



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN



Tesis doctoral:

Un modelo del estudiante basado en mapas cognitivos

Autor:

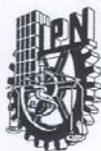
Alejandro Peña Ayala

Directores de Tesis:

Dr. Juan Humberto Sossa Azuela

Dr. Agustín Francisco Gutiérrez Tornés

Diciembre, 2007



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 18:00 horas del día 30 del mes de Octubre de 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del:

Centro de Investigación en Computación

para examinar la tesis de grado titulada:

"UN MODELO DEL ESTUDIANTE BASADO EN MAPAS COGNITIVOS"

Presentada por el alumno:

PEÑA

Apellido paterno

AYALA

materno

ALEJANDRO

nombre(s)

Con registro:

B	0	3	1	2	3	8
---	---	---	---	---	---	---

aspirante al grado de: **DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Presidente

DR. EDGARDO MANUEL FELIPE RIVERÓN

Primer vocal
(Director de Tesis)

Secretario

DR. SERGIO SUÁREZ GUERRA

Segundo vocal
(Director de Tesis)

DR. JUAN HUMBERTO SOSSA AZUELA

Tercer vocal

DR. AGUSTÍN FRANCISCO GUTIÉRREZ TORNÉS

Suplente

DR. FRANCISCO CERVANTES PÉREZ

DR. ALEXANDRE FELIXOVICH GUELBOUKH KAHN

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO



DR. JAIME ÁLVAREZ GALLEGOS

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
 CENTRO DE INVESTIGACIÓN
 EN COMPUTACIÓN
 DIRECCIÓN



INSTITUTO POLITÈCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F., el día 16 del mes de noviembre del año de 2007, el que suscribe, Alejandro Peña Ayala, alumno del programa de doctorado en ciencias de la computación, con número de registro B031238, adscrito al Centro de Investigación en Computación, manifiesta que el actor intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección del Dr. Juan Humberto Sossa Azuela y del Dr. Agustín Francisco Gutiérrez Tornés, y cede los derechos del trabajo intitulado: "Un modelo del estudiante basado en mapas cognitivos", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o del director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: apenaa@sagitario.cic.ipn.mx Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Alejandro Peña Ayala

Resumen

En esta tesis doctoral se propone un modelo para anticipar los efectos causales que una experiencia de enseñanza-aprendizaje producirá en el estudiante. La tesis plantea que *al representar los atributos de la experiencia y del individuo, es posible inferir el impacto causal que la experiencia producirá en el estudiante*. Para materializar esta proposición, se diseña un modelo del estudiante basado en mapas cognitivos mediante el cual se caracterizan los atributos como conceptos y relaciones causa-efecto, a partir de los cuales se derivan inferencias difuso-causales que estiman comportamientos.

El trabajo procura extender el dominio y alcances cubiertos por los modelos del estudiante desarrollados hasta la fecha. También representa una aportación al ofrecer una educación centrada en el estudiante al representar las causas y efectos que concurren para su aprendizaje. Al incorporar esta clase de modelos del estudiante proactivos en los sistemas de educación basada en Web se proveen los elementos necesarios para orientar la adaptación del sistema al perfil inicial del individuo y al desempeño que se observa durante el proceso de enseñanza.

Una contribución más de la propuesta, es el empleo de *mapas cognitivos* para el modelado del estudiante como elemento base para representar los múltiples puntos de vista que expresan los criterios que se tienen del estudiante y que constituyen las posturas de los diversos actores interesados en aspectos específicos de la enseñanza del estudiante.

Palabras clave

Sistemas de educación basada en Web, modelo del estudiante, mapas cognitivos, experiencia de enseñanza-aprendizaje, razonamiento causal-difuso.

Abstract

In this doctoral dissertation is proposed a model to anticipate the causal effects that a teaching-learning experience will produce on the student. Thus the thesis establishes that: When representing the features of the experience and of the student, it is possible to infer the causal effect of the experience to be produce onto the student. To materialize this proposition is designed a student model based on cognitive maps in order to characterize the features as concepts and cause-effect relationships, from where are derived fuzzy-causal inferences that estimate behaviours.

This thesis tries to extend the domain and covered achievements by the student models developed up to date. It also represents a contribution for delivering a student centred education, due to it depicts the causes and the effects that bias the learning. When incorporating this type of proactive student model in the Web-based education systems the necessary elements are provided to adapt the system to student's profile and to the development carried out during his teaching process.

Another contribution of the proposal is the use of cognitive maps to model the student as an underlying element to represent multiple points of view that express the beliefs about the student, and that constitute the postures of the different actors interested in specific issues about the student's learning process.

Keywords

Web-based education systems, student model, cognitive maps, teaching-learning experience, causal-fuzzy reasoning.

Dedicatoria

*...Poco es para mí que tú seas mi siervo...
También te di por luz de las naciones,...
Hasta lo postrero de la tierra
(Isaías 49.6)*

A MI PADRE, SALVADOR Y CONSOLADOR: EL YO SOY, EL GRAN YO SOY.

A mi madre: TERESA.

A mis descendientes: Paolina, Alejandro, Elizabeth, David, David Alejandro “Cawa”, Isaac Enrique,...

A mis hermanos: Javier, Tomás, Alejandra.

A mis sobrinos: Francisco, Ana, Alejandra, Elizabeth.

En memoria de mi padre Pedro Ascencio[†] y de mi hermana Emma[†].

.

Agradecimientos

Esta obra fue posible gracias al concurso de muchas personas:

Al Dr. Juan Humberto Sossa Azuela: *“Bienaventurado el varón que...; sino que en la ley de Jehová está su delicia,..., y todo lo que hace prosperará.”* (Salmos 1.1-3).

Al Dr. Agustín Francisco Gutiérrez Tornés, quien con su motivación animó el desarrollo del proyecto. Al Dr. Edgardo Manuel Felipe Riverón, quien con su sapiencia instó a la excelencia en el trabajo. Al Dr. Sergio Suárez Guerra, quien con su sensibilidad destacó los frutos de la obra, al Dr. Francisco Cervantes Pérez quien a través de sus consejos encendió la luz en medio de las tinieblas, al Dr. Guelboukh Khan Alexandre Felixovitch, quien respetó la fe del autor.

Al M. en C. Jaime Martínez Ramos, director de la UPIICSA, quien ofreció el respaldo oficial necesario para realizar los estudios doctorales. Al Ing. Luis Daniel Soto, quien generosamente dotó de recursos al proyecto. Al Dr. Ignacio Méndez Ramírez, quien precisó la verificación de la hipótesis. A las psicólogas Lucrecia Flores Rosete y Julieta Patricia Vargas, quienes asesoraron la conformación del modelo del estudiante. A Urano González, quien puso la plataforma para publicar en Internet la aplicación. Al Dr. Mauricio Procel Moreno, jefe de la SEPI-UPIICSA, quien promovió el experimento.

A quienes participaron en la construcción del prototipo de tesis doctoral y en su verificación experimental: Patricia Ochoa, los doscientos sujetos que integraron el universo, y en particular a cincuenta de ellos que fueron elegidos como los voluntarios de la muestra a partir de la cual se obtuvieron las conclusiones; y cuyos nombres permanecen en el anonimato, por razones de confidencialidad, aunque jugaron un papel protagónico en la verificación de la hipótesis.

A los amigos, que como la luz que brilla en la oscuridad, tendieron la mano: Lic. Alejandro Pérez López, Ing. Noé Rodríguez Gutiérrez, Lic. Abraham Rivera Ibarra, M. en I: Juan José Hurtado Moreno, Lic. Jorge Loeza Díaz.

Así mismo, los estudios doctorales fueron parcialmente financiados por: CONACYT: beca para estudios doctorales # 182329 (agosto de 2003 a enero de 20089; Microsoft México, licencia de software MSDN Universal (2004 a 2005); CONACYT: Proyecto Memorias Asociativas SEP-2004-C01-46805/747 (2005-2007); IPN-COTEPABE: licencia con goce de sueldo RR-165/07 (enero de 2004 a junio de 2007); IPN-COFAA, beca para realizar estudios doctorales DEBEC/364 (enero de 2006 a junio de 2007); IPN-DRH: licencia con goce de sueldo para conclusión de tesis doctoral DRH/4340/07 (agosto de 2007 a diciembre de 2007); CONACYT: beca de apoyo integral para la formación de doctores en ciencias 2006.

Esta obra es el resultado de la inversión en investigación y desarrollo científico del ministerio cristiano de alcance mundial “Luz a las Nacionales” – World Outreach Light to the Nations Ministries” (WOLNM) y que conforme con su visión: hizo posible la exposición y publicación de los resultados de la tesis doctoral en congresos celebrados en los cinco continentes.

Contenido

Resumen.....	vii
Abstract.....	ix
Agradecimientos.....	xi
Lista de figuras.....	xix
Lista de tablas.....	xxi
Lista de acrónimos y siglas.....	xxiii
Glosario.....	xxv
Capítulo 1 Introducción.....	1
1.1 Dominio de la tesis.....	1
1.1.1 La educación asistida por computadora y basada en Web.....	2
1.1.2 El modelado del estudiante.....	2
1.1.3 El mapeo cognitivo.....	3
1.2 Planteamiento de la investigación.....	4
1.2.1 Problema a resolver.....	4
1.2.2 Objetivos de la investigación.....	5
1.2.3 Justificación de la investigación.....	5
1.3 Presentación de la solución.....	6
1.3.1 Hipótesis de la investigación.....	6
1.3.2 Propuesta de solución.....	7
1.3.3 Productos.....	8
1.3.4 Descripción de la solución.....	8
1.3.4.1 El modelado del estudiante con base en la Teoría de la Actividad.....	8
1.3.4.2 El mapa cognitivo como modelo de predicción causal.....	9
1.3.4.3 El modelado del estudiante como parte de un SEBW.....	11
1.4 Aportación de la investigación.....	13
1.4.1 Aportaciones principales de la tesis.....	13
1.4.2 Aportaciones específicas al modelado del estudiante.....	13
1.4.3 Aportaciones específicas al mapeo cognitivo.....	14
1.5 Marco de trabajo.....	16
1.5.1 Creación del prototipo.....	16
1.5.2 Método de desarrollo.....	17
1.5.3 Diseño del experimento.....	17
1.6 Organización del documento.....	19
1.7 Conclusiones.....	20
Capítulo 2 Estado del arte.....	21
2.1 Provisión de enseñanza por medio de sistemas basados en Web.....	21
2.1.1 Evolución de los SEBW.....	22
2.1.2 Líneas de investigación de los SEBW.....	23
2.2 Investigación en el campo del modelado del estudiante.....	26
2.2.1 Pautas de diseño para el modelado del estudiante.....	26
2.2.2 Determinación del patrón para el modelo del estudiante.....	27
2.2.3 Selección de la estructura física para el modelado del estudiante.....	28
2.2.4 Descripción del modelado del estudiante por medio de conceptos.....	28

UN MODELO DEL ESTUDIANTE BASADO EN MAPAS COGNITIVOS

2.2.4.1 Empleo de las redes semánticas en el modelado del estudiante	29
2.2.4.2 Uso de los mapas conceptuales para el modelado del estudiante	29
2.2.4.3 Aplicación de las ontologías en los SEBW.....	30
2.2.5 Representación cualitativa y causal para el modelado del estudiante.....	31
2.2.6 Incorporación de la predicción en el modelado del estudiante	31
2.3 Investigación en el área de los mapas cognitivos	33
2.3.1 Representación de causalidad mediante mapas cognitivos cualitativos	33
2.3.2 Caracterización de la causalidad por medio de mapas cognitivos difusos	35
2.3.3 Habilitación de eventos estocásticos mediante mapas cognitivos probabilísticos... 37	
2.3.4 Incorporación del enfoque dual a través de mapas cognitivos bipolares.....	38
2.3.5 Aplicación de los mapas cognitivos en los SEBW	39
2.4 Aplicación de la Teoría de la Actividad en los SEBW	40
2.5 Conclusiones	40
Capítulo 3 Marco teórico	41
3.1 Principios de la Teoría de la Actividad.....	41
3.2. Descripción formal del modelo del estudiante.....	43
3.3 Fundamentos de la lógica difusa.....	43
3.3.1 Conceptos caracterizados como variables lingüísticas	44
3.3.2 Relaciones expresadas como reglas difusas.....	45
3.3.3 Bases de reglas difusas.....	46
3.3.4 Relaciones de inferencia difusa	46
3.3.5 Escalamiento de conjuntos difusos	47
3.3.6 Agregación de conjuntos difusos.....	48
3.3.7 Estimación del efecto de refuerzo.....	50
3.4 Mapas cognitivos difusos con bases de reglas difusas.....	51
3.4.1 Agrupación de términos lingüísticos en universos de discurso	51
3.4.2 Relación causal-difusa	53
3.4.3 Relación de inferencia variación-nivel	54
3.4.4 Generación del conjunto causal de salida	54
3.4.5 Estimación del efecto de acumulación.....	57
3.4.6 Conversión lingüístico-numérica.....	60
3.5 Conclusiones	62
Capítulo 4 Modelo formal.....	63
4.1 Fundamentos para el modelado	64
4.1.1 Escenario metodológico.....	64
4.1.2 Formulación del modelo	65
4.1.2.1 Composición del modelo	65
4.1.2.2 Desarrollo del modelo.....	66
4.1.2.3 Adquisición de conocimiento sensorial	67
4.1.2.4 Formación del concepto.....	67
4.1.2.5 Establecimiento de juicios	68
4.1.2.6 Activación del razonamiento	69
4.2 Marco formal del modelado del estudiante.....	69
4.2.1 Escenario conceptual	70
4.2.2 Definición de los dominios	70
4.2.3 Integración del marco formal.....	71

4.3 Marco conceptual de los mapas cognitivos	72
4.3.1 Causalidad.....	72
4.3.2 Descripción de los mapas cognitivos.....	73
4.3.2.1 Objeto del modelado	73
4.3.2.2 Enfoque de la dinámica de sistemas cualitativos.....	74
4.3.2.3 Fundamentos de la lógica difusa.....	74
4.3.3 El mapeo cognitivo	75
4.3.3.1 Diseño de la topología	75
4.3.3.2 Escenario de inferencia.....	76
4.3.4 Inferencia a nivel de mapa cognitivo.....	77
4.3.5 Inferencia a nivel de concepto	78
4.3.5.1 Activación de la inferencia a nivel de relación.....	78
4.3.5.2 Clasificación del efecto derivado de las relaciones	78
4.3.5.3 Estimación del efecto de acumulación.....	79
4.3.5.4 Estimación del efecto de refuerzo.....	79
4.3.5.5 Conversión lingüístico-numérica.....	80
4.3.5.6 Conversión numérico-lingüística	81
4.3.5.7 Integración de efectos	81
4.3.5.8 Estimación del efecto variación-nivel.....	82
4.3.6 Inferencia a nivel de relación.....	82
4.3.6.1 Evaluación de la relación	82
4.3.6.2 Activación de las reglas	83
4.3.6.3 Escalamiento de conjuntos difusos	84
4.3.6.4 Agregación de conjuntos difusos.....	84
4.3.6.5 Generación del conjunto causal de salida	85
4.4 Algoritmos	85
4.4.1 Algoritmo general	85
4.4.2 Algoritmo para proveer la experiencia	86
4.4.3 Algoritmo para procurar la mejor opción de experiencia	87
4.4.3.1 Algoritmo base.....	87
4.4.3.2 Algoritmo para crear mapas cognitivos	88
4.4.3.3 Algoritmo para simular la instancia de mapa cognitivo	88
4.5 Conclusiones.....	91
Capítulo 5 Verificación.....	93
5.1 Encuadre teórico de la verificación.....	93
5.1.1 Marco epistemológico de la investigación.....	94
5.1.2 Perfil de la investigación.....	95
5.1.3 Descripción de la hipótesis	95
5.1.4 Fundamentos de la verificación	96
5.2 Planteamiento del experimento.....	98
5.2.1 Logística.....	98
5.2.2 Validez	99
5.2.3 Selección de la muestra.....	101
5.2.4 Flujo del experimento	102
5.3 Recolección de información empírica	103
5.3.1 Fundamentos para la recolección.....	103

UN MODELO DEL ESTUDIANTE BASADO EN MAPAS COGNITIVOS

5.3.2 Instrumentos de medición.....	105
5.3.2.1 Instrumentos para la variable independiente.....	105
5.3.2.2 Instrumentos para la variable dependiente.....	106
5.3.2.3 Instrumentos para la variable interviniente.....	108
5.3.3 Procedimiento de recolección.....	110
5.3.3.1 Conformación de la población de voluntarios.....	110
5.3.3.2 Selección de la muestra e integración de los grupos de comparación.....	111
5.3.3.3 Provisión de las experiencias y de aplicación de la posprueba.....	112
5.4 Análisis de la información empírica.....	113
5.4.1 Análisis estadístico descriptivo.....	113
5.4.1.1 Distribución de frecuencias.....	113
5.4.1.2 Medidas de tendencia central.....	113
5.4.1.3 Medidas de la variabilidad.....	113
5.4.2 Análisis estadístico inferencial.....	113
5.4.2.1 Distribución muestral.....	113
5.4.2.2 Nivel de significancia.....	113
5.4.3 Prueba de la hipótesis.....	114
5.4.3.1 Análisis paramétrico.....	114
5.4.3.2 Análisis no paramétrico.....	114
5.5 Exposición de resultados.....	114
5.5.1 Resumen de los resultados.....	114
5.5.2 Hallazgos y reflexiones.....	115
5.5.2.1 Hallazgos.....	115
5.5.2.2 Reflexiones.....	115
5.6 Conclusiones.....	115
Capítulo 6 Conclusiones y trabajo futuro.....	117
6.1 Discusión.....	117
6.2 Aportaciones.....	121
6.3 Líneas de investigación futuras.....	124
6.4 Productos de divulgación científica.....	125
6.4.1 Publicaciones en revistas internacionales con arbitraje.....	126
6.4.2 Publicaciones en congresos internacionales con arbitraje.....	126
6.4.3 Reportes técnicos.....	128
Referencias.....	129
Apéndice 1 Desarrollo del prototipo.....	143
A1.1 El modelo de casos de uso.....	143
A1.1.1 Actores.....	144
A1.1.2 Modelo de casos de uso.....	144
A1.1.3 Modelo de objetos.....	145
A1.2 Modelo de análisis.....	146
A1.2.1 Clases de análisis.....	149
A1.2.2 Realización de los casos de uso.....	149
A1.3 Modelo de diseño.....	151
A1.3.1 Arquitectura de diseño.....	151
A1.3.2 Diseño de casos de uso.....	152
A1.3.3 Interacción de las clases de diseño.....	152

