverman está diseñado a partir de cuatro escalas bipolares relacionadas con las preferencias para los estilos de aprendizaje, que

son: Activo-Reflexivo, Sensorial-Intuitivo, Visual-Verbal y Secuencial-Global; permite la fácil asociación de material educativo ajustado al estilo del estudiante.

### **Captura Inicial y Actualización**

La clasificación del alumno se hace, como se dijo anteriormente, a través de test diseñado por los autores de los modelos. Para su actualización se puede optar por dos caminos, no excluyentes: realizar periódicamente los tests o seguir el comportamiento del estudiante, pudiendo notar los cambios en su estilo, que es una característica cambiante en el tiempo.

#### **4.2.4. Historial**

Este elemento cumple la tarea de llevar un histórico completo de la interacción del alumno con el sistema, incluye valores cambiantes referentes al proceso de aprendizaje del alumno y refleja las acciones realizadas en el sistema. Se diseña haciendo analogía a una bitácora del sistema.

El historial almacena la siguiente información:

- Evento
- Identificación del estudiante y del curso
- OE superado, calificación y la UE con que se logró
- Tiempo utilizado en el desarrollo de la UE
- Datos contextuales y de ambiente de las interacciones con el sistema: hora, día, clima, ciudad, tipo de conexión, navegador
- Otras características concretas en el momento de la actividad

En el caso de OE no superados se archiva también esta información. El análisis de estos datos facilitará el proceso de adaptación posterior en situaciones similares y esta información será la base para procesos de replanificación, de acuerdo a casos similares. Además, permitirá afinar la meta-información de los recursos educativos.

### **Captura Inicial y Actualización**

Todas las acciones e interacciones del estudiante en el sistema serán almacenadas, en particular los logros obtenidos (cualitativa o cuantitativamente) y las unidades educativas (materiales o actividades) que llevaron a éste, al igual que los valores de las diferentes variables al instante de la interacción o evento.

### 4.3. Otras características propuestas

Se relacionan otras variables que pueden influir en el proceso educativo o en la estrategia de adaptación y que son opcionales al momento de tomar la decisión de implantar el sistema propuesto. Es importante insistir que se debe mantener la concordancia con los metadatos de la UE, para que el proceso de generación automático se realice cabalmente. Varios de estos elementos pueden ampliarse en (González, Duque y Ovalle, 2009)

#### 4.3.1. Psicológicas y preferencias

Una de las alternativas evaluadas para incluir en el perfil psicológico del estudiante es la teoría de las inteligencias múltiples propuesta por Gardner, en la cual expone que la inteligencia no debe ser vista como algo unitario, que agrupa diferentes capacidades específicas con distinto nivel de generalidad, sino como un conjunto de inteligencias múltiples, distintas e independientes. Según esta teoría, todos los seres humanos poseen en mayor o menor medida, las ocho inteligencias siguientes: Inteligencia lingüística, lógica-matemática, espacial, musical, corporal-cinestésica, intrapersonal, interpersonal, naturalista. Se enfatiza el hecho de que todas las inteligencias son igualmente importantes y deben ser estimuladas todas por igual con el fin de llevar al estudiante a ser un SER íntegro e inteligente en todos los campos de la vida.

Para Gardner es evidente que, sabiendo lo que se sabe sobre estilos de aprendizaje, tipos de inteligencia y estilos de enseñanza, es absurdo que se siga insistiendo en que todos los alumnos aprendan de la misma manera (Gardner, 1995).

#### Captura Inicial y Actualización

Es posible realizar tests de actitudes e intereses en lo que se emplean cuestionarios de auto-aplicación y el propio sujeto indica sus preferencias entre una serie de actividades, lo que permite predecir los índices de satisfacción futura en una determinada actividad. También pueden facilitar el generar un ambiente favorable en el proceso educativo tener en cuenta el nivel de dificultad, el tiempo disponible, etc. Estos datos se pueden actualizar inquirendo al estudiante a través de formularios en algunas actividades y automáticamente seleccionar los resultados de las acciones del estudiante en el sistema.

Para el caso de las Inteligencias Múltiples, la inicialización se realiza por medio de un test en el momento del registro del usuario en el sistema, el cual se toma como punto de partida del valor o estado de cada una de las inteligencias del individuo, y a partir del estímulo en el proceso se modificará su valor en la fase de actualización. Partiendo de los datos iniciales se buscó la técnica apropiada para su actualización durante el proceso educativo, ya que el alumno adquiere nuevas habilidades, destrezas y conocimientos. El modelo del estudiante propuesto provee herramientas que analizan de forma inteligente el accionar del estudiante sobre el sistema y permite ir actualizando el perfil de las inteligencias múltiples cuando se requiera. A partir de la definición del problema y los requisitos enunciados se vio promisorio la utilización de un sistema experto donde se pueda gestionar la base de conocimiento por

parte de los educadores con el fin de determinar cuándo y en qué proporción se modifica un tipo de inteligencia.

### 4.3.2. Estado Anímico

Uno de los aspectos humanos que afectan el proceso de aprendizaje del individuo es el estado anímico, el cual puede definir el grado de motivación del alumno con la plataforma de educación, según expone la investigación de (Litman y Forbes, 2005). Es posible a decir de Litman, realizar un reconocimiento automático de las emociones y las actitudes del estudiante por medio del análisis de los diálogos humano-humano y humano-computador basados en la acústica/prosódica y el léxico, clasificándolo en:

- Negativo: El estudiante se torna triste, aburrido, inseguro, irritado. El estudiante presenta acústica y prosódica pausadas y variaciones de energía y tono de su voz. Se identifican frases como "*No se*".
- Positivo: El estudiante se torna seguro y entusiasta, presenta aumento en el volumen y la velocidad de sus frases. Expresiones seguras como '*Es ...*'
- Neutral: El estudiante no presente ni actitudes negativas ni positivas. Para identificar este tipo de estado el estudiante presenta un volumen moderado, velocidad y atenuación.

Igualmente Litman plantea la transición de estados, la cual debe partir de una posición neutral e ir modificando este estado de acuerdo a la interacción entre el alumno y el tutor. Esa transición siempre incluye el estado neutral, nunca un individuo pasará de estado positivo a negativo o viceversa.

Conati (2006) plantea un modelo de emociones del usuario durante la interacción con el sistema, y cuyo objetivo principal es el diagnóstico y predicción del estado anímico del estudiante; el cual depende de la forma en que la situación se ajusta a los objetivos y preferencias del usuario.

A partir de estos dos acercamientos se puede concluir lo siguiente:

- a) La posibilidad de predecir el estado de ánimo del alumno es factible.
- b) Cada alumno tiene su propia forma de expresar sus emociones por lo que el modelo emocional debe estar personalizado a cada estudiante.
- c) Cada vez que el estudiante inicia una sesión se debe inicializar el estado emocional.
- d) El estado anímico del estudiante se puede resumir en tres estados: positivo, neutral o negativo.
- e) El estado emotivo anterior debe tenerse en cuenta para obtener el estado actual.
- f) Aspectos psicológicos y de cumplimiento de objetivos son tenidos en cuenta para determinar el estado emocional del estudiante.
- g) El modelo debe ser constantemente validado indagando al alumno su estado anímico actual y compararlo contra el estado obtenido por el modelo con el fin de poderlo ajustar.

## **Captura Inicial y Actualización**

Al inicio de la sesión el sistema inicializa esta propiedad en normal.

Dado que es llamativa la posibilidad de predecir el estado de ánimo, se evaluaron varias técnicas llegando a la conclusión que la utilización de redes neuronales artificiales (RNA) podría entregar nuevos resultados, dada su alta capacidad para la clasificación y búsqueda de patrones, su tolerancia al ruido de la información y su fácil implementación. Analizando los tipos de RNA existentes y las características propias del sistema se debe optar por el uso de las RNA no supervisadas, donde no se requieren parámetros de entrenamiento previos (entrada - salida) a la llegada de un nuevo estudiante. Para el proceso de clasificación se evaluaron las redes Kohonen y Hamming optándose por las primeras y dentro de ellas las de tipo LVQ (Learning Vector Quantization ) ya que la salida es de una dimensión simple (3 grupos). Esta red es un híbrido que emplea tanto aprendizaje no supervisado como aprendizaje supervisado, para clasificación de patrones. En la red LVQ, cada neurona de la primera capa es asignada a una clase, después cada clase es asignada a una neurona en la segunda capa. El número de neuronas en la primera capa,  $S_1$  debe ser mayor o al menos igual que el número de neuronas en la segunda capa,  $S_2$  (Acosta et al, 2000).

Este problema implica determinar cuáles características del estudiante (vector de entrada) definen su estado anímico (salida), y que al tener entradas comunes arroje una clasificación similar. Los aspectos a tener en cuenta para definir el vector de entrada son tomados con base en la revisión del estado del arte. El trabajo realizado por Conati (2006) expone que dentro del estado anímico del estudiante afectan aspectos tales como sus metas (cumplidas o no), sus acciones sobre el sistema, su personalidad. Con base en esto, los parámetros de entrada son los siguientes:

- Personalidad.
- Aspectos del contexto.
  - Clima.
  - Día de la semana.
  - Hora del día.
- Log de interacción del sistema. - Tiempo gastado vs Tiempo requerido por la UE.
- Si ha logrado o asimilado el OE.
- El estado anímico anterior.

El resultado esperado es la clasificación del individuo dentro de alguno de los siguientes 3 grupos: Positivo, Neutral o Negativo.

### **4.3.3. Características contextuales**

Estas son transitorias y están asociadas con el ambiente en el marco de una sesión del alumno en el sistema. Actualmente y dadas las diferentes posibilidades tecnológicas y ambientales viene tomando

fuerza, en los procesos adaptativos, incluir en el modelo del estudiante, sin ser precisamente una característica propia de éste, variables que involucran estos aspectos. Se tienen en cuenta el dispositivo de acceso del cliente, el tipo de acceso a la red, el estado de la red, el estado de carga del servidor, etc. Igualmente el tipo de terminal (resolución, tamaño, etc.), el sistema operativo, entre otros. Esto puede ser utilizado para determinar el formato o tipo de materiales y la forma de presentación a entregar. Varios de estos valores se pueden obtener directamente de la conexión. La relación tipo material vs velocidad se puede apreciar en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Velocidad de Conexión vs Materiales Educativos

Velocidad	Tipo de medio
56 a 100 Kbps	Texto, Imágenes, Chat, Correo
100 a 300 Kbps	Música, Videos
300 a 600 Kbps	Juegos, Videos en línea
600 o más Kbps	Películas, Video conferencia

### Captura Inicial

Cada vez que un usuario inicie sesión se realiza un análisis de la petición HTTP efectuada desde el navegador cliente hacia el servidor. Por este medio se puede obtener la siguiente información:

- Dirección IP origen y deducción de la ubicación.
- Navegador utilizado.
- Sistema operativo del cliente.

A partir de estos datos es posible, si se desea, seleccionar algún tipo de configuración en la aplicación. También calculando la velocidad de conexión, determinar el tipo de información a ofrecer al estudiante de acuerdo al ancho de banda de acceso.

#### 4.3.4. Aspecto Ambiental o de Entorno

Son todas aquellas características del medio ambiente que rodean actualmente al alumno y que sirven para personalizar aún más el contenido ofrecido, buscando captar su atención. Entre estos aspectos están los siguientes: clima, temperatura, ubicación actual, hora local y día de la semana.

### Captura Inicial y Actualización

Con el mismo análisis de la petición HTTP y obtenida la dirección IP se pueden adquirir los valores de las variables clima, temperatura y ubicación consultando servidores en Internet especializados sobre el tema.

## 4.4. Conclusiones del Capítulo

Cuando un estudiante ingresa por primera vez al sistema su modelo de alumno específico está vacío y entre las posibilidades para su inicialización (cuestionario explícito o asunciones por defecto), se optó por cuestionarios simples y concretos. Para la actualización del modelo se plantean algunas alternativas: diagnóstico (cuando el sistema encuentra evidencia que el modelo actual del estudiante es inadecuado); la revisión de los valores de atributos (creencias, intereses, preferencias) que el sistema tiene del estudiante con base en comportamientos diferentes, considerando cuándo y cómo el estudiante cambia estas propiedades.

Es de interés en esta tesis, manteniéndose el alcance propuesto, hacer que el modelo del estudiante sea lo más dinámico posible, actualizándose permanente y automáticamente. En resumen se propende por un modelo de usuario que fortalezca las tareas de adaptación, apoyado en un método de actualización híbrido, que combina la construcción estática del modelo con el aprendizaje dinámico y automático de los valores de algunos atributos, basándose en los datos recogidos en las sucesivas interacciones y en técnicas de IA probadas y con resultados exitosos.

Es interesante, pero está por fuera del alcance de esta tesis, la definición de las correlaciones de las diferentes características, lo que permitiría que con un número menor de propiedades se pueda tener en cuenta los aspectos más importantes del estudiante en el proceso educativo y así facilitar el proceso de adaptación.

Dado que no es el fin central de esta tesis no se han validado y evaluado las diferentes estrategias utilizadas en la actualización del modelo del estudiante y así está planteado como un trabajo futuro, a la vez que refinar algunas de las técnicas usadas.

Se insiste en la propuesta de un modelo adaptativo genérico, el cual está abierto a diversos enfoques y variantes. Este capítulo sólo ubica las características más importantes, a juicio propio, pero no condiciona la propuesta a estas, ni se compromete con emitir juicios de calidad y eficiencia con ninguna de ellas.

## Capítulo 5

# Módulo de Planificación basado en técnicas de IA

*... Educar a un niño no es hacerle aprender algo que no sabía, sino hacer de él alguien que no existía.*

*John Ruskin*

*... Planificar es soñar el futuro que queremos y determinar los medios para conseguirlo... El sueño es el desarrollo integral de las potencialidades de la humanidad, formar es el medio.*

Luego de evaluar diversas alternativas y con base en la experiencia previa (Duque, 2005) y dado el nivel de detalle esperado y el aumento del número de variables a incluir en los procesos asociados a cursos adaptativos, la generación automática utilizando técnicas de planificación en inteligencia artificial (AI Planning) fue seleccionada. Este capítulo consigna de esta forma los pasos recorridos para llevar el problema de la generación del curso a un problema que pueda ser atacado con técnicas de AI Planning y presenta los resultados obtenidos.

### 5.1. Planificación en IA

En su uso cotidiano la palabra planificación se refiere al proceso de definir los pasos de un procedimiento para resolver un problema, antes de ejecutar alguno de ellos. O en palabras de Tate, planificación es el proceso de generar (posiblemente en forma parcial) las representaciones de futuras conductas a tomar para que los planes restrinjan o controlen esas conductas. La salida es usualmente un conjunto de acciones con restricciones, para la ejecución por uno o varios agentes (Tate et al, 1990). Un sistema de planificación inteligente (AI Planning) entrega una serie de pasos, representados por operadores, que se deben ejecutar para ir desde un estado inicial hasta una meta (estado meta o lista de tareas). Más formalmente, un estado es un conjunto de proposiciones, entendido como una formula conjuntiva.

Muchos de los planificadores inteligentes siguen la hipótesis de mundo cerrado, según la cual si una proposición no es explícitamente mencionada en un estado se asume que ésta es falsa y las proposiciones

de los estados son sólo modificadas, afirmadas o negadas por acciones en el dominio. Las acciones de un dominio son especificados por esquemas de operadores, lo que consiste en dos formulas lógicas: las precondiciones (lo que se necesita para que el operador pueda ser aplicado) y las poscondición que especifica los cambios en el estado luego de ejecutar el operador. Las proposiciones que no son mencionadas en la poscondición se asume que no cambian (Ambite y Knoblock, 2001). Tate plantea que la planificación en Inteligencia Artificial es esencialmente un problema de búsqueda. El programa debe cruzar un espacio de búsqueda potencialmente grande y encontrar un plan que sea aplicable al estado inicial y produzca una solución que lo lleve a la meta. Esta búsqueda puede ser bastante difícil porque el espacio de búsqueda puede contener muchas interacciones entre los diferentes estados o planes parciales. Estas interacciones llegan a sorprender por su gran complejidad; por ejemplo, establecer la existencia de una pre-condición en un plan parcialmente ordenado puede requerir cómputo exponencial y la consecución de un plan óptimo, incluso en dominios simples (como el mundo de los bloques) puede ser de complejidad NP-hard.

Como se aprecia en la parte izquierda de la figura 5.1 un planificador tiene como objetivo encontrar la secuencia necesaria (plan) que permita conseguir las metas desde el estado inicial a partir de una serie de acciones válidas (dominio).

Para aplicar un algoritmo de planificación se deben especificar, en un lenguaje formal, tres entradas:

- a. Una descripción del mundo en un lenguaje formal.
- b. Una descripción de la meta (conducta, estado deseado, etc.)
- c. Una descripción de las acciones posibles a ejecutar (Teoría de dominio)

La salida del planificador es una secuencia de acciones, que cuando se ejecutan a partir de un estado inicial satisfecho, se consigue la meta.

En términos generales un problema de planificación es un problema de búsqueda orientado a encontrar una secuencia eficiente de acciones que conducen a un sistema desde un estado inicial hasta un estado objetivo. Formalmente un problema de planificación se puede definir mediante una tupla  $(L, D, I, F)$ , donde  $L$  es un conjunto de fórmulas atómicas que representan los hechos relevantes en el sistema;  $D$  es el conjunto de acciones definidas en el dominio del problema,  $I$  es el conjunto inicial de hechos y  $F$  es el conjunto de hechos que deben formar parte de la situación final del problema.

Para aplicar técnicas de planificación inteligente, el problema del mundo real debe ser llevado al ambiente del planificador y determinar el dominio (acciones posibles) en el mismo.

## 5.2. Selección de la técnica de planificación

El primer paso en este sentido es definir el planificador o la técnica de planificación a usar. Se presentan dos enfoques: Planificadores dependientes del dominio (usan heurísticas del dominio específico para controlar las operaciones del planificador) y planificadores independientes del dominio (la representación del conocimiento y los algoritmos se espera que trabajen bien en una amplia gama de situaciones).

Según la revisión bibliográfica realizada no existe un planificador que específicamente trabaje con el dominio en cuestión, ni ligeramente similar. Como alternativas resultantes estaría construir uno concreto con heurísticas específicas para la generación del plan instruccional u optar por uno independiente del dominio que pueda ser 'ajustado a mano'. Nau et al, escriben que estudios experimentales demuestran que planificadores adaptados manualmente al dominio (hand-tailorable) han resuelto rápidamente problemas de órdenes de magnitud más altas que los típicamente resueltos por los sistemas de planificación completamente automatizados (fully automated) en los cuales el conocimiento específico del dominio se refleja sólo en los operadores del planificador (Nau et al, 2003). Lo anterior reforzó la idea de optar por aprovechar el tipo de sistema de planificación que más se acomodara al problema tratado y realizar los ajustes requeridos.

Después de evaluar diferentes técnicas de planificación y planificadores existentes, que pudiesen apoyar la generación automática de cursos personalizados y dada la analogía con la composición de los OE (jerarquía de objetivos) se optó por aplicar una técnica de planificación jerárquica, en su variante red jerárquica de tareas (Hierarchical Task Network, HTN). HTN se presentó como muy prometedora para los propósitos concretos, por su enfoque jerárquico en la solución del problema de planificación, el cual sería fácilmente adaptable al mecanismo de representación de los cursos, que contempla la descripción de un curso como la relación de OE, los cuales son divididos en subobjetivos hasta alcanzar un determinado nivel de detalle. Además la planificación HTN es estrictamente más expresiva que la planificación clásica, esto es, algunos problemas pueden ser expresados como problemas HTN, pero no lo pueden ser como problemas de planificación clásica.

En el caso de HTN el **dominio del planificador** se describe básicamente mediante un conjunto de **operadores** y un conjunto de **métodos** (subtareas que componen una tarea y las condiciones para ser disparadas). Un problema de planificación debe contener un estado inicial y un conjunto de tareas parcialmente ordenadas a conseguir. El resultado de su aplicación es un conjunto de operadores instanciados que permiten desde el estado inicial alcanzar todas las tareas de la lista de tareas.

### 5.2.1. Planificación con SHOP2

Dentro de las diferentes propuestas de HTN se optó por **SHOP2 (Simple Hierarchical Ordered Planner 2)**, un planificador independiente del problema (dominio), desarrollado por el grupo de investigadores de AI Planning de la Universidad de Maryland (Nau et al, 2003). Este planificador genera planes en el mismo orden que serán ejecutados, por lo tanto se conoce el estado actual en cada paso del proceso de planificación, lo que es una ventaja para el caso concreto del Plan Instruccional, puesto que cada UE aprovechada por el estudiante se ve reflejada inmediatamente en su perfil académico. Un elemento importante en SHOP2 es su estrategia del control de la búsqueda llamada descomposición ordenada de tareas (ordered task decomposition, en inglés) que reduce la complejidad del razonamiento eliminando en gran medida la incertidumbre acerca del mundo. SHOP2, a diferencia de SHOP, su antecesor, permite que las subtareas de cada método sean parcialmente ordenadas y no totalmente, lo que facilita la descripción de dominios en forma simple e intuitiva, puesto que no se requiere el

ordenamiento previo de cada lista de tareas. SHOP2 puede hacer inferencia axiomática, combinando cálculos simbólicos, numéricos y llamadas a funciones externas.

Los **operadores SHOP2** son de la forma  $(h(v) \text{ Pre Del Add})$

Donde

$h(v)$  representa una tarea primitiva, con parámetros de entrada  $v$ .

$Pre$ ,  $Del$ ,  $Add$  son, respectivamente, la precondition del operador, la lista de borrado y la lista de adición (similar a los operadores tipo STRIPS).

Como un caso especial se puede tener un operador de la forma:

$(h(v) \text{ Pre Del Add cost})$

Donde

$cost$  representa el costo del operador en una unidad cualquiera.

En términos del lenguaje PDDL (*Planning Domain Definition Language*) se puede expresar de la siguiente forma:

```
(:operator
; head (primitive-task parameters)
; preconditions (conjunctions)
; delete list (list)
; add list (list)
; cost Default = 1 (cost)
```

Los **métodos en SHOP2** indican cómo se descompone una tarea y son de la forma:

$(h(v) \text{ Pre } T)$ , o si se quiere generalizar,

$(h(v) \text{ Pre}_1 T_1 \text{ Pre}_2 T_2 \dots \text{ Pre}_n T_n)$ .

Donde

$h(v)$  representa una tarea compuesta, con parámetros de entrada  $v$

$Pre_n$  representa la precondition de la tarea  $n$  y

$T_n$  es una lista parcialmente ordenada de tareas.

Para este caso en términos de PDDL es:

```
(:method
; head ()
Case1
; preconditions ()
; subtasks ()
Case2
; preconditions ()
; subtasks ())
```

Un problema de planificación en SHOP2, es una tripleta  $(S, T, D)$ , donde  $S$  es el estado inicial  
 $T$  es una lista de tareas a cumplir y  
 $D$  es la descripción del Dominio, mediante métodos y operadores.

Con esta entrada SHOP2 retorna un plan  $P = (p_1 p_2 \dots p_n)$ , como una secuencia de operadores que pueden conseguir  $T$  desde  $S$  en  $D$  (Hendler et al, 2003).

### 5.3. Generación de Curso Adaptativo como Problema de Planificación

A pesar de permitir la especificación del problema la aplicación de estas técnicas implica mapear los diferentes componentes del curso en términos del planificador. Esto es, definir el problema de la generación del curso como un problema de planificación SHOP2, determinar cuál será el estado inicial y la lista de tareas a conseguir y fundamentalmente construir el dominio apoyado en los elementos del curso.

En este camino se determinaron los elementos relevantes en el traslado, esto se muestra en la parte derecha de la figura 5.1. El *estado inicial* refleja el perfil académico del aprendiz y las características permanentes y no permanentes del mismo. Las *metas* a buscar son los OE del curso y el resultado (plan) serán las UE que conforman el curso personalizado.

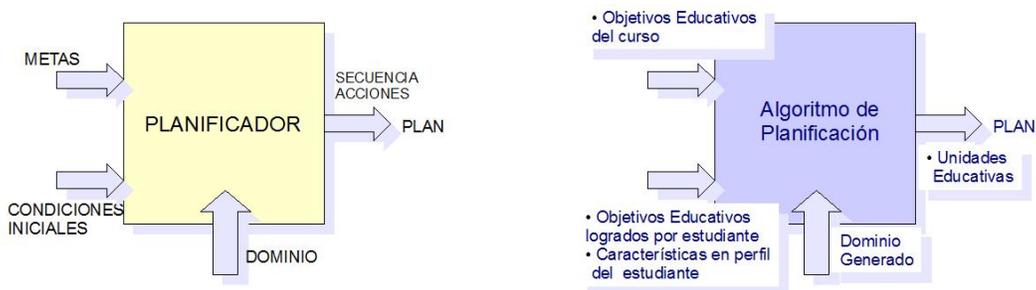


Figura 5.1: Esquema de proceso de planificación

### 5.4. Módulo de Planificación

Conociendo las características del planificador seleccionado, SHOP2, y dado que este trabajo se orienta a un modelo genérico se vio necesario y prometedor incluir un pre-planificador que construya

automáticamente el dominio y especifique la generación del curso como un problema SHOP2. Además, el pre-planificador permitirá que al momento de la implantación se tomen decisiones importantes sobre los elementos a incluir en el curso y respetar las visiones propias sin alterar las otras partes asociadas al proceso adaptativo.

La forma en que el pre-planificador construye el dominio y el problema se muestra en la sección siguiente.

### 5.4.1. Pre-planificación

Parte fundamental del pre-planificador es la construcción de los operadores, los métodos y el problema de planificación en términos de SHOP2. Los métodos HTN describen los procedimientos estándares que normalmente se usan para desarrollar tareas en algún dominio y usualmente corresponden a la mejor manera en que los usuarios piensan acerca de la forma de actuar ante el problema. Los metadatos de las UE y de los OE, permiten al pre-planificador especificar los métodos y los operadores que serán utilizados posteriormente en el proceso de planificación, con el fin de seleccionar las UE que forman el plan personalizado propuesto. Como se aprecia en la figura 5.2 el pre-planificador toma los metadatos tanto de las UE como de los OE para constituir el dominio (métodos y operadores).

Para conformar el dominio y los demás elementos incluidos en la definición de un problema tipo SHOP2, se analizaron los diferentes componentes y expectativas de un curso, buscando poder extraer directamente de éstos los metadatos asociados. Para la definición del problema de planificación en términos de SHOP2  $(S, T, D)$  y con base en las definiciones previas, se concreta que la lista de tareas a conseguir  $T$  son los OE planteados en el curso; el estado inicial  $S$  son los logros en términos de OE que tiene el estudiante en particular, pero también, y con el fin que el algoritmo actúe completamente, se incluyen los valores de las características permanentes y no permanentes asociadas al alumno y que guiarán la composición y ejecución de un curso adaptativo. Por su lado el dominio refleja las acciones que debe realizar el aprendiz para pasar de su estado en  $S$  a lograr  $T$ . No obstante el dominio jerárquico reconoce que los OE pueden ser compuestos y deben descomponerse para su concreción. Pero además se hizo una extensión que permite que las UE también sean compuestas, por lo cual se expanden al momento de ser requeridas para obtener el logro de un OE.

Es importante entender que hay una relación de inter-dependencia entre los metadatos de las UE y los valores posibles para los elementos constitutivos del perfil del estudiante. La búsqueda que realiza el planificador está orientada a determinar las acciones válidas (asociadas a las UE) según los valores actuales del perfil del estudiante, o sea las coincidencias de valores de las características del alumno en el momento actual y los valores en las propiedades de las UE que formaran parte del plan de curso personalizado. Si no se dan estas concordancias el plan estaría vacío y se tendría que recurrir a un plan por defecto, no personalizado.

A continuación se presentan los algoritmos que traducen el modelo del curso al dominio requerido por el planificador SHOP2.

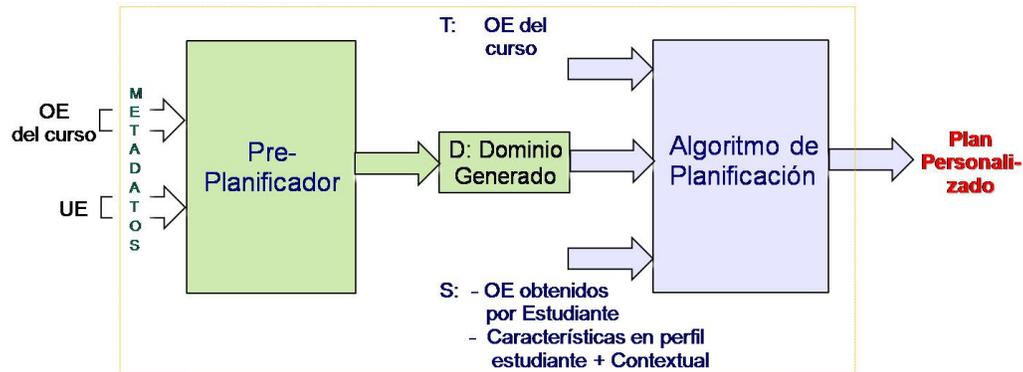


Figura 5.2: Módulo de planificación

- Desde  $UE$  a operadores SHOP2.

$$O = (UE.id (UE.prereq) (\Phi) (h(UE.id)) (UE.size))$$

Donde:

$UE.id$ : identificador de la  $UE$ ,

$UE.prereq$ : Pre-requisito de  $UE$ ,

$UE.size$ : Tamaño o costo de la  $UE$  (Esta variable podría ser reemplazada por tiempo típico de instrucción u otra similar) y

$h(UE.id)$ : es un procedimiento que retorna los  $OE$  que apoya la  $UE$ .

$\Phi$ : Vacío. Indica que la lista de borrado está vacía, o sea que ningún átomo desaparece cuando se ejecuta la acción.

Como un sencillo ejemplo, esto podría ser un operador para un problema concreto:

$$O = (UE325(\Phi)(\Phi)OE4854)$$

- Convertir  $OE$  compuestos en Métodos

$$M = (OE.id (f(OE.id)) (g(OE.id)))$$

Donde:

$OE.id$ : identificador del  $OE$ ,

$f(OE.id)$  es un procedimiento que retorna  $OE.PRE.prereq$ ,

$g(OE.id)$  es un procedimiento que retorna  $SubOE_n$ , para  $OE.id$

$Y (SubOE_1, SubOE_2, \dots, SubOE_n)$  son los  $OE$  hijos o sub-objetivos

Por ejemplo:

$$M = (OE47(\Phi)(OE48, OE49, OE50))$$

- Convertir  $OE$  cubiertos por varias  $UE$  en Métodos

$$M = (OE.id((UE_1.PerfUE_1.id)(UE_2.PerfUE_2.id) \dots (UE_n.PerfUE_n.id)))$$

Donde:

$OE.id$ : identificador del  $OE$

$Perf_n$ : Son las características del perfil del estudiante determinantes de adaptación en el proceso, asociado a la  $UE_n$

Ampliando, se puede generar el siguiente método:

$$M = (OE.id(OEPRE.prereqn((UE_1.Prf_xUE_1.id)...(UE_n.Prf_zUE_n.id))))$$

Donde  $(Prf_x, \dots, Prf_z)$  representan los valores obtenidos para los diferentes elementos del perfil del estudiante, los que se comparan con los metadatos de las  $UE$  para la selección de la más acorde con el problema en cuestión.

Si sólo se tomara en cuenta el estilo de aprendizaje se puede tener:

$$M = (OE60(RUE429)(VUE431))$$

- Convertir  $UE$  compuestos a Métodos

$$M = (UE.id(j(OE.id))(k(OE.id)))$$

Donde:

$UE.id$ : identificador de la  $UE$ ,

$j(UE.id)$  es un procedimiento que retorna  $UE.prereq$ ,

$k(UE.id)$  es un procedimiento que retorna  $SubUE_n$  para  $UE.id$

$(SubUE_1, SubUE_2, \dots, SubUE_n)$  son la  $UE$  hijas o sub-unidades

Por ejemplo:

$$M = (UE333(UE300)(UE380, UE390, UE395))$$

Este caso particular permite introducir estrategias de enseñanza-aprendizaje específicas, según la visión que se adopte.

Estas rutinas serán ejecutadas al momento de crear un nuevo curso para un estudiante específico, pero si se desea pueden ser aplicadas en cualquier momento, con el fin de generar un dominio actualizado. No obstante la propia ejecución del planificador genera un curso actualizado a partir de la información corriente. Este paso de pre-planificación es necesario porque reduce la participación humana y facilita la planificación haciéndola más rápida, más eficiente y más constante.

### 5.4.2. Generación del plan

Como se aprecia en la figura 5.2, en el momento concreto de la planificación del curso se tomarán los valores de variables de contexto y de aquellas características no permanentes del estudiante y que son relevantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

A partir de los Objetivos buscados  $T$ , el estado inicial  $S$  y el dominio generado en el paso anterior  $D$ , se expresa el problema de planificación como  $(S, T, D)$ . A manera de ejemplo esto puede ser:

Problema SHOP2 de la forma  $(S, T, D)$

$$P = (((OE41, EO55, EO64), (perf_x)), (OE4, OE8), D)$$

El resultado del proceso de planificación es una colección de actividades académicas que deben ser realizadas por el estudiante para avanzar en los logros esperados, a partir de un estado inicial. En un modelo jerárquico el sistema determina las acciones primitivas que se puedan ejecutar directamente y en el caso de los macro-operadores los descompone recursivamente hasta llegar a esas primitivas, que representan las UE a recomendar. Para el caso de la adaptación, en la selección no solo influyen los OE propuestos sino también las características del estudiante y las condiciones actuales, que son en últimas las que determinan la ruta seguida por el planificador. Al final para obtener los planes instruccionales, se aprovechó el algoritmo básico modificado del planificador SHOP2 (Nau et al, 2003), el cual se incluye en forma resumida al final del capítulo.

El algoritmo de planificación permite ir desde el estado inicial  $S$  e ir cubriendo las tareas requeridas según  $T$  mediante la aplicación de los métodos y operadores en  $D$ , que soportan la 'estrategia' definida. Al final el plan personalizado se despliega como una secuencia de actividades soportadas por las UE (operadores) que deben ser desarrolladas por el estudiante para lograr los objetivos propuestos en el curso.

En el caso que la ejecución del plan no produzca los resultados esperados o el aprendiz encuentre dificultades en el logro de los objetivos educativos, se requiere la replanificación del curso en forma local o global. Como una buena y sencilla alternativa se deja como propuesta la técnica de IA conocida como Razonamiento Basado en Casos (RBC). El principio básico en RBC es que problemas similares tienen soluciones similares, lo que permite reusar las soluciones exitosas ante problemas similares. Para el caso particular implica recuperar la información que el sistema ha obtenido de las experiencias exitosas de planes para atender los objetivos propuestos en estudiantes con perfil similar.

## 5.5. Conclusiones del capítulo

Se presenta una sencilla guía metodológica para resolver el problema de la generación de un curso personalizado mediante el uso de las técnicas de planificación inteligente, específicamente se utiliza el algoritmo del planificador jerárquico de tareas SHOP2.

Para poder aplicar esta poderosa herramienta y garantizar que el sistema mantenga su independencia con respecto a los diferentes componentes del proceso educativo, manteniéndose la idea de un sistema genérico, se propone como uno de los aportes de esta tesis el disponer de un pre-planificador, que retoma el enfoque seleccionado por el diseñador y los diferentes componentes del curso, construye el dominio del planificador y traduce el problema de generación y ejecución del curso personalizado como un problema de planificación. La aplicación del algoritmo modificado SHOP2 permite obtener las acciones necesarias orientadas a conseguir los OE del curso virtual que se está generando.

Actualmente y como un trabajo futuro se está incluyendo la posibilidad de darle pesos específicos a cada característica del estudiante con relación a las UE y a partir de las ponderaciones obtener

las mejores UE que estrictamente satisfacen las condiciones en un momento dado en la ejecución del sistema.

**Procedure SHOP2.**

$P =$  Plan vacío

$T_0 \leftarrow \{t \in T: \text{No hay otra tarea en } T \text{ restringida a preceder a } t\}$

loop

if  $T = \Phi$  then retornar  $P$

no determinísticamente escoger una  $t \in T_0$

if  $t$  es una tarea primitiva then

$A \leftarrow \{(a, \theta): a \text{ es una instancia base de un operador en } D, \theta \text{ es una sustitución que unifica } \{head(a), t\} \text{ y } S \text{ satisface las precondiciones de } a\}$

if  $A = \Phi$  then retornar falla

no determinísticamente escoger una pareja  $(a, \theta) \in A$

modificar  $S$  borrando  $del(a)$  y adicionando  $add(a)$

agregar  $a$  a  $P$

modificar  $T$  removiendo  $t$  y aplicando  $\theta$

$T_0 \leftarrow \{t \in T: \text{No hay tarea en } T \text{ restringida a preceder a } t\}$

else

$M \leftarrow \{(m, \theta): m \text{ es una instancia de un método}$

en  $D, \theta$  unifica  $head(m), t,$

$pre(m)$  es verdadero en  $S, m$  y  $\theta$  son tan

generales como sea posible}

if  $M = \Phi$  then retorna falla

no determinísticamente escoger una pareja  $(m, \theta) \in M$

modificar  $T$  removiendo  $t$ , adicionando  $sub(m),$

obligando a cada tarea en  $sub(m)$

a preceder las tareas que  $t$  precede y aplicando  $\theta$

if  $sub(m) \neq \Phi$  then

$T_0 \leftarrow \{t \in sub(m): \text{No hay tarea en } T \text{ restringida a preceder a } t\}$

else

$T_0 \leftarrow \{t \in T: \text{No hay tarea en } T \text{ restringida a preceder a } t\}$

repeat

**end SHOP2**

## Capítulo 6

# Sistema Multi-Agente para la Planificación de Cursos Virtuales Adaptativos

*... Los agentes inteligentes con su autonomía, proactividad, aprendizaje y cooperación facilitan la modularidad y la escalabilidad del sistema y permiten que el sueño de un sistema adaptativo sea posible. Un día solo pediremos un agente con una visión determinada, lo incluiremos en el sistema y la filosofía del educador estará respaldada. ...*

Este capítulo presenta diferentes aspectos en la adopción de agentes inteligentes para soportar la propuesta de un modelo genérico adaptativo para cursos virtuales. Se sustenta la idea de tomar este camino, las posibilidades metodológicas, los diferentes elementos involucrados y la relación directa entre el framework propuesto y su soporte mediante un Sistema Multi-Agente (SMA). Al final se hace referencia a los aportes obtenidos y se dejan abiertos caminos para posteriores investigaciones

### 6.1. Motivación del uso de SMA

Según Giraffa la razón fundamental para modelar con una arquitectura multi-agente son las capacidades de comunicación e interacción que proveen y además que los agentes se pueden adaptar y aprender durante las sesiones (Giraffa y Vicari, 1997). Silveira et al, afirman que la utilización de las sociedades basadas en agentes se está consolidando como una alternativa apropiada para un proyecto de sistemas tutoriales, lo que podemos extender a cualquier proyecto de educación virtual inteligente (Silveira et al, 2000).

Como se ha planteado esta propuesta se orienta hacia la definición de un modelo genérico de adaptatividad en cursos virtuales, que permita incluir diversos enfoques pedagógicos y tecnológicos. Dado

que estos diversos componentes poseen capacidades específicas y cierta independencia, la ruta tomada fue, a partir de la visión sistémica, la descomposición en bloques funcionales representados en diversas entidades que requieren conocimiento específico, procesamiento y comunicación entre ellas. Esto llevó a escoger el camino de modelar el problema mediante un SMA. La motivación principal para optar por un SMA está en la posibilidad de distribuir los componentes de inteligencia enmarcados en la solución al problema propuesto. Esto repercute directamente en el desarrollo modular del sistema, lo que a la vez facilita la refinación o intercambio, según el enfoque del implementador en cada uno de los aspectos, sin afectar los demás sustancialmente. Como soporte a estas expectativas el referencial teórico muestra que en la solución a problemas como el planteado, basados en conocimiento, se ha conseguido muy buenos resultados y se espera aprovechar estas posibilidades. Los atributos propios de los agentes de software como reactividad, proactividad, autonomía, continuidad temporal, habilidad social, aprendizaje, actitud, son características deseables en la solución al tipo de problema en cuestión. En particular se logra obtener las siguientes ventajas:

- Autonomía de los agentes en la realización de las tareas pedagógicas asignadas y las acciones tendientes a garantizar la adaptatividad del sistema.
- Habilidad social que permita intercambiar mensajes orientados a lograr proponer actividades educativas acordes al estudiante particular y según los elementos del perfil definidos buscando lograr el objetivo de la adaptatividad.
- Flexibilidad, que permita, mediante la definición de los elementos en el espacio de adaptación (componentes, determinantes y reglas), que los agentes actúen en consonancia con esto. Particular importancia en un sistema de propósito general orientado a una estrategia de adaptación 'neutral' a la filosofía educativa particular sobre la que subyace el sistema y las diferentes clasificaciones que encuentran para los diferentes elementos y que permita, al momento de la implantación, decidir sobre diferentes enfoques a ser incluidos, tales como taxonomía de objetivos educativos, determinación de elementos en el perfil del estudiante, modelo de Estilo de Aprendizaje, propuesta de materiales de enseñanza, entre otros.
- Escalabilidad, que permita cambios cualitativos o cuantitativos en la plataforma, manteniéndola funcional.
- Capacidad de integración posterior. Dado que el alcance de esta tesis es limitado, se espera que desarrollos posteriores puedan ser incluidos e integrados al sistema. Esto incluye intercambiar algunos agentes diseñados bajo otras ópticas, lo cual puede enriquecer el sistema desde lo funcional y desde lo investigativo. Investigaciones posteriores, por fuera del alcance de este trabajo, pueden permitir definir y desarrollar o incluso aprovechar trabajos de otros grupos, agentes que apoyen interfaces adaptativas, incluir la evaluación adaptativa y la recuperación inteligente de información o bibliotecas virtuales inteligentes.

## 6.2. Selección de la metodología de desarrollo del SMA

Existen varias metodologías reconocidas para desarrollo de SMA, cada una con características válidas y respaldando su procedencia con modelos específicos. En (Moreno et al, 2005) puede verse una detallada referencia y análisis.

A partir de la decisión de aprovechar las ventajas de los SMA se evaluaron algunas de las metodologías disponibles para apoyar el desarrollo de la plataforma. Apoyados en trabajos anteriores, se decide tomar como base la metodología MASCommonKADS (Iglesias, 1998) la cual define los modelos necesarios para las fases de conceptualización, análisis y diseño y provee una completa documentación, además las aplicaciones en casos similares reportan muy buenos resultados. Sin embargo, la experiencia ganada sugiere incluir algunos modelos de las metodologías MaSE (Multi-agent system Software Engineering) (DeLoach, 2001), en concreto los diagramas jerárquicos de objetivos (como apoyo en la división de algunas tareas complejas) y de la metodología GAIA (Wooldridge et al, 2000), en particular el modelo de roles (importante para determinar claramente lo esperado de los agentes).

## 6.3. Análisis y diseño del SMA pedagógico

Partiendo de la metodología escogida y siguiendo las fases planteadas y aprovechando los modelos propuestos se realizó la conceptualización, el análisis y diseño del sistema.

La figura 6.1 muestra el esquema general del SMA instruccional, que integra los diferentes elementos desarrollados en esta tesis.

El proceso de adaptación se apoya en una sociedad de agentes de software inteligentes, como se aprecia en la figura 6.1, capaces de reconocer el perfil del estudiante (Agente Diagnóstico, Agente Estudiante), determinar los OE a desarrollar a diferentes niveles (Agente de Dominio), y a partir de ello construir el plan instruccional inicial personalizado (Agente Pre-planificador y Agente Planificador), que incluya las estrategias pedagógicas planteadas por el docente, que lleve al estudiante desde el estado actual a la creación o desarrollo de competencias o logros deseados. Este plan personalizado tendrá en cuenta que algunos de los objetivos buscados ya son logros del estudiante (modelo estudiante), por lo tanto no deben ser incluidos en el plan adaptado. A través del Agente Planificador se genera el plan inicial (respetando la estrategia de adaptación) que cubra la trayectoria requerida a través de un enfoque personalizado de enseñanza. El plan inicial es ejecutado por el estudiante y el sistema permanentemente está siguiendo la actividad del mismo para actualizar su perfil.

El Agente Estudiante permite manejar diversos elementos en el perfil del aprendiz según el interés particular. Para la captura se utilizan formularios y test provistos por los promotores de las características incluidas, tales como pruebas psicológicas, tests de estilos de aprendizaje, sociogramas y algunos valores obtenidos directamente del sistema en el proceso de interacción.

El Agente de Dominio administra la estructura del curso asociada a un grafo acíclico cuyos nodos son los OE a obtener, a la vez que mantiene información de las UE o recursos pedagógicos.

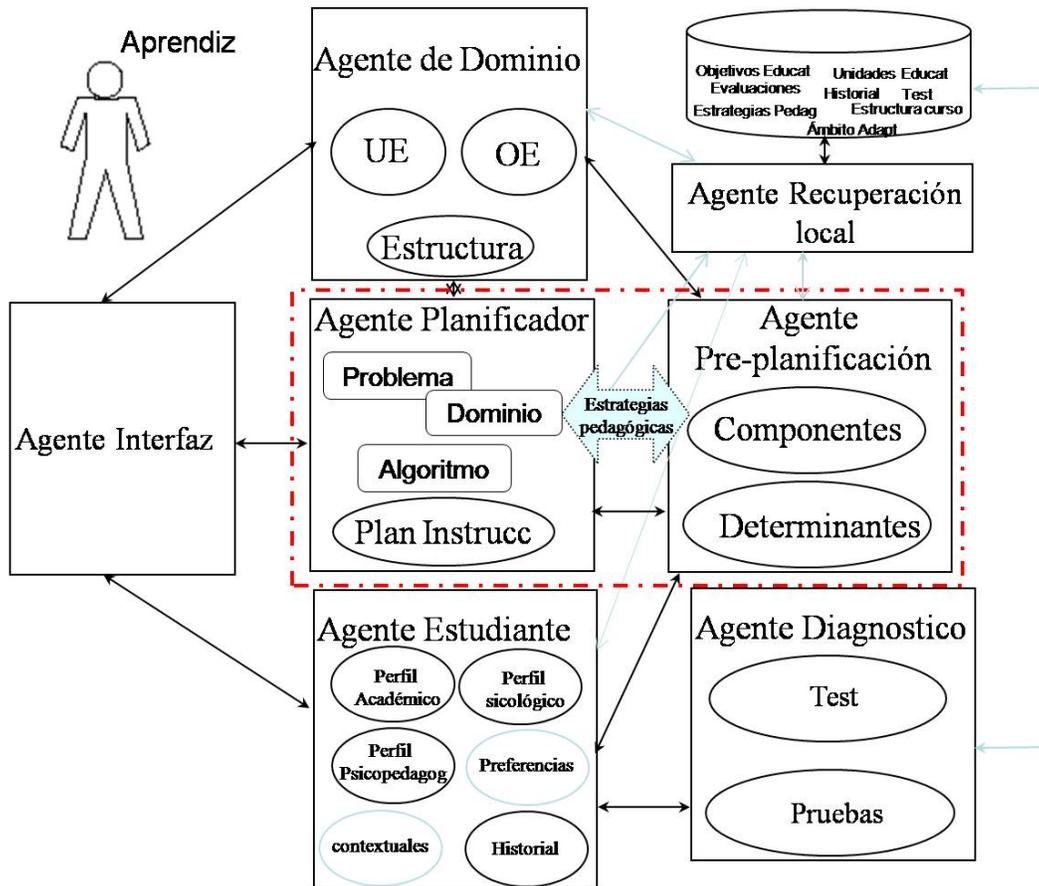


Figura 6.1: Esquema del Sistema Multi-Agente propuesto

La recuperación de los objetos o elementos educativos almacenados se encarga al Agente de Recuperación Local que únicamente conoce la forma en que encontrará estos recursos, permitiendo que se utilicen diversas visiones en la composición, nombramiento y localización de los mismos, pero apoyando las tecnologías estándares en particular de los objetos de aprendizaje como LOM y DCMI.

Existe un Agente de Diagnóstico encargado de los procesos de evaluación, realización de tests, pruebas de entrada, etc. que posee el conocimiento necesario para clasificar y ubicar al estudiante.

Como se aprecia la estrategia de adaptación está embebida en el modulo de planificación que internamente utiliza algoritmos y técnicas de planificación artificial de red jerárquica de tareas (HTN) y que permite generar el curso personalizado. Pevio a esto se realiza un proceso de pre-planificación a cargo de dicho agente, que convierte el proceso de generación del curso personalizado a un problema de planificación.

La figura 6.2 recoge algunos ejemplos de los modelos concebidos. El anexo 3 muestra en detalle los esquemas y plantillas realizadas en el proceso de análisis y diseño del SMA.

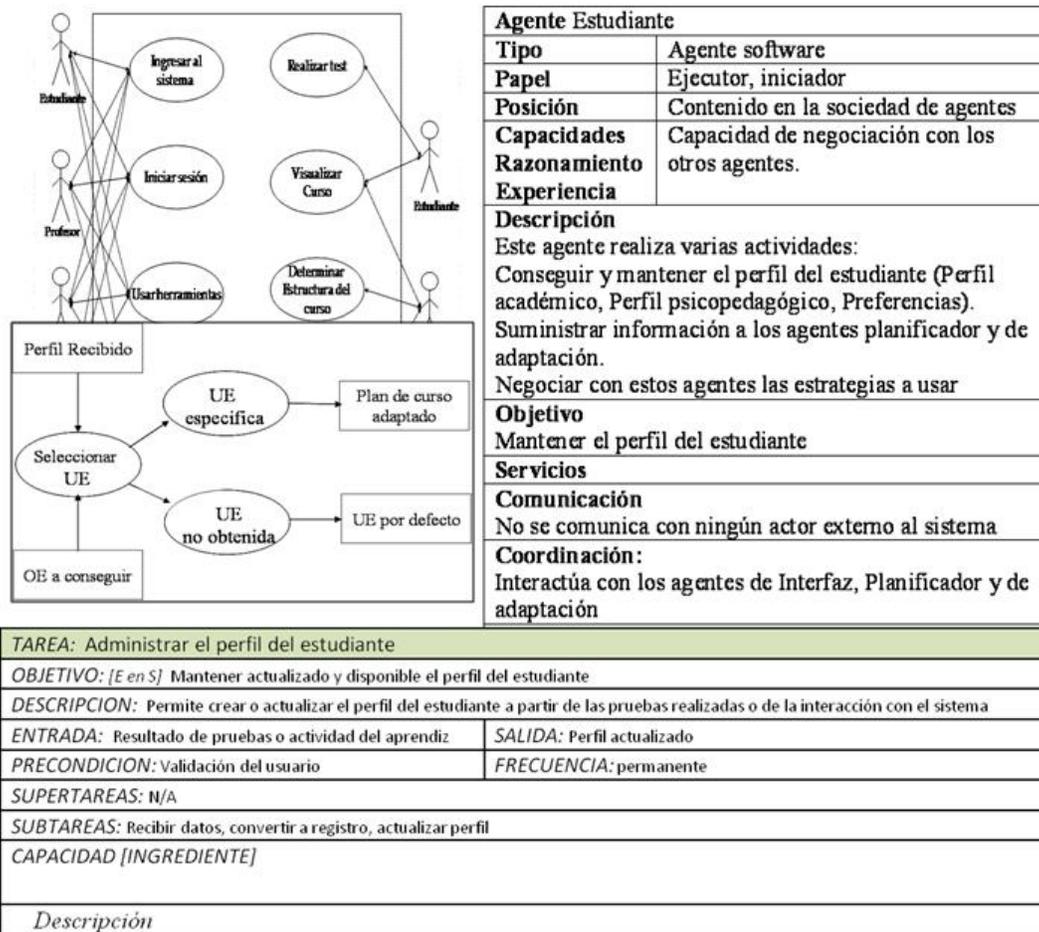


Figura 6.2: Algunos modelos en el desarrollo del SMA

## 6.4. Framework propuesto desde la perspectiva del SMA

La base de conocimiento del sistema está almacenada en una base de datos y el Agente de Recuperación Local es el encargado, a petición de los otros agentes, de acceder a la misma, para realizar consultas o actualizaciones. El Agente Interfaz es el puente entre los agentes humanos y los agentes de software. Sus funciones principales son establecer y mantener la interacción con el aprendiz y desplegar los diferentes elementos del curso virtual en la pantalla del aprendiz.