A1.3.4 Diseño de clases	156
A1.3.4.1 Descripción de las clases.....	156
A1.3.3.2 Identificación de los estados	158
A1.4 Modelo de despliegue	158
A1.5 Modelo de implementación.....	161
A1.5.1 Componentes.....	161
A1.5.2 Interfaces	163
Apéndice 2 Ingeniería de software	165
A2.1 Perfil de la ISIW	165
A2.2 Infraestructura de cómputo	166
A2.3 Estructura del portal	167
A2.4 Mapa de navegación.....	167
A2.4.1 Construcciones de navegación.....	169
A2.4.2 Esquema de navegación	169
A2.5 Contenido de las páginas.....	171
A2.5.1 Páginas estáticas.....	171
A2.5.2 Páginas dinámicas	172
A2.6 Anidamiento.....	172
A2.7 Implementación Web	174
Apéndice 3 Agentes	177
A3.1 Modelo de roles.....	177
A3.2 Modelo de interacción.....	178
A3.3 Modelo de agente	178
A3.4 Modelo de servicio.....	179
A3.5 Modelo de enlace	180
A3.6 Ambiente multiagente.....	180
A3.6.1 Declaración de un agente	181
A3.6.2 Acceso al agente.....	181
A3.6.3 Definición de mensajes	182
Apéndice 4 Ontologías.....	183
A4.1 Marco formal.....	183
A4.2 Representación de conocimiento	185
A4.2.1 Ontología.....	185
A4.2.2 Acervos del perfil del individuo y de la experiencia	188
A4.2.2.1 Identificación de los acervos.....	189
A4.2.2.2 Estructura de los acervos.....	189
A4.2.2.3 Especificación de metadatos	190
A4.2.2.4 Integración acervos – ontología	191
A4.3 Metadefinición	193
A4.4 Contenido ontológico	194
A4.5 Repositorios del perfil del individuo y de la experiencia.....	196
A4.5.1 Meta-taxonomía de la experiencia	196
A4.5.2 Taxonomía de la experiencia y del conocimiento adquirido	196
A4.5.3 Perfil del individuo.....	197
Apéndice 5 Experimento.....	199
A5.1 Crónica del experimento	199

UN MODELO DEL ESTUDIANTE BASADO EN MAPAS COGNITIVOS

A5.2 Medios de promoción de la verificación.....	200
A5.3 Registro de la población.....	201
A5.4 Instrumentos aplicados.....	202
A5.4.1 Instrumento para medir las preferencias de aprendizaje	203
A5.4.2 Instrumento para medir la personalidad.....	203
A5.4.3 Instrumento para medir capacidades cognitivas	204
A5.4.4 Instrumento para medir conocimientos sobre el dominio de enseñanza.....	205
A5.4.5 Aplicación de las medidas de preprueba.....	206
A5.5 Selección de la muestra y organización de grupos de comparación	206
A5.6 Provisión de las experiencias	209
A5.7 Posprueba	209
A5.8 Opinión de los voluntarios	209
Anexo 1 Simbología	211

Lista de figuras

Figura 1.1 Relación adquisición de conocimiento – fenómeno causal – actividad	9
Figura 1.2 Mapa cognitivo para un modelo del estudiante	10
Figura 1.3 Evolución de un concepto derivado de la inferencia causal-difusa	11
Figura 1.4 Arquitectura típica de un SEBW	12
Figura 3.1 Morfología de un conjunto difuso	44
Figura 3.2 Activación de un solo conjunto difuso del consecuente de una regla	47
Figura 3.3 Secuencia de escalamiento del mismo conjunto difuso derivado de dos reglas	48
Figura 3.4 Secuencia de escalamiento de dos conjuntos difusos diferentes derivados de dos reglas	48
Figura 3.5 Agregación de los conjuntos difusos de dos términos iguales	49
Figura 3.6 Agregación de los conjuntos difusos de dos términos diferentes	50
Figura 3.7. Efecto de refuerzo sobre dos conjuntos difusos para el mismo término lingüístico	51
Figura 3.8. Efecto de refuerzo sobre dos conjuntos difusos para diferentes términos lingüísticos	51
Figura 3.9 Universo de discurso para el estado de conceptos: [3.9 ^a] nivel; [3.9 ^b] variación	52
Figura 3.10 Conjunto causal de salida derivado de dos términos lingüísticos iguales	56
Figura 3.11 Conjunto causal de salida derivado de dos términos lingüísticos diferentes	56
Figura 3.12 Conjunto causal de salida derivado de un solo término lingüístico	57
Figura 3.13. Proceso de acumulación: [3.13 ^a] comparación; [3.13 ^b] desplazamiento	58
Figura 3.14. Acumulación: [3.14 ^a] comparación; [3.14 ^b] desplazamiento; [3.14 ^c] área final	60
Figura 3.15. Saturación del universo: [3.15 ^a] acumulativa; [3.15 ^b] refuerzo	61
Figura 4.1 Ambiente para el modelado del estudiante	70
Figura 5.1 Conceptos clave de la investigación explicativa	95
Figura 5.2 Esquema causal de la hipótesis de investigación causal con variable interviniente	96
Figura A1.1 Modelo de casos de uso a nivel general	145
Figura A1.2 Diagrama de actividades que describe el caso de uso <i>provisión de la mejor opción</i>	147
Figura A1.3 Diagrama de colaboración para generar mapas cognitivos	148
Figura A1.4 Modelo de objetos ideal para el caso de uso <i>perfil del individuo</i>	149
Figura A1.5 Diagrama de colaboración de clases para proveer la mejor experiencia	150
Figura A1.6 Arquitectura de diseño para el prototipo	153
Figura A1.7 Derivación de las clases de diseño a partir de las clases de análisis	154
Figura A1.8 Diagrama de secuencia estimación del efecto acumulado	155
Figura A1.9 Diagrama de clases para la simulación de la inferencia de un mapa cognitivo	157
Figura A1.10 Diagrama de estados para la estimación del efecto acumulado	159
Figura A1.11 Diagrama de despliegue para el desarrollo y prueba del prototipo	160
Figura A1.12 Diagrama de componentes	162
Figura A1.13 Diagrama de componentes con interfaces	164
Figura A2.1 Diagrama de vista general del portal representada como mapa de navegación	168
Figura A2.2 Construcciones de navegación (A2.2 ^a) visita guiada y (A2.2 ^b) árbol	169
Figura A2.3 Estructura navegacional de la clase de contenido ontología	170
Figura A2.4 Diseño de página estática de la clase de contenido ontología	171
Figura A2.5 Diseño de página dinámica de la clase de contenido ontología	173
Figura A2.6 Estructura de anidamiento común	173
Figura A2.7 Estructura de anidamiento múltiple	174
Figura A2.8 Página principal de ingreso al SEBW	176
Figura A3.1 Modelo de agente que asocia roles a tres tipos de agentes	179
Figura A3.2 Modelo de agente que asocia roles a tres tipos de agentes	181
Figura A4.1 Modelo formal para la definición de una ontología (FIPA, 2001)	184

UN MODELO DEL ESTUDIANTE BASADO EN MAPAS COGNITIVOS

Figura A4.2 Diagrama de clases ontológicas	186
Figura A4.3 Estructura del contexto meta-taxonomía	189
Figura A4.4 Estructura de la taxonomía del programa de estudios	190
Figura A4.5 Estructura del contexto perfil	190
Figura A4.6 Estructura del contexto adquisición de conocimiento	190
Figura A4.7 Diagrama de integración de acervos con clases ontológicas	192
Figura A5.1 Ejemplo del anuncio empleado para convocar a participar en el experimento	201
Figura A5.2 Extracto del instrumento para medir las preferencias de aprendizaje	203
Figura A5.3 Extracto del instrumento para medir la personalidad	204
Figura A5.4 Extracto del instrumento para medir capacidades cognitivas	205
Figura A5.5 Extracto del instrumento para medir conocimientos sobre el dominio de enseñanza	206

Lista de tablas

Tabla 1.1	Definiciones constitutivas y operacionales de las variables de la hipótesis	7
Tabla 1.2	Base de reglas difusas BR_7	11
Tabla 2.1	Ecuaciones para las operaciones causales	34
Tabla 5.1	Diseño experimental con preprueba-posprueba y grupo de control	103
Tabla 5.2	Conceptos de los dominios <i>juicio</i> , <i>contenido</i> y <i>secuencia</i>	106
Tabla 5.3	Conceptos asociados a los niveles del dominio <i>evaluación del conocimiento</i>	106
Tabla 5.4	Universo de discurso para evaluar el nivel del estado del concepto	106
Tabla 5.5	Muestra de conceptos clave para evaluar el dominio de aprendizaje alcanzado	107
Tabla 5.6	Universo de discurso para evaluar la variación del estado del concepto	107
Tabla 5.7	Conceptos del dominio <i>preferencias de aprendizaje</i>	108
Tabla 5.8	Escalas integradas a los conceptos del dominio <i>personalidad</i>	109
Tabla 5.9	Conceptos para evaluar el dominio <i>cognición</i>	109
Tabla 5.10	Escalas integradas a los conceptos del dominio <i>personalidad</i>	110
Tabla A3.1	Modelo de roles para la consulta de la ontología	178
Tabla A3.2	Modelo de interacción para la consulta de la ontología	179
Tabla A3.3	Base de reglas difusas	180
Tabla A4.1	Relación de clases ontológicas	186
Tabla A4.2	Relación de propiedades de datos ontológicas	187
Tabla A4.3	Descripción de clases ontológicas	187
Tabla A4.4	Descripción de instancias de clases ontológicas	188
Tabla A5.1	Cronología de las actividades realizadas durante la verificación	200
Tabla A5.2	Registro de los datos personales y académicos de los voluntarios	202
Tabla A5.3	Frecuencias del estado de residencia de los sujetos de la población	202
Tabla A5.4	Frecuencias de actividades y exámenes realizados por los sujetos de la población	206
Tabla A5.5	Distribución de frecuencias por rango de edad de los sujetos de la muestra	207
Tabla A5.6	Distribución de frecuencias del máximo grado de estudios de los sujetos de la muestra	207
Tabla A5.7	Frecuencias de la ocupación-nivel de estudios de los sujetos de la muestra	207
Tabla A5.8	Distribución de frecuencias por áreas de ciencias de los sujetos de la población	207
Tabla A5.9	Frecuencias por disciplinas de ciencias exactas e ingeniería de la muestra	207
Tabla A5.10	Frecuencias por disciplinas de ciencias sociales y administrativas de la muestra	208
Tabla A5.11	Frecuencias por disciplinas de ciencias médico-biológicas de la muestra	208
Tabla A5.12	Distribución de frecuencias del estado de residencia de los sujetos de la muestra	208
Tabla A5.13	Frecuencias del máximo grado de estudios de los sujetos del grupo experimental	208
Tabla A5.14	Frecuencias del máximo grado de estudios de los sujetos del grupo de control	209
Tabla A5.15	Frecuencias del tipo de proyecto a cargo de los sujetos de la muestra	209
Tabla n1.1	Simbología del mapa cognitivo	211
Tabla n1.2	Simbología de los conjuntos difusos	211
Tabla n1.3	Simbología de los casos de uso	212
Tabla n1.4	Simbología del diagrama de actividades	212
Tabla n1.5	Simbología del diagrama de colaboración	212
Tabla n1.6	Simbología del modelo de objetos ideal	212
Tabla n1.7	Simbología del modelo arquitectura de diseño	213
Tabla n1.8	Simbología del diagrama de secuencia	213
Tabla n1.9	Simbología del diagrama de clases	213
Tabla n1.10	Simbología del diagrama de estados	213
Tabla n1.11	Simbología del diagrama de despliegue	214

UN MODELO DEL ESTUDIANTE BASADO EN MAPAS COGNITIVOS

Tabla n1.12 Simbología del diagrama de componentes	214
Tabla n1.13 Simbología del diagrama de componentes con interfaces	214
Tabla n1.14 Simbología del mapa de navegación	214
Tabla n1.15 Simbología de la construcción de la navegación	215
Tabla n1.16 Simbología de la estructura de la navegación	215
Tabla n1.17 Simbología de la página estática	215
Tabla n1.18 Simbología de la página dinámica	216
Tabla n1.19 Simbología para la estructuración de anidamiento común	216
Tabla n1.20 Simbología para la estructuración de anidamiento múltiple	216
Tabla n1.21 Simbología del diagrama de clases ontológicas	217

Lista de acrónimos y siglas

Acrónimo	Descripción en inglés	Descripción en castellano
ADL	Advanced Distributed Learning initiative	Iniciativa para el Aprendizaje Distribuido Avanzado
CCS		Conjunto causal de salida
CDR		Conjunto difuso resultante
CVS		Conjunto de variación de salida
DAML	DARP Agent Markup Language	Lenguaje de Agentes de Marcas DARPA
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
IMS	Instructional Management Systems Global Learning Consortium, Inc	Consocio de aprendizaje global para los Sistemas de Administración de Instrucción
ISI	Institute of Scientific Information	Instituto de Información Científica
ISO	International Organization for Standardization	Organización Internacional de Estandarización
ISIW		Ingeniería de Software Inteligente para la Web
LNAI	Lecture Notes in Artificial Intelligence	Notas de Lecturas en Inteligencia Artificial
OO	Object Oriented	Orientado a Objetos
OWL	Ontology Web Language	Lenguaje Ontológico para la Web
RDF	Resource Description Framework	Método para la Descripción de Recursos
UML	Unified Modeling Language	Lenguaje Unificado de Modelado
SEBW		Sistemas de Educación Basada en Web
XML	Extensible Markup Language	Lenguaje Extendido de Marcas
XSD	XML Schema Definition	Definición de Esquemas XML

Glosario

Término o frase	Descripción
Acervos	Repositorios para representar conocimiento sobre el estudiante y la experiencia
Activación de una regla difusa	Regla difusa cuyo antecedente es verdadero en el momento en que se evalúa, debido a que el estado del concepto tiene asociado el mismo término lingüístico que aparece en el antecedente de la regla
Actividad	Unidad fundamental de análisis de la Teoría de la Actividad, y se conforma por un sujeto, un objeto, acciones y operaciones
Adaptación	Corresponde a la intención del sistema de ofrecer una atención diferente ante distintos estudiantes y grupos de estudiantes
Agente	Programa de cómputo que posee cierto grado de inteligencia necesaria para realizar funciones especializadas en forma autónoma
Agregación	Proceso de suma en el que se combina el área de varios conjuntos difusos
Algoritmo	Al sistema de indicaciones de acciones de orden jerárquico para resolver problemas de determinada clase
Antecedente	Juicio en el que se busca determinar si el estado de un concepto tiene asociado el término lingüístico que aparece en la condición
Arquitectura	Estructura jerárquica formada por subsistemas, paquetes o componentes de cómputo
Atinencia	Significa que el hecho por explicar debe derivarse de la hipótesis
Base de reglas difusas	Conjunto de reglas difusas empleadas para definir una relación causal-difusa o de inferencia difusa
Cálculo proposicional	Rama de la matemática dedicada a la definición lógica de declaraciones compuesta por un sujeto una cópula y un predicado
Casos de uso	Especificación de un servicio que debe ser satisfecho por un sistema de información
Causa-efecto	Se determina el evento u objeto que da lugar a otro evento u objeto
Causalidad	Principio filosófico en el que se establece que: todo hecho tiene una causa, y dadas Las mismas condiciones, las mismas causas producen los mismos efectos
Clase	Definición generalizada de un conjunto de objetos homogéneos compuesta por atributos y métodos
Componente	Programa de cómputo que realiza una función específica
Concepto	Forma de pensamiento en la cual están reflejadas las propiedades fundamentales de los objetos y de los fenómenos y de sus relaciones internas
Concepto causa (origen)	Concepto responsable de ejercer una influencia causal sobre otro concepto
Concepto efecto (destino)	Concepto objeto de la influencia causal que se deriva de su relación con otro concepto
Conjunto difuso	Figura geométrica que recrea un polígono cerrado a efecto de representar la dimensión física de un término lingüístico
Conjunto de variación de salida	Conjunto difuso que se genera como resultado del efecto acumulado de varios conjuntos causales de salida
Conjunto causal de salida	Conjunto difuso que se genera como resultado de la transformación de un conjunto difuso resultante para mantener la morfología de los conjuntos difusos que originaron a este último, además de conservar el área y el centro de masa del conjunto difuso resultante
Conjunto difuso resultante	Conjunto difuso que se genera como resultado de la agregación de varios conjuntos difusos que han sido escalados previamente conforme a su grado de membresía
Consecuente	Juicio en el que se asocia al estado de un concepto un término lingüístico que se declara en una regla difusa
Contenido	Material de enseñanza que ofrece un WBES

UN MODELO DEL ESTUDIANTE BASADO EN MAPAS COGNITIVOS

Término o frase	Descripción
Contrastabilidad	La hipótesis debe ser tal que haya posibilidad de compararla contra hechos
Conversión lingüística -numérica	Proceso encargado de transformar un término lingüístico en un valor numérico
Conversión numérica-lingüística	Proceso encargado de transformar un valor numérico en un término lingüístico
Creencia	Afirmación hecha por el WBES sobre atributos personales del estudiante o de la experiencia
Diagrama de actividad	Diagrama que muestra una secuencia de acciones que caracterizan un proceso dado
Diagrama de colaboración	Diagrama que muestra el envío de mensajes entre objetos de diversas clases
Diagrama de despliegue	Diagrama que exhibe la distribución de los componentes en los recursos de cómputo
Diagrama de estados	Diagrama que exhibe la transformación que sufre los atributos de un objeto como resultado del envío de mensajes y de la ocurrencia de eventos
Diagrama de secuencia	Diagrama que muestra el envío, recepción y procesamiento de mensajes que ocurren entre objetos y clases
Difuso	Propiedad ambigua, imprecisa e incierta empleada para describir un concepto
Diseño cruzado	Estrategia de experimentación en que se aprovecha la participación de los voluntarios en el desarrollo de más de un tipo de prueba
Dominio adquisición de conocimiento	Conjunto de conocimientos relacionados con el tema de enseñanza que el estudiante ha adquirido de su interacción con el WBES
Dominio cognitivo	Conjunto de conocimientos relacionados con la descripción de capacidades cognitivas del estudiante
Dominio contenido	Conjunto de conocimientos relacionados con la caracterización del contenido de enseñanza provisto por el WBES
Dominio de la personalidad	Conjunto de conocimientos relacionados con los atributos que describen los rasgos de la personalidad del estudiante
Dominio de preferencias de aprendizaje	Conocimientos relacionados las preferencias de aprendizaje del estudiante
Dominio evaluación	Conjunto de conocimientos relacionados los niveles de evaluación
Dominios	Conjunto de conocimientos relacionados con un enfoque particular empleado para caracterizar al estudiante o a la experiencia
Educación centrada en el estudiante	Paradigma pedagógico que busca personalizar la enseñanza al perfil del estudiante, conforme a sus necesidades y capacidades
Efecto de acumulación	Es un evento que descansa en un postulado que establece: "El efecto que dos o más relaciones causales-difusas ejercen sobre el estado de un mismo concepto es superior al que produce la mayor variación
Efecto de refuerzo	Es un evento en el efecto que dos o más relaciones de inferencia difusa ejercen sobre el estado de un mismo concepto abona en la intensidad del grado de membresía
eReading	Lectura de contenidos Web
Escalamiento	Proceso que reduce el tamaño normal de un conjunto difuso conforme al grado de membresía que se le asocia
Estabilidad	Situación a la que un mapa cognitivo arriba cuando el estado de sus conceptos no es alterado más durante la simulación
Estado de la clase-objeto	Situación en que el objeto derivado de la clase está activo durante su ejecución
Estado del concepto	Es una forma de medir cualitativamente a un concepto conforme a su significado
Estructura mental	Nombre asignado a los modelos de memoria propuestos en las ciencias cognitivas para explicar la adquisición, representación y recuperación de conocimiento