Específicamente sobre el proceso de adaptación se requiere que los agentes realicen las siguientes acciones y raciocinios: Dado que se plantea un framework para la estrategia de adaptación, la cual debe incluir los elementos a adaptar, las características que determinan esa adaptación y las reglas que orientan las acciones de adaptatividad serán incorporadas en el módulo de planificación. El módulo de planificación recibiendo la información desde el Agente de Dominio puede construir el plan inicial

del curso. Este agente posee un modelo de acción y una estrategia de planificación que le permite actuar ante diversas situaciones. En el proceso de ejecución y a partir de los resultados presentados y de la interactividad del estudiante es posible que se requiera replanificar, esto puede ser a nivel de algunas de las actividades, de un área completa e incluso una replanificación global. Este punto se considera como un desarrollo futuro. Un factor importante es que el modelo de enseñanza-aprendizaje está inmerso en el dominio, en las estrategias de adaptación y planificación. El plan del curso, con el nivel de detalle deseado, está representado por una trayectoria propuesta de actividades respaldadas por UE, seleccionadas específicamente para el aprendizaje específico, según la información en el modelo del estudiante.

En caso de que las acciones del estudiante muestren un cambio en el perfil o consiguen un logro, el modelo del estudiante se actualiza. En ocasiones el Agente Diagnóstico, según el conocimiento otorgado, puede invitar a realizar algunas pruebas que también pueden actualizar la información del estudiante en el sistema.

Para poder atender desde el punto de vista pedagógico adaptativo a estos diversos estudiantes se requiere tener una serie de recursos educativos multimediales, actividades y estrategias que permitan atender a dichos aprendices, por lo cual la posibilidad de reutilización es fundamental y la granularidad fina en las UE puede contribuir a esto. No obstante, se reconoce, que éste es uno de los problemas que se presenta en la construcción de los sistemas adaptativos: el crecimiento exponencial de los recursos y actividades en la medida que se incrementan los componentes y determinantes de adaptación.

## 6.5. Conclusiones del capítulo

El uso de un SMA fue una excelente elección pues tanto en la fase de concepción y refinación del modelo como en la construcción, permite atacar en forma independiente cada parte del problema y garantiza que los diversos enfoques tengan cabida.

La autonomía, flexibilidad, proactividad, comunicación y posibilidades de escalabilidad e integración posterior son ventajas completamente cristalizadas en propuestas de este tipo y un exhiben gran valor agregado.

Cabe resaltar que la adopción del enfoque multi-agente para representar los distintos roles que intervienen en el proceso como soporte a una propuesta genérica, que respete las diferentes visiones tanto tecnológicas como pedagógicas, brinda una excelente alternativa en la perspectiva de desarrollar herramientas tecnológicas que funcionen desde un enfoque distribuido multi-agente, en lugar de hacerlo desde una perspectiva centralizada, con sus consabidas limitaciones.

Queda abierto un espacio tanto para la inclusión de nuevos agentes que cubran otros tópicos en la adaptación, tales como agentes compañeros, agentes de recuperación inteligente, entre otros; así como el intercambio de los presentados acá, buscando incluir otros intereses y visiones. Este intercambio ha sido probado, en particular con propuestas de clasificación de estilos de aprendizaje, manteniéndose la funcionalidad del sistema y con muy buenos resultados.

## Capítulo 7

# Validación del Modelo Adaptativo Multi-Agente. SICAD+

*... En el ciberespacio las fronteras se desvanecen pero aparecen nuevos e impensables territorios culturales. ...*

El presente capítulo presenta la aplicación desarrollada con base en el diseño teórico del modelo propuesto, demostrando la viabilidad de la implementación y permitiendo su validación.

### 7.1. Plataforma Experimental SICAD+

Recogiendo los conceptos y la propuesta del modelo planteado se diseña y construye la plataforma experimental SICAD+, Sistema Inteligente de Cursos Adaptativos + (+: MAS: **M**ulti**A**gent **S**ystem)) que puede verse como una plataforma para el montaje de cursos adaptativos, permitiendo la selección de diversas visiones y propuestas al momento de entrar en funcionamiento.

En la plataforma se pueden definir los OE, la estructura del curso, almacenar las UE, determinar el perfil del alumno y generar el curso personalizado aprovechando diversas técnicas. Es una aplicación completamente funcional, que puede ser usada para el montaje de diversos cursos y aplicando diferentes tendencias pedagógicas en el marco conceptual del modelo planteado en esta tesis.

El sistema fue diseñado para cursos virtuales en la Web, en un esquema cliente/servidor. Es un desarrollo con base en herramientas libres y multiplataforma, por lo que puede ser instalado en diversos servidores tanto en ambientes Windows como Linux y permite el acceso desde cualquier plataforma que posea un navegador Web. El modelo se validó para un área temática específica, Auditoría de Sistemas, pero la esencia del mismo ha podido ser aplicada en otros dominios con los mismos resultados en la generación personalizada del curso.

## 7.2. Arquitectura de SICAD+

En la figura 7.1 se muestra cómo interactúan los componentes del sistema.

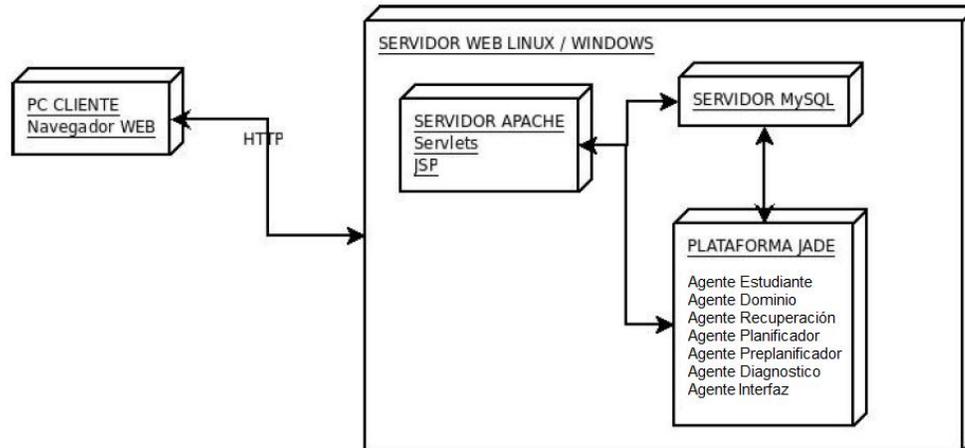


Figura 7.1: Arquitectura de SICAD+

El servidor Web es Apache Software Foundation Tomcat 6.20, con soporte para el motor de base de datos MySQL 5.0. Los programas se desarrollaron en java j2sdk1.6.0. La plataforma JADE (Bellifemine, Poggi y Rimassa, 2001), (JADE, 2000) fue aprovechada para el desarrollo del SMA.

La integración entre la lógica de presentación (JSP) de la aplicación Web y la plataforma multi-agente se realiza por medio de la librería JadeGateway ofrecida en los paquetes JADE.

## 7.3. Plataforma JADE

Para el desarrollo del SMA se aprovechó el framework JADE (JADE, 2000), entorno de trabajo que simplifica la construcción de SMA a la vez que provee un conjunto de herramientas para la depuración de la plataforma. JADE. (Java Agent DEvelopment framework) es un proyecto desarrollado por el CSELT (Centro Studio e Laboratori Telecomunicazione), perteneciente al Departamento de Ingeniería de la Información de la Universidad de Parma, que se lleva a cabo desde el año 1997 y que sigue en continua evolución. Es una herramienta software totalmente implementada en Java, cuyo objetivo es simplificar el desarrollo de sistemas multi-agente a través de un conjunto de sistemas, servicios y agentes. La página oficial del proyecto es <http://jade.tilab.com>.

Los agentes JADE tienen nombres únicos y se permite a cada agente descubrir a otros agentes y comunicarse con ellos mediante comunicaciones punto a punto. Los agentes proporcionan servicios, cada agente puede buscar a otros dependiendo de los servicios que proporcionen otros agentes. La comunicación entre agentes se lleva a cabo a través de mensajes asíncronos, es decir, el agente que envía el mensaje y el destinatario del mensaje no tienen porqué estar disponibles al mismo tiempo.

Es más, el destinatario no tiene porqué existir en ese instante. Los mensajes se pueden enviar a un agente en concreto o se pueden enviar a agentes que se desconocen pero se sabe que poseen unas ciertas características. JADE proporciona mecanismos de seguridad, ya que hay agentes a los que no se les esté permitido comunicarse con otros agentes, de manera que una aplicación puede verificar la identidad del receptor y del agente que envía el mensaje y no dejar realizar actuaciones no permitidas para un determinado agente.

Las principales características que ofrece JADE son:

**Arquitectura.** Intenta contemplar en sus sistemas los estándares FIPA en su totalidad. Cada instancia del entorno de ejecución se denomina contenedor (container). Al conjunto de los contenedores se le denomina plataforma (platform) y proporciona una capa que oculta a los agentes (y al desarrollador) el entorno donde se ha decidido ejecutar la aplicación. En cada plataforma debe existir un contenedor especial denominado contenedor principal (main container).

**Distribución.** Freeware.

**Interfaz.** No presenta un interfaz para el desarrollo pero sí para el control de la ejecución del sistema de agentes.

**Lenguaje de comunicación.** Utiliza el lenguaje estándar de FIPA, el ACL.

**Movilidad.** La movilidad es posible dentro de la plataforma JADE.

**Creación de agentes.** JADE permite el registro y eliminación automática de agentes con el AMS (Agent Management System) en cualquier momento de la ejecución ya sea local o remotamente.

**Lenguaje de programación.** JADE está implementado en Java.

**Componentes:** JADE proporciona un conjunto de herramientas (agentes) que simplifican la administración de la plataforma de agentes, entre estas:

- El Remote Management Agent (RMA) actúa como consola gráfica para la gestión y control de la plataforma. Es necesaria para iniciar el resto de herramientas.
- El Dummy Agent es una herramienta de depuración y visualización, en la que es posible componer mensajes ACL y enviarlos, visualizar la lista de todos los mensajes ACL enviados o recibidos, así como la información contenida en dichos mensajes.
- El Sniffer es un agente capaz de interceptar mensajes ACL y mostrarlos gráficamente utilizando una notación similar a los diagramas de secuencia de UML. Es bastante útil para depurar las sociedades de agentes mediante la observación de cómo intercambian mensajes ACL.
- El SocketProxyAgent es un agente simple que actúa como enlace bidireccional entre una plataforma JADE y una conexión TCP/IP, y se utiliza para canalizar los mensajes entrantes y salientes de una plataforma JADE.
- El DF GUI es interfaz gráfico utilizado junto con el Directory Facilitator de JADE para crear complejas redes de dominios y subdominios. Esta interfaz permite controlar el conocimiento de los DFs y registrar, modificar o buscar dentro de ellos.

Los agentes son construidos en java y deben ser compilados para obtener las clases que los repre-

sentan:

```
javac AgenteEstudiante.java
```

Para ejecutar agentes bajo JADE llamando la interfaz gráfica, se emplea instrucciones similares a la siguiente:

```
java jade.Boot -gui agenteEstudiante:ClaseAgente
```

La figura 7.2 muestra una de las pruebas realizadas en el proceso de implementación de la plataforma, donde se aprecia el intercambio de mensajes entre los agentes bajo control.

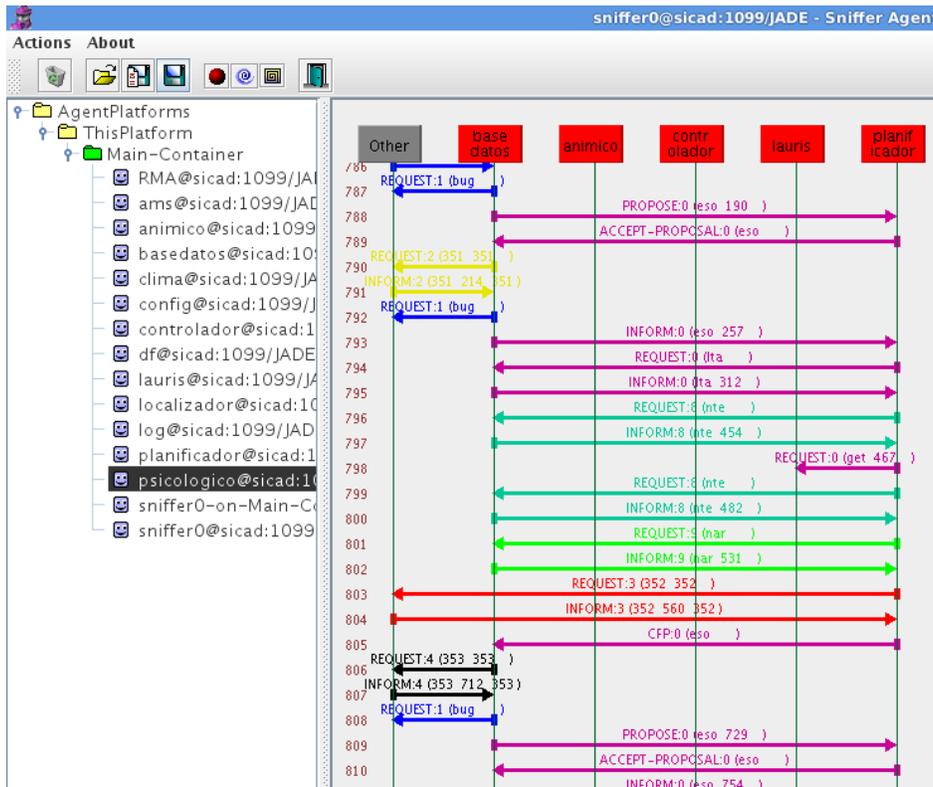


Figura 7.2: Plataforma JADE - Sniffer

## 7.4. Instalación de SICAD+

Para instalar la aplicación se requiere que previamente esté instalado el servidor Web Apache y el servidor de Base de Datos MySQL. El proceso de instalación del aplicativo en el sistema operativo Linux Ubuntu, se muestra a continuación:

1. Descomprimir la carpeta SICADv2.tar.gz dentro de un directorio temporal, así:

```
mkdir tmp
```

```
tar -xzvf SICADv2.tar.gz
```

2. Mover la carpeta `sicad` al directorio `webapps` del servidor `tomcat`:

```
mv sicad <CATALINA_HOME\>/webapps
```

3. Ejecutar el script de creación de la base de datos, en un servidor `MYSQL` así:

```
mysql -u root -p '<password>' < sicad.sql
```

## 7.5. Disposición de los elementos en la aplicación

Para ingresar al sistema `SICAD+` se debe acceder al servidor `Web`, digitando en la barra de dirección el URL del aplicativo, por ejemplo, si se ha realizado la instalación en el servidor `Web Tomcat` local:

`http://localhost:8080/sicad`

En otro caso `localhost` se reemplaza por la dirección `IP` del servidor.

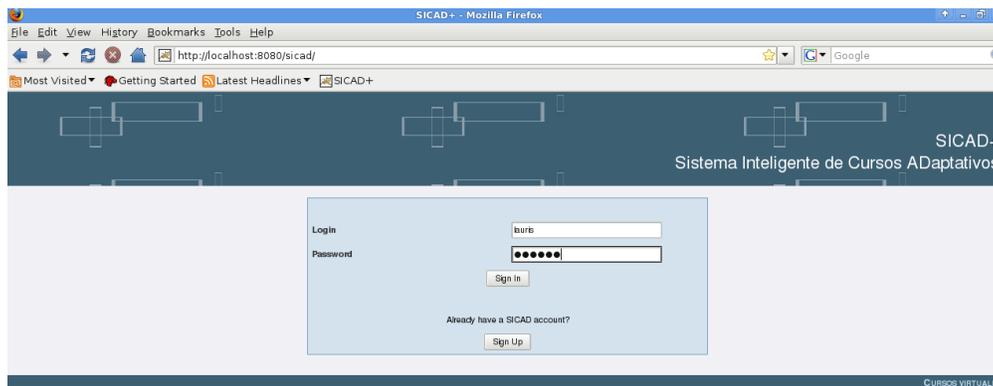


Figura 7.3: Ingresar al sistema `SICAD+`

Al ingresar el usuario encuentra un menú que le permite acceder a las opciones establecidas para su perfil. La figura 7.4 muestra la pantalla inicial para el caso de un estudiante.

El sistema brinda la posibilidad de crear varios perfiles de usuarios, en particular: estudiante, profesor, administrador.

El perfil docente lo habilita para crear y administrar los cursos virtuales y gestionar todos sus componentes. Un estudiante puede realizar acciones para inicializar ciertas características del estudiante (llenar formularios, realizar los test) o consultar cursos activos o sus propias características almacenadas, como se aprecia en la figura 7.5



Figura 7.4: Pantalla Principal SICAD+

## 7.6. Caso de Estudio

Como forma de validar el sistema se construyó un curso básico de Auditoría de Sistemas, aplicando los conceptos y decisiones propuestas. Los pantallazos siguientes están asociados a dicho caso de estudio. Al final podemos concluir que la plataforma recoge el modelo propuesto y se logra generar un curso adaptativo a partir de la estructura del curso y reconociendo el perfil del estudiante.

La figura 7.6 permite apreciar la forma jerárquica como se estructura un curso. Como se ve la definición del mismo está en términos de los OE a conseguir.

Definido el curso se requiere asociar las UE que permiten obtener los logros para el mismo. Esta definición actualiza los metadatos de la UE y será la base para el proceso de generación del plan. La figura 7.7 permite ver como se realiza en la plataforma SICAD+ esta asociación.

A partir de esta definición de los cursos, el estudiante puede ingresar al mismo, lo que dispara en forma automática el proceso de planificación.

El estudiante puede tener varios cursos activos, al optar por uno se despliega una pantalla como la mostrada en la imagen 7.8

Si el estudiante decide continuar el sistema le entrega un curso personalizado, presentando las UE que conforman el plan generado. La gráfica 7.9 refleja los elementos de un plan para el caso de estudio.

El pre-planificador permite transformar el problema de la generación del curso en un problema de planificación, el cual se representa en XML, como puede verse a continuación:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<problema>
  <curso>38</curso>
  <estudiante>6</estudiante>
  <estadoinicial>
```

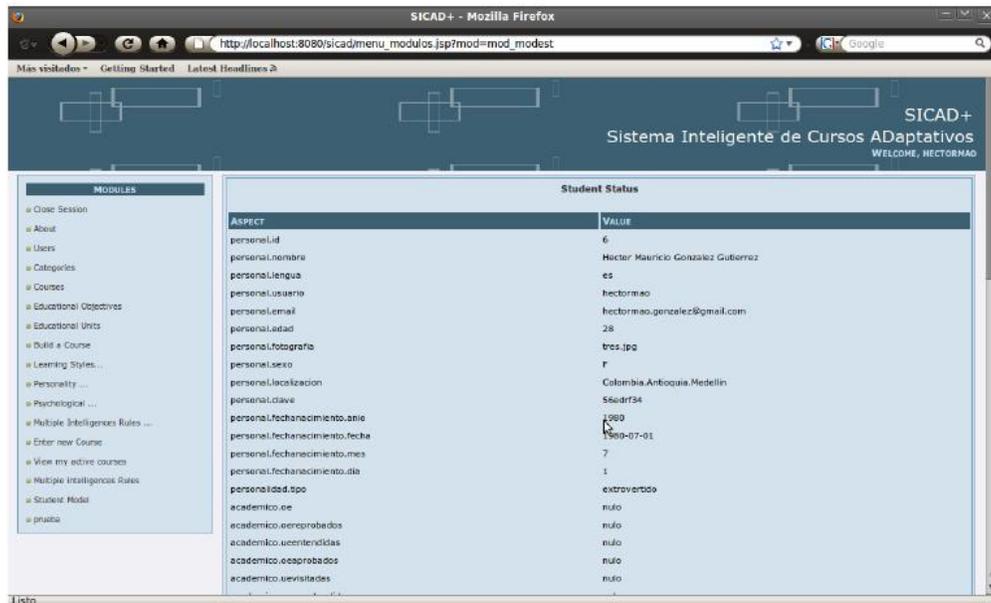


Figura 7.5: Perfil actual del estudiante