Término o frase	Descripción
Evaluador	Módulo del WBES encargado de estimar el nivel de conocimiento adquirido por el estudiante como resultado de sus experiencias
Experiencia	Experiencia de enseñanza-aprendizaje que el WBES proporciona al estudiante
Exteriorización	Es la actividad que corresponde a la <i>enseñanza</i> provista por el WBES
Factores	Aspectos de interés provenientes a un dominio que se interesa representar como un concepto
Fenómeno causal	Evento que ocurre como resultado de otro evento o a la alteración al estado de un objeto, por tanto se reconoce al evento u objeto causa que provoca un nuevo evento u alteración del estado de otro objeto
Flujos de trabajo	Conjunto de actividades especializadas que se desarrollan durante la creación de un sistema
Flujos de trabajo análisis	Flujo de trabajo dedicado a detallar los requerimientos que debe satisfacer un sistema de cómputo
Flujos de trabajo diseño	Flujo de trabajo dedicado a establecer los procesos de cómputo que satisfacen los requerimientos
Flujos de trabajo implementación	Flujo de trabajo dedicado crear los procesos de cómputo que responden a los requerimientos
Flujos de trabajo requisitos	Flujo de trabajo dedicado a identificar las necesidades expresadas por el usuario
Grado de membresía	Revela la intensidad de expresión del término lingüístico al cual representa
Hilo	Procedimiento de cómputo que se ejecuta en su propio ambiente de datos, alterno a otros hilos homólogos, y que una vez que concluye su tarea se destruye el ambiente
if-then	Reglas compuestas por una condición (<i>if</i>) y una conclusión (<i>then</i>)
Inferencia	Forma de razonamiento en la que se deriva nuevo conocimiento a partir del disponible
Inferencia a nivel de concepto	Inferencia centrada en estimar el estado del concepto como resultado de una influencia causal-difusa o de inferencia difusa
Inferencia a nivel de mapa	Inferencia centrada en estimar el estado del un mapa cognitivo como resultado de la simulación del paso del tiempo en donde se activan las relaciones causales que privan entre los conceptos
Inferencia a nivel de relación	Inferencia centrada en estimar el efecto que produce un concepto origen sobre un concepto destino, los cuales están asociados por una relación de influencia causal-difusa o de inferencia difusa
Inferencia variación-nivel	Inferencia derivada de una relación que manifiesta de manera lingüística la actualización del nivel del estado de un concepto en función a la variación que sufre el estado de ese mismo concepto
Ingeniería de software	Disciplina orientada a definir método, técnicas y herramientas para crear sistemas de información que satisfagan necesidades específicas de los usuarios
Ingeniería Web	Disciplina orientada a definir método, técnicas y herramientas para crear sistemas de información que satisfagan necesidades específicas de los usuarios mediante el uso de la Web
Inteligencia artificial	Disciplina orientada al estudio que permita hacer con los sistemas de cómputo cosas que por el momento el hombre hace mejor, tales como aprendizaje, razonamiento, visión, lenguaje natural, representación de conocimiento
Interfaz	Módulo del WBES o de un componente de programación que facilita la interacción con el usuario o la comunicación entre componentes
Interiorización	Es la actividad mental que estimula el <i>aprendizaje</i>
Is-a	Preposición para indicar que un elemento es como otro
Is-part	Preposición para indicar que un elemento es parte de otro
Juicio	Forma de pensamiento en que se afirma o niega algo de un objeto o fenómeno

UN MODELO DEL ESTUDIANTE BASADO EN MAPAS COGNITIVOS

Término o frase	Descripción
La propuesta	Se refiere al objeto de la tesis: un modelo del estudiante basado en mapas cognitivos
Lógica difusa	Rama de la matemática dedicada a representar conocimiento incierto cuyo valor de verdad puede tener un amplio rango de instancias
Mapa cognitivo	Representación de un modelo mental que caracteriza un fenómeno causal
Mapeo cognitivo	Proceso dedicada al diseño de un mapa cognitivo así como a realizar la inferencia
Max-Dot	Método de escalamiento de conjuntos difusos
Metadatos	Definición de las características de la información
Método	Al conjunto de acciones y condiciones que establecen como se debe proceder para alcanzar el resultado deseado
Modelo	Representación de un evento u objeto a través de otro medio
Modelo de análisis	Modelo usado para expresar los detalles de los requerimientos de cómputo
Modelo de casos de uso	Modelo usado para revelar la funcionalidad que debe satisfacer un sistema de cómputo
Modelo de despliegue	Modelo usado para revelar la distribución de los componentes en los recursos de cómputo
Modelo de diseño	Modelo usado para revelar las clases, secuencia, estados, actividades y formas de colaboración de los componentes de un sistema de cómputo que se está desarrollando
Modelo de implementación	Modelo usado para revelar los componentes que se usan para integrar el sistema de información en desarrollo
Modelo de objetos	describe la perspectiva interna de la funcionalidad sustantiva a cargo del prototipo
Modelo del estudiante	Representación de un modelo mental que caracteriza al estudiante a través de sus capacidades cognitivas, preferencias de aprendizaje y rasgos de su personalidad
Modelo del usuario	Representación de un modelo mental que caracteriza a un usuario de un sistema de información a través de sus capacidades cognitivas, preferencias y conducta
Modelo Mental	Representación de un objeto o fenómeno real o abstracto que el individuo realiza en su cerebro
Módulo	Conjunto de programas de cómputo orientados a implementar un servicio específico
Nivel	Adjetivo empleado para caracteriza el estado de un concepto conforme a una medida cualitativa de acuerdo con la magnitud que ostenta en un instante
Ontología	Un conjunto de axiomas lógicos establecidos para expresar el significado de un vocabulario
Perturbación	Acción que provoca la alteración del estado de un concepto
Plan Educativo	Programa de estudios que se provee al estudiante a través del WBES
Proactivo	Capacidad de anticipar consecuencias del modelo del estudiante
Proposición	Declaración usada para manifestar un juicio
Protégé	Programa de computadora orientado al diseño de ontologías
Prototipo	Modelo del estudiante basado en mapas cognitivos que se representa por medio de un programa de cómputo
Proveedor de contenido	Módulo del WBES encargado de administrar el repositorio de contenido y suministra el material correspondiente a la experiencia.
Razonamiento	Forma de pensamiento encaminada a adquirir conocimiento a partir del disponible
Razonamiento Causal-difuso	Razonamiento basado en las consecuencias que produce un concepto llamado causa sobre otro denominado efecto
Razonamiento cualitativo	Razonamiento basado en términos lingüísticos propios del lenguaje natural
Reflexión anticipada	Es la anticipación de futuros eventos
Regla difusa	Juicio de relación en que un juicio de condición determina la validez de otro juicio denominado consecuente
Relación	Asociación entre conceptos, objetos o fenómenos

Término o frase	Descripción
Relación causal-difusa	Un juicio de relación causal que expresa en forma lingüística la variación del estado de un concepto de acuerdo con los términos lingüísticos que pueden asociarse al estado de otro concepto
Relación de inferencia difusa	Un juicio de relación causal que manifiesta de manera lingüística el nivel o la variación del estado de un concepto conforme a los términos lingüísticos que se asocian al estado de uno o más conceptos
Relaciones de inferencia variación-nivel	Relación en que el nivel asociado al estado de un concepto es alterado únicamente por la variación que ocurre sobre el estado de este mismo
Secuenciamiento	Módulo del WBES encargado de planear y controla la experiencia
SEBW	Sistema de cómputo dedicado a la provisión de enseñanza a través de la Web
Seguimiento	Módulo del WBES encargado de registrar el desempeño del estudiante reflejado durante las experiencias
Superconcept	Preposición para indicar que un elemento contiene a otros
Teoría de la Actividad	Es un enfoque filosófico orientado a estudiar la actividad humana, mediante el establecimiento de cinco principios: actividad, jerarquía, mediación, desarrollo y internalización-externalización,
Términos lingüísticos	Adjetivos empleado para estimar en forma cualitativa el nivel o variación que sufre el estado de un concepto
Topología	Estructura del mapa cognitivo compuesto por conceptos y relaciones
Universo de discurso	Conjunto de términos lingüísticos que definen la forma en que se puede medir el nivel o variación del estado de un concepto
Variables lingüísticas	Conceptos cuyo estado se caracteriza por medio de términos lingüísticos
Variación	Adjetivo empleado para caracteriza el estado de un concepto conforme a una medida cualitativa de acuerdo con el cambio que sufre después de un lapso
Web Lecturing	Provisión de experiencias de enseñanza aprendizaje a través de la Web
What-if	Ambiente de simulación para generar pronósticos (<i>What</i>) con base a condiciones específicas (<i>if</i>)

Capítulo 1

Introducción

*Porqué Jehová da la sabiduría,
Y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia (Proverbios. 2.6)*

En esta tesis doctoral se aborda el problema de: ¿Cómo representar y predecir los efectos causales de factores que inciden en el aprendizaje del individuo? Como solución, se postula un *modelo del estudiante basado en mapas cognitivos*. Con el fin de abundar en el planteamiento del problema y su solución, se organiza el capítulo en siete secciones: en la primera, se delimita el ámbito de la investigación, de carácter explicativo, al contexto de los *sistemas de educación basada en Web (SEBW)*, el modelo del estudiante y los mapas cognitivos; en la segunda, se precisan: el problema a resolver, los objetivos de la investigación y su justificación; en la tercera sección se establece la solución mediante la exposición de la hipótesis, el esbozo de la propuesta, la identificación de los productos y el procedimiento para su implementación; en la cuarta, se destacan las contribuciones de la investigación; en la quinta sección, se define el marco de trabajo para desarrollar y evaluar el modelo del estudiante, mediante el cual se verifica la tesis. Al final del capítulo, se identifica el contenido del resto del documento y se ofrece un resumen del protocolo de investigación.

1.1 Dominio de la tesis

La investigación se delimita al campo de los SEBW en lo general y en el modelo del estudiante¹ en lo particular. Además, como aportación de la tesis al modelo del estudiante, se extiende su alcance al terreno de los mapas cognitivos (Peña et al., 2007c).

¹ Los sistemas que no están orientados a la educación denominan al *modelo del estudiante* como *modelo del usuario*; sin embargo, los alcances de éste último son menores, pues su composición y funcionamiento son menos complejos, por tanto, a menos que se defina el término *modelo del usuario*, la investigación se refiere exclusivamente al *modelo del estudiante*.

1.1.1 La educación asistida por computadora y basada en Web

La *educación asistida por computadora* (Aroyo y Kommers, 1999) es un prometedor campo de investigación, pues integra un enfoque multidisciplinario y usa la Internet como medio para satisfacer una necesidad prioritaria de la humanidad: *la educación*. Desde sus orígenes, en la década de 1960, han emergido diversos paradigmas con características particulares. Entre las líneas de trabajo se encuentran: La *instrucción asistida por computadora* dedicada a proveer el ciclo completo de enseñanza al estudiante (Uhr, 1969); los sistemas *inteligentes de instrucción asistida por computadora* que incorporan la inteligencia artificial a los sistemas de instrucción asistida por computadora (Wegner, 1987); los *sistemas tutores inteligentes* que emulan el rol del tutor para asistir al estudiante en la solución de problemas (Burton y Brown, 1979); los *sistemas de hipertexto* que manipulan el contenido tipo hipertexto y multimedia (Mathé y Chen, 1996); los *ambientes inteligentes de aprendizaje* que se adaptan así mismos para estimular el aprendizaje del estudiante (Brusilovsky, 1995a); los sistemas de *aprendizaje asistido por computadora* que ofrecen contenidos en diferentes formas de acuerdo con los atributos del material de enseñanza y las necesidades del estudiante (Guttormsen y Krueger, 2000); los sistemas de *aprendizaje colaborativo soportado por computadora* que incentivan el trabajo entre estudiantes (Ayala y Yano, 1998); y los *sistemas administradores de aprendizaje*, también llamados de *instrucción* o de *cursos* que se orientan a la provisión de cursos en ambientes multiusuario (IMS, 2007a).

Con el surgimiento de la Internet, los sistemas de educación han ampliado su cobertura de servicios a través de la Web, dando vida con ello a los SEBW (Peña y Sossa, 2004b). A pesar de su corta existencia, los SEBW han evolucionado a través de varias generaciones. En términos generales, las versiones de SEBW se han caracterizado por la provisión de materiales estáticos; la comunicación interactiva tipo “eReading”²; el “Web Lecturing” que facilita el aprendizaje en tiempo real; y la provisión de enseñanza personalizada al estudiante. La tendencia es recrear SEBW³ *adaptables*⁴ e *inteligentes* que integran las bondades de los sistemas educativos, enriqueciéndolos con las aportaciones de otros campos de investigación como la minería de datos, la Web inteligente y el estudiante virtual (Brusilovsky, 2003a).

1.1.2 El modelado del estudiante

Entre la variedad de sistemas de educación asistida por computadora y basada en Web, está aquella que aplica el enfoque pedagógico denominado *centrado en el estudiante*. Este enfoque, provee las experiencias de enseñanza-aprendizaje⁵ de acuerdo con los intereses del estudiante, su personalidad, sus conocimientos previos, sus habilidades cognitivas, sus preferencias de aprendizaje y sus progresos. Para recrear esta funcionalidad, los SEBW emplean un *modelo del estudiante* encargado de generar y actualizar un *perfil mental* del estudiante.

² Se usan términos extranjeros por no tener traducción al castellano, amplia aceptación o facilidad de consulta en la literatura.

³ Por razones de generalización, a partir de ahora los paradigmas de educación asistida por computadora se citan bajo el acrónimo *SEBW* tanto en número singular como plural según el artículo que le anteceda, a menos que aparezca el término específico para precisar un paradigma de sistema de educación en particular.

⁴ El término *adaptable* corresponde a “adaptive”, y representa la capacidad que tiene el SEBW, o módulo del SEBW, de adecuarse por sí mismo a las exigencias de operación que satisfacen de manera particular los intereses del usuario.

⁵ En lo sucesivo el término *experiencia(s) de enseñanza-aprendizaje* se denomina simplemente como *experiencia(s)*.

El modelo del estudiante, en palabras de Paiva et al. (1995), es: “La representación de algunas características y actitudes del individuo, las cuales son útiles para lograr una adecuada interacción entre el sistema de educación y el estudiante.” Por su parte, Koch (2000) declara: “Sin un modelo del estudiante, el sistema se desempeña en la misma forma con todos los usuarios, puesto que no existe referencia alguna para conducirse de diferente manera.” Así mismo, en su trabajo “Bypassing the intractable problem of student modeling”⁶, Self (1988a) concluye que: “El reto de modelar al estudiante representa un problema extremadamente difícil.” Estas opiniones revelan la naturaleza de los esfuerzos para caracterizar atributos particulares del individuo, con los cuales se busca representar sus aptitudes, su conducta y los conocimientos adquiridos por el estudiante durante su interacción con un SEBW.

Entre las líneas de investigación para el modelado del estudiante está la anticipación de los efectos que las experiencias ejercen en la adquisición de conocimientos por el estudiante. En esta línea se han realizado trabajos sobre modelos predictivos, perspectivas cualitativas y modelos mentales; pero a pesar de las contribuciones arrojadas por las investigaciones, se carece de un marco de trabajo que integre las corrientes de modelado bajo un enfoque integral de desarrollo. Dicha necesidad es abordada en la presente investigación, la cual busca formular un modelo para representar y anticipar el *fenómeno causal* que ocurre cuando un SEBW provee educación al estudiante sobre un dominio de conocimiento específico.

1.1.3 El mapeo cognitivo

El concepto representado por el término *mapas cognitivos* tiene su origen en los estudios realizados sobre actividades de orientación física en animales y humanos efectuados por psicólogos y neurólogos en el siglo XIX (Koulouriotis et al., 2003). Dichos trabajos fueron ampliados por Trowbridge (1913) al investigar la razón por la cual algunas personas se confunden al orientarse espacialmente. Posteriormente, Tolman (1948) acuñó el término *mapas cognitivos* al llegar a la conclusión de que: “En el curso del aprendizaje, algo como un mapa de campo del ambiente es desarrollado en el cerebro, por ello, el aprendizaje consiste en la enlace de conjuntos de neuronas en el sistema nervioso que funcionan como un mapa cognitivo, que es utilizado para hacer diversas representaciones de su entorno.”

Adicionalmente al desarrollo de los mapas cognitivos en el campo de la representación espacial, han surgido otras líneas de investigación tales como el aprendizaje basado en habilidades espaciales (Johns y Blake, 2001); técnicas de memorización (Belleza, 1999); desplazamiento de robots (Hafner, 2000); recreación de mundos virtuales (Billinghurst y Weghorst, 1993); exposición de las múltiples perspectivas que son concebidas por el individuo para caracterizar las dimensiones relevantes de su ambiente (Kelly, 1955); representación de estructuras cognitivas tales como *esquemas* (Barlett, 1932), *redes semánticas* (Collins y Quillian, 1969) y *mapas conceptuales* (Ausubel et al., 1978); y las cinco familias de mapas cognitivos identificadas por Huff (1990), entre las que destaca aquella que se orienta a representar relaciones *causa-efecto*. Es precisamente el terreno de la representación y la estimación de los efectos causales al que se circunscribe el presente trabajo de investigación.

⁶ Se cita textualmente el título de la obra cuyo significado es: “Evitando el problema intratable del modelo del estudiante”; pues representa un *clásico* en la literatura del modelo del estudiante.

El uso de los mapas cognitivos causales se inició a partir del trabajo hecho por Axelrod (1976), en el cual se propuso a modelar los efectos cualitativos que caracterizan el ámbito de las relaciones internacionales. Posteriormente, diferentes modalidades de mapas cognitivos han surgido, tales como los difusos (Kosko, 1986), los probabilísticos (Wellman, 1994), los bipolares (Zhang, 2003a) y los difusos con bases de reglas difusas (Carvalho, 2001). Por cierto, los mapas cognitivos causales difusos con bases de reglas difusas representan la versión que se aplica y adapta para recrear el modelo del estudiante que se propone durante la presente investigación doctoral⁷.

1.2 Planteamiento de la investigación

En esta sección se precisa el problema de investigación a resolver, se determina el objetivo del proyecto y se ofrece un conjunto de razones que justifican el desarrollo de la investigación.

1.2.1 Problema a resolver

El problema que se aborda en la investigación doctoral se define por medio de la siguiente cuestión principal:

¿Cómo estimular positivamente el aprendizaje del estudiante derivado de las experiencias provistas por un SEBW?

Adicionalmente, la investigación se dedica a responder las siguientes cuestiones específicas:

1. ¿Cuáles son los *dominios* de influencia que se involucran en la provisión de experiencias?
2. ¿Cuáles son los *factores* que se deben considerar provenientes de dichos dominios?
3. ¿Cómo se *valoran* tales factores?
4. ¿Cuáles son las *relaciones causales* que existen entre los factores?
5. ¿Cómo *representar* las relaciones causales?
6. ¿Cómo *modelar*, a manera de un sistema dinámico, el escenario de factores y relaciones causales?
7. ¿Cómo anticipar el efecto que producen los factores con base en sus relaciones causales?
8. ¿Cómo estimar las alteraciones de los factores como resultado del efecto causal?
9. ¿Cuál es la secuela de influencias causales que se desencadena entre los factores al cambiar el estado de alguno de ellos?

⁷ Por tal motivo, en lo sucesivo el término *mapas cognitivos* hace referencia exclusivamente a los *mapas cognitivos causales difusos con bases de reglas difusas*, a menos que se use otro término con el nombre completo de la línea-versión.

1.2.2 Objetivos de la investigación

El objetivo central de la tesis doctoral se define de la siguiente forma:

Proponer un modelo que represente cualitativamente factores que inciden en el aprendizaje del estudiante durante una experiencia, y que anticipe mediante el razonamiento causal-difuso su impacto en la adquisición de los conocimientos provistos por un SEBW a efecto de elegir la opción que mejor estímulo ofrezca al aprendizaje del estudiante.

A través de este modelo se ofrece una solución al problema planteado y se brinda una respuesta a las cuestiones formuladas en la Sección 1.2.1. Adicionalmente, la investigación busca satisfacer los siguientes objetivos teóricos:

1. Formular un conjunto de hipótesis sobre el impacto que un modelo del estudiante basado en mapas cognitivos ejerce en el aprendizaje del individuo.
2. Aportar evidencia empírica para fundamentar las hipótesis.
3. Establecer un vínculo conceptual entre la Teoría de la Actividad (Leont'ev, 1978), el modelado del estudiante y los mapas cognitivos.
4. Evaluar la influencia que un modelo del estudiante basado en mapas cognitivos ejerce sobre un SEBW para proveer educación centrada en el estudiante.

Adicionalmente, la investigación persigue satisfacer los siguientes objetivos prácticos:

1. Concebir una imagen mental del individuo basada en los dominios que revelan rasgos de su personalidad, habilidades cognitivas y preferencias de aprendizaje.
2. Recrear un perfil descriptivo de las experiencias que tipifique sus modalidades de secuencia, contenido y evaluación.
3. Representar el dominio del conocimiento adquirido por el estudiante como resultado de las experiencias que el SEBW le proporcione.
4. Diseñar una ontología para describir los conceptos que recrean un modelo del estudiante.
5. Formular un modelo dinámico que describa los factores y sus relaciones causales.
6. Proponer un método para identificar, evaluar y seleccionar las opciones de experiencias acordes con el perfil del estudiante.
7. Recrear la función proactiva en el modelo del estudiante para contribuir en la planeación, provisión y control de las experiencias a cargo de un SEBW.

1.2.3 Justificación de la investigación

La justificación de la investigación doctoral se fundamenta en los siguientes criterios:

1. Conveniencia. Se pretende elevar la eficacia de la enseñanza provista al estudiante a través de los SEBW. Para ello, se evalúan las experiencias y se eligen aquellas, que se supone, habrán de estimular positivamente el aprendizaje del estudiante de la mejor manera.
2. Relevancia social. Se busca mejorar el aprendizaje del estudiante al personalizar la enseñanza que un SEBW le provee. Para este fin se consideran las capacidades cognitivas, las preferencias de aprendizaje y ciertos atributos de la personalidad del estudiante.

3. Implicaciones prácticas. Se procura adecuar la enseñanza a cada estudiante con base en las variedades de contenido, secuencia y evaluación disponibles en un SEBW. De esta forma, se promueve un paradigma general para diversos dominios de enseñanza.
4. Valor teórico. Se concibe el proceso de enseñanza-aprendizaje como un fenómeno causa-efecto. Por lo tanto, además de formular un modelo causal para caracterizar a dicho proceso, se recolecta evidencia empírica que sustente la verificación de la hipótesis.
5. Utilidad metodológica. Se define un marco de trabajo para evaluar los conceptos que componen un modelo del estudiante. Con base en exámenes psicológicos se emite un diagnóstico del individuo acerca de su personalidad, sus preferencias de aprendizaje y sus capacidades cognitivas.
6. Consecuencias. La investigación busca tratar al estudiante en forma individualizada. Bajo este precepto, se impulsa un paradigma de servicio alterno al tradicional, ofertado por la educación presencial y a distancia, en el cual a los estudiantes se les trata sin distinción.
7. Viabilidad. El desarrollo de la investigación y su comprobación experimental se lleva a cabo en su propio dominio: la educación basada en Web.
8. Comprobación. Para verificar la tesis se crea un *prototipo*⁸ del modelo del estudiante basado en mapas cognitivos. El prototipo forma parte de un SEBW que provee enseñanza sobre un dominio de conocimiento específico a una muestra de voluntarios. La muestra se organiza en dos grupos: el primer grupo recibe el soporte del modelo del estudiante; mientras que el otro no cuenta con su respaldo. Al final del experimento, se comparan los alcances logrados por los dos grupos para identificar la ventaja del modelo del estudiante.

1.3 Presentación de la solución

La solución al problema definido parte de la formulación de una hipótesis. Con base en esta conjetura se concibe una solución para satisfacer sus condiciones. En esencia, se propone un modelo del estudiante basado en mapas cognitivos mediante el cual se representan y anticipan los factores y los efectos que concurren en una experiencia. Para determinar la veracidad de las condiciones y de la conclusión, además de su relación de implicación, se crea un prototipo que se verifica para aportar evidencia empírica en su favor.

1.3.1 Hipótesis de la investigación

La hipótesis de investigación causal y multivariada que se formula en la tesis es la siguiente:

La selección de la experiencia que un SEBW provee al estudiante, estimula positivamente su aprendizaje cuando se toma en cuenta el perfil del individuo.

En tanto que la hipótesis nula respectiva, encargada de negar la suposición anterior, es:

La selección de la experiencia que un SEBW provee al estudiante, no estimula positivamente su aprendizaje aunque se tome en cuenta el perfil del individuo.

⁸ En lo sucesivo el término *el prototipo* se refiere al programa de cómputo que caracteriza al modelo del estudiante basado en mapas cognitivos, medio a través del cual se lleva al terreno experimental los postulados teóricos de la tesis.

La hipótesis de investigación se compone de tres tipos de variables: 1) independiente: *selección de la experiencia*; 2) dependiente: *aprendizaje*; 3) interviniente: *perfil del individuo*.

La definición constitutiva y operacional de las tres variables se establece en la Tabla 1.1. En la segunda columna se ofrecen las definiciones teóricas genéticas (Chávez, 2005) para los tres términos introducidos en la presente investigación, mientras que en la tercera columna se identifican las actividades o criterios que se utilizan para medir la variable respectiva.

Tabla 1.1 Definiciones constitutivas y operacionales de las variables de la hipótesis

Variable	Definición constitutiva	Definición operacional
1. Selección de la experiencia.	Es el proceso de caracterización y ponderación cualitativo de las opciones de contenido, secuencia y evaluación para una experiencia de un SEBW, a partir del cual se elige una opción cuya predicción causal revela el mayor impacto positivo para el individuo.	Para la caracterización y ponderación de las opciones de: _ Juicio, se aprovechan los términos y el procedimiento para la composición del modelo presentados en la Sección 4.1.2.1 de esta obra; _ contenido, donde se aplican los criterios de las “Teorías de aprendizaje y didáctica de la multimedia” (Guttormsen y Krueger, 2000); _ secuencia, donde se emplean las “Técnicas de secuencia de cursos” (Brusilovsky y Vassileva, 2003) _ evaluación, que se lleva a cabo conforme a la taxonomía de Bloom (1984).; La selección de la opción para una experiencia se deriva de un proceso de razonamiento causal-difuso basado en mapas cognitivos (Carvalho, 2001).
2. Aprendizaje.	Es el proceso cognitivo para la adquisición de conocimiento que ocurre en la mente de la persona durante la experiencia.	Se estima mediante la ponderación cualitativa del nivel de aprendizaje alcanzado sobre un concepto específico de acuerdo con los seis niveles de la taxonomía de Bloom (1984).
3. Perfil del individuo.	Es el modelo mental que un SEBW crea acerca de un individuo para caracterizar y ponderar atributos de su personalidad, capacidad cognitiva y preferencias de aprendizaje.	La caracterización y ponderación de los dominios de: _ Personalidad, que se efectúa mediante el “Inventario multifásico de la personalidad de Minnesota-2” (MMPI-2) ⁹ (Hathaway y McKinley, 2000) _ cognición, que se estima por medio de la “Escala de inteligencia para adultos” (WAIS) ¹⁰ de Wechsler (2000) _ preferencias de aprendizaje, que se revelan con el “Modelo de inteligencias múltiples” de Gardner (1983).

1.3.2 Propuesta de solución

De acuerdo con el problema planteado y la hipótesis formulada, en esta sección se presenta la siguiente definición conceptual de la solución:

Se propone un modelo del estudiante basado en mapas cognitivos, como el modelo a través del cual se caracteriza y anticipa la influencia causal que la enseñanza provista por un SEBW ejerce en el aprendizaje del estudiante.

⁹ El acrónimo corresponde a: Minnesota Multi-fasic Personality Inventory.

¹⁰ El acrónimo corresponde a: Wechsler Adult Intelligence Scale.

*La propuesta*¹¹ se fundamenta en los principios establecidos en la Teoría de la Actividad (Leont'ev, 1978), en tanto que las relaciones causales son caracterizadas como una forma de conocimiento cualitativo. El fenómeno causa-efecto se representa y estima mediante mapas cognitivos, los cuales son interpretados por un mecanismo de razonamiento causal-difuso.

1.3.3 Productos

La investigación ofrece como principal producto *un modelo*. Mediante este modelo se generan los mapas cognitivos que forman parte del modelo del estudiante. Por consiguiente, el modelo del estudiante basado en mapas cognitivos propuesto en la tesis se traduce en la colección de productos que se identifica a continuación:

1. Procedimiento para modelar al estudiante basado en la Teoría de la Actividad.
2. Modelo para representar y ponderar atributos de las experiencias, el perfil del individuo y los conocimientos adquiridos por el estudiante.
3. Método de ingeniería de software para crear sistemas basados en Web (Peña et al., 2005a).
4. Ontología dedicada a representar los conceptos y relaciones causales (Peña et al., 2007a).
5. Método para generar en forma automática mapas cognitivos.
6. Mecanismo de razonamiento causal-difuso para representar y estimar la secuela de los efectos causales que se activan al modificar el estado de los factores que integran el modelo del estudiante.
7. Prototipo del modelo del estudiante orientado a representar las relaciones causa-efecto que inciden en la provisión de una experiencia.

1.3.4 Descripción de la solución

El modelo del estudiante propuesto en la investigación se fundamenta en la Teoría de la Actividad. Adicionalmente, se postulan a los mapas cognitivos como la estructura mental para caracterizar al modelo del estudiante. Una vez establecida la naturaleza del modelo del estudiante, se procede a identificar su protagonismo como parte de un SEBW.

1.3.4.1 El modelado del estudiante con base en la Teoría de la Actividad

La Teoría de la Actividad es un método para estudiar el comportamiento humano basado en la *actividad* como la unidad de análisis (Leont'ev, 1978). La actividad se conforma por un sujeto, un objeto, acciones y operaciones. El sujeto es el responsable de la actividad. El objeto representa la meta que la actividad se propone satisfacer. Las acciones son las partes en que se descompone la actividad, mientras que las operaciones son tareas que satisfacen condiciones específicas. La Teoría de la Actividad establece cinco principios, a saber: un objeto, una mediación, una jerarquía, un desarrollo y una exteriorización – interiorización. En la Teoría de la Actividad se postula que la actividad humana está guiada por la *anticipación*, la cual es el motivo de la actividad. La anticipación de futuros eventos es el principio fundamental de la *reflexión anticipada*.

¹¹ Para efectos prácticos, el término *la propuesta* hace referencia al objeto de la tesis: *un modelo del estudiante basado en mapas cognitivos*, así como a sus componentes.

Una vez que se realiza la actividad, surge un flujo de retroalimentación que motiva comparar el resultado contra la predicción. Como consecuencia de la evaluación, cualquier imprecisión detectada produce una oportunidad de aprendizaje que enriquece la experiencia del individuo.

Dentro del marco conceptual de la Teoría de la Actividad, *la propuesta* analiza el proceso de *enseñanza-aprendizaje* como un fenómeno *causa-efecto*, que se corresponde con el principio de *exteriorización-interiorización*, tal como se ilustra en la Figura 1.1. Esta asociación representa el fundamento de la tesis, pues el modelo del estudiante recrea un modelo mental del proceso de *enseñanza-aprendizaje*. Así mismo, los mapas cognitivos representan el medio propuesto para modelar y anticipar los efectos causales. Por lo tanto, la *exteriorización* corresponde a la *enseñanza* provista por el SEBW, la *causa*, en tanto que la *interiorización* es el proceso mental que anima el *aprendizaje*, el *efecto*. De aquí que en la tesis se establece que:

La educación centrada en el estudiante procura que el individuo adquiera conocimientos sobre un dominio específico, el objeto, mediante la reflexión anticipada, la cual es inferida por el mapa cognitivo que representa al modelo del estudiante.

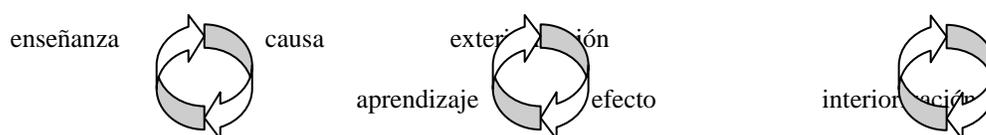


Figura 1.1 Relación adquisición de conocimiento – fenómeno causal – actividad

1.3.4.2 El mapa cognitivo como modelo de predicción causal

El modelo del estudiante describe un perfil mental del individuo y de la experiencia en turno a través de una muestra de factores obtenida de diversos *dominios*. Los dominios constituyen el *contexto* para describir al estudiante y a la experiencia. En *la propuesta* se consideran tres dominios para caracterizar al individuo: *personalidad, preferencias de aprendizaje y cognitivo*¹². Las experiencias son representadas por tres dominios: *contenido, secuencia y evaluación*¹³. También se considera el dominio de *conocimiento adquirido* para revelar el aprendizaje logrado por el estudiante durante la enseñanza (Peña y Gutiérrez, 2004b).

El programa de estudios que el SEBW imparte al estudiante, es provisto a través de una serie de experiencias. Cada experiencia persigue un objetivo de aprendizaje que pretende lograr, mediante una estrategia de secuencia específica, una clase de contenido particular y un nivel determinado de evaluación. Por lo tanto, la provisión de educación centrada en el estudiante exige el diseño de *opciones* de secuencia, contenido y evaluación para cada experiencia. De esta forma, antes de brindar una experiencia, el SEBW evalúa las opciones disponibles para escoger la opción cuya estrategia de secuencia, tipo de contenido y nivel de evaluación sea la más apropiada al estudiante de acuerdo con sus atributos particulares.

¹² Por supuesto que se requiere un mayor número de dominios para caracterizar fielmente al estudiante; sin embargo, para efectos del alcance de la tesis, los tres dominios seleccionados son los más representativos para identificar al individuo.

¹³ Se requieren más dominios para representar las experiencias, pero con los tres citados es suficiente para la investigación.

El modelo del estudiante está compuesto por un conjunto de mapas cognitivos. Cada instancia de mapa cognitivo revela el perfil del individuo y el de una opción de la experiencia en turno. Un mapa cognitivo se diseña como una red compuesta por nodos y arcos, tal como se aprecia en la Figura 1.2. Los nodos representan los factores de los dominios que caracterizan al estudiante y a la opción de experiencia. Los factores son expresados como *conceptos*. Los conceptos son manipulados como *variables lingüísticas* que son evaluadas por *términos lingüísticos*. Estos valores representan estimaciones cualitativas sobre el *nivel* que se observa en el estado del concepto en un instante, o la *variación* sufrida en el estado de un concepto durante un lapso. Los arcos identifican la procedencia y destino de las relaciones causales establecidas entre nodos. Las relaciones revelan la *creencia* de que un concepto, llamado *origen*, es la *causa* que produce un *efecto* sobre el estado de otro concepto, denominado *destino*. En consecuencia, se *cree* que el *nivel* del estado del concepto destino es alto o es bajo, o bien que el estado del concepto *varía* al alza o a la baja.

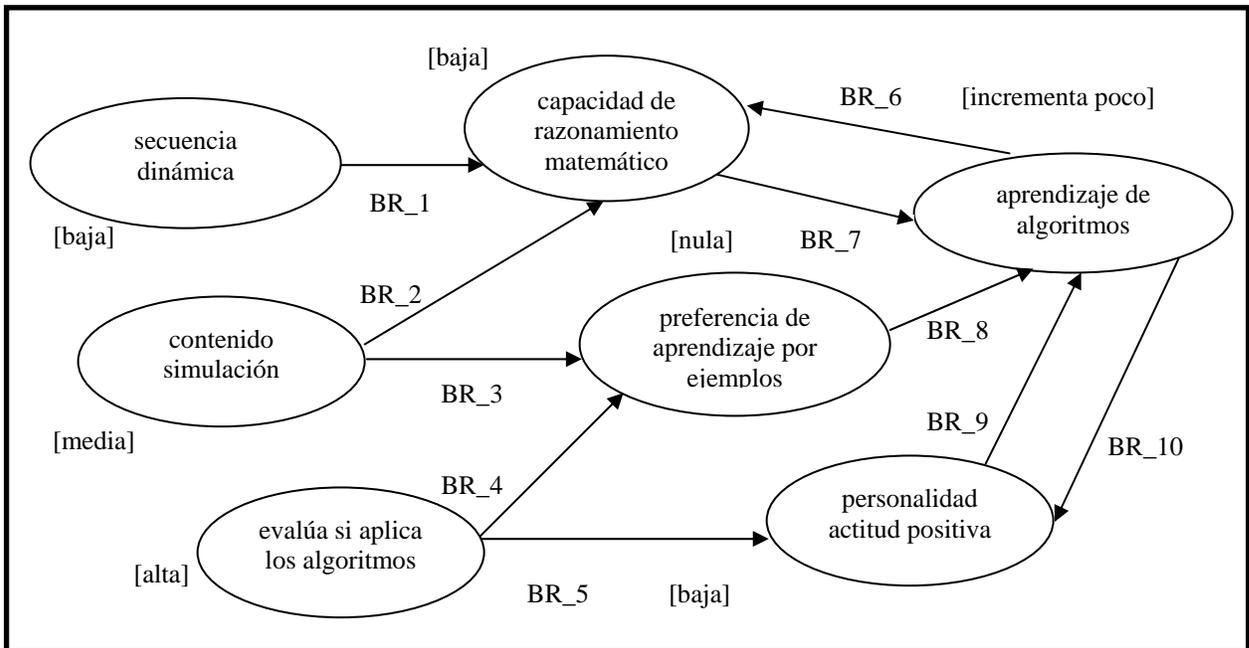


Figura 1.2 Mapa cognitivo para un modelo del estudiante

En la Figura 1.2, aparece un concepto de los siete dominios identificados. Cada concepto tiene asociado un valor, entre corchetes, que representa el nivel o la variación de su estado, p. ej., la *secuencia dinámica* es *baja*. Las relaciones son identificadas por medio de las siglas y el número de la base de reglas difusas que las describe, p. ej., el acrónimo **BR_7** se refiere a la relación entre el *capacidad de razonamiento matemático* y el *aprendizaje de algoritmos*.

La perturbación causal, que se cree que existe entre un par de conceptos, se expresa mediante una relación causal. La definición de una relación causal se almacena en una *base de reglas difusas*. La base contiene un conjunto de reglas del tipo *if-then* cuyo antecedente corresponde al término lingüístico que posee el concepto origen, mientras que el consecuente identifica al valor lingüístico que se cree asumirá el concepto destino, tal como se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Base de reglas difusas BR_7

Regla	Antecedente: <i>capacidad de razonamiento matemático</i>	Consecuente: <i>aprendizaje de algoritmos</i>
1	si es casi nula	entonces se mantiene igual el estímulo
2	si es mínimo	entonces se incrementa muy poco el estímulo
3	si es baja	ídem poco el estímulo
4	si es medio	ídem regular el estímulo
5	si es alto	ídem mucho el estímulo
6	si es muy alto	ídem muchísimo el estímulo
7	si es demasiado	ídem sobremanera el estímulo

En la Tabla 1.2 se exhibe el contenido de la base de reglas difusas BR_7, en cuyos renglones se definen reglas específicas. Por ejemplo, en el tercer reglón se aprecia una regla que establece que si es *baja* la *capacidad de razonamiento matemático*, entonces se *incrementa poco* el estímulo para el *aprendizaje de algoritmos*.