```

<oe>172</oe>
<oe>173</oe>
</estadoinicial>
<tareas />
<dominio>
  <operadores />
  <metodos />
</dominio>
</problema>

```

## 7.7. Conclusiones del capítulo

La plataforma desarrollada muestra la factibilidad de implementar el modelo propuesto y se convierte en una herramienta experimental que puede permitir intercambiar los componentes para evaluar los resultados en los procesos de adaptación, pero más allá puede ser utilizada para evaluar la efectividad de los sistemas personalizados en diferentes variantes y con diversas poblaciones objetivos.

Su desarrollo con base en herramientas libres y multiplataforma rompe muchas de las limitaciones en otras aplicaciones y garantiza su portabilidad.

Esta plataforma continúa en constante evolución y su modelamiento y construcción soportada en Sistemas Multi-Agente abre un amplio camino para intercambiar fácilmente módulos con diferentes

254	OE42: Analizar las diferentes TAAC	0	Edi   Delete   Educational Units
255	OE47: Utilizar la técnica Datos de Prueba	254	Edi   Delete   Educational Units
256	OE48: Describir la técnica Datos de Prueba	255	Edi   Delete   Educational Units
257	OE49: Reconocer las ventajas y desventajas de la técnica Datos de Prueba	255	Edi   Delete   Educational Units
258	OE50: Comprender los elementos relevantes para la aplicación de la técnica Datos de Prueba	255	Edi   Delete   Educational Units
259	OE51: Utilizar la técnica Minicompañía o ITF (Integrated Test Facility).	254	Edi   Delete   Educational Units
260	OE52: Describir la técnica Minicompañía	259	Edi   Delete   Educational Units
261	OE53: Reconocer las ventajas y desventajas de la técnica Minicompañía	259	Edi   Delete   Educational Units
262	OE54: Comprender los elementos relevantes para la aplicación de la técnica Minicompañía	259	Edi   Delete   Educational Units
263	OE55: Utilizar la técnica Simulación Paralela.	263	Edi   Delete   Educational Units
264	OE56: Describir la técnica Simulación Paralela	263	Edi   Delete   Educational Units
265	OE57: Reconocer las ventajas y desventajas de Simulación Paralela	263	Edi   Delete   Educational Units
266	OE58: Comprender los elementos relevantes para la aplicación de la técnica Simulación Paralela	263	Edi   Delete   Educational Units

Figura 7.6: Estructura de un curso en SICAD+

The screenshot shows the SICAD+ interface. The header includes the system name 'SICAD+ Sistema Inteligente de Cursos ADaptativos' and the user name 'WELCOME, ADMIN'. The sidebar menu lists various modules such as 'Close Session', 'About', 'Users', 'Categories', 'Courses', 'Educational Objectives', 'Educational Units', 'Learning Styles...', 'Personality...', 'Psychological...', 'Multiple Intelligences Rules...', 'Enter new Course', 'View my active courses', and 'Student Model'. The main content area is titled 'Educational Units for [260] OE52: Describir la técnica Minicompañía'. It contains a table with the following data:

ID	DESCRIPTION	OPERATION
608	UE390	Delete
609	UE391	Delete
610	UE390	Delete

Below the table, there is a dropdown menu labeled 'Select an Educational Unit' with the value '65 unidad educativa.06' and an 'Add' button.

Figura 7.7: Asociación de UE con los OE

filosofías, permitiendo afinar permanente su desempeño.



Figura 7.8: Ingreso a un curso en particular

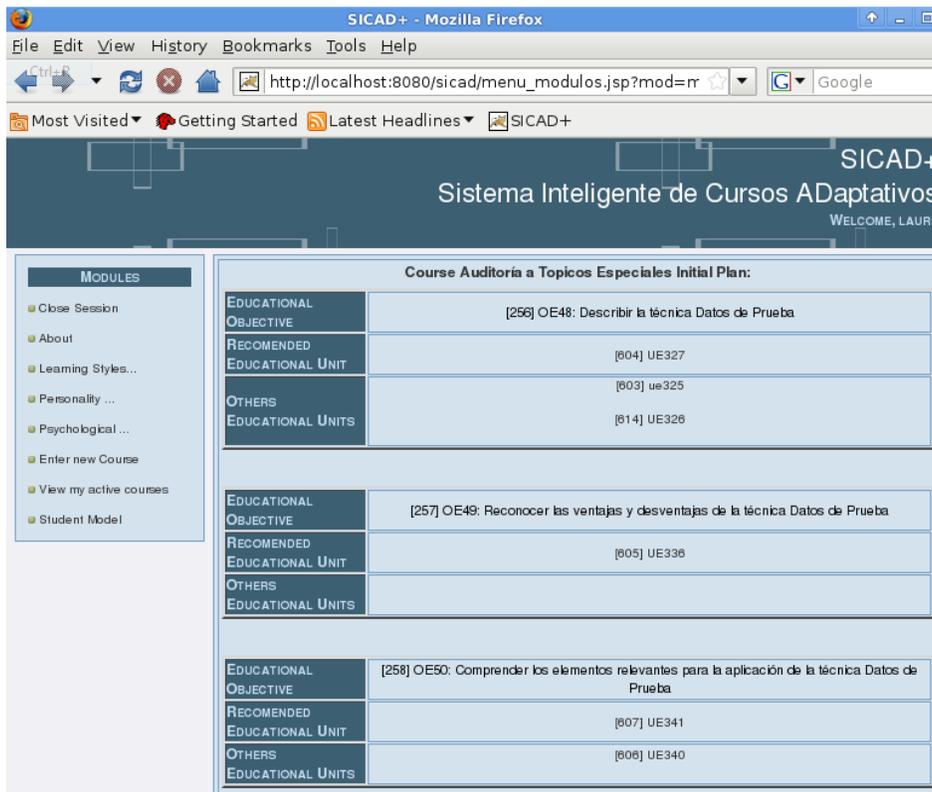


Figura 7.9: Plan para área temática Auditoría de Sistemas



## Capítulo 8

# Conclusiones y Trabajo Futuro

*...Estamos recorriendo el camino del sueño... Un sistema que apoye al estudiante en su proceso formativo y que permita al maestro desplegar toda su capacidad para generar nuevas rutas hacia el saber. ...*

### 8.1. Conclusiones y aportes

Este trabajo se propuso como objetivo enfrentar algunas limitaciones encontradas en el referencial teórico respecto a deficiencias en el aprovechamiento de tecnologías de punta en los sistemas de educación virtual, en particular la falta de un esquema genérico de personalización de los cursos, lo que requiere definir los elementos que deben ser tenidos en cuenta en cada estudiante para adaptar el curso y a la vez asociar estas diferencias con materiales y actividades que reconozcan en la práctica al alumno, esperando que ésto se traduzca en una mejor efectividad del proceso de enseñanza-aprendizaje.

El resultado final es la definición e implementación de un modelo neutro, abierto, genérico, funcional, intercambiable que privilegia al estudiante en el proceso educativo, pero que además permite que los docentes e investigadores plasmen sus visiones y propuestas orientadas al crecimiento personal y a la formación integral de los estudiantes.

Se lograron cumplir los objetivos planteados en la propuesta inicial así:

- Luego de una amplia revisión del estado del arte se evaluaron los diferentes componentes involucrados y las técnicas que permitían plantear y desarrollar un modelo como el propuesto. Como se plantea en el capítulo relacionado con el modelo, esta propuesta parte de la necesidad de permitir un modelo del estudiante que incluya los elementos relevantes en el proceso de adaptación, a la vez que un modelo de dominio que parta de una estructura de curso que refleje la intencionalidad del proceso, expresado en términos de jerarquía de Objetivos Educativos (OE) con alto nivel de detalle, separados de los materiales o Unidades Educativas (UE), lo que permite su reutilización. La estrategia de adaptación independiente del curso en particular se apoya en los metadatos de

las UE y los OE para construir y entregar el curso personalizado. Tales metadatos respetan los estándares internacionales LOM y DCMI. Tanto en el proceso de actualización de los datos, en la generación del plan y el modelo genérico se propone el uso de técnicas de IA aprovechando sus grandes ventajas en sistemas similares. En particular técnicas de planificación en IA, Razonamiento Basado en Casos, Sistemas Expertos, Redes Neuronales y Sistemas Multi-Agente.

- El modelo propuesto es neutral ante las diferentes visiones y enfoques desde lo pedagógico y tecnológico y facilita que al momento de la implantación se tomen las decisiones respectivas con respecto a taxonomías, características a incluir y elementos determinantes en el proceso de adaptación, mientras que se mantenga la consistencia entre estos atributos y las reglas que guían la personalización. La inclusión de un novedoso pre-planificador da gran versatilidad al sistema y es uno de los aportes importantes de esta tesis, pues permite entregar en forma transparente el problema de la generación del curso como un problema de planificación en IA (AI Planning).
- Un punto sustancial en el cumplimiento de este objetivo fue la adopción de los SMA para modelar y distribuir el conocimiento requerido. Las ventajas de modularidad, escalabilidad, cooperación, interacción e intercambiabilidad fueron ampliamente explotadas. Aprovechando las bondades de los SMA y su capacidad para permitir integración posterior, el sistema puede crecer en otros bloques de adaptación, lo cual está por fuera del alcance de esta tesis y se plantea como trabajo futuro.
- Con el fin de validar la propuesta se diseñó y construyó la plataforma experimental SICAD+ (Sistema Inteligente ADaptativo MAS), desarrollada sobre Java, JADE y MySQL, la cual está en constante mejoramiento y sobre la que se adelantan nuevos proyectos que permitan refinar la aplicación, en particular afinar el proceso de ejecución y la implementación de los módulos de evaluación e interfaces adaptativas.

Podemos resumir los aportes principales de esta tesis en la definición de un modelo adaptativo de propósito general, reflejado en la no sujeción a un tipo de curso o área temática en particular; en la posibilidad de incluir diferentes visiones sobre las características relevantes del estudiante en el proceso de enseñanza-aprendizaje, soportado en un modelo del estudiante que se actualiza dinámicamente mediante diversas técnicas de IA, lo que fortalece el proceso de adaptación; en permitir diversas formas de representar la estructura curso a partir de los logros esperados (OE); en la adopción de metadatos estándares para especificar los materiales de enseñanza que soportan las actividades educativas en el proceso (UE); en la posibilidad de reutilización de las OE y UE para la composición y generación de nuevos cursos personalizados. El núcleo del sistema es un planificador inteligente que incorpora la estrategia de adaptación genérica y que, valiéndose de un novedoso pre-planificador propuesto, traduce el problema de generación del curso en un problema de planificación en IA, el cual es resuelto con el potente algoritmo HTN. La propuesta aprovecha las ventajas de los SMA para garantizar la modularidad, neutralidad, versatilidad e intercambiabilidad de sus componentes.

## 8.2. Trabajo futuro

Como trabajo futuro, algunos de cuyos objetivos ya están formulados para su desarrollo, se plantea la incorporación de otros bloques de adaptación como es el caso de evaluación adaptativa, interfaces adaptativas, biblioteca y recomendación inteligente, recuperación inteligente de OA e incluir agentes compañeros que incentiven el proceso.

Además se requiere implementar una herramienta de autor que facilite la construcción y organización de las UE.

Evaluar la compatibilidad con otros estándares globales como SCORM.

Desde el punto de vista de la definición de la estructura del curso el hecho de contar con una interfaz gráfica para la construcción del árbol de OE, facilitaría mucho el proceso, en particular en cursos con alta complejidad.

Hay un espacio de trabajo importante orientado al diseño e intercambio de componentes del sistema construidos bajo otras ópticas, facilitando mejoras o pruebas de alto valor investigativo.

La evaluación del modelo y la plataforma, con estudiantes y cursos reales de diversas temáticas es un aspecto por desarrollar. En particular la aplicación con estudiantes especiales ha sido una sugerencia recibida.



# Referencias Bibliográficas

- Acosta B., Maria Isabel; Salazar I., Harold; Zuluaga M., Camilo A. *Tutorial de Redes Neuronales*, disponible en: <http://ohm.utp.edu.co/neuronales/> 2000.
- Alencar, W. S. *Sistemas tutores inteligentes basados em Redes Neurais*. MSC. Dissertation. Federal University of Goiás. Brasil. 2000
- Alonso, C.M; Gallego, D.J.; Honey, P. *Los estilos de aprendizaje. Procedimientos de Diagnóstico y Mejora*. 4a Edición. Ediciones Mensajero, Bilbao. 1999.
- Ambite, José Luis. Knoblock Craig. Planning by Rewriting. *Journal of Artificial Intelligence Research* 15.2001.
- Ivon Arroyo, Tom Murray, Beverly P. Woolf, Carole Beal, *Inferring unobservable learning variables from students help seeking behavior*, Computer Science Department, University of Massachusetts Amherst. Maceio, 2004.
- Baker, R. Corbett, A. Wagner, A. *Human Classification of Low-Fidelity Replays of Student Actions*. ITS 2006.
- Baquero G, Mariana y Parra R, O. *El diseño Educativo*. Universidad Santo Tomas. Bogota. 1985.
- Bellifemine, F., Poggi, A. y Rimassa, G. *JADE: a FIPA2000 compliant agent development environment*. Actas de conferencia. Proceedings of the fifth international conference on Autonomous agents, ACM. 2001.
- Benyon, David. *Accommodating Individual Differences through an Adaptive User Interface*. Computing Dept., Open University. Ámsterdam. Holland. Elsevier Science Publishers B.V., 1993. Disponible en: <http://www.dcs.napier.ac.uk/dbenyon/inddiff.pdf>
- Benyon, D. R. and Murray, D. M. *Applying user modelling to human-computer interaction design* AI Review (6) pp 43 - 69, 1993. Disponible en: <http://www.dcs.napier.ac.uk/dbenyon/AIReview.pdf>
- Birzea, Cesar. *Hacia una didáctica por objetivos*. Ediciones Morata. Madrid 1980.

- Bloom, Benjamín S. *Taxonomía de los Objetivos de la Educación*. Décima edición. Editorial El Ateneo. Buenos Aires. 1990.
- Boeree, George. *Eysenck Personality Minitest*. Shippensburg University, 2007. Disponible en <http://webpace.ship.edu/cgboer/eysenckminitest.html>. Fecha Consulta: Noviembre 2007.
- Brown, E. Cristea, A. Stewart, C. Brailsford, T. *Patterns in Authoring of Adaptive Educational Hypermedia: A Taxonomy of Learning Styles*. Educational Technology and Society. Proyecto ADAPT. 2005
- Brusilovsky, P. Eklund, L and Schwarz E. *Web-based Education for All: A Tool for Developing Adaptive Courseware* in Computer Networks and ISDN Systems (Seventh International World Wide Web Conference) 30, 1-7, 291-300, 1998.
- Brusilovsky, P y Maybury. *From Adaptive Hypermedia to the Adaptive Web*. ACM. 2002.
- Brusilovsky, P. Peylo, C. *Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems*. International Journal of Artificial Intelligence in Education . 2003. IOS Press
- Brusilovsky, P. Sosnovsky, S. Yudelson, M. Chavan, G. *Interactive Authoring Support for Adaptive Educational Systems*. Aied 2005.
- Brusilovsky, Peter. Vassileva, Julita. *Course sequencing techniques for large-scale web-based education*. Engineering Education and Lifelong Learning, Vol. 13 Nos. 1 y 2. 2003. Available from: <http://julita.usask.ca/Texte/BrusilovskyVassileva-print.pdf>
- Carmona C, Bueno D, Guzmán E, Conejo R. *SIGUE: Making Web Courses Adaptive*. Second International Conference, AH 2002.
- Carro, R.M. , Pulido, E. y Rodríguez, P. *Creación de cursos adaptativos en TANGOW mediante tareas, reglas y elementos multimedia*. Escuela Técnica Superior de Informática, Universidad Autónoma de Madrid. 2003
- Castells P., Macías J. A. *Diseño interactivo de cursos adaptativos*. <http://www.ii.uam.es/>
- Chang, K., Beck, J. E., Mostow, J., y Corbett, A. 2006. *Does Help Help? A Bayes Net Approach to Modeling Tutor Interventions*. AAAI2006 Workshop on Educational Data Mining, Boston, MA. 2006
- Ng Cheong Vee, Meyer, Mannock. *Understanding novice errors and error paths in Object-oriented programming through log analysis*. ITS 2006
- Chorfi, H y Jemni, M. *PERSO: Toward and adaptive e-learning system*. 2004.
- VI Congreso Virtual de Educación. CIVE 2006*. España. Febrero de 2006.

- Cobo, P.; Fortuny, J. *El sistema tutorial AgentGeom y su contribución a la mejora de las competencias de los alumnos en la resolución de problemas de matemáticas*. Disponible en: <http://blues.uab.es/ipdmc/tecnologia/AgentGeom.pps>. 2004.
- Conati, Cristina. *Building a Probabilistic Model of User Affect from Causes and Effects*. 2006.
- Conati, c. Gertner, A. y Vanlehn. K. *Using Bayesian Networks to Manage Uncertainty in Student Modeling*. University of Pittsburgh. 2002
- Conejo, Ricardo. Millán, Eva. Pérez de la Cruz, José Luis. Trella, Mónica. *Modelado del alumno: un enfoque bayesiano*. 2001
- Cristea, A. Carro, R. Garzotto, F. *A3EH: The 3rd workshop of Authoring of Adaptive and Adaptable Educational Hypermedia*. AIED. Holanda. 2005
- Cowan C, Delcambre L, Le Meur A, Liu L, Maier D, McNamee D, Miller M, Pu C, Wagle P, and Walpole J. (1998), *Adaptation Space: Surviving Non-Maskable Failures* Department of Computer Science and Engineering Oregon Graduate Institute of Science and Technology
- De Bra, Paul, Calvi, L. *AHA: Adaptive Hypermedia Architecture*. Eindhoven University of Technology (TUE). 1998. Disponible en: <http://wwwis.win.tue.nl/debra/review/paper.html>.
- DCMI. *The Dublin Core Metadata Initiative DCMI. DCMI Recommendations*. Disponible en: <http://dublincore.org/index.shtml>
- de Lacerda, C. Komosinski, L. Pacheco, L. *Uma Base Teórica para Construção de Sistemas RBC Educacionais*. IV Congresso RIBIE, Brasília 1998.
- DeLoach Scott A. *Analysis and Design using MaSE and agentTool*, 2001.
- De Vicente, Angel. *Towards tutoring systems that detect students motivation: an investigation*. University of Edinburgh. 2003
- Dias Flores, Cecília. *Negociação Pedagógica Aplicada a um Ambiente Multiagente de Aprendizagem Colaborativa*. Tesis doctoral. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, abril de 2005.
- Duque M, Nástor Darío. Guzmán, J. y Jiménez R, Claudia. *AI Planning for automatic generation of customized virtual courses*. 16th European Conference on Artificial Intelligence. Valencia. España. 2004.
- Duque M, Néstor Darío y Guzmán, Jaime. *Generación Automática de Planes Instruccionales Personalizados mediante el Planificador SHOP2*. Revista Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Marzo 2005.

- Duque Méndez, Néstor Darío. *Modelo de cursos virtuales adaptativos en un ambiente de planificación inteligente*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Colombia 2005.
- Duque Méndez, Néstor Darío., Ovalle, Demetrio, Jiménez, Jovani. *Sistema Inteligente de Cursos Adaptativos basado en el Perfil del Estudiante*. CИСCI 2006. Orlando Fl. USA. 2006.
- Duque Méndez, Néstor Darío. *Reporte de Investigación. Doctorado en Ingeniería*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Colombia. 2006.
- Duitama, Freddy. *An Educational Component Model for Adaptive Web-based Courses*. Tesis PhD, Institut National de Télécommunications et L'Université d'Evry. Evry, France. 2005.
- Eraut, S. *Psicología de la educación*. Publicado en la recopilación *Psicología de la educación*, a cargo de E. Stones, Tomo II. Ediciones Morata. Madrid. 1970.
- Fabregat, J.; Marzo, C.; Peña, I. *Teaching Support Units*. Computers and Education in the 21st Century: Kluwer Academic Publishers.
- Felder y Soloman. *Learning Styles and Strategies*. Disponible en: [www2.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/ILSdir/styles.htm](http://www2.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/ILSdir/styles.htm) 1997
- Felder, R.M. *Matters of Style*. ASEE Prism, 6(4), 18-23. Diciembre 1996.
- Fleming, Neil. *VARCK. A Guide to Learning Styles*. 2001. Disponible en <http://www.vark-learn.com/>
- Gagne, R. *Principios básicos del aprendizaje para la instrucción*. Argentina. 1983
- García, C. Martínez, L. Montes B. y Sánchez, P. *An Automatic Educational Quality Evaluation Fuzzy System*. IADAT-e2004.
- Gardner, Howard. *Estructuras de la Mente: La Teoría de las Inteligencias Múltiples*, 1995.
- Gentry, J.A. y Helgesen, M.G. *Using Learning Style Information to Improve the Core Financial Management Course*. Financial Practice and Education, Spring-Summer 1999.
- Giraffa, L. M. M.; Viccari, R. M. *Intelligent tutoring systems built using agents techniques*. Revista de Educação, Ciência e Cultura, Canoas: La Salle, p.23-40,1999.
- González G, H., Duque Méndez, N. D., Ovalle C., D. *Modelo del Estudiante para Sistemas Adaptativos de Educación Virtual*. Revista Avances en Sistemas e Informática, Vol. 5 No. 1 Medellín Mayo de 2008.
- González G, H., Duque Méndez, N. D., Ovalle C., D. *Técnicas inteligentes para la actualización dinámica del perfil del usuario en un sistema de educación virtual*. Tendencias en Ingeniería de Software e Inteligencia Artificial. Medellín julio de 2009.

- Goulart, R; Giraffa, L. *Utilizando a tecnologia de agentes na construção de Sistemas Tutores inteligentes em ambiente interativo*. XII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, 2001, Vitória, Espírito Santo. Anais: SBC, 2001.
- Hendler, J., Wu, D., Sirin, E., Nau, D. and Parsia, B. *Automating DAML-S Web Services Composition Using SHOP2*. 2003.
- Honey, Peter. *Learning Styles. their relevance to training courses*. Disponible en: <http://www.peterhoney.co.uk/Article/55>
- Alonso, Catalina M., Gallego, Domingo J. y Honey, Peter. *CHAEA. Cuestionario Honey-Alonso de Estilos de Aprendizaje*. Disponible en <http://www.aprenditransfer.com.ar/chaea.shtml> o [www.ice.deusto.es/guia/test0.htm](http://www.ice.deusto.es/guia/test0.htm)
- Herrera Rojas, Aura Nidia. *Algunas consideraciones técnicas sobre la construcción de ítems de pruebas objetivas según la clasificación de objetivos educativos de Bloom*. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá. 2003.
- IEEE. *Learning Technology Standards Committee. Learning Object Metadata Standard Maintenance/Revision*. 2002.
- IMS Global Learning Consortium. *Specifications section*. Disponible en: <http://www.imsproject.org>.
- ITS. *7Th International Conference Intelligents Tutoring Systems*. Brasil. 2004.
- Iglesias, Carlos Angel. *Definición de una metodología para el desarrollo de sistemas multiagente*. Tesis doctoral. Departamento de ingeniería de sistemas telemáticos. Universidad Politécnica de Madrid. 1998.
- Ingeniería de la Información de la Universidad de Parma. *JADE: Java Agent Development Framework*. <http://jade.tilab.com/>
- Jadud, M. *A first look at novice compilation behaviour using bluej*. Computer Science Education, 2005.
- Jaques, P. *Using an Animated Pedagogical Agent to Interact Affectively With the Student*. Pós-Graduação em Ciências da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tesis Doctoral.
- Jaques, P, Vicari, R, Pesty, S, Bonneville, J. *Applying Affective Tactics for a Better Learning*. España. ECAI 2004.
- Jaques, P., Vicari, R. *PAT: Um Agente Pedagógico Animado Para Interagir Afetivamente Com O Aluno*. Brasil. 2005.
- Jiménez, Jovani. *Un Modelo de Planificación Instruccional usando Razonamiento Basado en Casos en Sistemas MultiAgente para entornos integrados de Sistemas Tutoriales Inteligentes y Ambientes*

- Colaborativos de Aprendizaje Apoyados en Computador*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. 2006
- Jiménez, J. *Modelo de Sistema Multi-Agente integrados con Ambientes Colaborativos de Aprendizaje*. Colombia. 2006.
- Karagiannidis C., Koumpis A., Stephanidis C. *Deciding 'What', 'When', 'Why', and 'How' to Adapt in Intelligent Multimedia Presentation Systems*. 12th European Conference on Artificial Intelligence. Workshop "Towards a Standard Reference Model for Intelligent Multimedia Presentation Systems". Budapest, Hungary, August 16, 1996.
- Kay, J. Maisonneuve, N. Yacef, K. Zaïane, O. *Mining patterns of events in students teamwork data*. ITS 2006.
- Yanghee Kim y Quan Wei. *Virtual Peers Help Increase Learner Self-Efficacy*. Utah State University. ED-MEDIA 2006. World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications. Orlando. USA. 2006
- Yanghee Kim, Nick Flann, Quan Wei, Young-Ah Ko y Sarath B. Alla. *MathGirls : Motivating Girls to Learn Math Through Pedagogical Agents*. Utah State University. ED-MEDIA 2006. World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications. Orlando USA. 2006]
- Kolb, D.A. *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1984.
- Kölling, M., Quig, B., Patterson, A. and Rosenberg, J. *The bluej system and its pedagogy*. Journal of Computer Science Education, Special Issue on Learning and Teaching Object Technology. 2003.
- Komosinski, L. de Lacerda, C. Borges, P. *Aprendizagem Mediada por Algoritmos Genéticos*. IV Congresso RIBIE, Brasilia 1998
- Kontopoulos, E. , Vrakas, D., Kokkoras, F., Bassiliades, N., Vlahavas, I. *An ontology-based planning system for e-course generation*. Expert Systems with Applications 35. Elsevier. Science Direct. 2008
- Kurhila, Jaakko. *Considering Individual Differences in Computer-Supported Special and Elementary Education*, PhD Thesis, University of Helsinki, Finland 2003. Disponible en <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/mat/tieto/vk/kurhila/consider.pdf>
- Langley, P. *Machine learning for adaptive user interfaces*, in Proc. of the 21st German Annual Conference on Artificial Intelligence. 1997. Disponible en: <http://www.isle.org/langley/adapt.html>.
- Leake, David B. *Learning Adaptation Strategies by Introspective Reasoning about Memory Search*. 1993.
- Litman, Diane J. Forbes-Riley, Kate. *Recognizing student emotions and attitudes on the basis of utterances in spoken tutoring dialogues with both human and computer tutors*, 2005

- Lizcano de Guerrero, Carmen C. *Plan Curricular*. Universidad Santo Tomás. Tercera edición. Bogotá 1989.
- López B., Karol, Duque M., Néstor, Brochero B., D. *Replanificación de Actividades en Cursos Virtuales con Árboles de Decisión, Lógica Difusa y Colonias de Hormigas en seguimientos individuales de aprendizaje*. En revisión. Mayo 2009.
- Martin, R.H. and Odell. *Object oriented methodology: pragmatic considerations*. Prentice Hall, Upper Saddle River. 1996.
- Martins, W., Diniz de Carvalho, S. *An intelligent tutoring system based on self-organizing maps- design, implementation and evaluation*. ITS 2004. Brasil.
- Martins, W., Ramos, F., Meireles, V, Guimaraes, L. *A Novel Hybrid ITS and its Use of Psychological Profiles and LS*. ITS 2004. Brasil.
- Mérida, D. Fabregat, R. *SHAAD: Sistema Hipermedia Adaptable, Adaptativo y Dinámico para entrega de Contenidos Hipermedia*. Universidad de Girona. 2003.
- Minaei-Bidgoli, Behrouz. *Data Mining For A Web-Based Educational System*. Doctoral Thesis, Michigan State University. 2004.
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia. *Diseño de lineamientos generales de los procesos curriculares*. Bogotá. 1989.
- Mödritscher, F. García-Barrios, V. Gütl, C. Helic, D. *The first AdeLE Prototype at a Glance*. Institute for Information Systems and Computer Media, Faculty of Computer Science at Graz University of Technology, Austria. ED-MEDIA 2006. World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications. Orlando. USA. 2006
- Montgomery. *Addressing Diverse Learning Styles Through the Use of Multimedia..* Usa. 1995.
- Montenegro A, Ignacio. *Son las competencias el nuevo enfoque que la educación requiere?*. Revista Magisterio. Educación y Pedagogía. Bogotá. Febrero 2003.
- Moreno, M. Rosete, A. Simón, A. Valdés, R. Leyva, E. Socorro, R. Pina, J. Fernández, F. *Metodologías Orientadas a Agentes: Un Estudio Comparativo. Seguridad en Cómputo e Inteligencia Artificial*. Pereira. Colombia. 2005
- Moreno, Francisco. *Metadatos para componentes educativos reutilizables*. Tesis Maestría Universidad Nacional de Colombia Medellín. 2003.
- Muckenhaupt, M. Hanisch, F., Kurfess, F. *AHES: An adaptive hypermedia engine for software components*. University of Tubingen, Alemania. ED-MEDIA 2006. World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications. Orlando. USA. 2006.

- MultiBook*. Darmstadt University Alemania. Disponible en:  
[www.multibook.dk/MultiBook/multibook.htm](http://www.multibook.dk/MultiBook/multibook.htm). 1997.
- Murray, R.C., VanLehn, K. y Mostow, J. *Looking ahead to select tutorial actions: A decision-theoretic approach*. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2004.
- Murray, W. R. *Dynamic instructional planning in the BBI Blackboard Architecture*. Technical Report, FMC Corporation Artificial Intelligence Center 1988.
- Nakagawa, M.; Kuroda, T. *A Case-Based Reasoning System on the Internet for References of Information Technology Education to Teachers*. Proceedings of the International Workshop on Current Trends and Applications of Artificial Intelligence in Education, Ayala, G.
- Nau, D. Au, Tsz-Chiu. Ilghami, Okhtay. Kuter, Ugur. Wu, Dan. Yaman, Fusun. *SHOP2: An HTN Planning System*. Journal of Artificial Intelligence Research 20. 2003. Disponible en:  
<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/jair/pub/volume20/nau03a.pdf>.
- Oppermann, Reinhard. *User-interface design*. Institute for Applied Information Technology. Heidelberg (Alemania): Handbook on Information Technologies for Education u. Training, 2001. Disponible en Internet <http://fit.gmd.de/oppi/publications/UserInterfaceLearningSystems.pdf>
- Otto, Katja and Schumann, Heidrun. *An Information-Model for Presentation Generation*. University of Rostock, Computer Science Department.1999.
- Ovalle C., D; Jiménez B, J. *Planificación Instruccional usando CBR en Ambientes Inteligentes Distribuidos de Aprendizaje*. Universidad Nacional de Colombia. 2005
- Ovalle, D.; Jiménez, J. *Millennium: A Learning Framework based on Integrating Model of Intelligent Tutoring Systems and Computer Supported Collaborative Learning*. Proceeding of 1st LEDGRAPH Workshop (Distance Learning Environments for Digital Graphic Design Representation) of 7th International Conference on ITS2004.
- Papanikolaou, K.A. Magoulas, G.D. y Grigoriadou, M. *Computational Intelligence in Adaptive Educational Hypermedia*. IEEE. 2000
- Paques H, Liu L, and Pu C. *Adaptation Space: A Design Framework for Adaptive Web Services*. Georgia Institute of Technology, USA. 2004.
- Pardos, Heffernan, N. Anderson, B. y Heffernan, C. *Using Fine-Grained Skill Models to Fit Student Performance with Bayesian Networks*. ITS 2006.
- Park, H. *Design and Development of a Mobile Learning Management System Adaptive To Learning Style of Students*. IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education. 2005

- Pearson, E. bohman,P. *Preface*. ED-MEDIA 2006. World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications. Orlando. USA. 2006.
- Pearson, Elaine y Jones, Ray. *Designing adaptable learning resources*. University of Teesside, UK y London Metropolitan University. ED-MEDIA 2006. World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications. Orlando USA. 2006.
- Peña, Clara I. Marzo, José-L. Luis de la Rosa, Joseph y Fabregat, Ramón. *Un Sistema de Tutoría Inteligente Adaptativo considerando estilos de aprendizaje*. Universitat de Girona, España. 2002.
- Perea Robayo M. *Material de estudio para el Diplomado Virtual en Estilos de Aprendizaje*. Universidad del Rosario. Colombia, 2003.
- Pontecorvo, C. *Developing literacy skills through cooperative computer use: Issues for learning and instruction*. Spring-Verlag. 1993.
- Ramírez, J., de Antonio, A. *Automated Planning and Replanning in an Intelligent Virtual Environments for Training*. KES 2007/WIRN 2007, Part I, LNAI 4692, pp. 765-772, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007
- Romero L., Fernando, Arbelaez G, Martha, Vargas, Edilma, Garcias V, Alejandro, Gil R., Hernán. *Habilidades metacognitivas y entorno educativo*. Editorial Papiro. Pereira. 2002.
- Rosete, A., Duque M, N. *Modelo para optimizar la personalización de cursos virtuales*. Propuesta doctoral. CUJAE. Cuba. 2004.
- Salcedo Lagos, Pedro. *Inteligencia Artificial Distribuida y Razonamiento Basado en Casos en la Arquitectura de un Sistema Basado en el Conocimiento para la Educación a Distancia (SBC-ED)*. 2000
- Sanabria G, J. *Minería Web utilizando Lógica Difusa: Importancia, Estado del Arte*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2006.
- Sanabria G, J. *Aplicación de Diferentes Técnicas de Minería de Datos en el Sistema de Información Académica de la Universidad de los Llanos*. 2006.
- Sankar K Pal, Varun Talwar, Pabitra Mintra. *Web Mining in softcomputing framework: relavance, state of the art and future directions*. IEEE transactions on neuronal networks, vol 13, no 5. 2002.
- Sergieva; A. y Khan, T. *Student representation assisting cognitive analysis*. Brasil. ITS 2004.
- Schiaffino, S., Amandi, A. Gasparini, I., Pimenta, M. *Personalization in e-learning: the adaptive system vs. the intelligent agent approaches*. Porto Alegre, Brasil. 2008.

- Silveira, R., Rodrigues, E., Pinto, V., Vicari, R. *Intelligent Learning Objects: An agents based approach of Learning Object*. Intelligent Tutoring Systems. 7th International Conference, ITS2004. Maceió, Brasil.
- Silveira, R. *Modelagem Orientada a Agentes Aplicada a Ambientes Inteligentes Distribuídos de Ensino: JADE Java Agent framework for Distance learning Environments*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tesis Doctoral.
- Silveira, R. A.; Bica, F.; Vicari, R. M. *JADE - Java Agents for Distance Education framework* En: Iberoamerican Workshop on Distributed Artificial Intelligence and Multi-Agent Systems, Atibaia, São Paulo. Anais. 2000.
- Souto, Palazzo, Vicari, Diehl, Madeira, Verdin, Wainer y Engler. *Modelo de ensino adaptativo na Internet baseado em Estilos Cognitivos de Aprendizagem*. PPGC - UFRGS. Brasil. 2000.
- Stathacopoulou, R. Magoulas, G. D. Grigoriadou, M. *Neural Network-based Fuzzy Modeling of the Student in Intelligent Tutoring Systems*. University of Athens. 1999.
- Stevens, R. Soller, A. Cooper, M. Sprang, M. *Modeling the development of problem solving skills in chemistry with a web-based tutor*. Brasil. ITS 2004.
- Stolurow. L. S. *C.A.I. Algunos problemas y perspectivas*. Publicado en la recopilación Psicología de la educación, a cargo de E. Stones, Tomo II. Ediciones Morata. Madrid. 1970.
- Summers, Laura. *Multiple Learning Styles in Web-based Courses*. 2000. Disponible en: <http://webct.com/OTL/ViewContent?contentID=2334144>.
- Suraj, Z. Delimita, P. *On certain algorithm for feature selection: A Hybrid Approach*. Universidad de Rzeszow, Polini. ISFUROS. Cuba. 2006.
- Tate, Austin. Hendler, J. y Drummond M. *AI Planning: Systems and Techniques*. AI Magazine. 1990
- Tobón T, Sergio. *Formación Basada en Competencias - Pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica*. Ecoe Ediciones. Bogotá, 2005.
- Ullrich, C. *Course generation based on HTN planning*. In Proceedings of 13th annual workshop of the SIG adaptivity and user modeling in interactive systems. pag. 74-79. 2005.
- Urretavizcaya Loinaz, Maite. *Sistemas Inteligentes en el ámbito de la Educación*. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. No.12 (2001), pp. 5-12. <http://www.aepia.dsic.upv.es/>
- Valencia, V. Duque Méndez, N, Quintero Corzo, J. Munévar Molina, R. *Diseño, aplicación y validación de un ambiente informático adaptativo para el aprendizaje en educación básica*. Proyecto conjunto Universidad de Caldas, Universidad Nacional. Manizales. 2008.
- Vassileva, J. *Reactive Instructional Planning to Support Interacting Teaching Strategies*. 1995.

- Vassileva, J. Wasson, B. *Instructional Planning Approaches: From Tutoring towards Free Learning*. AIED-96. Lisbon. 1996
- Vélez Langs, O. *Técnicas de computación evolutiva en un agente de interfaz inteligente*. Tesis doctoral. España. 2005
- Vercoustre, Anne-Marie, McLean Alistair. Reusing Educational Material for Teaching and Learning : Current Approaches and Directions. AIED03. 2003
- Vicari, Rosa; Flores, C. D.; Seixas, L ; Gluz, J; Coelho, H. *AMPLIA: A Probabilistic Learning Environment*. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2008.
- Vicari, R. *Agentes Inteligentes en Educación Virtual*. Seminario Internacional. Inteligencia Artificial y Seguridad. Pereira. 2005.
- Wasson, B. *Determining the Focus of Instruction: Content Planning for ITS*. Tesis Doctoral. Universidad de Saskatchewan. 1990.
- Webber, C. *Modélisation Informatique de l'Apprenant: Une Approche basée sur le Modèle CKC (Conception, Knowledge, Concepts) et la Théorie de l'Émergence*. Université Joseph Fourier. Thèse de Docteur.
- Weber, Gerhard, Specht, Marcus. *User Modeling and Adaptive Navigation Support in WWW-based Tutoring Systems* Department of Psychology, University of Trier, Germany. UM-97. Disponible en:<http://www.psychologie.uni-trier.de:8000/projects/ELM/elmart.html>
- Wiley, D. *Learning object design and sequencing theory*. Doctoral Dissertation, Brigham Young University, 2000.
- Wooldridge, M. *An Introduction to Multi-Agent Systems*, John Wiley & Sons, Ltd. 2002
- Wooldridge, M., Jennings, N., and Kinny, D. *The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design*. 2000. <http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/26098/httpzSzzSzwww.ecs.soton.ac.ukzSznrjzSzdownload-fileszSzjaamas2000.pdf/wooldridge00gaia.pdf>
- Zaitseva, Larissa y Boule, Cathrine. *Student Models in Computer-Based Education*. ICALT03.



## Anexo A

# Tests propuestos para la Clasificación de los estudiantes

A continuación se recogen algunos de los test que podrían ser utilizados y que fueron probados en el caso de aplicación. Se insiste en que cualquier otro modelo puede ser usado permitiendo la clasificación del estudiante según la visión preferida al momento de la implantación y manteniendo la consistencia con los demás metadatos de los módulos correspondientes.

### A.1. Test para Estilos de Aprendizaje de Felder

Dentro de los varios modelos planteados uno de los más aplicados es el de Felder y Silverman el cual incorpora 4 dimensiones, algunas retomadas de otros modelos. Existe amplia literatura sobre la forma de clasificar a partir del test que se muestra a continuación.

El test y la forma de cómo analizar sus datos han sido tomados de (Perea, 2003).

#### A.1.1. Test de Felder

Encierre en un círculo la opción "a" o "b" para indicar su respuesta a cada pregunta. Por favor seleccione solamente una respuesta para cada pregunta.

##### TEST

1. Entiendo mejor algo
  - (a) si lo practico.
  - (b) si pienso en ello.
2. Me considero
  - (a) realista.
  - (b) Innovador.
3. Cuando pienso acerca de lo que hice ayer, es mas probable que lo haga sobre la base de

- (a) una imagen.
  - (b) Palabras.
4. Tengo tendencia a
- (a) entender los detalles de un tema pero no ver claramente su estructura completa.
  - (b) entender la estructura completa pero no ver claramente los detalles.
5. Cuando estoy aprendiendo algo nuevo, me ayuda
- (a) hablar de ello.
  - (b) pensar en ello.
6. Si yo fuera profesor, yo preferiría dar un curso
- (a) que trate sobre hechos y situaciones reales de la vida.
  - (b) que trate con ideas y teorías.
7. Prefiero obtener información nueva de
- (a) imágenes, diagramas, graficas o mapas.
  - (b) instrucciones escritas o información verbal.
8. Una vez que entiendo
- (a) todas las partes, entiendo el total.
  - (b) el total de algo, entiendo como encajan sus partes.
9. En un grupo de estudio que trabaja con un material difícil, es más probable que
- (a) participe y contribuya con ideas.
  - (b) no participe y solo escuche.
10. Es más fácil para mí
- (a) aprender hechos.
  - (b) aprender conceptos.
11. En un libro con muchas imágenes y graficas es más probable que
- (a) revise cuidadosamente las imágenes y las graficas.
  - (b) me concentre en el texto escrito.
12. Cuando resuelvo problemas de matemáticas
- (a) generalmente trabajo sobre las soluciones con un paso a la vez.
  - (b) frecuentemente se cuáles son las soluciones, pero luego tengo dificultad para imaginarme los pasos para llegar a ellas.
13. En las clases a las que he asistido
- (a) he llegado a saber como son muchos de los estudiantes.
  - (b) raramente he llegado a saber como son muchos estudiantes.
14. Cuando leo temas que no son de ficción, prefiero
- (a) algo que me enseñe nuevos hechos o me diga como hacer algo.
  - (b) algo que me de nuevas ideas en que pensar.
15. Me gustan los maestros
- (a) que utilizan muchos esquemas en el pizarrón.

- (b) que toman mucho tiempo para explicar.
- 16. Cuando estoy analizando un cuento o una novela
  - (a) pienso en los incidentes y trato de acomodarlos para configurar los temas.
  - (b) me doy cuenta de cuales son los temas cuando termino de leer y luego tengo que regresar y encontrar los incidentes que los demuestran.
- 17. Cuando comienzo a resolver un problema de tarea, es más probable que
  - (a) comience a trabajar en su solución inmediatamente.
  - (b) primero trate de entender completamente el problema.
- 18. Prefiero la idea de
  - (a) certeza.
  - (b) Teoría.
- 19. Recuerdo mejor
  - (a) lo que veo.
  - (b) lo que oigo.
- 20. Es mas importante para mi que un profesor
  - (a) exponga el material en pasos secuenciales claros.
  - (b) me de un panorama general y relacione el material con otros temas.
- 21. Prefiero estudiar
  - (a) en un grupo de estudio.
  - (b) Solo.
- 22. Me considero
  - (a) cuidadoso en los detalles de mi trabajo.
  - (b) creativo en la forma en la que hago mi trabajo.
- 23. Cuando alguien me da direcciones de nuevos lugares, prefiero
  - (a) un mapa.
  - (b) instrucciones escritas.
- 24. Aprendo
  - (a) a un paso constante. Si estudio con ahínco consigo lo que deseo.
  - (b) en inicios y pausas. Me llevo a confundir y súbitamente lo entiendo.
- 25. Prefiero primero
  - (a) hacer algo y ver que sucede.
  - (b) pensar como voy a hacer algo.
- 26. Cuando leo por diversión, me gustan los escritores que
  - (a) dicen claramente los que desean dar a entender.
  - (b) dicen las cosas en forma creativa e interesante.
- 27. Cuando veo un esquema o bosquejo en clase, es mas probable que recuerde
  - (a) la imagen.
  - (b) lo que el profesor dijo acerca de ella.

28. Cuando me enfrento a un cuerpo de información
- (a) me concentro en los detalles y pierdo de vista el total de la misma.
  - (b) trato de entender el todo antes de ir a los detalles.
29. Recuerdo mas fácilmente
- (a) algo que he hecho.
  - (b) algo en lo que he pensado mucho.
30. Cuando tengo que hacer un trabajo, prefiero
- (a) dominar una forma de hacerlo.
  - (b) intentar nuevas formas de hacerlo.
31. Cuando alguien me ensena datos, prefiero
- (a) graficas.
  - (b) resúmenes con texto.
32. Cuando escribo un trabajo, es más probable que
- (a) lo haga (piense o escriba) desde el principio y avance.
  - (b) lo haga (piense o escriba) en diferentes partes y luego las ordene.
33. Cuando tengo que trabajar en un proyecto de grupo, primero quiero
- (a) realizar una "tormenta de ideas" donde cada uno contribuye con ideas.
  - (b) realizar la "tormenta de ideas" en forma personal y luego juntarme con el grupo para comparar las ideas.
34. Considero que es mejor elogio llamar a alguien
- (a) sensible.
  - (b) Imaginativo.
35. Cuando conozco gente en una fiesta, es mas probable que recuerde
- (a) como es su apariencia.
  - (b) lo que dicen de si mismos.
36. Cuando estoy aprendiendo un tema, prefiero
- (a) mantenerme concentrado en ese tema, aprendiendo lo mas que pueda de el.
  - (b) hacer conexiones entre ese tema y temas relacionados.
37. Me considero
- (a) abierto.
  - (b) Reservado.
38. Prefiero cursos que dan más importancia a
- (a) material concreto (hechos, datos).
  - (b) material abstracto (conceptos, teorías).
39. Para divertirme, prefiero
- (a) ver televisión.
  - (b) leer un libro.
40. Algunos profesores inician sus clases haciendo un bosquejo de lo que enseñaran. Esos bosquejos son

- (a) algo útiles para mi.
  - (b) muy útiles para mi.
41. La idea de hacer una tarea en grupo con una sola calificación para todos
- (a) me parece bien.
  - (b) no me parece bien.
42. Cuando hago grandes cálculos
- (a) tiendo a repetir todos mis pasos y revisar cuidadosamente mi trabajo.
  - (b) me cansa hacer su revisión y tengo que esforzarme para hacerlo.
43. Tiendo a recordar lugares en los que he estado
- (a) fácilmente y con bastante exactitud.
  - (b) con dificultad y sin mucho detalle.
44. Cuando resuelvo problemas en grupo, es más probable que yo
- (a) piense en los pasos para la solución de los problemas.
  - (b) piense en las posibles consecuencias o aplicaciones de la solución en un amplio rango de campos.

### **Instrucciones para calificar el Inventario de Estilos de Aprendizaje de Felder**

1. Tome el Inventario anterior y una Hoja de Perfil Individual en blanco. En la Hoja de Calificación asigne un punto en la casilla correspondiente de acuerdo con el número de la pregunta y su respuesta. Por ejemplo: si su respuesta en la pregunta 5 fue A, coloque 1 en casilla debajo de la letra A y al lado derecho de la pregunta 5.
2. Registre de esta manera cada una de las preguntas desde la 1 hasta las 44.
3. Luego, sume cada columna y escriba el resultado en la casilla total columna.
4. Mirando los totales de cada columna por categoría, reste el número menor al mayor.
5. Asigne a este resultado la letra en la que obtuvo mayor puntaje en cada categoría.
6. Ahora, llene la Hoja de perfil con estos resultados, teniendo en cuenta que la letra A corresponde al estilo situado a la izquierda y la letra B al estilo situado a la derecha.
7. Finalmente, la Hoja de interpretación permite entender los resultados obtenidos, con respecto a cada categoría.

La figura A.1 muestra la hoja de calificación adjunta al Test.

## **A.2. Test para Estilos de Aprendizaje según el modelo VARK**

VARK desarrollo de Lincoln University en Nueva Zelanda, está adecuado al tipo de materiales y a los elementos que apoyan en el proceso educativo y es simple en la valoración de los educandos y en su implementación práctica, intenta mirar un aspecto particular de percepción del estudiante en interacción más estrecha con los materiales de aprendizaje. VARK es el acrónimo para las modalidades sensoriales Visual, Aural, Read/write y Kinesthetic que son usadas para aprendizaje basado en información. Estas

	Act - Ref		Sens - Int		Vis - Verb		Sec - Glob	
Pregunta	A	B	A	B	A	B	A	B
N°								
1								
5								
9								
13								
17								
21								
25								
29								
33								
37								
41								
	A	B	A	B	A	B	A	B
<b>Total Columna</b>								
<b>Restar Menor al Mayor</b>								
<b>Asignar Letra Mayor</b>								

Figura A.1: Hoja de Calificación ILS Felder

4 categorías propuestas por Fleming y Mills en 1992, parecen reflejar las experiencias de estudiantes y profesores y se estructura específicamente para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

### A.2.1. VARK y Copyright

Se solicitó vía correo electrónico la autorización para utilizar la prueba psicopedagógica y los procedimientos para actuar ante los resultados de la misma y la respuesta recibida fue afirmativa. En proyecto desarrollado recientemente se adquirió la documentación oficial del proyecto.

El corazón de VARK es un cuestionario que permite clasificar a los usuarios según sus preferencias. Estas preferencias se refieren a la forma en que desean recibir y entregar la información mientras que aprenden.

La prueba planteada incluye sólo 13 preguntas de selección múltiple, sin embargo parte de la experiencia que los cuestionarios largos usualmente llevan a que algunos encuestados respondan menos seriamente e incluso respondan aleatoriamente ante el cansancio que generan.

### A.2.2. Test VARK

The VARK Questionnaire - Spanish Versión (Esta versión fue traducida por Oscar Soria de la Universidad Autónoma del Carmen, México.)

1. Está por darle instrucciones a una persona que está junto a usted. Esa persona no conoce la ciudad, está alojada en un hotel y quedan de encontrarse en otro lugar más tarde. Usted qué haría?

a. Dibujo un mapa en un papel.

- b. Le digo cómo llegar.
  - c. Le escribo las instrucciones (sin dibujar un mapa).
  - d. La busco y la recojo en el hotel.
2. Usted no está seguro como se deletrea la palabra trascendente o transcendente. Que haría Usted?.
- a. Busco la palabra en un diccionario.
  - b. Veo la palabra en mi mente y escojo según como la veo.
  - c. La repito en mi mente.
  - d. Escribo ambas versiones en un papel y escojo una.
3. Usted acaba de recibir una copia de un itinerario para un viaje mundial. Esto le interesa a un/a amigo/o. Usted que haría?
- a. Hablarle por teléfono inmediatamente y contarle del viaje.
  - b. Enviarle una copia del itinerario impreso.
  - c. Mostrarle un mapa del mundo.
  - d. Compartir que planea hacer en cada lugar que visite.
4. Usted está por cocinar algo muy especial para su familia. Usted...
- a. Cocinaría algo familiar que no necesite receta o instrucciones.
  - b. Da una vista a través de un recetario por ideas de las fotos.
  - c. Busca un libro de recetas específico donde hay una buena receta.
5. Un grupo de turistas le han sido asignados para que les explique del Área Nacional Protegida (ANP). Usted...
- a. Organiza un viaje por el lugar.
  - b. Les muestra fotos y transparencias.
  - c. Les da un folleto o libro sobre las Aéreas Nacionales Protegidas.
  - d. Les da una plática sobre las Aéreas Nacionales Protegidas.
6. Usted está por comprarse un nuevo estéreo. Que otro factor, además del precio, influirá su decisión?
- a. El vendedor le dice lo que Usted quiere saber.
  - b. Leyendo los detalles sobre el estéreo.
  - c. Jugando con los controles y escuchándolo.
  - d. Luce muy bueno y a la moda.
7. Recuerde un momento en su vida en el que aprendió a hacer algo como jugar un nuevo juego de cartas. Trate de evitar escoger una destreza física, como andar en bicicleta. Cómo aprendió mejor?
- a. Pistas visuales-fotos, diagramas, cuadros...
  - b. Instrucciones escritas
  - c. Escuchando a alguien que se lo explicaba.
  - d. Haciéndolo o probándolo.
8. Si tiene un problema en un ojo, prefiere que el doctor
- a. Le diga que anda mal.
  - b. Le muestre un diagrama de que está mal.

- c. Use un modelo para enseñarle qué está mal.
- 9. Está a punto de aprender un nuevo programa en el computador. Usted...
  - a. Se sienta frente al teclado y empieza a experimentar con el programa.
  - b. Lee el manual que viene con el programa.
  - c. Telefonea a un amigo y le hace preguntas sobre el programa.
- 10. Va a otra ciudad, en donde tiene amigos que quiere visitar. Usted quisiera que ellos:
  - a. Le dibujen un mapa en un papel.