La topología del mapa cognitivo y el conjunto de bases de reglas difusas son alimentados al mecanismo de razonamiento causal-difuso. El mecanismo realiza las inferencias que anticipan la evolución del estado de los conceptos al transcurrir el tiempo. Para ello, se activa un proceso iterativo que simula avances discretos del tiempo. En cada ciclo se estima la perturbación que sufren los conceptos, tal como se aprecia en la Figura 1.3 para el *aprendizaje de algoritmos*. La simulación concluye cuando los estados de los conceptos no cambian más de valor o porque no se arriba a una condición de *estabilidad* en el tiempo esperado.

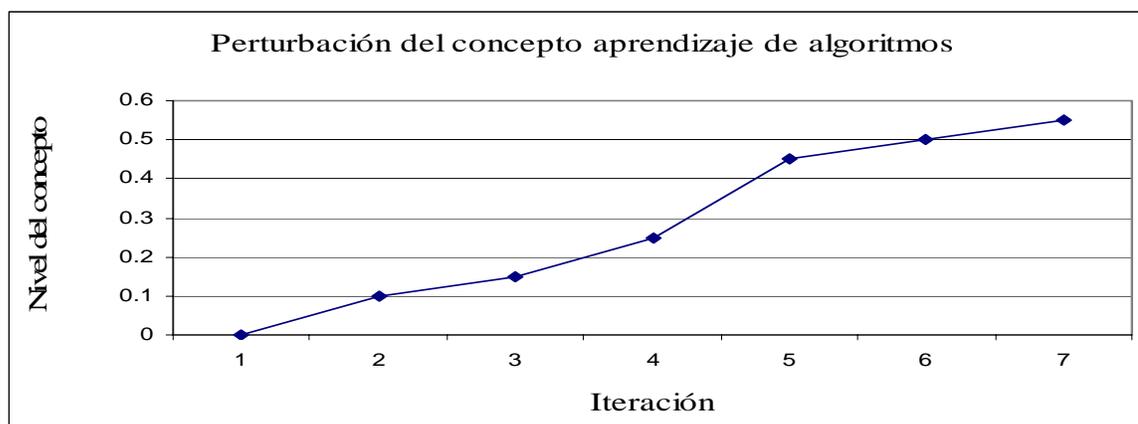


Figura 1.3 Evolución de un concepto derivado de la inferencia causal-difusa

1.3.4.3 El modelado del estudiante como parte de un SEBW

Una arquitectura típica de un SEBW se compone de siete módulos funcionales y cuatro repositorios (IEEE, 2007a), tal como se ilustra en la Figura 1.4. El rol que desempeñan los módulos se resume a continuación: El módulo *administrador* dirige la sesión que el sistema sostiene con el estudiante, además de coordinar la activación de los módulos restantes; el módulo de *secuencia* es el encargado de planear y controlar la experiencia.

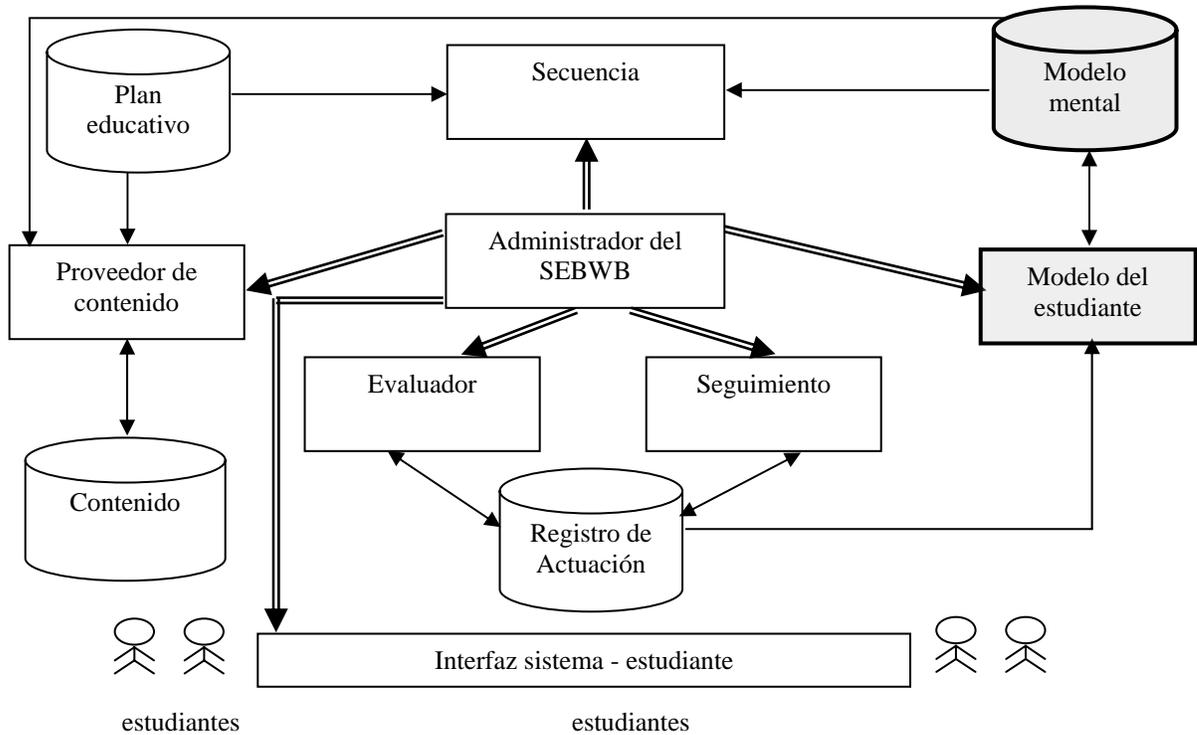


Figura 1.4 Arquitectura típica de un SEBWB

Con respecto al *modelo del estudiante*, éste genera la imagen mental del individuo, mientras que el módulo de *seguimiento* registra el desempeño del estudiante observado durante las experiencias. El módulo *evaluador* estima el nivel de conocimientos adquiridos por el estudiante como resultado de sus experiencias. Por otra parte, el módulo *proveedor de contenido* administra el repositorio de contenido y suministra el material correspondiente a la experiencia. La *Interfaz* facilita la interacción entre el sistema y el estudiante.

En relación con los repositorios de un SEBWB, estos son estructuras de datos que cuentan con su módulo encargado de la alimentación, almacenamiento, recuperación y actualización del contenido. El repositorio *plan educativo* representa al programa de enseñanza por medio de una taxonomía de temas. El repositorio *modelo mental* administra los datos de los mapas cognitivos que caracterizan al modelo del estudiante. El repositorio *registro de actuación* contiene la información del desempeño del estudiante y de sus evaluaciones. El repositorio *contenido* dispone del material multimedia que se proporciona durante las experiencias (Peña y Gutiérrez, 2004c).

Las *experiencias* representan las interacciones entre el estudiante y el SEBWB, en la que este último provee contenidos, ejercicios y evaluaciones al estudiante de acuerdo con un objetivo de enseñanza. La planeación de las experiencias la realiza el módulo de *secuencia* con la asistencia del *modelo del estudiante*. Este último predice los efectos causales que producen las opciones de experiencia disponibles para la experiencia en turno. Con base en los resultados de la simulación arrojados para cada opción disponible, el módulo de *secuencia* escoge la opción que producirá el mayor impacto positivo en el aprendizaje del estudiante.

1.4 Aportación de la investigación

En esta sección se exponen las contribuciones principales de la tesis, y las específicas a los campos del modelado del estudiante y de los mapas cognitivos. Las aportaciones se derivan al comparar las características y alcances del modelo del estudiante propuesto contra los trabajos afines que pertenecen al mismo dominio de la investigación. Dichos trabajos se compilan en el discurso crítico presentado en el capítulo 2 “Estado del arte” y en el reporte “Educación basada en Web, modelo del estudiante y mapas cognitivos: Un estado del arte” (Peña y Sossa, 2004a). Cabe señalar, que la aportación de la tesis ha sido sometida al escrutinio de la comunidad epistemológica a través de los artículos publicados en revistas y congresos en todos los continentes. Tales publicaciones son citadas en el documento donde aparece *Peña* como primer autor, además de ser identificadas en el capítulo “Conclusión y trabajo futuro”.

1.4.1 Aportaciones principales de la tesis

La propuesta ofrece las siguientes aportaciones:

1. Incorporación de los mapas cognitivos al modelado del estudiante como una estructura mental que caracteriza el razonamiento cualitativo, causal y difuso.
2. Versión predictiva de modelo del estudiante basada en la estimación de los efectos causales que las experiencias ejercen en la adquisición de conocimientos del individuo.
3. Método para generar un modelo del estudiante mediante el uso de ontologías.
4. Extensión del dominio de aplicación de los mapas cognitivos al modelado del estudiante.
5. Aplicación de la Teoría de la Actividad en el modelado del estudiante.

1.4.2 Aportaciones específicas al modelado del estudiante

En el campo del modelo del estudiante, *la propuesta* enriquece a cinco líneas de investigación, a saber: estructura mental, caracterización de dominios, perspectiva cualitativa y causal, predicción y cognición.

En la línea de la estructura mental, diversos modelos del estudiante usan redes semánticas y mapas conceptuales. Estas estructuras se caracterizan por definir conocimiento preciso; establecer relaciones jerárquicas entre conceptos; crear asociaciones basadas en la semántica de las etiquetas de los arcos; y realizar inferencias a través de la inherencia de relaciones dependientes de contexto y de axiomas. En cambio, *la propuesta* introduce el empleo de los mapas cognitivos como una estructura mental alterna para representar conceptos y relaciones causales, que se acompaña de un mecanismo para realizar inferencias causales-difusas.

Al comparar *la propuesta* contra modelos del estudiante basados en redes semánticas, como Scholar (Carbonell, 1970), se aprecia que estas aplicaciones caracterizan el conocimiento de enseñanza que imparte el SEBW para inferir los conocimientos adquiridos por el estudiante. En cambio, *la propuesta* describe al estudiante y a las opciones de experiencia a través de un conjunto de dominios, en vez de simplemente representar los conocimientos adquiridos.

En cuanto a los modelos del estudiante representados por mapas conceptuales, como DynMap (Rueda et al., 2003), Estos se orientan a definir el significado de los conceptos y a describir las relaciones entre los mismos. En cambio, *la propuesta* estima la perturbación que sufre el estado del concepto, ya sea en términos de la magnitud del nivel o bien sobre la variación que sufre este nivel. Gracias a dicha estimación, se predice la evolución de los conceptos.

En torna a la línea orientada a la caracterización de dominios, es común representar los factores como creencias expresadas por proposiciones lógicas, como el “Modelo del usuario” propuesto en su tesis doctoral por Koch (2000). En este sentido, *la propuesta* caracteriza los dominios del modelo del estudiante de una manera más expresiva, debido a que emplea una ontología para definir los conceptos y sus relaciones causales (Peña et al., 2005b).

En cuanto a línea de investigación sobre la perspectiva cualitativa y causal, aplicaciones como SOPHIE-III (Brown y Burton, 1978) emplean árboles de decisión para identificar los conceptos y activar los efectos causales; sin embargo, este modelo carece de una medida que revele la intensidad de los conceptos y de las relaciones causales. En cambio, *la propuesta* define los conceptos como variables lingüísticas que son valoradas por términos lingüísticos a los que se les asocian funciones de membresía. Con estas funciones se conforman *conjuntos difusos* sobre un plano cartesiano, en el que las coordenadas representan niveles de intensidad y las ordenadas grados de membresía para el término lingüístico.

En el ámbito de la predicción, modelos como Envision (De Kleer y Brown, 1983) utilizan redes de estados cuya transición revela una especie de razonamiento cualitativo. El modelo formula pronósticos derivados del razonamiento causal, pero la estructura es incapaz de expresar grados de intensidad que permitan una representación más precisa para problemas reales. Por su parte, *la propuesta* ofrece un modelo de predicción del tipo de un sistema *What-if*¹⁴ cuyo mecanismo anticipa las intensidades de cambios del estado de los conceptos a partir de la activación o alteración de alguno de ellos. En lo que concierne a las intensidades, éstas son expresadas por medio de términos lingüísticos que revelan magnitudes cualitativas.

En la línea de cognición, *la propuesta* modela al estudiante conforme a los principios de la Teoría de la Actividad al establecer la analogía entre la *exteriorización-interiorización* y la *enseñanza-aprendizaje*. Estos procesos son analizados como un fenómeno *causa-efecto*. Gracias a este postulado, se introduce la Teoría de la Actividad en el área del modelo del estudiante. De esta forma, se lleva a la práctica la idea sugerida por Guttormsen y Krueger (2000) para usar la Teoría de la Actividad en el diseño de los SEBW, y se suma a trabajos tale como el “Método para la construcción colaborativa de conocimiento” (Büsser y Ninch, 2003).

1.4.3 Aportaciones específicas al mapeo cognitivo

La propuesta contribuye al campo de los mapas cognitivos en dos rubros: en la generación automática y en la extensión del ámbito de aplicación. En lo que respecta al primero, *la propuesta* concibe un proceso para desarrollar combinatoriamente una colección de instancias de mapas cognitivos que caracterizan el perfil del individuo y las opciones de la experiencia.

¹⁴ What-if, ¿qué pasa sí...? Denota al ambiente de simulación para generar pronósticos con base en condiciones específicas.

Con respecto a la generación automática de mapas cognitivos, los trabajos afines se basan en modelos de redes neuronales con aprendizaje supervisado y no-supervisado fundadas en los algoritmos de Hebbian y Cohonen (Lin y lee, 1996). Entre los casos relevantes están la “Ley simple de aprendizaje diferencial” (Dickerson y Kosko, 1997), el “Aprendizaje balanceado y diferencial” (Vázquez, 2002) y el “Aprendizaje por corrección de error” (Carlsoon y Fuller, 1996). Estas aplicaciones estiman el valor lingüístico de las relaciones causales mediante el aprendizaje iterativo de una colección de casos de entrenamiento compuestos por patrones de entrada y sus correspondientes patrones de salida deseados. En relación con los trabajos basados en el aprendizaje no-supervisado destaca el realizado por Hafner (2000), en donde se aplica el algoritmo de Kohonen para crear el mapa cognitivo que corresponde a los patrones de entrada percibidos por un robot durante su movimiento.

Debido a la naturaleza subjetiva y parcial inmanente al modelo del estudiante, no existe un paradigma único, absoluto y confiable que sirva de referente para cualquier otra aplicación. Por esta razón, no es posible aplicar un método conexionista que genere un mapa cognitivo para tal fin. Además, al pretender concebir algún método, se afronta la exigencia de recolectar gran cantidad de casos de entrenamiento confiables. Esto significa que al intentar aplicar las estrategias de aprendizaje supervisado y no-supervisado, para cada patrón de entrada - compuesto por los atributos del perfil del individuo, de la experiencia y el conocimiento adquirido- se debe conocer su patrón de salida idóneo, es decir, el modelo del estudiante correspondiente. Tales estrategias resultan fuera del alcance del modelado del estudiante, puesto que éste es subjetivo, aproximado y parcial al enfoque de estudio y relativo al marco experimental de investigación.

En relación con la generación automática de un mapa cognitivo, *la propuesta* emplea un mecanismo combinatorio basado en una ontología. Con este repositorio se describen los dominios que caracterizan al individuo y las opciones de las experiencias. La ontología es un modelo orientado a objetos compuesto por metadatos e instancias que se organizan en jerarquías y relaciones de inherencia. Mediante esta clase de acervo, se definen los conceptos y las relaciones causales que conforman las instancias de los mapas cognitivos.

En torno al ámbito de aplicación de los mapas cognitivos, hasta el momento se tiene el registro de tan solo un par de aplicaciones en el campo de los SEBW. La primera se orienta a crear el módulo tutor de un sistema tutorial inteligente (García et al., 2003), en tanto que la segunda se encamina a evaluar el proceso de enseñanza-aprendizaje (Laureano et al., 2004). Las dos aplicaciones usan la versión de mapas cognitivos difusos como la estructura mental dedicada a modelar el dominio de conocimiento. En las dos aplicaciones, se requiere la intervención de un experto para diseñar el mapa cognitivo e interpretar sus estimaciones.

A partir de los argumentos vertidos, la tesis amplía la investigación de los modelos del estudiante predictivos. Además, *la propuesta* estimula el rol proactivo en los SEBW con base en la reflexión anticipada, la cual se inspira en las predicciones derivadas de los mapas cognitivos. De esta forma se provee educación centrada en el estudiante al elegir la opción de experiencia más adecuada al perfil del individuo. Así mismo, puesto que *la propuesta* emplea los mapas cognitivos causales difusos con bases de reglas difusas, se introduce el soporte de la lógica difusa y el razonamiento causal-difuso al modelado del estudiante.

1.5 Marco de trabajo

Debido a que el fenómeno de enseñanza-aprendizaje que se aborda en la tesis es propio de las ciencias *fácticas*, las cuales se ocupan de hechos que ocurren en la experiencia (Albarrán y Escobar, 2004), se requieren evidencias empíricas para comprobar la hipótesis formulada. Por tal motivo, la propuesta teórica de la solución planteada se materializa a través de un *prototipo de cómputo*. El prototipo se somete a verificación por medio de un experimento en donde se recrea un ambiente de educación basada en Web ante una muestra representativa de voluntarios. De esta forma, se lleva a la práctica el enfoque cuantitativo de la investigación, cuya instrumentación se traduce en la creación del prototipo, la aplicación de un método de trabajo y el diseño de un experimento.

1.5.1 Creación del prototipo

El prototipo se compone de un conjunto de programas de cómputo, acervos magnéticos de conocimiento e información, y su correspondiente documentación técnica. El prototipo representa los atributos que caracterizan al estudiante y a las experiencias por medio de una ontología. Además, el prototipo dispone de un mecanismo que genera en forma automática los mapas cognitivos a partir de los conceptos que describen el perfil del individuo, la experiencia y el conocimiento aprendido. Adicionalmente, el prototipo cuenta con un motor de razonamiento causal-difuso por medio del cual se predicen los impactos que la experiencia producirá en el aprendizaje del estudiante. En suma, el prototipo implementa la funcionalidad del modelo del estudiante basado en mapas cognitivos y la interfaz de comunicación necesaria para interactuar con el resto de los módulos que integran un SEBW.

En lo que respecta al SEBW, su construcción está fuera del alcance de la investigación. Por otra parte, al considerar el empleo de un sistema comercial como Blackboard (2007) o Web CT (2007), se advierte que no es posible interactuar con sus componentes a nivel de código ni alterar su funcionamiento. Por tal motivo, para efectos de prueba del prototipo, se construye una versión básica de un SEBW. En consecuencia, los módulos del SEBW identificados en la Figura 1.4, se habilitan con la funcionalidad mínima necesaria para su operación.

Con respecto al desarrollo de un curso sobre un dominio de enseñanza y los contenidos para proveer las experiencias, tampoco son motivo de investigación de la tesis, aunque para realizar la prueba se diseña un temario y un acervo de materiales de enseñanza esenciales. El curso versa sobre “Metodología de la investigación científica”. El temario contiene temas esenciales como ciencia, conocimiento, método, investigación y experimentación.

En relación con la secuencia y la evaluación del curso, se crean mecanismos de secuencia dinámicos y estáticos para la planeación y control de la provisión de experiencias. También se establecen diversas estrategias para evaluar el nivel de los conocimientos adquiridos por el estudiante durante las experiencias.