  - b. Le den las instrucciones para llegar.
  - c. Escriban las instrucciones (sin el mapa)
  - d. Lo esperen en la entrada a la ciudad.
- 11. Además del precio, que influirá más en su decisión de compra de un libro de texto particular?
  - a. Ha usado una copia antes.
  - b. Un amigo le ha platicado acerca del libro.
  - c. Hizo una lectura rápida a partes de éste.
  - d. El diseño de la pasta del libro es atractiva.
- 12. Una nueva película ha llegado a los cines de la ciudad. Que influirá más en la decisión de ir al cine o no (asumiendo que tiene el dinero para la entrada)
  - a. Oyó en el radio acerca de la película.
  - b. Leyó una reseña de la película.
  - c. Vio una reseña en la televisión o en el cine.
- 13. Prefiere que un profesor o conferencista use:
  - a. Un libro de texto, copias, lecturas.
  - b. Un diagrama de flujo, cuadros, gráficos, dispositivas.
  - c. Sesiones prácticas, laboratorio, visitas, viajes de campo.
  - d. Discusiones, conferencistas invitados.

**Cuadro de Calificación.**

De acuerdo a las respuestas al cuestionario, para cada pregunta ubicar en la Tabla A.1 la preferencia perceptual asociada.

**Calculando el puntaje.**

Contar el número de cada letra VARK encerradas y obtener el puntaje para cada categoría:

Total Vs encerradas =

Total As encerradas =

Total Rs encerradas =

Total Ks encerradas =

**Instrucciones para puntajes con VARK.**

Tabla A.1: Cuadro de asignación de valores según respuestas - VARK

Pregunta	CategoriaA	CategoriaB	CategoriaC	CategoriaD
1	V	A	R	K
2	R	V	A	K
3	A	R	V	K
4	K	V	R	
5	K	V	R	K
6	A	R	K	V
7	V	R	A	K
8	A	V	K	
9	K	R	A	
10	V	A	R	K
11	K	A	R	V
12	A	R	V	
13	R	V	K	A

Tabla A.2: Distancia de Paso - VARK

Total Calificación	Distancia de Paso
10-16	1
17-22	2
23-26	3
Mas de 26	4

1. Sumar los valores de las diferentes posibilidades  $V + A + R + K$ .
2. Organizar los valores desde el más alto al más bajo
3. Determinar el valor de la distancia de paso apoyado en la Tabla A1.
4. La preferencia preponderante es el puntaje más alto.
5. Si es posible llegar al siguiente valor de puntaje con un salto menor o igual a la distancia de paso (ver tabla A.2), entonces también hay preferencia por la característica asociada a ese puntaje. Cuando no se pueda alcanzar el siguiente valor se considera finalizado el proceso de definición de preferencias.

### A.3. Minitest para Personalidad de Eysenck

Test tomado de (Boeree, 2007)

Conteste las siguientes preguntas con la siguiente calificación:

Tabla A.3: Minitest de personalidad

Pregunta	E	N	P
1. Usted tiene y practica diferentes aficiones?		X	X
2. Usted se detiene a pensar antes de hacer las cosas ?	X	X	
3. Su estado de animo suele ir de arriba a abajo (variable) ?	X		X
4. Es una persona conversadora ?		X	X
5. Cuando tiene deudas se preocupa ?	X	X	
6. Se siente simplemente miserable sin alguna razón ?	X		X
7. Asegura cuidadosamente su casa en la noche ?	X	X	
8. Es usted bastante animado ?		X	X
9. Se molesta demasiado cuando ve a un niño o a un animal sufrir ?	X	X	
10. Se preocupa por cosas que no debía haber dicho o realizado ?	X		X
11. Suele ir y disfrutar las fiestas animadas ?		X	X
12. Es usted una persona irritable ?	X		X
13. Le gusta conocer gente nueva ?		X	X
14. Cree que los planes de seguro son buena idea ?	X	X	
15. Usted se siente fácilmente herido ?	X		X

5: Siempre

4: A menudo

3: Esporádicamente

2: Casi nunca

1: Nunca

Se debe poner el número en la casilla en blanco y el análisis se realiza de la siguiente manera.

E: 5 a 10 introvertido, 20 a 25 extrovertido

N: 15 a 25 Neurótico

P: 5 al 15 Psicoticismo

## Anexo B

# Técnicas Inteligentes aplicadas a Sistemas Educativos - Revisión

*... La inteligencia artificial busca reproducir la mejor manera en que los individuos o la naturaleza resuelven los problemas y emular la forma inteligente de actuar...*

*En el caso de los sistemas inteligentes adaptativos en educación recoge y potencia los sueños de los educadores de proporcionar ambientes personalizados para cada estudiante.*

Por considerarlo valioso, como referencia, para quienes exploren en este campo y aprovechando la sistematización de la revisión bibliográfica realizada, este anexo recoge, en una rápida visión, propuestas acordes con el tema y muestra el estado de arte en el campo de investigación en que se circunscribe esta Tesis. A pesar que en el **capítulo 2** se incluye un aparte similar a este, allí solo se tratan las técnicas y enfoques que definitivamente fueron aplicadas en el desarrollo de la propuesta, mientras que este anexo es mucho mas amplio, pues recoge otras visiones y aplicaciones, incluso proponiendo espacios abiertos para trabajos futuros.

Con el fin de poder ser usado independientemente, como referencia completa, se incluyen incluso los enfoques recogidos en el capítulo anterior.

### B.1. Técnicas de Inteligencia Artificial Aplicadas a Educación

Como se expuso ampliamente en capítulo anterior los desarrollos actuales están orientados a Sistemas Educativos Adaptativos Inteligentes en Web (Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems, AIWBES) buscando personalizar en forma inteligente las diferentes actividades y estrategias propuestas al estudiante en un ambiente que privilegia la autonomía, con versatilidad en contenidos y materiales. Tecnologías y visiones aun en exploración y desarrollo dan gran dinamismo y amplitud en las investigaciones multidisciplinarias de sistemas educativos soportados en tecnologías informáticas. En particular las técnicas de Inteligencia Artificial juegan un papel relevante en este panorama.

A continuación se detalla la aplicación específica de estas técnicas.

### **B.1.1. Redes Neuronales**

Fundamentalmente se aplican en procesos de asociación o clasificación.

Dos proyectos desarrollados en la Universidad de Goiás en Brasil, han utilizado redes neuronales para los procesos de generación dinámica de lecciones. El primero muestra que las redes perceptrones multicapa (MLP) pueden encontrar importantes patrones para el apoyo dinámico en la navegación por los contenidos (Alencar, 2000). Por otro lado Martins y Diniz de Carvalho (2004) presentan un ITS basado en redes neuronales del tipo Self-organizing maps (SOM - mapas de Kohonen) que permite adaptar, reaccionar y ofrecer tutorías dinámicas y personalizadas, con muy buenos resultados en su aplicación y sin requerir conocimiento experto. La red neuronal es entrenada para imitar la mejor navegación por los contenidos, obtenida de la experiencia de los alumnos (Martins y Diniz, 2004). Su idea nace del interés en desarrollar un sistema hábil para decidir sin la experiencia del experto. Las lecciones son organizadas en secuencias de tópicos, donde se definen contextos que son calificados en 5 niveles: intermedio, fácil, avanzado, ejemplos y respuestas a preguntas frecuentes (FAQ). Cada nivel está orientado a un tipo de estado del estudiante. Apartándose de las arquitecturas más normales, SOM bidimensionales, se construyó un SOM unidimensional dispuesto en una topología anillo con 10 neuronas. Los resultados reportados fueron muy buenos.

Papanikolaou, Magoulas y Grigoriadou (Papanikolaou et al, 2000), aplican el sinergismo neuro-fuzzy para implementar la secuenciación de contenidos en un sistema de hipermedia adaptativo. El nivel de entendimiento del estudiante es usado para construir lecciones adaptadas a sus metas de conocimiento y nivel de experiencia en el dominio concreto. La evaluación del estudiante está basada en la definición apropiada de conjuntos fuzzy y la caracterización de las respuestas del alumno con el conocimiento apropiado. La estructura conexionista es adoptada para representar el dominio e inferir la estrategia de planificación para generar las páginas hipermedia desde las piezas de material educativo. Los nodos representan los conceptos del curso y los pesos las relaciones ente ellos. Las acciones de los estudiantes son seguidas y usadas para evaluar el nivel de conocimiento involucrado en cada concepto. El sistema puede optar por tres caminos en la adaptación: Adaptar la lección al nivel de conocimiento y las metas; actualizar el modelo del alumno con las evidencias de las interacciones o explotando las capacidades de entrenamiento y generalización de la red neuronal, extraer información para actualizar el perfil del estudiante en los niveles de los aprendices y de los posibles caminos de aprendizaje

La investigación de Langley (Langley, 1997) usa técnicas de aprendizaje de máquina, en particular redes neuronales, para la construcción de modelos de usuario. La red recibe una parte de la historia de la interacción como entrada y aprende a identificar por ejemplo los estereotipos. Dado esta experiencia parcial con el dominio, un algoritmo de aprendizaje de máquina puede inducir más allá de los patrones de entrenamiento. Estas técnicas se ven como una posible manera de ocuparse del problema del escalabilidad, presentadas por técnicas empleadas en problemas de pequeño tamaño, pero que cuando se aplican al universo decremantan dramáticamente su desempeño.

Orientado a desarrollar modelos predictivos de cómo los estudiantes aprenden técnicas para resolución de problemas en química cualitativa (Stevens et al, 2004), esta investigación busca usar estos modelos en aplicaciones activas y en tiempo real, cuando el estudiante aparezca menos que el óptimo esperado. Se usan SOM para identificar las estrategias más comunes en los estudiantes en las tareas en línea y luego se aplica modelamiento de Markov a la secuencia de estas estrategias para representar la trayectoria de aprendizaje. Se encontró que las trayectorias difieren entre géneros, grupos colaborativos y habilidades de los estudiantes. Este modelo, plantean los autores, puede ser usado para predecir futuros desempeños.

El trabajo reciente de (González, Duque y Ovalle, 2008) realiza un análisis del log de interacción del usuario con el sistema por medio de redes neuronales con el fin de clasificar, desde lo anímico, el alumno en alguno de los 3 grupos: positivo, neutral o negativo. Los aspectos a tener en cuenta en este análisis pueden ser tiempo ocioso, tiempo de respuesta a cuestionamientos, tiempo de lectura de una actividad y diferentes respuestas a diálogos entre el usuario y la plataforma. Concluye que el modelo neuronal más apropiado para el problema específico son las Redes de Kohonen, las cuales tratan los datos de entrada estableciendo variables comunes entre estos vectores. Se definen las características del estudiante a tener en cuenta (vector de entrada) que reflejan el estado anímico del mismo hacia la plataforma de educación virtual (salida), y al presentarse situaciones comunes arrojará una clasificación similar. Dentro de las redes de Kohonen se seleccionó las de tipo LVQ pues la salida es de dimensión simple (3 grupos). Esta propuesta permite la actualización novedosa del modelo del estudiante en forma dinámica.

#### **Posibilidades en ambientes educativos adaptativos genéricos:**

En términos generales podrían ser utilizadas para representar el modelo de estudiante acorde con el modelo del dominio. Pero presenta mayor interés la posibilidad de clasificar las estrategias utilizadas por los estudiantes de acuerdo su interacción con el sistema. En el primer caso se confinaría a un dominio particular, representado en los nodos y conexiones, lo cual no es deseable. Para el segundo caso se requiere un volumen de datos importante, que permita la generalización de los comportamientos, si eso fuese posible.

### **B.1.2. AI Planning**

Se ha centrado el interés en trabajos que utilicen técnicas formales de planificación (Tate et al, 1990), las cuales pueden ser generalizadas y aplicadas en sistemas similares al planteado en el actual trabajo.

PASER es un sistema para la generación automática del currículo usando AI Planning y tecnologías de Web Semántica. El uso de la planificación clásica permite al sistema dinámicamente construir la ruta de enseñanza recuperando desde un repositorio los objetos de aprendizaje, teniendo en cuenta el perfil del estudiante y proponen una ontología para competencias sobre PASER, usando esquema RDF y la recomendación W3C, que proveen mecanismos para describir clases y propiedades específicas a la aplicación (Kontopoulos et al, 2008). Manifiestan que es posible ver el problema de la síntesis au-

tomática de recursos educativos, como un problema de planificación. La solución adoptada es modelar el problema mediante el clásico planificador STRIPS (S, D, G), donde los hechos son las competencias definidas en la ontología del área temática, un estado es el conjunto de competencias actuales del estudiante, el estado de inicial (S) son las competencias desarrolladas previamente por el aprendiz, los objetivos (G) son el conjunto de competencias a adquirir por el estudiante, el dominio (D) está conformado por el operador *consume*(recursoEducativo) y los operadores *analizar* y  *sintetizar* competencias, que permiten manejar los niveles de abstracción de las competencias. Reconociendo la dificultad de traducir el curso a un problema de planificación se apoyan en un pre-planificador para el curso específico.

Como puntos débiles se puede ver que los operadores *analizar* y  *sintetizar* requieren la definición específica para cada curso o conjunto de competencias. Además, esta propuesta tiene la limitación de usar el planificador STRIPS en un problema que claramente maneja jerarquías, lo que lo acerca mas a un planificador del tipo Red Jerárquica de Tareas (HTN), como el propuesto en (Ullrich, 2005) y (Duque, Guzmán y Jiménez, 2004).

Con HTNCG (Ullrich, 2005) se describe la generación de un curso basado en tareas pedagógicas y métodos, formalizados en un planificador HTN. En una primera evaluación el autor resalta el valor práctico de la propuesta. Expresa los objetivos pedagógicos como tareas y las vías para conseguirlos como métodos. Una tarea pedagógica se define como una tupla  $(l, c)$ , donde  $l$  es el objetivo pedagógico y  $c$  el objeto de aprendizaje. Propone una tarea de alto nivel para ensamblar una secuencia estructurada de objetos de aprendizaje que ayudan a conseguir el objetivo. Como limitación, subsanable, está el hecho que la tarea de enseñar un concepto se descompone en varios escenarios predefinidos en un método del planificador. Por otro lado está la necesidad de una extensa información de dominio para ser codificada en la definición del problema de planificación.

Duque presenta un modelo de generación de cursos virtuales que se adaptan a las características propias de cada estudiante. El modelo está orientado por las metas u Objetivos Educativos *OE*, que pueden ser cubiertos ofreciendo múltiples materiales educativos o actividades *UE*, de acuerdo a la trayectoria académica (perfil académico) y asociadas al perfil psicopedagógico del aprendiz (estilo de aprendizaje). Ante la complejidad de la generación de los cursos, dado el nivel de detalle y la estructura jerárquica en los objetivos educativos, se optó por el uso de técnicas de planificación en inteligencia artificial, en particular por el sistema planificador SHOP2 (Nau et al, 2003). Esto implica la definición de un mecanismo automático para el traslado de los componentes del curso al ambiente de planificación, la determinación del modelo de acción del planificador: definición de operadores, métodos y el problema en términos del planificador seleccionado. Reporta como el mayor obstáculo encontrado en la aplicación de AI Planning para la solución de este problema, la dificultad de poder llevar los diferentes elementos del modelo del curso al ambiente del planificador, lo que implica definir estrictamente la estructura involucrada en la generación de los cursos personalizados, lo que se puede generalizar a cualquier problema a tratar (Duque, Guzmán y Jiménez, 2004).

Combinando AI Planning y RBC, MAEVIF, es una plataforma para el desarrollo de un ambiente

inteligente de entrenamiento, una arquitectura basada en una colección de agentes de software cooperativos. Dos papeles toma la planificación inteligente en esta propuesta: La generación de un plan como una solución ideal de un caso y la evaluación del efecto de las acciones del estudiante durante la resolución del caso (Ramírez y de Antonio, 2007).

Vassileva (Vassileva, 1995) propone una arquitectura de planificador reactivo llamado TOBIE (Teaching Operators-Based Instructional Environment), que permite representar el conocimiento en diferentes niveles, en forma uniforme y modular. Es un planificador de contenidos que consiste en un componente pedagógico (planificador y ejecutor), un modelo estudiante y la base de conocimiento del dominio (un grafo and/or dirigido, expresado mediante un conjunto de reglas de producción, apoyado en Operadores de enseñanza, TO). Los TO's son operadores tipo STRIPS, ampliados, que consisten en 6 partes: Nombre, Precondiciones, Efectos, Acción, Diagnóstico y tipo.

ADAPTAPLAN (Adaptación basada en aprendizaje, modelado y planificación para tareas complejas orientadas al usuario), disponible en <http://adenu.ia.uned.es/adaptaplan/> es un proyecto en desarrollo que busca construir una plataforma que integre planificación de tareas temporal y de recursos, aprendizaje automático e interacción con diversos agentes (humanos / software), modelado de los diferentes elementos (usuarios, actividades) y computación, soportada por diversos tipos de dispositivos. Vislumbra problemas abiertos en planificación, que van desde aspectos de ingeniería del conocimiento, como la adquisición y validación de dominios (incluyendo modelos jerárquicos), pasando por la adquisición y tratamiento de diferentes formas de incertidumbre, y la definición y adquisición (manual o automática) de heurísticas de planificación, hasta la monitorización de la ejecución, y las posibles formas de resolver problemas de ejecución.

#### **Posibilidades en ambientes educativos adaptativos genéricos:**

Las experiencias referidas afianzan las posibilidades del uso de esta técnica como herramienta para modelar y ejecutar la generación automática de cursos personalizados, atacando el problema de alta combinación de elementos en la estrategia de adaptación. Como espacio a cubrir está la necesidad de obtener el mejor plan, en caso de que varios sean posibles y aprovechar los avances en planificación reactiva, temporal y con restricciones. En el caso de incorporar la replanificación, implica modificar los algoritmos utilizados u optar por otros planificadores; lo que acrecienta la dificultad para poder trasladar el modelo del curso al modelo del planificador y convertirlo en un problema de planificación.

### **B.1.3. Razonamiento Basado en Casos (RBC)**

PERSO (Chorfí y Jemni, 2004) basa la generación del curso en RBC. Se apoya en la principal hipótesis de RBC: Problemas similares tienen soluciones similares, lo que permite reusar las soluciones exitosas ante situaciones análogas. En este mismo sentido Leake (Leake, 1993), plantea que las estrategias de adaptación así conseguidas difieren de las reglas de adaptación normales en que ellas ponen en código los procedimientos de búsqueda de memoria generales, por encontrar la información necesitada durante la adaptación del caso específico.

El tema de RBC Educativo (SRBCE) (de Lacerda et al, 1998) se torna más efectivo cuando el

estudiante usa conscientemente sus funciones cognitivas superiores para conseguir sus objetivos, por lo cual plantean que tanto la técnica tradicional como la de RBC deben ser adaptadas de forma que la responsabilidad en el proceso de aprendizaje sea compartida por el estudiante y por el sistema. En la práctica implica que no sólo se debe presentar la solución antes probada sino que se debe dejar claro por qué esta es una buena solución.

ALLEGRO (Jiménez, 2006), (Ovalle y Jiménez, 2005), es un Ambiente Multi-Agente de Enseñanza Aprendizaje que implementa dentro de su mecanismo de Planificación Instruccional la técnica Razonamiento Basado en Casos (CBR, por las siglas en inglés, Case-Based Reasoning). El propósito es ofrecer recursos instruccionales adaptados al perfil cognitivo de cada uno de los aprendices, de manera similar a como lo hacen los humanos utilizando la experiencia acumulada en casos similares. Es un entorno inteligente conformado por un Sistema Tutorial Inteligente (ITS) el cual permite brindar aprendizaje adaptado en forma individualizada y un Ambiente Colaborativo de Aprendizaje (CSCL) que ofrece aprendizaje en modo colaborativo. Afirman que el sistema aprende en forma autónoma a partir de la experiencia con los aprendices, convirtiendo a la planificación instruccional en una herramienta flexible con capacidad de adaptar los conocimientos con determinado grado de abstracción dependiendo del alumno

En la propuesta de Salcedo (Salcedo, 2000), que combina (algo muy común) RBC con sistemas multi-agente, tanto la estrategia preferida por el estudiante para el aprendizaje como los datos personales del mismo se obtienen a través de un test que el estudiante realiza la primera vez que accede a un curso y son almacenados por el sistema para su uso tanto en la sesión actual como en sesiones posteriores. El Agente Coordinador proporciona la información sobre las acciones llevadas a cabo por el estudiante y sus resultados (el número de páginas visitadas, el número de actividades logradas, el número de ejercicios resueltos correctamente, etc.) al agente pedagógico, el cual genera la estrategia apoyado en un razonamiento basado en el caso más efectivo acorde a sus características (RBC). El Agente Coordinador en comunicación con el Agente Material determinará las actividades a seguir del estudiante en un momento y espacio dado, según su perfil.

#### **Posibilidades en ambientes educativos adaptativos genéricos:**

Dentro de las ventajas reconocidas de esta técnica se encuentra el no requerir un modelo explícito del dominio, ha mostrado muy buenos resultados y una forma relativamente simple de implementarla, puede aprender por la adquisición de conocimientos de nuevos casos, facilitando su mantenimiento, casi sin intervención humana.

Esta técnica puede ser una buena alternativa para atender situaciones donde el aprendiz encuentre dificultades en el logro de los objetivos educativos y se requiera la replanificación, apoyándose en información que el sistema ha obtenido de las experiencias almacenadas en la memoria de casos. Por otro lado podría probarse para la configuración o generación de planes similares ante similares características de los estudiantes.

Dentro de las desventajas que tendría se pueden enumerar la necesaria acumulación de casos antes de ser usada y además que ante muchas variables del modelo del estudiante eventualmente no se en-

contraran casos similares o se requerirá una estrategia de ponderación de características, lo que puede complicar la solución.

#### **B.1.4. Algoritmos Genéticos**

Gran parte de sus aplicaciones están involucrados en sistemas híbridos, donde son utilizados para optimizar los clasificadores bayesianos o en el proceso de entrenamiento de las redes neuronales. Sin embargo se muestran algunos proyectos específicos.

Oswaldo Vélez Langs (Vélez, 2005) plantea que la integración efectiva de dos tecnologías de punta como son el aprendizaje de maquina (Cómputo Evolutivo) y la Inteligencia Artificial Distribuida (Agentes y Sistemas Multi-agente) permitirá visionar aplicaciones muy valiosas a la educación. Su trabajo propone la construcción de una interfaz de usuario inteligente, la cual sea adaptable a las necesidades y preferencias de estos, a través de técnicas de computación evolutiva. La intención es que la Interfaz interactúe en un ambiente de aprendizaje. Con esta propuesta se busca dar solución a la poca adaptabilidad de los Sistemas Tutoriales Inteligentes tradicionales, los cuales están sujetos a los casos contemplados en el modelo del estudiante.

Komosinski (Komosinski, Lacerda y Borges, 1998) presenta algunas consideraciones sobre la posibilidad de utilizar Algoritmos Genéticos (AGs) como instrumento de apoyo al proceso de enseñanza. Busca que el estudiante adopte una actitud activa, de investigación y centrada en las funciones psicológicas superiores que lo conduzcan a comprender profundamente el contenido curricular. Se orienta al estudiante a definir funciones de evaluación de los problemas presentados que sean modificadas en la medida que se avanza en el proceso de solución. El estudiante centra su preocupación en modelar el problema y conseguir una función de evaluación y la definición de los parámetros para conseguir la solución. Cada solución hallada es evaluada por el estudiante hasta que en un proceso iterativo encuentre la que se considera mejor.

Rosete y Duque (Rosete y Duque, 2004) en una propuesta no desarrollada, proponen un modelo que permita implementar cursos virtuales que se adapten a características relevantes del estudiante en lo académico, psicológico y psicopedagógico y que permita ser optimizado lográndose un alto nivel de efectividad. Es deseable que bajo variables de alta importancia se pueda determinar un modelo que permita maximizar los objetivos propuestos. Dentro de las variables analizadas está el tiempo de la trayectoria instruccional específica, la carga en ancho de banda y la optimización del plan a partir de la ponderación de los diferentes objetivos instruccionales y las actividades planteadas en un árbol jerárquico.

##### **Posibilidades en ambientes educativos adaptativos genéricos:**

Sin duda pensar en la optimización de cualquier proceso es una meta deseable. No obstante la definición de optimizar el proceso educativo en si y determinar las variables (genes) no se muestra fácil en estos sistemas. Sin embargo es posible pensar en optimizar el plan presentado, orientado a alguna característica relevante. La experiencia muestra que es posible, en el mejor de los casos, encontrar

varios planes de los cuales debe ser seleccionado uno, bien sea por el sistema o por el estudiante. Se puede optar por la optimización y al final el sistema sólo entregaría un buen plan, tal vez el mejor. Esto es una reflexión pendiente de materializar.

### **B.1.5. Minería de Datos**

A pesar que generalmente se apoya en otras técnicas, dada la importancia que ha tomado en los sistemas inteligentes educativos amerita un análisis particular. Esto está respaldado por el creciente número de publicaciones, trabajos y eventos. Cabe resaltar el reciente Workshop on Educational Data Mining at the 8th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS 2006), disponible en [www.educationaldatamining.org/index.html](http://www.educationaldatamining.org/index.html), del cual recogemos algunos elementos.

El análisis de logs tiene gran aceptación y desarrollo. Baker (Baker, Corbett y Wagner, 2006) plantea que las observaciones y clasificaciones han mostrado buenos resultados para desarrollar modelos de motivación, actitudes y escogencia de estrategias, cuando un estudiante interactúa con un sistema inteligente de enseñanza. Sin embargo este proceso de monitorización es costoso en tiempo y recursos, lo que limita su uso. Presenta una técnica de clasificación, que califica como de 'Baja Fidelidad', en contraste con la 'Alta Fidelidad' provista por mecanismos que entregan mayor información (el observador se co-localiza físicamente con el estudiante y analiza su comportamiento, respuestas, gestos, comentarios; una exacta repetición de las acciones del estudiante en la pantalla; otras observaciones en tiempo real). Su propuesta está basada en el análisis de logs de uso del sistema y concluye que siendo mucho más rápida logra casi los mismos resultados que la clasificación en tiempo real, en la detección de las conductas de los estudiantes. Su propuesta se basa en algoritmos de aprendizaje de maquina (machine-learning).

El proyecto LON-CAPA recopila de datos del usuario (momento de uso del recurso, cuánto tiempo y cuántas veces se accede a un recurso, número de ejercicios correcta e incorrectamente respondidos, número de respuestas acertadas en el primer intento), lo que permite clasificarlos en grupos (Minaei-Bidgoli, 2004) . Para el trabajo se usaron cuatro clasificadores basados en árboles (C5.0, CART, Quest y Cruise) y 5 no basados en árboles (k-nearest neighbor, Bayesian, Parzen window y neural network). También Arroyo et Al.(2004) presentan la aplicación de minería de datos sobre los datos recolectados en la plataforma de educación virtual en la Universidad de Massachussets (USA), utiliza análisis correlacional integrado con redes bayesianas, para recolectar actitudes y conductas de estudiantes y variables aprendidas.

Algunos trabajos se orientan a la minería aplicada sobre datos particulares recogidos del dominio en plataformas particulares, lo que entrega una información específica sobre el comportamiento de los estudiantes en los cursos. Concretamente esa visión es usada en cursos de algoritmia y programación (Jadud, 2005), (Kölling et al, 2003), (Cheong Vee, 2006).

Kay et Al. (2006) dirigen su investigación a seguir el rastro a las acciones tendientes a la colaboración entre estudiantes en una plataforma virtual. A pesar que los primeros resultados permiten hacer algunas clasificaciones aún no se logra lo esperado y se orientan a buscar otras técnicas de minería (la usada

fue algoritmos GSP) y mejorar el modelo de los datos.

Actualmente reconociendo la importancia de este tópico el grupo apoya una tesis de maestría en Ingeniería que propone un Sistema de Personalización Web para el proceso de Aprendizaje en una Plataforma de Educación Virtual, orientado a la aplicación de Minería de usuario Web en e-learning y están en evaluación diferentes técnicas inteligentes para su implementación.

#### **Posibilidades en ambientes educativos adaptativos genéricos:**

Un elemento importante en los sistemas adaptativos es el modelo del usuario y la posibilidad de la actualización automática depende, en mucho, del rastreo de las acciones de los estudiantes en el sistema. Acogiéndonos a los métodos de baja fidelidad, la explotación de datos apoyados en los logs de uso en el sitio Web es importante. Pero una de las desventajas encontradas es el hecho que los logs realmente no almacenan datos de gran relevancia para poder obtener un perfil más afinado del estudiante. Esto puede corregirse con el almacenamiento del comportamiento del estudiante en bitácoras propias que a través de la aplicación de técnicas de descubrimiento de conocimiento permitan clasificar o particularizar al alumno. Adicionalmente puede ampliarse su utilidad aprovechando estos datos para evaluar y sintonizar los parámetros y metadatos de los elementos del curso (tiempos esperados, niveles de dificultad, nivel de interacción, consistencia de las jerarquías, entre otras).

Como desventajas se plantea las dificultades asociadas a la minería de datos: Construcción del modelo de datos, selección de la técnica de minería más apropiada y el análisis posterior de los resultados. Por otro lado una de las críticas al almacenamiento intensivo en logs eran los costos computacionales, pero el buen diseño y los recursos a disposición actualmente minimizan este obstáculo.

### **B.1.6. Lógica Difusa**

Sanabria (Sanabria, 2006) en su recopilación de trabajos de aplicación de Lógica Difusa, muestra las diferentes posibilidades que ofrecen los sistemas fuzzy en la extracción de conocimiento en Web. Concluye que la aplicación de la lógica difusa, está principalmente en la recuperación de información (importante en la recuperación inteligente en las plataformas virtuales) y en la generalización, expresada en la agrupación y la asociación (tipo de estudiantes, recursos, acciones, preferencias).

Se reportan buenos resultados (Sanabria, 2006a) en el agrupamiento de estudiantes utilizando el algoritmo denominado Fuzzy C-Means con el cual se quiere concentrar a los estudiantes según su notas en cada una de los cursos en conjuntos de tipo difuso con etiquetas lingüísticas: Buenos, Malos, Regulares, Insuficientes, etc. Este algoritmo asigna un conjunto de datos, caracterizados por sus respectivos valores de atributos, a un número determinado de conjuntos, como resultado cada dato tiene un grado de pertenencia a cada conjunto, representada por su centro de conjunto. Una técnica de agrupación difusa para la logs Web es presentada. Además un algoritmo llamado aglomeración competitiva de datos correlativos (CARD) para agrupación de las sesiones del usuario es descrito (Sankar et al, 2002).

En el Internacional Symposium on Fuzzy and Rouge Sets, realizado entre el 5 y 8 de diciembre de 2006 en Santa Clara, Cuba, se presentó un modelo bayesiano fuzzy para sistemas de enseñanza-

aprendizaje (Suraj y Delimita, 2006), que construye un puente entre dos teorías, para algunos en conflicto: probabilidades y conjuntos fuzzy. Reconociendo que una forma de representación del conocimiento organizado en sistemas de educación son los mapas conceptuales y asimilando estos a la forma jerárquica que proveen las redes bayesianas, proponen y construyen un modelo fuzzy-bayesiano que puede ser aplicado a modelos de estudiante para apoyar los procesos de diagnóstico. Es un mapa conceptual con comportamiento inteligente, expresado en la capacidad de adaptación a las características del estudiante, mejorando el proceso de enseñanza-aprendizaje. Las probabilidades condicionales correspondientes al teorema de Bayes son calculadas haciendo uso de los algoritmos de propagación de probabilidades. La función de probabilidad (likelihood) es obtenida y representa lo que un estudiante conoce sobre un tópico  $n$ , sabiendo que él conoce todo el contenido de un subtópico  $m$ .

Stathacopoulou et al (Stathacopoulou et al, 1999) proponen, para modelar el estudiante, un sistema neurofuzzy donde los datos numéricos de las interacciones con el sistema son medidos y transformados en términos lingüísticos. El proceso tiene cuatro estados: La fuzificación, el sistema relacional fuzzy, la red de agregación fuzzy y la defuzificación. El modelo del estudiante es implementado como un conjunto de redes conexionistas con entradas difusas para las características del estudiante a evaluar. Las relaciones fuzzy representan la estimación, por parte del tutor humano, del grado de asociación entre las respuestas observadas y las características del estudiante. El último estado es una red back-propagation entrenada para decidir con respecto a diferentes características de un estudiante (nivel de conocimiento, los conceptos erróneos, etc.) la clasificación en diferentes niveles. Tiene como desventaja, además de la complejidad inherente, el hecho que depende de la habilidad del diseñador para definir los conjuntos difusos y las reglas de asociación.

Sergieva y Khan (2004) introducen un trabajo en progreso que busca un esquema que describa varias imprecisiones en el conocimiento del estudiante. El esquema es basado en la representación del dominio a través de múltiples restricciones generalizadas y mediante la propagación de estas se puede realizar el análisis cognitivo. Además es posible asociar el desempeño observado en el estudiante con un subconjunto de restricciones generalizadas.

En trabajo novedoso se proponen simulaciones de un modelo de replanificación que permite la selección dinámica e inteligente de actividades, soportado en la conformación de una matriz de actividades clasificadas por el nivel de dificultad y el grado de participación de tres recursos de enseñanza: texto, gráficos y medios audiovisuales. A partir de esta configuración y la interacción de seis agentes inteligentes y cinco bases de datos se desarrollan dos lineamientos inteligentes para la selección dinámica de las actividades a presentar al estudiante; por un lado se tiene inicialmente un sistema basado en Lógica Difusa alimentado por el conocimiento experto desarrollado en investigaciones de los estilos de aprendizaje de Felder-Silverman y por el otro, se tiene una fase de refinamiento que obedece al seguimiento del proceso de enseñanza/aprendizaje mediante un modelo supervisado que se basa en Árboles de Decisión, Lógica Difusa y Colonias de Hormigas (ATAFIS<sup>1</sup>). Los resultados encontrados en series generadas aleatoriamente demuestran la robustez y eficiencia del sistema en la simulación del

---

<sup>1</sup>ATAFIS:Adapting decision Trees and Ant colony in Fuzzy Inference System

nivel de comprensión, base de la replanificación de actividades propuesta (López, Duque y Brochero, 2009).

Una de las críticas frecuentes a los esquemas de calificación de los estudiantes es la arbitraria separación entre los valores discretos que los etiquetan entre aprobado o reprobado. Sin duda siempre hay un grado de incertidumbre en esta valoración. Un sistema basado en conjuntos difusos podría ser una buena solución, tanto para la valoración del estudiante, como para las respuestas del estudiante ante algunos requerimientos (García et al, 2004).

#### **Posibilidades en ambientes educativos adaptativos genéricos:**

Un punto a evaluar sería el grado de consecución de un logro a partir de las Unidades Educativas UE que el sistema entrega. Lo que hasta ahora se ha planteado es que una UE atiende o no un objetivo educativo, la lógica multivaluada podría abrir otros horizontes. Igual situación se tiene con los valores asociados a los atributos de algunos de los elementos del curso. Por otro lado, se debe reconocer las dificultades de la implementación de un sistema como el planteado, además de la complicación para construcción de los conjuntos difusos y en particular para el afinamiento de las funciones de pertenencia.

### **B.1.7. Redes Bayesianas**

Pardos et al (Pardos et al, 2006) aplican redes bayesianas para modelar los detalles de las habilidades de los estudiantes en la plataforma. El objetivo propuesto es predecir si un estudiante actuará correctamente ante un ítem dado. Se comparan los resultados con otras propuestas obteniéndose que el modelaje de grano fino permite mejores predicciones.

Murray, VanLehn y Mostow (2004) mediante una red bayesiana dinámica apoyan la selección de las acciones del discurso tutorial, considerando los objetivos del tutor y la incertidumbre de las acciones, para adaptar y administrar el esquema tutorial. Plantean, basándose en las probabilidades, la posibilidad de predecir el efecto de las acciones tutoriales. En la misma línea Chang, mediante una red de bayes dinámica, a la cual llaman modelo de ayuda, modelan la ayuda del tutor y el conocimiento del estudiante en un coherente marco de referencia. El modelo de ayuda distingue dos efectos diferentes: ayuda de actuación inmediata vs. conocimiento persistente que mejora a largo plazo el desempeño. El modelo fue entrenado para fijar los datos de desempeño del estudiante recogidos del sistema tutor. Esto apoya la determinación del tipo de ayuda que requiere un estudiante en cada momento (Chang et al, 2006).

Además están los proyectos que usan redes bayesianas para modelar el dominio y/o elementos del modelo estudiante. En particular en el proyecto Andes (Conati, Gertner y Vanlehn, 2002), se codifican dos clases de conocimiento (dominio general y de tareas específicas). El primero define la habilidad en física newtoniana (materia del curso). El segundo se refiere al desempeño del estudiante en problemas específicos. Cuando el estudiante finaliza un ejercicio o tarea esta parte del gráfico es descartada y es actualizada la probabilidad marginal de que el estudiante logre lo esperado en el siguiente ejercicio. La parte del conocimiento del dominio representa conocimiento del estudiante a largo plazo mediante dos tipos de nodos: De reglas y de reglas de contexto. Cada nodo tiene dos valores: Dominado o no

dominado. Para el caso de los nodos reglas, el dominado significa que el estudiante esta hábil para atender esta pieza de conocimiento si se requiere en un problema. Estos elementos son utilizados para determinar las rutas del plan.

Uno de los trabajos más reconocidos es el de Conejo, Millan, Perez y Trella, quienes plantean un modelo de alumno basado en el nivel de conocimiento del mismo sobre los conceptos, temas y asignaturas, que son los ítems en que se divide el dominio. A este perfil de estudiante se le hace especial énfasis en el diagnostico del nivel de comprensión. Este diagnostico se realiza por medio de test adaptativos informatizados los cuales toman la técnicas de las redes bayesianas para construir estos test de diagnostico; evaluando no sólo la respuesta si no la forma en que se responde (Conejo, Millán, Pérez y Trella, 2001).

Schiaffino et al (2008) proponen un sistema para educación personalizada donde el agente eTeacher debe construir un modelo de estudiante y para alcanzar este objetivo, discretamente observa el comportamiento del estudiante mientras toma un curso virtual. El agente registra las acciones del estudiante y usa estos datos más los datos registrados por el sistema para construir dicho modelo. El modelo comprende el estilo de aprendizaje y el desempeño del estudiante en un curso dado y el registro de las acciones en el sistema. El estilo de aprendizaje no es definido en un test sino que es determinado por una red de Bayesiana, que le permite a eTeacher modelar la información cuantitativa y cualitativa sobre el comportamiento del estudiante infiriendo a partir de los comportamientos y acciones realizadas por el aprendiz (participación en foros, chats, lecturas, prácticas, etc.). Se basa en la propuesta de estilos de aprendizaje de Felder y Silverman (Schiaffino et al, 2008).

#### **Posibilidades en ambientes educativos adaptativos genéricos:**

Las redes bayesianas aportan un elemento importante en la representación y operación del sistema permitiendo aprovechar las probabilidades condicionadas correlativas. Es aceptado que el desempeño de un estudiante ante un objetivo instruccional está influenciado por los conocimientos previos y en general por sus características específicas. Las redes bayesianas permiten expresar estas correlaciones en los dominios específicos. El problema reside en que se requiere definir la red previamente y conocer los resultados a priori de algunos eventos. Esto particulariza el sistema y hace compleja la implantación. No se descarta su uso en los procesos de replanificación.

### **B.1.8. Sistemas de Agentes Inteligentes**

Son gran número los sistemas que utilizan la tecnología de agentes inteligentes para modelar el problema. Además del volumen de casos las visiones son similares, donde se diferencian únicamente en la arquitectura y el conocimiento otorgado a cada agente.

Los Sistemas Multi-Agente surgen en la década de los 80 a partir de las investigaciones de los agentes de software, aunque fue en la década de los 90 donde ganó notoriedad digna de ser destacada (Wooldridge, 2002). Sistemas Multi-agente pueden ser empleados en modelos de ambientes de enseñanza/aprendizaje donde los elementos pueden ser descompuestos en colecciones de agentes pedagógicos independientes intercambiando información y cooperando mutuamente para la consecución

de los objetivos de enseñanza. Algunos ejemplos de arquitecturas con propósitos pedagógicos son:

MACES: (Multiagent Architecture for an Collaborative Educational System) es un sistema educativo colaborativo para educación a distancia desarrollado en la Universidade Federal do Rio Grande do Sul en Brasil. Su arquitectura está compuesta por agentes humanos y por cinco clases de agentes artificiales: Diagnóstico, Mediador, Colaborativo, Social, Semiótico y Animado (infiere estados afectivos del aprendiz a fin de presentar estrategias afectivas). Los agentes pedagógicos animados que proveen el apoyo emocional al estudiante, animándolo y fortaleciendo la confianza en sus habilidades, permitiendo involucrar tácticas afectivas en los ambientes de aprendizaje. El agente BDI reconoce las emociones de los estudiantes en cuanto alegría/dolor, satisfacción/ desilusión, enojo/gratitud y vergüenza (Jaques, 2004).

AMPLIA: (Ambiente Multi-Agente Probabilístico Inteligente de Aprendizaje) es un ambiente proyectado como un recurso adicional para la formación de los estudiantes de medicina. Los usuarios (aprendices, profesores y aplicaciones) son representados por agentes autónomos que hacen parte de una reunión social basada en objetivos que se comunican, cooperan y negocian. Tiene los siguientes agentes artificiales: aprendiz, Dominio y Mediador (dias, 2005). AMPLIA, permitió implantar la propuesta de Cecilia Dias, un modelo para negociación pedagógica, aplicado en un ambiente multi-agente de aprendizaje. El proceso de negociación se desarrolló a partir de la construcción de redes bayesianas.

BAGHERA: Es una comunidad educativa de agentes no humanos que interactúan entre si de acuerdo a sus competencias y puntos de vista, cooperando y realizando colectivamente tareas educativas. El objetivo funcional es construir una plataforma lógica experimental, flexible y adaptable para la educación a distancia. Cada aprendiz es soportado por tres tipos de agente (Webber, 2003): Compañero de Aprendizaje (Compagnon-Élève), Mediador (Médiateur) y Tutor (Tuteur). Asimismo, el profesor es soportado por dos tipos de agente: Compañero de Enseñanza (Compagnon Enseignant) y Asistente (Assistant)

MAS-PLANG: El propósito es ofrecer características de adaptabilidad con base en estilos de aprendizaje y a la plataforma educativa USD (Unitats de Suport a la Docència) (Fabregat, 2000) utilizada para el soporte de la educación a distancia a través de la Web. Esta arquitectura fue desarrollada en la Universitat de Girona en España. La arquitectura esta compuesta por dos niveles de agentes: los del nivel superior o asistentes personales y los del nivel inferior o agentes de información. De nivel superior se tienen: Agente Programable SONIA (Student Oriented Network Interface Agent) Agente Sintético SMIT (Synthetic Multimedia Interactive Tutor), Monitores y de Navegación. De nivel inferior: Didacta y Usuario.

JADE (Java Agent framework for Distance learning Environments) ofrece un conjunto de recursos para facilitar el desarrollo e implementación de ambientes computacionales para ser utilizados como instrumentos de la EAD. Fue desarrollada en la UFRGS en Brasil. Los agentes de JADE no poseen movilidad, ellos son (Silveira, 2001): Gerenciador de Contenidos, de Ejercicios, de Ejemplos, de Interacciones; varios grupos de estos agentes pueden existir en diferentes dominios de la red. La sociedad contempla cuatro agentes pedagógicos básicos especializados en diferentes contenidos: Gerenciador del

Tabla B.1: SMA Pedagógicos

SMA	Características	Agentes	Ref
MAS-PLANG	Estilos de aprendizaje	Nivel superior (SONIA: Student Oriented Network Interface Agent, SMIT: Synthetic Multimedia Interactive Tutor, Monitores y de Navegación) y nivel inferior (Didacta y Usuario)	Fabregat,2000
JADE	Conjunto de recursos para facilitar el desarrollo	Gerenciadores de Contenidos, Ejercicios, Ejemplos e Interacciones.	Silveira,2001
BAGHERA	Agentes no humanos que colectivamente tareas educativas	Tres tipos de agente: Compañero de Aprendizaje, Mediador y Tutor. El profesor es soportado por dos tipos: Compañero de Enseñanza y Asistente	Webber,2003
MACES	Conformado por agentes humanos y por cinco clases de agentes artificiales	Diagnóstico, Mediador, Colaborativo, Social, Semiótico y Animado (infiere estados afectivos)	Jaques,2004
Helsinki-Neuro	SMA para educación niños especiales	Agente Estudiante, profesor y neuropsicólogo	Kurhila,2003
AMPLIA	Estudiantes de medicina Otros dominios-Afectivos	Aprendiz, Dominio y Mediador	Flores,2005 Vicari,2008
AgentGeom	Agente de Geometría. Competencias matemáticas. Emergente, Personalizado, Abierto. Incorpora una descripción a priori de todos los procedimientos, que identifica un resolutor experto y que pueden conducir a resolver el problema propuesto.	Usuarios del sistema (profesores y alumnos) + dos agentes artificiales: tutor y mediador	Cobo Fortunity,2004
E-MCOE	Metáfora de los juegos	tutor mediador interfase	Goulart Giraffa,2001

Modelo del Alumno y de Comunicación.

La Tabla B.1 resume las características de los sistemas referidos.

MACES, AMPLIA, BAGHERA, MASPLANG y JADE no replanifican la instrucción usando la experiencia almacenada de los aprendices. El agente colaborativo de MACES sólo utiliza el canal sincrónico de comunicación en el CSCL. AMPLIA, BAGHERA, MASPLANG y JADE no implementan CSCL.