1.5.2 Método de desarrollo

La construcción del prototipo se basa en el método “Ingeniería de software inteligente para la Web” (ISIW) (Peña y Gutiérrez, 2004a). ISIW es un producto de la investigación, el cual se orienta a crear aplicaciones basadas en Web (Peña et al., 2005a). ISIW recrea un marco de trabajo a partir de la integración de métodos, técnicas, herramientas y lenguajes emanados de tres áreas: la ingeniería de software, la ingeniería Web y la inteligencia artificial.

ISIW es un método de trabajo compuesto por un proceso de desarrollo y un conjunto de estándares encaminados al diseño e implementación de una arquitectura de sistemas abiertos que operan en un ambiente distribuido de trabajo. ISIW se ha propuesto como un método para la creación de un SEBW (Peña y Sossa, 2004d) y se ha aplicado para el desarrollo del prototipo derivado de la investigación. Los detalles de ISIW y de los recursos de cómputo usados para crear el prototipo son presentados en el Apéndice 1. Así mismo, la descripción de los agentes implementados y el diseño de la ontología que forman parte del prototipo son resumidos respectivamente en los apéndices 2 y 3.

La versión básica del SEBW, el temario y el acervo de materiales de enseñanza que se crean para verificar *la propuesta*, están basados en las recomendaciones hechas por tres organismos rectores en la materia: IEEE, ADL e IMS¹⁵. Por lo tanto, el diseño de la estructura del SEBW se ciñe a la “Arquitectura estándar para tecnologías de aprendizaje” establecida por IEEE (2007a). El módulo de secuencia observa los criterios del “Modelo de secuencia múltiple” (ADL, 2007b). El perfil del estudiante toma en cuenta el “Paquete de especificaciones de información sobre el estudiante” (IMS, 2007b). El temario y su contenido emplean los modelos: “Agregación de contenido” (ADL, 2007a), “Objetos de aprendizaje” (IEEE, 2007b) y “Datos para la comunicación de objetos de contenido” (IEEE, 2007c).

1.5.3 Diseño del experimento

En la filosofía de la ciencia, al método que las ciencias fácticas emplean para comprobar la hipótesis de investigación se le denomina *verificación* (Chávez, 2005). Este procedimiento recurre a la experiencia, es decir, a la observación y a la experimentación. Además de comprobar racionalmente la hipótesis, la verificación contrasta la información empírica que se recaba para su confirmación o refutación. Para tal efecto, se aplica una estrategia que tiende a examinar cuatro criterios, a saber:

1. Fidelidad. Es el grado de representación lograda por el modelo al caracterizar la personalidad, capacidad cognitiva y preferencias de aprendizaje del estudiante. La representación se basa en la aplicación de los instrumentos científicos emanados de la psicología clínica que se instrumentan a través de los exámenes: MMPI-2 (Hathaway y McKinley, 2000), WAIS (Wechsler, 2000) y “Modelo de inteligencias múltiples” (Gardner, 1983).

¹⁵ Los acrónimos corresponden respectivamente a: Institute of Electrical and Electronic Engineer (IEEE), Advanced Distributed Learning (ADL), Instructional Management Systems from Global Learning Consortium Inc (IMS).

2. Predicción. Es el grado de certidumbre de las predicciones formuladas por el modelo acerca del nivel de los conocimientos adquiridos por el estudiante. Las estimaciones de *la propuesta* se cotejan contra el aprendizaje evaluado al final de la experiencia.
3. Utilidad. Es el beneficio que el modelo ofrece en el aprendizaje del estudiante. Este criterio se revela al comparar los resultados que obtienen los voluntarios que disfrutaron del soporte de *la propuesta* contra los resultados de aquellos que no contaron con su apoyo.
4. Contribución. Es la aportación que el modelo ofrece al SEBW en la provisión de educación centrada en el estudiante. La contribución de *la propuesta* se advierte al comparar la eficacia que logra el SEBW con el modelo del estudiante habilitado, contra aquella que alcanza el SEBW cuando carece del servicio del modelo del estudiante.

La evaluación de los criterios presentados se realiza de acuerdo con las recomendaciones sugeridas por Chin (2001) para la evaluación empírica de modelos del usuario. Por lo tanto, la información a recabar se clasifica en tres tipos de variables:

1. Independientes. Son las variables que están bajo el control del evaluador que representan los conceptos para modelar al individuo, la experiencia y el conocimiento adquirido. También representan las relaciones causales que se definen entre los conceptos.
2. Dependientes. Son aquellos factores que corresponden al objeto de la evaluación y que son alterados por la influencia ejercida por otras variables, como por ejemplo: el aprendizaje del estudiante, los resultados obtenidos de las experiencias y la diferencia de los resultados contra los pronósticos formulados por el modelo del estudiante.
3. Ruido. Son referentes ajenos al objeto central de estudio que pueden ejercer cierta influencia sobre los resultados del experimento. Entre estos factores se encuentran: la evolución de la madurez de los voluntarios durante el experimento, el uso de instrumentos psicométricos, el grado de deserción de los sujetos, la facilidad para acceder a la Internet y la comunicación entre los voluntarios que los lleve a predisponer en su actuación.

El experimento, como el estudio en el que se manipulan intencionalmente las causas de la hipótesis -las variables independientes- para analizar las consecuencias sobre las conclusiones -variables dependientes- cubre tres requisitos: 1) manipular intencionalmente las variables independientes; 2) medir el efecto que la variable independiente tiene sobre la dependiente; 3) evaluar la validez interna que representa el grado de confianza en los resultados interpretados.

El diseño del experimento establece las siguientes acciones: impartir un curso a través de la Web; integrar una población homogénea de voluntarios; dirigir la muestra de voluntarios, pues los sujetos deben cubrir un procedimiento para ser aceptados; integrar una muestra con un tamaño estadísticamente significativo; organizar la muestra de voluntarios en dos grupos equivalentes conforme a criterios específicos; brindar el soporte del modelo del estudiante al primer grupo de voluntarios, el *experimental*, mientras que al segundo grupo, el de *control*, no se le otorga; vincular el tema del curso con la actividad que los voluntarios ejercen; proveer la información mínima necesaria al voluntario para que participe en el experimento, pues el experimento debe ser “ciego”; ocultar la información que revele la existencia y el funcionamiento del modelo del estudiante al voluntario; proporcionar el perfil del individuo al voluntario una vez concluido el experimento, así como cualquiera otra información relacionada con el experimento y el rol del modelo del estudiante.

Conforme al orden de las acciones establecidas en el diseño del experimento, se toman las siguientes medidas: se crea un SEBW y un programa de estudios que se imparte a través de la Internet; se convoca a estudiantes y profesores con estudios a nivel licenciatura, maestría y doctorado; se aplica un procedimiento de valoración a los voluntarios compuesto por cuatro pruebas acerca de sus preferencias de aprendizaje, personalidad, capacidades cognitivas y conocimientos preliminares sobre el dominio de enseñanza; se integra una muestra de 50 voluntarios que se organiza en forma equivalente en dos grupos, experimental y control, pues sus miembros son elegidos mediante el método de emparejamiento (Hernández, et al., 2006) al considerar un número semejante de voluntarios por rol y nivel académico, es decir, igual número de estudiantes y de profesores e igual número de integrantes por nivel académico; se proporciona un curso sobre “Metodología de la investigación científica” a través del cual se motiva al voluntario a realizar proyectos de tesis o investigación; se ofrece la información mínima necesaria a los voluntarios durante la promoción del curso, inscripción, aplicación de exámenes y provisión del curso; se evita informar a los voluntarios acerca del modelo del estudiante y de cómo funciona éste; se entrega un diagnóstico preliminar del perfil del individuo a los voluntarios al final del experimento.

1.6 Organización del documento

La compilación del proyecto de investigación se organiza en tres rubros: escenario en que se inscribe la investigación, desarrollo del modelo propuesto en la tesis y paradigmas técnicos. El escenario de la investigación comprende los capítulos 2 y 3, los cuales se orientan a describir respectivamente el estado del arte y el marco formal para *la propuesta*. El desarrollo de *la propuesta* se documenta a partir de los capítulos 4 al 6 mediante la exposición del marco formal, los resultados experimentales y las conclusiones derivadas de la investigación. En tanto que los paradigmas técnicos se documentan en cinco apéndices: el desarrollo del prototipo, el método ISIW, la creación de agentes, la estructura de la ontología y el desarrollo del experimento.

Para abundar en el escenario de la investigación, en el Capítulo 2 se describen diversos trabajos relacionados con los SEBW, el modelo del estudiante, los mapas cognitivos y la Teoría de la Actividad. En el Capítulo 3 se explica el marco teórico mediante la descripción de la Teoría de la Actividad, la definición formal del modelo del estudiante, los fundamentos de la lógica difusa y el formalismo matemático para el empleo de los mapas cognitivos difusos con bases de reglas difusas.

Con respecto al desarrollo de *la propuesta*, en el Capítulo 4 se presenta el modelo formal de *la propuesta*, el cual se compone de: los fundamentos para el modelado, el marco formal del modelo del estudiante, el marco conceptual de los mapas cognitivos y los algoritmos empleados para implementar el prototipo. En el Capítulo 5 se explica el proceso de verificación y se evalúan los resultados derivados del experimento. En el Capítulo 6 se establecen las conclusiones por medio de la discusión de los resultados obtenidos, la precisión de las aportaciones logradas, la identificación de las líneas de trabajo futuro y se brinda la relación de los productos de divulgación científica derivados de la tesis.

Con respecto a los paradigmas técnicos, se presta especial atención a: las referencias, el desarrollo del prototipo, la ISIW, los agentes, la ontología y el experimento. Las referencias presentan la bibliografía citada en el documento de tesis. En el Apéndice 1 se expone un resumen del desarrollo del prototipo y de los resultados derivados en los flujos de trabajo del método ISIW. Los productos se muestran como una colección de modelos, a saber: casos de uso, análisis, diseño, despliegue e implementación. En el Apéndice 2 se explica la naturaleza del método ISIW, se identifica la infraestructura de cómputo usada para el desarrollo del prototipo y se presenta el proceso de construcción del ambiente Web. En el Apéndice 3, se expone el procedimiento empleado para la implementación de agentes. En el Apéndice 4, se introduce el modelo formal de las ontologías y se explica el método para desarrollar ontologías. También se describe el acervo para la representación de conocimiento, información y datos que forman parte del prototipo. En el Apéndice 5, se resume la bitácora del experimento que narra el procedimiento que sirvió de marco para verificar la hipótesis de la tesis. También, se presentan algunos hallazgos encontrados durante la verificación. Al final del ejemplar se incluye un anexo con la simbología empleada en los diagramas que aparecen en las figuras.

Cabe señalar que al comienzo del documento, se presentan la lista de figuras, la lista de tablas, y una relación de siglas y acrónimos. También se proporciona un glosario que define el significado de los acrónimos, extranjerismos, términos y frases empleados en el documento.

1.7 Conclusiones

En este capítulo se presentó el protocolo de investigación para desarrollar un modelo del estudiante basado en mapas cognitivos. *La propuesta* se orienta a modelar el fenómeno causal de factores que estimulan la adquisición de conocimientos por el estudiante durante las experiencias. *La propuesta* está fundada en los principios postulados por la Teoría de la Actividad, en el marco conceptual para el modelo del estudiante y en el mecanismo de razonamiento causal-difuso de los mapas cognitivos. El desarrollo del prototipo se apega a los lineamientos establecidos por el método ISIW encaminado a crear una aplicación en forma evolutiva. El ambiente de operación en el cual se integra el prototipo es una versión básica de SEBW, un temario y un acervo de contenidos. Gracias a este ambiente, se lleva a cabo la verificación de la hipótesis al suministrar un curso sobre “Metodología de la investigación científica” a través de la Web a una muestra de voluntarios con niveles académicos de licenciatura y posgrado. Durante las experiencias se recaba la información empírica que es objeto un posterior análisis estadístico. A partir de la interpretación de los indicadores se obtiene la evidencia empírica que abona a los postulados de la tesis.

Capítulo 2

Estado del arte

*En aquella misma hora Jesús se regocijó en el Espíritu, y dijo:
Yo te alabo, oh Padre, Señor del cielo y de la tierra, porque escondiste estas cosas de los sabios y
entendidos y las has revelado a los niños. Si Padre, porque así te agradó.
(Lucas 10.21)*

A efecto de describir el *estado del arte* en el que se inscribe *la propuesta*, en este capítulo se expone una colección de tesis doctorales y proyectos de investigación relacionada con el dominio de la tesis. Cabe señalar, que el detalle de la presente investigación aparece en las citas cuyo primer autor es *Peña*, particularmente en el reporte técnico “Educación Basada en Web, Modelo del Estudiante y Mapas Cognitivos: un Estado del Arte” (Peña y Sossa, 2004a). La descripción de la colección se traduce en un perfil del trabajo, la identificación de sus bondades y el reconocimiento de sus limitaciones. Como resultado de la compilación, se recrea el discurso crítico de la presente investigación a partir del cual es posible apreciar las contribuciones de la tesis. Por lo anterior, la estructura del capítulo consta de cuatro secciones que están en correspondencia con los temas centrales de *la propuesta*, a saber: Los SEBW, el modelo del estudiante, los mapas cognitivos y la Teoría de la Actividad. El capítulo concluye con la reflexión acerca del panorama de trabajo que rodea al tema de tesis.

2.1 Provisión de enseñanza por medio de sistemas basados en Web

Debido al desarrollo alcanzado por la Internet durante la última década del siglo XX, diversas modalidades de enseñanza, como las expuestas en la sección 1.1.1, han enfocado su diseño y operación al ámbito de la Web con el propósito de ampliar la cobertura de servicios a la comunidad mundial. En consecuencia, han surgido sistemas de educación asistida por computadora que se basan en la Web, los cuales tienden a recrear el escenario de los SEBW. Por consiguiente, al analizar la diversidad de modalidades y alcances que caracterizan a los SEBW, es posible derivar una serie de *generaciones* que muestran la evolución de los SEBW y apreciar la tendencia encaminada a concebir una versión de SEBW adaptables e inteligentes.

2.1.1 Evolución de los SEBW

En el artículo “*Hacia la nueva generación de sistemas de aprendizaje basado en la Web*”, Sheremetov y Uskov (2001) identifican cuatro generaciones de SEBW que ilustran el progreso que han tenido estas aplicaciones de acuerdo con la siguiente descripción:

La *primera generación* de SEBW se caracteriza por el desarrollo de cursos en línea acompañados por diversas funciones tales como el correo, los grupos de usuarios, el manejo de mensajes, el uso de páginas estáticas y la transferencia de información. La limitación principal de esta versión es la falta de integración e interacción entre los componentes.

Para encarar las deficiencias anteriores, la *segunda generación* de SEBW promueve la administración de cursos en línea mediante la planeación y control del proceso de aprendizaje, la facilitación del acceso a contenidos educativos, el registro del desempeño del estudiante y el control de la asignación de tareas. Estos sistemas representan soluciones *ad-hoc* a necesidades particulares de la organización, además de ofrecer soluciones empaquetadas tales como: Blackboard (2007), Web CT (2007), Ariadne (2007) y Learning Space (2007). Los sistemas de la *segunda generación* representan el tipo de aplicación más usado actualmente en el ámbito académico y profesional; con todo, estos sistemas adolecen de materiales multimedia y transmisión de video en tiempo real. Por tal motivo, los sistemas representan ambientes administrativos de experiencias de aprendizaje denominadas “*eReading*”, sólo de lectura.

Para superar las limitaciones citadas, en la *tercera generación* de sistemas se aplica el paradigma denominado “*Web Lecturing*” (Uskov, 2001). Esta modalidad se orienta a crear y proveer contenidos de aprendizaje de multimedia (texto, audio, video y realidad virtual) para transmitirse en vivo a través de medios de banda ancha por la Internet. Entre los resultados más significativos están: El proyecto INTERLABS desarrollado en la Universidad de Bradley (Uskov y Etaugh, 2003), Virtual University ITESM (VU-ITESM, 2007), My UCLA (2007), My UW de la Universidad de Washington (2007).

En torno a la *cuarta generación* de SEBW, ésta se desarrolla en dos líneas de trabajo: *global* y *personalizada*. En la corriente de trabajo global, se establecen recomendaciones y estándares para diseñar SEBW acordes a los principios de accesibilidad, interoperabilidad, durabilidad, reusabilidad y economía. Estos lineamientos representan respectivamente: El acceso a contenidos de aprendizaje, la compatibilidad tecnológica, la permanencia ante cambios de plataforma, la facilidad para compartir servicios educativos y la reducción de costos (Peña y Sossa, 2004b). Por su parte, la línea de trabajo personalizada se encamina al desarrollo de SEBW capaces de personalizar la enseñanza conforme al perfil del estudiante mediante la contribución de la inteligencia artificial.

Los casos inscritos en la línea de trabajo global, se han expresado de diversas formas. Por ejemplo, mediante proyectos encaminados a compartir servicios, contenidos y herramientas entre universidades e instituciones. Entre estos destacan las iniciativas de la Unión Europea (Ariadne-EU, 2007) y las universidades de los Estados Unidos de América (OKI, 2007).

Otra manifestación de la línea de trabajo global corresponde a la definición de normas y estándares enfocados a orientar la creación de SEBW. En el caso de IEEE, destacan sus especificaciones sobre la “Arquitectura de estándar para tecnologías de aprendizaje” (IEEE, 2007a); el “Modelo de objetos de aprendizaje” (IEEE, 2007b) y el “Modelo de datos para la comunicación de objetos de contenido” (IEEE, 2007c). Por su parte, ADL ha puesto al alcance de la comunidad su “Modelo de referencia para compartir objetos de contenido” mediante publicaciones tales como: el “Modelo de agregación de contenido” (ADL, 2007a), el “Modelo de secuencia múltiple” (ADL, 2007b) y el prototipo de SEBW “ADL ambiente para tiempo de ejecución” (ADL, 2007c).

Por el lado de IMS se proponen guías tales como el “Paquete de especificaciones de información sobre el estudiante” (IMS, 2007b), el “Modelo de información para el diseño del aprendizaje” (IMS, 2007c) y la “Definición reusable de competencias u objetivos educativos” (IMS, 2007d). A su vez, la Organización Internacional de Estándares, conocida mundialmente por sus siglas en inglés (ISO – International Standard Organization), aporta un conjunto de estándares, etiquetados por la clave ISO/IEC JTC1, dedicados a definir: un vocabulario sobre los términos más empleados en los SEBW (ISO, 2007a), los atributos de los ambientes de aprendizaje colaborativo (ISO, 2007b), la información para recrear un perfil del estudiante (ISO, 2007c) y las pautas para administrar los ambientes de aprendizaje (ISO, 2007d). Por su parte, la iniciativa Dublin Core (2007) contribuye con un estándar para definir los valores que se asocian a los registros de metadatos que conforman el “Modelo de objetos de aprendizaje”. A esta gama de iniciativas encabezadas por organizaciones, se suman propuestas de grupos de investigación, como el “Modelo de metadatos colaborativo de aprendizaje” propuesto por Tamura et al. (2003) y el “Lenguaje de modelado educacional” (Koper, 2002).

En lo que respecta a la línea de trabajo *personalizada*, ésta incorpora ciertas contribuciones de la inteligencia artificial al ámbito de la Internet como son: La explotación de acervos a través de la Web semántica (Lytras y Tsilira, 2003), la implementación de la ubicuidad a través de la Web inteligente (Liu, 2003) y la oferta de servicios de aprendizaje por medio de servicios Web (Chen, 2003). También, se han incorporado agentes al modelado del estudiante (Limonalco y Sison, 2003) y ontologías para el aprendizaje colaborativo (Falquet y Ziswiler, 2003). Esta clase de trabajos inspiraron el desarrollo de un agente ontológico basado en servicios Web. Este componente se encarga de la administración de la ontología como parte del prototipo presentado en este documento (Peña, 2004a; Peña et al., 2006a).