En forma novedosa Silveira et Al. (2004) proponen objetos de aprendizaje inteligentes (Intelligent Learning Objects ILO), una propuesta de objetos de aprendizajes basados en agentes, extendiendo los buenos resultados de los sistemas multi-agente en la adaptación de sistemas de enseñanza a los objetos de aprendizaje, combinándolos con las ventajas de mejoras en eficiencia, eficacia y reusabilidad ofrecida por el modelo LOM/IEEE 1484. Los ILOs, que deben ser lo más pequeño posible para permitir un gran cantidad de combinaciones con otros objetos, mejoran la adaptabilidad e interactividad de complejos ambientes de aprendizaje contruidos con esta clase de componentes.

También se están realizando experimentos tendientes a descifrar si son importantes las características de los compañeros virtuales (agentes inteligentes) dentro del proceso de enseñanza aprendizaje. Un curioso trabajo denominado MathGirls de Utah State University muestra la influencia de las características, en particular el genero y la edad, de los agentes inteligentes que apoyan el proceso dentro de un SMA pedagógico, concluyendo que los compañeros agentes jóvenes mujeres generaron mejores actitudes, pero que no hay una significativa diferencia en el aprendizaje. MathGirls es un ambiente de aprendizaje basado en computador, diseñado para chicas de high school para el dominio de álgebra con agentes pedagógicos parecidos a los humanos. Se desarrollaron diversos tipos de scripts a saber: De información (relacionados con el contenido), motivacionales (elogio o motivación verbal), persuasivos (declaraciones sobre las ventajas de aprender matemáticas y de perseguir carreras relacionadas

con éstas) (Kim et al, 2006). En una vía similar Kim y Wei(2006) de la misma universidad, experimentan con compañeros virtuales animados (Virtual peer, VP) bajo las variables independientes competencias (alta, baja), tipo de interacción (proactivo, responsivo), genero y expresión emocional (positiva, negativa o neutral). Reportan los siguientes resultados: Los estudiantes que trabajaron con VP con competencia baja mostraron mejora significativa en la auto-eficacia, mientras que el tipo de interacción no reporto ningún cambio. Con respecto a las expresiones emocionales y género estas no generaron ningún cambio en la auto-eficacia pero con respecto al interés se presentaron mejoras en los estudiantes que trabajaron con VP masculinos. Por otro lado los estudiantes que trabajaron con VP responsivo mostraron significativas mejoras en la auto-eficacia y en el interés por encima de los que se acompañaron de los no-responsivos.

El agente emotivo PAT, que permanentemente motiva y orienta al aprendiz en las diferentes tareas a enfrentar en el ambiente de aprendizaje, es otro ejemplo en esta línea de trabajo (Jaques y Vicari, 2005).

#### **Posibilidades en ambientes educativos adaptativos genéricos:**

Los atributos propios de los agentes de software como reactividad, proactividad, autonomía, continuidad temporal, habilidad social, aprendizaje, actitud, son características deseables en la solución al tipo de problema en cuestión. Aprovechando las ventajas de los Sistemas Multi-agentes y su capacidad para integración posterior, el sistema puede crecer en otros bloques de adaptación y también permitir el intercambio de componentes del sistema diseñados y construidos bajo otras ópticas, permitiendo mejoras o pruebas de alto valor investigativo.

Para finalizar este anexo, se puede concluir que gran parte de las técnicas han sido utilizadas para modelar el estudiante, para capturar dinámicamente su comportamiento o para representar la estructura del dominio. Menos, pero presentes, apoyan la redefinición de estrategias en el proceso. En el caso de RBC y AI Planning, estas técnicas son promisorias para los procesos de planificación y replanificación adaptativa. Algunas técnicas de Inteligencia Artificial toman especial importancia al momento de actualizar el estado del modelo del estudiante; resaltando dentro de estas las redes neuronales por su gran capacidad de predicción y clasificación; los sistemas expertos para imitar el comportamiento del tutor humano; y el razonamiento basado en casos para determinar ciertos aspectos del estudiante tomando como base el comportamiento mostrado por otros. En general los agentes inteligentes y la sociedad de estos, permiten incluir ventajas importantes por su capacidad de modularidad, que permite, idealmente, el intercambio y escalabilidad posterior ampliando la solución a otros enfoques, facilitando validaciones de alto valor investigativo.



## Anexo C

# Desarrollo del Sistema Multi-agente - Metodología

El rigor dado por una metodología para el desarrollo del Sistema Multi-agente (SMA) es muy importante y resulta evidente que el desarrollo de cualquier tipo de software necesita de la existencia de métodos y herramientas que faciliten la obtención de productos finales fiables. El presente anexo presenta algunos de los elementos más importantes en cada una de las fases del desarrollo del SMA.

Luego de la revisión de las diferentes propuestas metodológicas se optó por la metodología MASCommonKADS, que presenta ventajas en sistemas basados en conocimiento y en varios de los proyectos más importantes en los SMA pedagógicos ha demostrado su efectividad.

MASCommonKADS (Iglesias, 1998) extiende CommonKADS aplicando ideas de metodologías orientadas a objetos para su aplicación a la producción de SMA. CommonKADS gira alrededor del modelo de experiencia y está pensada para desarrollar sistemas expertos que interactúen con el usuario y considera sólo dos agentes básicos: el usuario y el sistema. MASCommonKADS extiende los modelos de CommonKADS para tener en cuenta la posibilidad de que dos o más componentes del sistema interactúen. MASCommonKADS ha sido la primera en plantear un desarrollo de SMA integrado con un ciclo de vida de software. Propone siete modelos para la definición del sistema: el modelo de agentes, el modelo de tareas, el modelo de la experiencia, el modelo de la organización, el modelo de coordinación, el modelo de comunicación y el modelo de diseño. La metodología consiste en el desarrollo de los diferentes modelos.

### C.1. Fase de Conceptualización

En esta fase se define el proyecto y su alcance, mediante un proceso de captura requisitos de usuarios y la elaboración de un primer esquema basado en diagramas de casos de uso, que permite comprender claramente los procesos que se llevan a cabo, detectar las interacciones con actores externos al sistema

y definir el alcance funcional del proyecto.

La figura C.1 presenta las relaciones entre el usuario y el sistema en forma general aprovechando el diagrama de casos de uso.

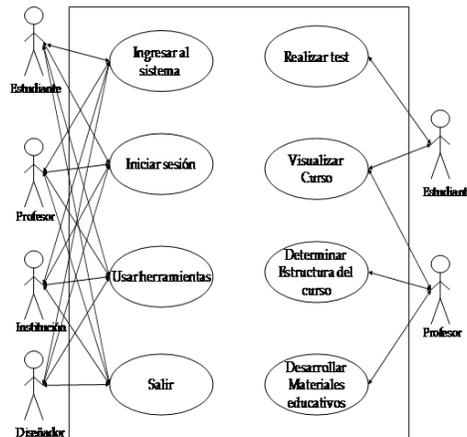


Figura C.1: Casos de Uso en forma general

La figura C.2 detalla los casos de usos de los actores principales.

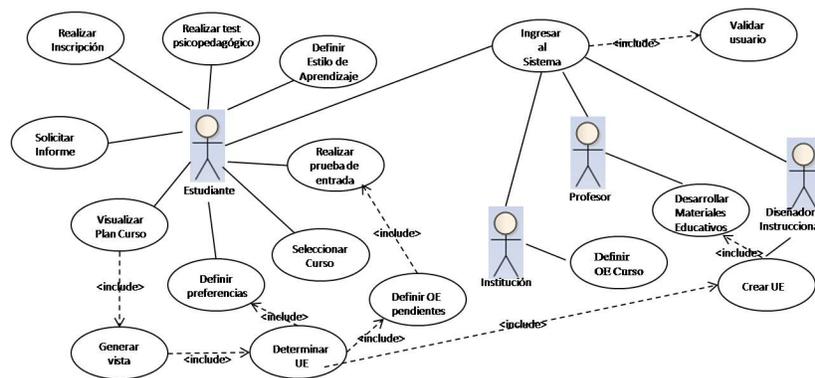


Figura C.2: Diagramas de Casos de Uso

## C.2. Fase de Análisis

En esta fase se modela el SMA propuesto mediante el desarrollo de cada uno de los modelos definidos en la metodología MAS-CommonKADS.

### C.2.1. Modelo de Agente (MA)

**Identificación de los agentes.** Un primer acercamiento permite determinar que los agentes principales del sistema son: Estudiante, Diagnostico, Adaptación, Agentes de Información, Dominio y Agente Interfaz.

#### **Descripción de los agentes.**

Agente: Estudiante

Descripción: Es el agente que representa al estudiante humano en su relación con el sistema y la comunicación con los demás agentes.

Agente: Diagnóstico

Descripción: Es el agente encargado de realizar las pruebas académicas, psicopedagógicas y psicológicas al estudiante. Al final genera el nivel de OE alcanzados, el estilo de aprendizaje y otros valores del perfil del estudiante.

Agente: Adaptación

Descripción: El Agente Adaptación se encarga de realizar todo el proceso de selección de los objetivos educativos y a partir de estos las Unidades Educativas acorde con la estrategia de adaptación, generando un plan de curso inicial. Este agente recibe la información de las características específicas del estudiante y la información de dominio del curso.

Agente: Dominio

Descripción: Es el agente que se encarga de mantener la representación del curso, sus componentes y su estructura.

Agente: Información

Descripción: Agentes encargados de almacenar y recuperar la información desde la base de datos y otras fuentes de información, si se requiere.

Agente: Interfaz

Descripción: Agente encargado de administrar la relación con los usuarios humanos y el sistema.

A continuación mediante una plantilla provista por la metodología se presenta el ejemplo del agente estudiante, tabla C.1.

Tabla C.1: Plantilla para el Agente Estudiante

<b>Agente</b>	Estudiante
<b>Tipo</b>	Agente software
<b>Papel</b>	Agente que contiene y actualiza las características del estudiante
<b>Posición</b>	Contenido en la sociedad de agentes. Usuario, suministrador y actualizador de información
<b>Descripción</b>	Es el agente que representa al estudiante humano en su relación con el sistema y la comunicación con los demás agentes
<b>Objetivo</b>	Mantener en centralizada y disponible la información de los perfiles del estudiante
<b>Parámetros de entrada</b>	Característica
<b>Parámetros de Salida</b>	Valor
<b>Servicio</b>	Entregar el estado actual de una característica
<b>Experiencia</b>	Conocimiento del perfil del estudiante

### C.2.2. Modelo de Tareas (MT)

Se definen los objetivos de cada tarea, su descomposición, los ingredientes y los métodos de resolución de problemas para resolver cada objetivo. Es una descomposición funcional del sistema.

La metodología define las formas de representar tanto grafica como textualmente estas tareas. A continuación se muestran algunos de los modelos realizados para tareas específicas. La figura C.3 representa el diagrama de la tarea *Realizar prueba de entrada*. Por su parte la tabla C.2 especifica la tarea *Administrar el perfil del estudiante*



Figura C.3: Diagramas de Tareas Realizar prueba de entrada

La figura C.4 es la representación mediante un diagrama de actividades de la tarea *Consultar característica de estudiante*.

Mientras que la tabla C.2 es la plantilla que condensa la tarea de *Administrar el perfil del estudiante*.

La siguiente plantilla, en la tabla C.3, sintetiza una de las tareas más importante en el sistema: la

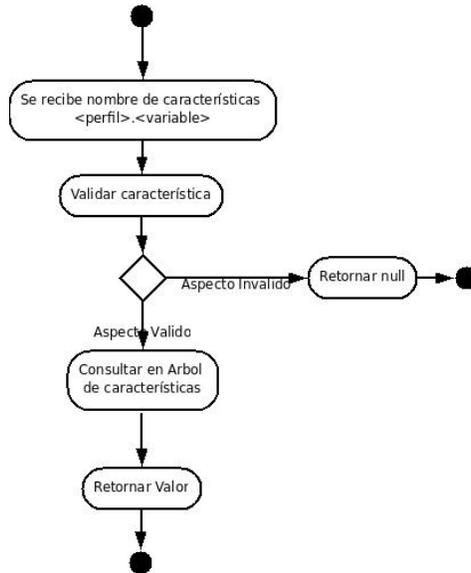


Figura C.4: Diagramas de Tarea Consultar datos estudiante

Tabla C.2: Plantilla Modelo de Tarea: Administrar el perfil del estudiante

<b>Objetivo</b>	Administra el modelo de estudiante de cada alumno
<b>Entrada</b>	Ingreso del aprendiz al sistema
<b>Salida</b>	Información particular del estudiante
<b>Precondición</b>	Validación del usuario
<b>Supertareas</b>	N.A.
<b>Subtareas</b>	Registrar estudiante, Actualizar Información estudiante, consultar información estudiante

*obtención de las UE.*

### C.2.3. Modelo de Comunicación (MC)

Describe las interacciones entre un agente humano y un agente software. Se centra en la consideración de factores humanos para dicha interacción. Para la representación se usan los mismos instrumentos que en el modelo de coordinación. Para nuestro caso representa mayor interés las interacciones expresadas en el modelo de Coordinación.

Tabla C.3: Tarea: Determinar UE

<b>Objetivo</b>	Definir cuales actividades educativas deben incluirse en el curso para la consecución de los OE propuestos
<b>Descripción</b>	A partir del subconjunto de OE, para cada uno se determinan las UE que cubren estos OE y que están acorde con las características del estudiante. Este proceso es apoyado por los metadatos de las entidades.
<b>Entrada</b>	OE e IdEstudiante
<b>Salida</b>	Lista de UE
<b>Precondición</b>	Estudiante inscrito en el curso y con perfil activo
<b>Frecuencia</b>	Cada que se inicie un nuevo curso o se realice el proceso de replanificación local o global

#### C.2.4. Modelo de Coordinación (MCo)

Este modelo describe las interacciones entre agentes de software. Para la especificación de este modelo se trabajara con el diagrama de Secuencia de UML que aporta un análisis adecuado a la interacción de los agentes.

La descripción de las conversaciones se realiza desde dos puntos de vista: Externo, se analiza el objetivo de la conversación, precondiciones, poscondiciones y participantes y estructural, contiene las fases de la conversación y las intervenciones que se dan en cada fase.

Las figuras C.5, C.6 y C.7 muestran las relaciones entre varios de los agentes.

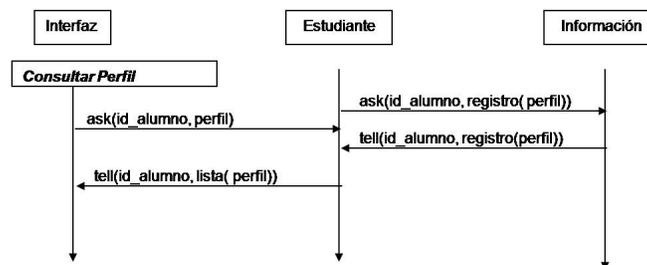


Figura C.5: Diagramas de secuencia Consultar perfil

Los mensajes intercambiados entre los agentes se representan usando KQML, como se aprecia en la figura C.8

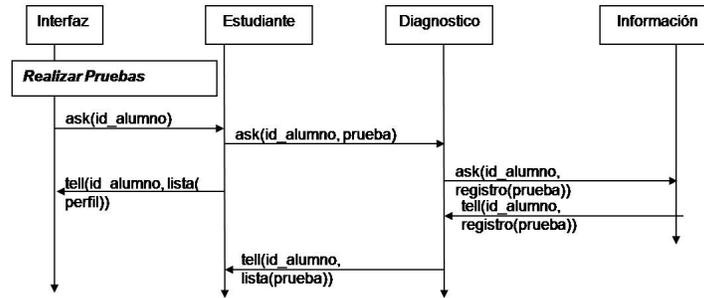


Figura C.6: Diagrama de secuencia Realizar pruebas

### C.2.5. Modelo de la Organización (MO)

Es una herramienta para analizar la organización humana en que el SMA va a ser introducido y para describir la organización de los agentes software y su relación con el entorno. El objetivo del modelo de la organización Multi-Agente es representar las relaciones estáticas entre los agentes del sistema.

Permite agrupar clases de agentes que comparten unas capacidades parecidas (servicios, sensores, actuadores, objetivos, creencias, etc.). En la propuesta se parte de que todos los agentes tienen características básicas similares y por lo tanto se propone la siguiente organización en la figura C.9

### C.2.6. Modelo de la Experiencia (ME)

Describe el conocimiento que necesitan los agentes para alcanzar sus objetivos. Sigue la descomposición de CommonKADS y reutiliza las bibliotecas de tareas genéricas. El modelo de la experiencia involucra la identificación, descripción y estructuración del conocimiento que requieren los agentes para realizar sus tareas.

La descripción textual de este modelo consiste en una plantilla que describe el diagrama de conceptos, por ejemplo:

**Concepto:** Perfil académico

**Descripción:** Representa los logros obtenidos por un estudiante en particular en términos de objetivos educativos.

Para el conocimiento de tareas se describe cada tarea que requiere conocimiento para ser llevada a cabo y el conocimiento de control que determina cómo se combinan las inferencias elementales para conseguir un objetivo, como se muestra en la graficas C.10 y C.11

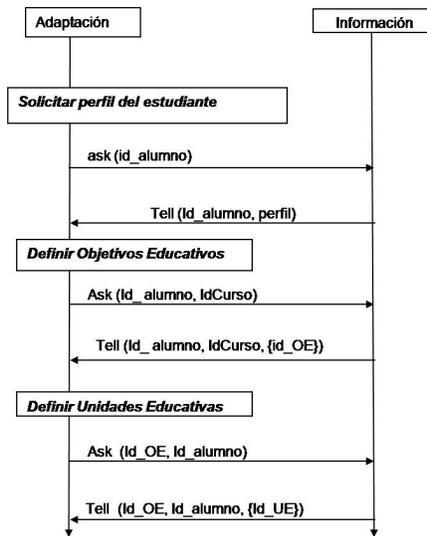


Figura C.7: Diagrama de secuencia Seleccionar UE

### C.3. Fase de Diseño

El modelo de diseño de MAS-CommonKADS distingue tres clases de decisiones: Diseño de la red, diseño de los agentes y diseño de la plataforma.

La plataforma construida se presenta en el diagrama de despliegue en la figura C.12.

Para el diseño de los agentes de emplean plantillas como la siguiente:

#### Sistema -Agente Diagnostico

**Arquitectura:** Los Agentes se desarrollan en JAVA, utilizando la plataforma JADE, soporte en la construcción de sistemas multi-agentes.

**Tiene - Subsistemas:** Realizar Pruebas Diagnosticas, Realizar prueba de conocimiento, Realizar Pruebas Psicopedagógica, Realizar Pruebas Psicológicas, Determinar condiciones contextuales.

**Lenguaje de Diseño:** JAVA

**Subsistema:** Realizar prueba de conocimiento

**Tipos de Ejecución de Tarea**

**Funcionalidad:** Realiza las pruebas a los estudiantes con el fin de determinar su nivel de conocimiento previo o actual expresados en términos de OE.

**Implementa:** Aplicar Pruebas de entrada

**Subsistema:** Realizar Pruebas Psicopedagógica

performative	"ask"
Content	PerfilEstudiante (IdEstudiante)
inReplyTo	Null
Receiver	Agente Estudiante
replyWith	null
Sender	Agente de adaptación
language	KQML
ontology	Curso

performative	"tell"
Content	Estudiante(perfil)
inReplyTo	perfil
Receiver	Agente de adaptación
replyWith	Null
Sender	Agente Estudiante

performative	"sorry"
Content	NoExistePerfil
inReplyTo	perfil
receiver	Agente de adaptación
replyWith	Null
sender	Agente Estudiante

Figura C.8: Mensajes KQML

**Tipos de Ejecución de Tarea Funcionalidad:** Implementar el modelo de estilos de aprendizaje seleccionado y presentar el test al estudiante.

**Implementa:** Test LS.

## C.4. Propuesta Final

La figura C.13 muestra el esquema general del Sistema multi-agente, que integra los diferentes elementos desarrollados en este trabajo

Como se aprecia el proceso de adaptación se desarrolla basado en técnicas de planificación en inteligencia artificial (AI Planning) y el agente de adaptación es reemplazado por los agentes pre-planificador y planificador y su modelo de experiencia contiene el algoritmo del planificador SHOP2.

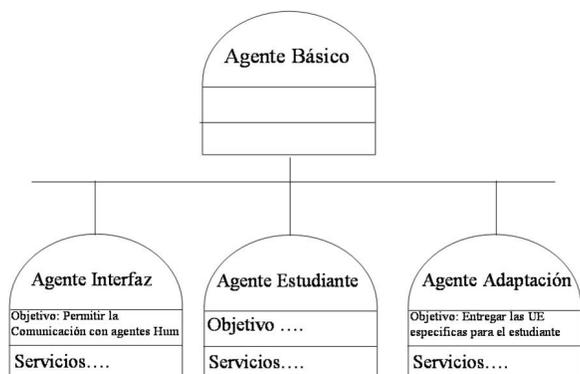


Figura C.9: Modelo de la Organización

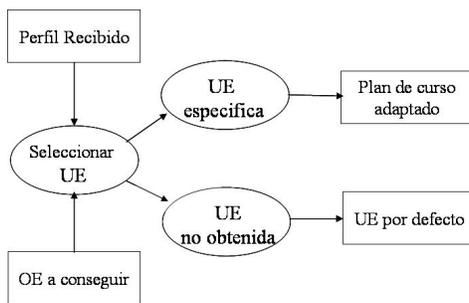


Figura C.10: Modelo de la Experiencia - Seleccionar UE

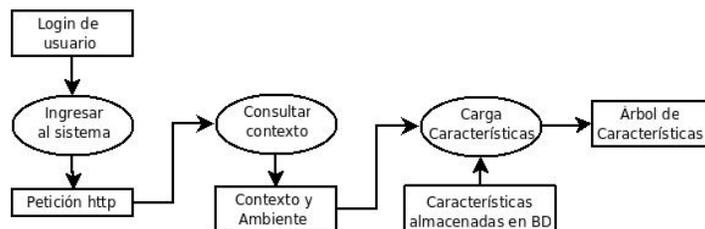


Figura C.11: Modelo de la Experiencia - Ingreso al sistema

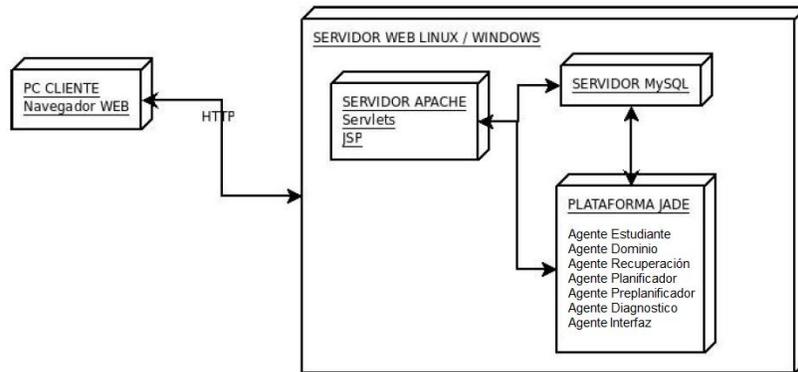


Figura C.12: Arquitectura de SICAD+

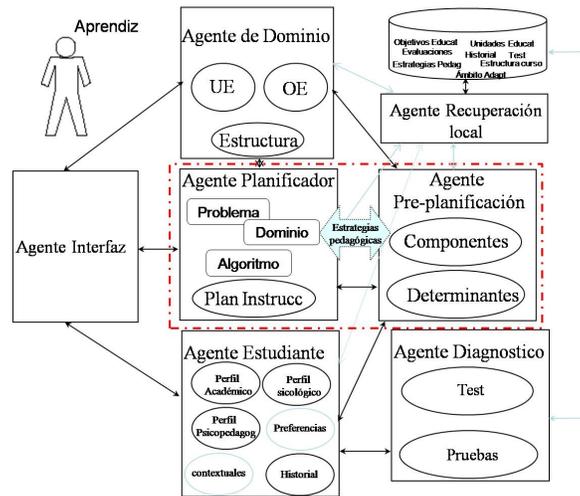


Figura C.13: Esquema del Sistema Multi-agente propuesto



## Anexo D

# Formalización del proceso de Adaptación: Ámbito de adaptación

Como se planteó en capítulo anterior este aparte se puede entender como un valor agregado de la tesis, dado que no hace parte de los objetivos propuestos y se presenta a manera de esbozo preliminar como base para un trabajo futuro de investigación.

Como se ha planteado es necesario definir las situaciones probables y las condiciones para que el sistema se oriente hacia una de estas. En ésta sección se presenta, en terminos generales, cómo se pueden expresar formalmente estos conceptos.

### D.1. Ámbito de adaptación

Este espacio puede ser definido formalmente de diferentes maneras, con implicaciones asociadas en cada caso:

- Expresado como una relación de partes de conjuntos.
- Como unión de conjuntos:

$$A = A_1 \cup A_2 \dots \cup A_n$$

$$B = B_1 \cup B_2 \dots \cup B_n$$

...

$$Z = Z_1 \cup Z_2 \dots \cup Z_n$$

Dónde:

$$A_i \cap A_j = \phi$$

$$B_i \cap B_j = \phi$$

...

$$Z_i \cap Z_j = \phi$$

Digamos que el conjunto  $A$  representa la unión de los conjuntos de características adaptables (por decir algo: estrategia, formato, disposición).

El conjunto  $B$  representa la unión de los conjuntos de los determinantes de la adaptación (Por ejemplo: estilo de aprendizaje, edad, características no permanentes, etc.).

Por lo tanto la salida del espacio de adaptación podría verse como:

$$\{(b_1, b_2 \dots b_m), (a_1, a_2 \dots a_n)\}$$

Cada uno de los paréntesis representa una relación  $R_i$ , cuyo despliegue tendría dimensión  $(m + n)$ aria y se desarrolla así:

$$(b_1, b_2 \dots b_m, a_1, a_2 \dots a_n)$$

Pero este conjunto expresado como una serie de elementos involucrados en la adaptación no se presenta fácil para el entendimiento y la toma de decisiones en forma automática, que es lo deseable en el proyecto.

Pero si se analizan algunas situaciones deseables, buscando que se pueda plantear una propuesta generalizadora, los casos anteriores tienen limitaciones en cuanto a:

- Los componentes del espacio de soluciones deben mantener un orden establecido y riguroso
  - Requiere la existencia de valores para elementos de los conjuntos resultantes, lo cual probablemente no se tenga o no se desee.
- Buscando resolver tales situaciones, es preferible aplicar la operación *producto cartesiano* y las relaciones resultantes válidas, se pueden ver como un subconjunto del producto de los aspectos involucrados en cada grupo; por lo tanto se tiene:

$$R_1 \subseteq B_1 \times B_2 \dots \times B_n$$

$$R_2 \subseteq A_1 \times A_2 \dots \times A_n$$

Y  $R$  vendría a ser:

$$R \subseteq R_1 \times R_2$$

Que con fines de generalización, se puede expresar como:

$$R \subseteq R_1 \times R_2 \dots \times R_n$$

## D.2. Ejemplo

Para apoyar esta idea se presenta el siguiente ejemplo, sea:

$$B_1 = \{a, b\}$$

$$B_2 = \{m, s\}$$

$$A_1 = \{\alpha\}$$

$$A_2 = \{\beta, \gamma\}$$

$$A_3 = \{\delta\}$$

Sea, entonces:

$$B_1 \times B_2 = \{(a, m), (a, s), (b, m), (b, s)\}$$

$$A_1 \times A_2 \times A_3 = \{(\alpha, \beta, \delta), (\alpha, \gamma, \delta)\}$$

Dado que:

$$R_1 \subseteq B_1 \times B_2 \dots \times B_n$$

$$R_2 \subseteq A_1 \times A_2 \dots \times A_n$$

Se puede tener lo siguiente:

$$R_1 = \{(a, m), (b, m)\}$$

$$R_2 = \{(\alpha, \beta, \delta), (\alpha, \gamma, \delta)\}$$

Por lo tanto:

$$R_1 \times R_2 = \{((a, m), (\alpha, \beta, \delta)), ((a, m), (\alpha, \gamma, \delta)), ((b, m), (\alpha, \beta, \delta)), ((b, m), (\alpha, \gamma, \delta))\}$$

Como es deseable dejar expresada la posibilidad que solo algunos elementos de  $R_1 \times R_2$  sean de interés en el diseño se tiene que:  $R \subseteq R_1 \times R_2$  y entonces:

$$R = \{((a, m), (\alpha, \beta, \delta)), ((a, m), (\alpha, \gamma, \delta)), ((b, m), (\alpha, \beta, \delta))\}$$

Que puede ser expresado en la siguiente forma:

$$R = \{(a, m, \alpha, \beta, \delta), (a, m, \alpha, \gamma, \delta), (b, m, \alpha, \beta, \delta)\}$$

Donde  $R$  especifica todas las posibles combinaciones en el espacio de adaptabilidad. Y es claro que la organización de cada uno de los elementos está dada, o sea  $(a, m) \neq (m, a)$ . Esto aunque podría parecer molesto es deseable al momento de la sistematización.

Pero aun hay un problema por resolver: Este enfoque permite que algunos de los elementos no existan?. Dado lo anterior, no.

Como una solución se propone agregar a cada  $A_i$  y  $B_i$  un elemento *comodín* que se representará por  $\perp$ .

Con fines de simplicidad supóngase que el conjunto  $A_3$  sea:

$$A_3 = \{\delta, \perp\}$$

Por lo tanto,  $A_1 \times A_2 \times A_3$  sería diferente:

$$A_1 \times A_2 \times A_3 = \{(\alpha, \beta, \delta), (\alpha, \gamma, \delta) \dots (\alpha, \beta, \perp) \dots\}$$

Donde el elemento  $(\alpha, \beta, \perp)$  expresaría que se tiene un valor para  $A_1$ , se tiene un valor para  $A_2$ , pero no se tiene o no se desea un valor para  $A_3$ . Esta modificación resulta importante en la idea de generalizar la propuesta. Es importante anotar que sobre  $R$  se pueden colocar restricciones o exigencias que darían al diseñador el control del espacio de adaptación. Estas podrían ser rangos de valores permitidos en los elementos de un conjunto, la cardinalidad de los conjuntos aceptados, etc.

### D.3. Forma General

Sea:

$$A = \bigcup_{i=1}^n A_i \text{ para } A_i \cap A_j = \phi$$

$$i \neq j$$

$$B = \bigcup_{k=1}^n B_k \text{ para } B_i \cap B_j = \phi$$

$$i \neq j$$

$$R \subseteq \prod_{i=1}^n A_i \times \prod_{k=1}^n B_k$$

La ultima expresion se puede generalizar como:

$$R \subseteq \prod_{i=1}^n A_i \times \prod_{k=1}^n B_k \dots \times \prod_{l=1}^n Z_l$$

Para ambos casos se pueden definir conjunto de restricciones de la forma:

$$R \subseteq \prod_{i=1}^n A_i \times \prod_{k=1}^n B_k \dots \times \prod_{l=1}^n Z_l$$

Donde  $r_A$  especifica el conjunto de restricciones para  $A$ .

$$r_Z = \left\{ t \in \prod_{i=1}^n Z_i / t = (x_1, x_2, \dots, x_n) \wedge \times_{i=1}^n Z_i, x_i \Theta \alpha \right\} \dots$$

Donde  $Z$  especifica cualquier conjunto involucrado en el espacio de adaptabilidad y donde  $\Theta$  puede ser reemplazado por cualquier operador de comparación y  $\alpha$  es un valor de referencia.

Estas restricciones pueden posteriormente asociarse para obtener las tuplas permitidas:

Restricciones de pertenencia:

$$x \in \mathfrak{R} \Rightarrow x = (\vartheta, \rho) \wedge \vartheta \in r_Z \dots$$

O restricciones de cardinalidad:

$$X \in R_i \Xi \#X \Theta N$$

O combinaciones de estas u otras que se deseen especificar.

Donde  $X$  es un elemento del conjunto  $R$ ,  $\Xi$  puede ser  $\Leftarrow, \Rightarrow, \Leftrightarrow, \dots$ ,  $\#X$  es la cardinalidad de  $X$ ,  $\Theta$  es un operador de comparación y  $N$  es un número entero positivo.

Por ejemplo:

$$r_A = \left\{ t \in \prod_{i=1}^n A_i / t = (x_1, x_2, \dots, x_n) \wedge \times_{i=1}^n A_i, x_1 = \perp \wedge (x_2 \geq 30 \vee x_2 \leq 10) \dots \right\}$$

$$r_B = \left\{ s \in \prod_{i=1}^n B_i / s = \dots, x_n \right\} \dots$$

De donde se puede especificar los elementos validos tal como:

$$x \in \mathfrak{R} \Rightarrow x = (y, z) \wedge y \in r_a \wedge z \in r_b$$