2.1.2 Líneas de investigación de los SEBW

Entre las tendencias de investigación que aparecen en el campo de los SEBW están aquellas que buscan recrear capacidades de adaptación e inteligencia en dichos sistemas. En el contexto de los SEBW, tales cualidades son definidas por Brusilovsky (2003a) como “La adaptación corresponde a la intención del sistema de ofrecer una atención diferente ante distintos estudiantes y grupos de estudiantes”. En tanto que “La inteligencia se aprecia como resultado de aplicar técnicas de la inteligencia artificial para proveer un amplio y mejor soporte a los usuarios”.

Entre los trabajos pioneros de los SEBW adaptables e inteligentes se encuentran: ELM-ART, sistema dedicado a proveer un servicio interactivo e inteligente de enseñanza para el lenguaje LISP (Weber y Brusilovsky, 2001); InterBook, una herramienta de autoría de libros de texto interactivos y adaptables (Brusilovsky, 1995b); NetCoach, sistema para la generación de contenidos adaptables (Weber et al., 2001) y SIETTE, sistema orientado a generar cuestionarios (Ríos et al., 1999). También merecen ser mencionados los sistemas que ofrecen soporte adaptable para la navegación y presentación de contenidos como AHA (De Bra, 1996), KBS-Hyperbook (Henze y Nejd, 2001), MetaLinks (Murray, 2003), ActiveMath (Melis et al., 2001), ELM-ART-II (Weber y Specht, 1997) y PAT-InterBook (Brusilovsky et al., 1997).

Así mismo, es conviene citar algunas aplicaciones especializadas como COLER (Constantino et al., 2003) y EPSILON (Soller y Lesgold, 2003), que son sistemas colaborativos adaptables para la formación de grupos de trabajo y asistencia entre compañeros de estudio; HyperClassroom (Oda et al., 1998), sistema que ofrece soporte y monitoreo adaptable; SQL-Tutor (Mitrovic, 2003) y German Tutor (Heift y Nicholson, 2001), que son sistemas dedicados a la secuencia adaptable de enseñanza y al soporte para la solución de problemas.

A la luz de las experiencias recabadas durante el incipiente período de vida de los SEBW adaptables e inteligentes, es posible establecer la siguiente definición: “Un SEBW adaptable e inteligente representa el modelo computacional de un sistema capaz de ofrecer por sí mismo una atención centrada en el estudiante que adapta inteligentemente el plan de enseñanza, la selección de contenido y la provisión de experiencias de acuerdo con el desempeño del estudiante”.

En cuanto a las estrategias para el desarrollo de SEBW adaptables e inteligentes, se identifican tres rubros: 1) el diseño de arquitecturas distribuidas de desarrollo, la explotación de contenidos y los servicios de aprendizaje; 2) la integración de paradigmas de trabajo de campos afines con desarrollo paralelo y propósito común en la educación; 3) la concepción de métodos de la ingeniería de software para la creación de SEBW adaptables e inteligentes.

En lo que respecta al primer rubro, Brusilovsky (2002, 2003b, 2004) propone una arquitectura denominada “Knowledge Tree” para facilitar la reutilización del material de aprendizaje y servicios adaptables. Este modelo se compone de tres tipos de portales: aprendizaje, actividad y modelo del usuario. El portal de aprendizaje se encarga de administrar las experiencias y de proveer los servicios de asistencia al estudiante. El portal de actividad administra el contenido y registra el comportamiento del estudiante. El portal del modelo del usuario recaba la información necesaria para generar un modelo mental del estudiante.

En relación con el segundo rubro, Yacef (2003) hace un llamado a la concepción de sistemas de aprendizaje inteligentes mediante la sinergia de las capacidades inmanentes a los diversos sistemas de instrucción asistida por computadora. Por su parte, Brusilovsky (2003a, 2003c) propone incorporar otros dominios de investigación tales como la recuperación de información, minería de datos y el aprendizaje automático. Estas iniciativas tienden a crear un modelo conceptual de SEBW adaptable e inteligente capaz de ofrecer las funciones que a continuación se describen e ilustran mediante la cita a una aportación o sistema representativo:

- Estructura adaptable. Organiza la experiencia que se suministra durante las sesiones que definen el proceso de enseñanza, el cual está compuesto por: temas, contenidos, actividades, registros y evaluaciones acordes con los intereses y desempeño del estudiante (Koch, 2000).
- Presentación adaptable. Adecua el contenido de enseñanza que se proporciona al estudiante considerando sus preferencias de contenido multimedia y modalidades de interacción; MetaLinks (Murray, 2003).
- Navegación adaptable. Asiste al estudiante en su recorrido por el espacio de contenidos a través de las ligas, menús, índices y visitas guiadas que se producen de acuerdo con el perfil del estudiante; ML Tutor (Smith et al., 2003).
- Solución inteligente. Auxilia al estudiante en la solución de problemas relacionados con el dominio de la enseñanza; WITS (Okazaki et al., 1996).
- Soporte interactivo para resolver problemas. Apoya al estudiante durante los pasos del proceso de solución de un problema o ejercicio; PAT-Online (Ritter, 1997).
- Filtrado adaptable de información. Asiste al estudiante en la búsqueda de contenidos relevantes a sus intereses; AlgeBrain (Alpert et al., 1999).
- Aprendizaje colaborativo inteligente. Conjuga las bondades de los sistemas colaborativos y los tutores inteligentes para crear un modelo mental del grupo de estudiantes y aplicar estrategias que motivan al trabajo entre participantes; COLER (Constantino et al., 2003).
- Formación adaptable de grupos y asistencia entre compañeros. Aprovecha los modelos del estudiante que se tienen de cada integrante de un grupo de individuos que trabajan en forma colaborativa para estimular el trabajo en equipo (McCalla et al., 1997).
- Soporte colaborativo adaptable. Brinda un soporte interactivo durante las experiencias de aprendizaje colaborativo que ocurren entre los estudiantes; EPSILON (Soller et al., 2003).
- Monitoreo inteligente de la clase. Ejerce la función de supervisión remota del tutor para detectar comportamientos, indicios de malas interpretaciones y confusiones, además de poder valorar desempeños; HyperClassroom (Oda et al., 1998).
- Estudiante virtual. Promueve la introducción de diversas clases de compañeros virtuales con distintos roles para motivar y auxiliar el trabajo del estudiante (Frasson et al., 1996).

En cuanto al tercer rubro, se detecta la carencia de una versión de ingeniería de software que sustente el desarrollo de SEBW. En este rubro sólo se aprecia la extensión de ciertos elementos de la ingeniería de software como son las metodologías evolutivas, el lenguaje unificado de modelado -cuyas siglas en inglés son (UML- Unified Modelling Language)- y el lenguaje extendido de marcas -conocido por sus siglas en inglés (XML-eXtended Modelling Language)- a través de propuestas para los sistemas de hipermedia y basados en Web. Ante esta carencia de marcos de trabajo se han creado métodos como la “Ingeniería Web basada en UML” (Koch, 2000) y la “Ingeniería Web para la construcción de SEBW” (García, 2003).

En su tesis doctoral, Koch (2000) propone una “Ingeniería de software para los sistemas de hipermedia adaptables”. Esta propuesta se compone de la “Ingeniería Web basada en UML” y del “Lenguaje de restricción de objetos” (Warmer y Kleppe, 1999). Esta ingeniería se orienta a crear sistemas centrados en el usuario mediante un modelo de referencia. Por parte de la “Ingeniería Web para la construcción de SEBW” (García, 2003), se emplean los modelos de objetos, dinámicos y funcionales, para la navegación y presentación en la Web.

Estos dos métodos de la ingeniería de software para crear un SEBW son útiles pero no suficientes, pues el primero es una extensión de la ingeniería de software que incluye los sistemas de hipermedia y un modelo del usuario para recrear sistemas adaptables, en tanto que la “Ingeniería Web para la construcción de un SEBW” es una extensión de la ingeniería de software que agrega varios modelos orientados a la estructura y navegación de contenidos.

2.2 Investigación en el campo del modelado del estudiante

En este apartado se ofrece un panorama de los trabajos realizados en la arena del modelo del estudiante y se identifican sus atributos. Así mismo, se reconocen las estructuras conceptuales y físicas que comúnmente se emplean en el diseño del modelo del estudiante. Acto seguido, se ofrece un perfil de los tipos de modelos del estudiante que por su naturaleza se vinculan con el propuesto en la tesis. Por lo tanto, a continuación se describen los modelos del estudiante que representan conceptos, conocimiento cualitativo-causal y predicciones. Con base en esta muestra de trabajos se establece el marco de referencia para identificar las propiedades y contribuciones del modelo del estudiante propuesto en la tesis.

2.2.1 Pautas de diseño para el modelado del estudiante

El modelado del estudiante es definido por Morales (2000) como: “El problema de representar explícita y fidedignamente todos los aspectos del estudiante concernientes con su aprendizaje”. Dicha caracterización debe hacerse a la medida de cada individuo y requiere ser actualizada constantemente para reflejar sus progresos. Por su parte, Self (1988b) insiste en que: “El modelo del estudiante es la condición vital para cualquier ambiente de aprendizaje verdaderamente inteligente”. Para comprender el protagonismo del modelo del estudiante en la provisión de enseñanza personalizada al individuo, es necesario reconocer la variedad de sus atributos y formas de funcionamiento. Por tanto, a continuación se presenta una colección de trabajos para el modelado del estudiante en la que se advierte una serie de atributos duales por parejas:

- Adaptable-adaptado. Dependiendo de quién actualiza el modelo: el sistema o los actores (Rich, 1979).
- Pregunta-observa. En relación a cómo es realizada la actualización: a través de preguntas al estudiante o mediante la inferencia de su comportamiento (Greer y McCalla, 1997).
- Estático-dinámico. En función de cuando es realizada la actualización: en determinados momentos o constantemente durante el proceso (Koch, 2000).
- Incluyente-excluyente: si toma en cuenta o no los intereses del estudiante (Asnicar y Tasso, 1997).
- Comunes-individuales. Inicializa el modelo del estudiante con base en estereotipos o a partir de atributos particulares del individuo (VALS, 2007).
- Interna-externa. Si el modelo del estudiante es parte integral del SEBW o se trata como un módulo separado (Koch, 2000).
- Explícita-implícita. Si el conocimiento del dominio de enseñanza tiene una representación separada del modelo del estudiante o está incluido en él (Koch, 2000).

- Abierto-cerrado. Determina si el modelo del estudiante se exhibe al individuo o permanece oculto para uso exclusivo del sistema (Bull et al., 1995).
- Participativo-informativo. Involucra al estudiante en la definición y actualización de su propio modelo o simplemente se le permite inspeccionarlo (Cook y Kay, 1995).
- Granularidad fina-gruesa. Expresa el nivel de detalle caracterizado en el modelo del estudiante, desde lo más específico hasta lo más general (Collins et al. 1997).
- Período corto-largo. Establece la duración del modelo del estudiante: si sólo es para la sesión o para todo el proceso de enseñanza (Peña y Sossa, 2004a).
- Basado en conocimiento-manejado por interacción. Procura una detallada formulación del dominio de conocimiento, teorías de aprendizaje e interpretaciones erróneas; o adquiere conocimiento a partir de la interacción con el estudiante (Self, 1999).
- Conductivo-epistémico. Caracteriza, evalúa y predice la conducta del estudiante por medio de inferencias, WEST (Burton y Brown, 1979), GUIDON (Clancey, 1983) y PROUST (Johnson, 1990); o relaciona la conducta del estudiante como un síntoma del estado interno de conocimiento que se trata de inferir (Anderson et al., 1990).

2.2.2 Determinación del patrón para el modelo del estudiante

El conocimiento que se representa en el modelo del estudiante generalmente se ciñe a uno de los patrones clásicos que determinan su estructura conceptual. Entre los patrones clásicos que se emplean para el modelado del estudiante se encuentran los denominados como de cubierta, de perturbación, de episodios, de perfil y de estereotipos.

El patrón de *cubierta* representa el conocimiento adquirido por el estudiante como un subconjunto del dominio del experto caracterizado por el sistema (Carr y Goldstein, 1977). Generalmente el conocimiento se organiza por medio de jerarquías, taxonomías o redes semánticas, en donde se representan los conceptos y se hacen estimaciones del aprendizaje adquirido por el individuo. Entre los sistemas que aplican en su modelo del estudiante el patrón de *cubierta* se encuentran: ELM-PE (Brusilovsky, 1995b), ELM-ART (Weber y Brusilovsky, 2001), Orimuhs (Encarnacao y Store, 1996), PUSH (Espinoza y Höök, 1996), HyperTutor (Gutierrez et al., 1996), HYNOCOSUM (Vassileva, 1996) y ADAPS (Brusilovsky y Cooper, 1999). El esquema de cubierta se restringe a identificar solamente los conceptos faltantes, pero no es capaz de representar desviaciones o equivocaciones del estudiante.

La estructura de perturbación representa el conocimiento mal aprendido por el estudiante (Brown y Burton, 1978). Este patrón distingue los conceptos equivocados, las fallas y los errores. Los conceptos equivocados son discrepancias entre la representación de conocimiento hecha por el sistema y la propia del estudiante. Las fallas son discrepancias a nivel de conducta del individuo. Los errores representan la diferencia entre la conducta del estudiante y la estimada por el sistema durante la solución de un problema de enseñanza (Vassileva, 1992).

El modelo episódico caracteriza los eventos, acciones y resultados derivados de la interacción del individuo con el SEBW. La información se representa por medio de conceptos relacionados lógicamente en una red. Entre los sistemas que implementan esta clase de estructura están ELM-PE (Brusilovsky, 1995b) y ELM-ART (Weber y Brusilovsky, 2001).

El patrón del perfil del usuario identifica las habilidades cognitivas, intenciones y preferencias de aprendizaje del individuo. Los atributos se definen por medio de un par de elementos concepto-valor. Los elementos pueden ser permanentes, temporales o dependientes, p. ej., discapacidades, experiencia e interés respectivamente. EPK (Timm y Rosewitz, 1998) y SmexWeb (Albrecht et al., 2000) son sistemas que usan esta clase de modelo.

Las estructuras de estereotipos representan las propiedades y los conocimientos del estudiante mediante pares de elementos *atributo-valor*. Cada entidad del dominio a modelar dispone de su propio estereotipo con una especial combinación de valores para sus atributos. Este patrón es útil para inicializar el modelo del estudiante, para que a partir de él se proceda a particularizar el perfil del individuo. La limitante de los estereotipos es la falta de granularidad fina para efectos de adaptación. CALL (Murphy y McTear, 1997), GRUNDY (Rich, 1979) y ARCADE (Encarnacao y Store, 1996) son sistemas que aplican el modelo de estereotipos.

2.2.3 Selección de la estructura física para el modelado del estudiante

De acuerdo con Zaitseva y Boule (2003), las estructuras de datos que se emplean comúnmente en el diseño de un modelo del estudiante son: 47% modelos vectoriales, 43% redes, 4% estructuras escalares, 3% modelos de simulación, 2% redes genéticas. Los modelos vectoriales identifican el conocimiento adquirido por el estudiante y sus habilidades que evolucionan durante las experiencias de acuerdo con el desempeño del individuo. El modelo de red utiliza los vértices para identificar los conceptos provistos por los contenidos, mientras que los arcos muestran sus relaciones como prerrequisitos. Los modelos escalares representan el progreso del estudiante en la adquisición de conocimiento y en el desarrollo de habilidades mediante ciertos criterios de valoración.

Con respecto a las redes genéticas, estas estructuras representan el conocimiento de la enseñanza y describen la forma en que progresan las habilidades. Sus vértices son elementos de conocimiento declarativo y de procedimiento, mientras que los arcos corresponden a relaciones de generalización, analogía, especificación, simplificación y negación. Por su parte, los modelos de simulación representan el conocimiento del estudiante como una estructura de datos y habilidades. Este conocimiento es codificado a manera de procesos que son manipulados por mecanismos de interpretación encargados de simular comportamientos.

2.2.4 Descripción del modelado del estudiante por medio de conceptos

El modelo del estudiante planteado en la tesis tiene como elemento unitario el *concepto*¹. A partir del concepto se desarrolla la *estructura mental*² que representa al estudiante. Por tanto, *la propuesta* introduce los mapas cognitivos como la estructura mental que proyecta una imagen mental del estudiante. Así mismo, el prototipo emplea una ontología para definir los conceptos que integran los mapas cognitivos.

¹ El concepto es: “La forma de pensamiento en la cual están reflejadas las propiedades fundamentales de los objetos y de los fenómenos y de sus relaciones internas” (Miguelena, 2000).

² Estructura mental. Es el término asignado a los modelos de memoria propuestos en las ciencias cognitivas para explicar la adquisición, representación y recuperación de conocimiento.

Más aún, en el ámbito del modelado del estudiante se usan otras estructuras mentales como las redes semánticas, los mapas conceptuales y las ontologías. Estas estructuras representan los conceptos y realizan inferencias de una manera particular, tal como se describe a continuación.

2.2.4.1 Empleo de las redes semánticas en el modelado del estudiante

Las redes semánticas son una estructura mental usada para expresar el significado de palabras del idioma inglés (Quillian, 1968). Las redes semánticas emplean un grafo para representar conocimiento por medio de nodos que están conectados por medio de arcos etiquetados para identificar relaciones semánticas, de jerarquía e instancia. El razonamiento descansa en la inherencia entre clases e instancias de conceptos que están representadas por medio de proposiciones de la lógica de predicados. Dada su utilidad, las redes semánticas han sido consideradas como un modelo de memoria natural del ser humano.

Gracias a las cualidades de las redes semánticas, Carbonell (1970) propuso la creación de sistemas de instrucción asistida por computadora que son capaces de entablar diálogos con los estudiantes, responder a sus preguntas y formular interrogantes mediante el recorrido de la red semántica. Su iniciativa se tradujo en la creación de Scholar, un sistema orientado a la enseñanza de geografía, cuyos conceptos se representan como una jerarquía de clases y objetos que están asociados por medio de arcos de composición: *es-parte*, *es-un* y *superconcepto*. Por medio de las asociaciones se hacen inferencias que propagan las propiedades que una clase hereda a sus descendientes. La relación semántica entre nodos se obtiene al interpretar los conceptos que forman parte de la ruta de nodos que los asocia.

El modelo del estudiante se recrea por medio de la red semántica que representa el conocimiento completo del dominio de enseñanza. Este modelo es “perturbado” en la medida que se alimenta de interpretaciones particulares del estudiante. Las interpretaciones modifican nodos y arcos, crean nuevos conceptos y relaciones, además de eliminar elementos. Entre las bondades de Scholar se encuentran: la separación del dominio de conocimiento de las estrategias de enseñanza, la anticipación de preguntas que hará el estudiante y la formulación de preguntas que el estudiante debe contestar. En contraparte, Scholar encara limitaciones para representar conocimiento de procedimientos e inferencias basadas en conocimiento impreciso.

2.2.4.2 Uso de los mapas conceptuales para el modelado del estudiante

Los mapas conceptuales se fundamentan en la *Teoría de la Asimilación*, la cual está encaminada a describir el aprendizaje y la estructura cognitiva del individuo (Ausubel et al., 1978). Dicha teoría sustenta que: “El aprendizaje significativo resulta cuando nueva información es adquirida deliberadamente por parte del individuo con la intención de asociarla a conceptos o proposiciones preexistentes en su memoria”. Es por ello que el factor más influyente en el aprendizaje es el conocimiento que ya posee el individuo. En consecuencia, el aprendizaje significativo insta a incorporar nuevas proposiciones y conceptos en las estructuras mentales previamente existentes. Ausubel considera que tales estructuras son descritas por un conjunto de conceptos organizados jerárquicamente para representar el conocimiento y experiencias de la persona.

Con base en la Teoría de la Asimilación, Novak (1977) creó los mapas conceptuales como una herramienta que ilustra el conocimiento de una persona. Los mapas conceptuales emplean un grafo cuyos nodos se asocian a conceptos de un dominio de conocimiento, mientras que sus arcos se etiquetan con proposiciones que describen una relación semántica o funcional.

Entre los modelos del estudiante basados en mapas conceptuales está DynMap (Rueda et al., 2003). Este modelo del estudiante se compone por módulos especializados como por ejemplo: Repository, base de conocimientos que organiza los mapas conceptuales del estudiante; Translator, mecanismo que convierte elementos de conocimiento manejados por un sistema tutorial inteligente a componentes de un mapa conceptual; Student, interfaz que facilita la inspección del modelo del estudiante; Teacher, mecanismo de acceso a las creencias que el sistema tiene acerca del estudiante y los mapas que demuestran la evolución de su conocimiento; CM-ED, editor de mapas conceptuales. Entre las ventajas de DynMap están el mantener un registro del progreso del estudiante y el usar un ambiente común para modelar al estudiante y supervisar su desarrollo. Una de las limitaciones de DynMap es que carece de un mecanismo para activar inferencias a partir de los mapas conceptuales, por ello es incapaz de hacer pronósticos o simulaciones.

2.2.4.3 Aplicación de las ontologías en los SEBW

Las *ontologías* se han incorporado en los SEBW para representar dominios de conocimiento y soportar los procesos de enseñanza-aprendizaje. En un sentido filosófico, la ontología se refiere a cómo un sistema particular de categorías registra una visión del mundo, sin depender de un lenguaje particular. La ontología Aristotélica siempre es la misma independientemente del lenguaje usado para describirla: a esta postura se le denomina *conceptualización*. Desde el enfoque de la inteligencia artificial, la ontología es: “Un artefacto de ingeniería compuesto por un vocabulario específico usado para describir una realidad y un conjunto de suposiciones relacionadas con el significado de las palabras” (FIPA, 2001).

Un caso interesante de la aplicación de ontologías para representar el dominio de la enseñanza corresponde al trabajo sobre demografía hecho por Mirjana y Vladan Devedzic (2003). Ellos proponen una ontología pedagógica a través de la cual describen los conceptos provistos durante el proceso de enseñanza. La ontología organiza las relaciones que existen entre los conceptos en forma jerárquica de acuerdo con criterios de composición. En la estructura se define un conjunto de términos de conocimiento que se acompañan de un vocabulario. También, se establece un conjunto de asociaciones semánticas y se aplican reglas de inferencia lógica para derivar el significado de los elementos a partir de las relaciones entre los conceptos. El modelo ontológico cuenta con un mecanismo administrador del dominio de conocimiento que opera en forma independiente al sistema. Al estar codificada la ontología por medio del método para la descripción de recursos, conocido por sus siglas en inglés (RDF-Resource Description-Framework) (RDF, 2007), el mecanismo es reusable para otras aplicaciones. En contraparte, la estructura de la ontología debe establecer un concepto raíz a partir del cual emanan los demás conceptos a través de relaciones jerárquicas definidas por proposiciones específicas.

2.2.5 Representación cualitativa y causal para el modelado del estudiante

En cuanto a la representación cualitativa y causal de conocimiento en el modelo del estudiante destacan las tres versiones de SOPHIE (Brown et al., 1982). Este es un sistema tutorial inteligente que recrea un laboratorio para la reparación de circuitos electrónicos. SOPHIE representa el dominio de conocimiento de la enseñanza por medio de un modelo de simulación basado en procesos cualitativos. Este sistema motiva al estudiante a desarrollar conocimiento teórico para entender los fenómenos causales representados en el funcionamiento de los circuitos. SOPHIE-I responde a preguntas que el estudiante plantea por medio de la concepción de múltiples representaciones del dominio de conocimiento. El sistema emplea un conjunto de agentes que se encargan de simular el funcionamiento de un circuito, cuyos sucesos se registran en una red semántica. Cuando el sistema introduce una falla en el escenario, el estudiante plantea preguntas, establece hipótesis y realiza mediciones. Para responder a los cuestionamientos del estudiante, SOPHIE-I realiza una simulación cuantitativa que es alimentada por valores asociados a los factores que inciden en la falla. SOPHIE-I aplica la *causalidad* como forma de razonamiento para diagnosticar la falla y recabar los factores que proveen evidencia. Por otra parte, el sistema genera las posibles hipótesis, es por ello que no representa fielmente al razonamiento selectivo usado por los expertos al resolver las fallas.

SOPHIE-II incluye un módulo experto encargado de resolver las fallas que el estudiante introduce para observar sus efectos. Este experto razona cualitativamente, realiza medidas causales y explica sus estrategias mediante el empleo de un árbol de decisiones. El funcionamiento del módulo experto se basa en un modelo cualitativo y causal. En contraparte, SOPHIE-II requiere almacenar todos los posibles cursos de acción en la solución de las fallas.

SOPHIE-III introduce un módulo para representar el dominio de conocimiento de la enseñanza organizado en tres niveles: percepción, identificación y global. En el nivel percepción se emplea el conocimiento del dominio para propagar valores cuantitativos de los componentes del circuito. En el nivel identificación se traduce dicha información en afirmaciones cualitativas por medio de un sistema basado en reglas que infiere la conducta de los módulos del circuito. En el nivel global se almacena conocimiento del dominio en un árbol de conducta para analizar el circuito en términos de las conductas de los componentes. En el árbol, los nodos caracterizan la conducta de los módulos y los arcos identifican las interacciones entre los módulos. El diagnóstico de la falla se obtiene de la simulación de la propagación de las conductas de los módulos a través de los arcos en términos de valores cualitativos de conducta. La modelación de razonamiento causal representa una cualidad de SOPHIE-III; aunque el sistema no estima la intensidad de las conductas ni de las relaciones.

2.2.6 Incorporación de la predicción en el modelado del estudiante

La predicción en el ámbito del modelado del estudiante se entiende como: El intento por anticipar comportamientos específicos del estudiante relacionados con su conducta y logros como resultado de sus experiencias. De acuerdo con Zukerman y Albrechtm (2001), generalmente el mecanismo predictivo del modelo del usuario puede ser clasificado en alguna de las siguientes categorías: lineales, basados en frecuencias, modelos de cadenas de Markov, redes neuronales, clasificación, reglas de inducción y redes de Bayes.

Los modelos lineales estiman la suma de valores conocidos, a los cuales se les asocia un peso para producir un valor para una propiedad desconocida. Estos modelos son sencillos de implementar y de generalizar. Por lo regular se utilizan en la predicción del período que transcurre entre los accesos de un estudiante al sistema (Orwant, 1995).

Los modelos basados en frecuencias usan un vector de pesos que corresponde a una propiedad de un objeto que ha de compararse contra otra similar. La semejanza se estima mediante el coseno del ángulo en el origen formado por los vectores que representan los objetos. Estos modelos se usan para recomendar contenidos (Moukas y Maes, 1998). En torno a los modelos de Markov, éstos observan una serie de eventos para predecir el siguiente evento con base en la distribución de probabilidad. Estos modelos se emplean para predecir la próxima página que el usuario ha de visitar (Bestavros, 1996). En lo que concierne a los modelos de redes neuronales, éstos son útiles para expresar decisiones no lineales como la representación de las preferencias del usuario acerca de contenidos (Jennings y Higuchi, 1993).

Los modelos de clasificación crean categorías de objetos a la luz de criterios específicos. Entre sus aplicaciones está la generación de índices de referencias a sitios Web que ofertan contenidos semejantes (Perkowitz y Etzioni, 2000). En cuanto a los modelos de reglas de inducción, éstos se forman por un conjunto de reglas que predicen la clase de una observación desde sus atributos. Estos modelos se representan mediante árboles de decisión o por medio de probabilidades condicionales. Entre sus aplicaciones destaca el aprendizaje de reglas a partir de una serie de atributos valorados (Morales, 2000). Los modelos de redes de Bayes asocian a los nodos una distribución de probabilidad condicional para cada valor. Este valor depende de la probabilidad condicional asignada a sus ancestros. Entre sus aplicaciones está la predicción de la participación del estudiante en un laboratorio de enseñanza (Noguez et al., 2003).

Mención especial merece el modelo “Mental mecánico”, concebido por De Kleer y Brown (1983), pues es un método orientado al diseño de aplicaciones predictivas. Este modelo representa en forma cualitativa el conocimiento del dominio y realiza razonamiento causal. Además, el modelo recrea la simulación cualitativa de un fenómeno físico de estudio a partir de la cual formula predicciones sobre comportamientos.

Entre las aplicaciones del modelo “Mental mecánico” destaca el programa Envision. Esta herramienta lleva a cabo la predicción a través de cuatro fases: descripción de la estructura, visión, selección y simulación. Durante la descripción de la estructura se genera la topología de un dispositivo físico, caracterizada por componentes, conexiones y conductas observadas ante estímulos específicos. El proceso de visión identifica las relaciones causales que asocian componentes con sus respectivas conductas. Este proceso genera modelos causales que describen el dispositivo en términos de estados de los componentes, de los cambios que sufren ciertos estados y de sus efectos sobre los estados de otros componentes. La selección elige al modelo causal apropiado al escenario de prueba por aplicar, mientras que la simulación, predice el desempeño del dispositivo con base en la simulación mental del modelo causal. La simulación se activa al proveer los datos de entrada del caso de prueba, cuyos valores se propagan a través de las relaciones causales para predecir el funcionamiento del dispositivo.

Envision se distingue por implementar un modelo causal a través de una red de estados, cuya transición emula el razonamiento cualitativo de las personas para alentar predicciones, pero al manejar valores puramente cualitativos en sus pronósticos, el modelo carece de precisión en sus estimaciones.

2.3 Investigación en el área de los mapas cognitivos

Los mapas cognitivos *causales* son una línea abierta de investigación, desarrollo y aplicación en diversos ámbitos, tales como: relaciones internacionales (Axelrod, 1976), administración (Ross y Hall, 1980), negocios (Eden, 1979), teoría de juegos (Klein y Cooper, 1982), análisis de información (Montezemi y Conrath, 1986), circuitos eléctricos (Stybilinsky y Mayer, 1988), estrategia política (Taber y Siegel, 1987), toma de decisiones (Zhang y Chen, 1988), adaptación (Kosko, 1992). Ante la variedad de aplicaciones de los mapas cognitivos, en esta tesis se introduce su empleo en el terreno de los SEBW, y de manera particular en el modelado del estudiante. Por lo tanto, a continuación se describe el modelo formal de cuatro versiones de mapas cognitivos y sus aplicaciones en los SEBW. Con esta muestra de trabajos se delinea el entorno de la versión de mapa cognitivo que se implementa en *la propuesta*. Así mismo, con base en estos modelos formales, se advierte la aportación que la tesis hace a la línea de los mapas cognitivos causales en relación con su diseño automático y campo de aplicación.

2.3.1 Representación de causalidad mediante mapas cognitivos cualitativos

La versión cualitativa de los mapas cognitivos fue propuesta por Axelrod (1976) y complementada por Nakamura et al. (1982). El modelo formal se define en la Ecuación (2.1)³, en donde CM es el mapa cognitivo, C es la red de conceptos y A es el conjunto de relaciones. Por lo tanto, esta versión de mapa cognitivo es: un grafo dirigido que representa las creencias que un individuo tiene en relación con un caso de estudio desde el enfoque causal-cualitativo.

$$CM := (C, A). \quad (2.1)$$

Los conceptos representan entidades del caso de estudio y se expresan por medio de términos cualitativos sin precisar valor alguno, p. ej., *estado de ánimo*, *interés en la lectura*, *gusto por las matemáticas*. Las relaciones son juicios en que se afirma que un concepto, llamado *origen*, afecta casualmente a otro, denominado *destino*. En tanto que a las relaciones se les asocia un valor que identifica la influencia causal entre los conceptos que la conforman. Los valores para relaciones causales se definen en el conjunto $\delta = \{a, +, -, 0, \oplus, \ominus, \pm, ?\}$, cuyos elementos identifican respectivamente: *conflicto*, *estimula*, *inhibe*, *indiferencia*, *estimula* o *indiferencia*, *inhibe* o *indiferencia*, *estimula* o *inhibe*, *estimula* o *indiferencia* o *inhibe*. Por ello, una relación $c_a \rightarrow + c_z$ significa que el concepto origen a estimula al concepto destino z , p. ej., *interés en la lectura* estimula positivamente *el gusto por las matemáticas*.

³ Para citar una ecuación se encierra entre paréntesis () el número que la identifica, con independencia de la presencia o ausencia de las frases *la Ecuación*, *las ecuaciones*, p. ej., (2.1).

La manipulación de los mapas cognitivos cualitativos se realiza sobre el conjunto δ de relaciones causales mediante cuatro operaciones: unión (\cup), intersección (\cap), suma ($|$) y multiplicación (*). Las reglas de la unión y la intersección son obtenidas al considerar $\{a, +, -, 0, \oplus, \ominus, \pm, ?\}$ como una abreviación respectiva de los conjuntos: $\{\}, \{+\}, \{-\}, \{0\}, \{+, 0\}, \{-, 0\}, \{+, -\}, \{+, -, 0\}$, dadas las operaciones definidas en la Ecuación (2.2^a). La definición de los operadores aparece en la Tabla 2.1, en donde C es el conjunto de conceptos:

Tabla 2.1 Ecuaciones para las operaciones causales

U (unión) e \cap (intersección)	(suma)	* (multiplicación)
(2.2 ^a) $\oplus = 0 \cup +$	Para cualquier $x, y \in C$	Para cualquier $x, y \in C$
(2.2 ^b) $\ominus = 0 \cup -$	(2.3 ^a) $0 y = y$	(2.4 ^a) $+ * y = y$
(2.2 ^c) $\pm = + \cup -$	(2.3 ^b) $a y = a$	(2.4 ^b) $0 * y = 0$, si $y \neq a$
(2.2 ^d) $? = 0 \cup + \cup -$	(2.3 ^c) $y y = y$	(2.4 ^c) $a * y = a$
(2.2 ^e) $a = + \cap 0 = + \cap - = 0 \cap -$	(2.3 ^d) $+ - = ?$	(2.4 ^d) $- * - = +$
(2.2 ^f) $\forall x: a \cup x = x$	(2.3 ^e) $ $ haz U, ley distributiva	(2.4 ^e) $*$ haz U, ley distributiva
(2.2 ^g) $\forall x: a \cap x = a$	(2.3 ^f) $x y = y x$	(2.4 ^f) $x * y = y * x$

Mediante la multiplicación (*) se estiman efectos indirectos causales que corresponden a la relación entre dos conceptos c_a y c_z , la cual contiene al menos un nodo intermedio c_b , tal que: $c_a \rightarrow \delta c_b \rightarrow \dots \rightarrow \delta c_z$, en donde c_a, c_b, \dots, c_z son conceptos asociados por una relación causal y δ es un símbolo perteneciente al conjunto δ . Por tanto, en el ejemplo: *desinterés en la lectura* inhibe *el gusto por las matemáticas* y *el gusto por las matemáticas* inhibe *la ociosidad*; con base en (2.4^d) da lugar a la conclusión: *el desinterés en la lectura estimula la ociosidad*.

En relación con el operador de suma ($|$), éste calcula el efecto directo causal que ejercen diversas rutas que conectan a dos nodos c_a y c_z , p. ej., sean las rutas $c_a \rightarrow + c_c$ y $c_b \rightarrow - c_c$, de acuerdo con (2.3^d) el efecto total que c_a y c_b ejercen sobre c_c es ? Por lo cual, en el ejemplo: *interés en la lectura* estimula *el gusto por las matemáticas* y *dificultad para hacer abstracciones* inhibe *el gusto por las matemáticas*, arroja la conclusión tipo ?, por ello, el concepto *gusto por las matemáticas* es estimulado en forma positiva, negativa o neutra.

La suma y multiplicación son manipuladas como matrices de la siguiente forma: Considerar A y B como matrices cuadradas de valencia, cuyo tamaño corresponde al número de conceptos n . La suma y multiplicación se definen en (2.5^a) y (2.5^b). Para elevar la matriz cuadrada A , a la potencia n se usa (2.5^c). El efecto total que ejerce un concepto sobre otro es estimado en la matriz de efecto total A_t , cuyo elemento a_{ij} representa el efecto total del concepto c_i sobre c_j con base en (2.5^d). Debido a que la suma es \subseteq monótona, hay una k que representa el número de relaciones que tiene la ruta más larga entre un concepto c_a sobre otro c_z con base en (2. 5^e).

$$(a | b)_{ij} = a_{ij} | b_{ij}. \tag{2.5^a}$$

$$(a * b)_{ij} = (a_{i1} * b_{1j}) | \dots | (a_{in} * b_{nj}). \tag{2.5^b}$$

$$A^1 := A; \text{ y } A^n := A * A^{n-1}. \quad (2.5^e)$$

$$A_i = A^1 | A^2 | A^3 | A^4 | \dots \quad (2.5^d)$$

$$A_i = A^1 | A^2 | A^3 | A^4 | \dots | A^k. \quad (2.5^e)$$

En lo que respecta al uso de esta versión de mapas cognitivos cualitativos, sobresalen los trabajos hechos por Chaib-draa y Desharnais (1998) orientados al ámbito de la toma de decisiones cualitativas, a la representación de múltiples vistas sobre un caso de estudio y al análisis del comportamiento de sistemas multiagentes.

En resumen, esta versión de mapas cognitivos cualitativos revela una perspectiva intuitiva con reglas *ad hoc*; pero carece de un tratamiento formal para sus relaciones. Además, su modelo matemático presenta ciertas inconsistencias en el uso de la Ecuación (2.3^c) que han sido resueltas por Chaib-draa (2002) mediante un modelo basado en el álgebra relacional.

2.3.2 Caracterización de la causalidad por medio de mapas cognitivos difusos

Los mapas cognitivos difusos representan la versión propuesta por Kosko (1986) para dar un tratamiento cuantitativo a un fenómeno causal que originalmente se expresa en términos cualitativos. Al formular el modelo, se establecen valores cualitativos a los estados de los conceptos y a las relaciones causales, p. ej., al concepto *interés en la lectura* se asocia el valor “*alto*”, mientras que a la relación *estimula* se etiqueta con el término lingüístico “*muchísimo*”. Una vez que los conceptos tienen valores iniciales y las relaciones también cuentan con los propios, se realiza una conversión lingüístico-numérica a valores normalizados en un conjunto o intervalo. Generalmente, se usan los conjuntos: $\{0, 1\}$ o $\{-1, 0, 1\}$; y los intervalos $[0, 1]$ o $[-1, 1]$, por lo que valores como *bajo* y *mucho*, que están asociados al estado de un concepto, pudiera corresponderles en forma respectiva para los conjuntos e intervalos presentados: 0 y 1, -1 y 1, 0.2 y 0.76, -0.75 y 0.82. De igual forma ocurre para las relaciones, pues una vez asignado el valor lingüístico, éste se transforma a un número del conjunto o intervalo elegido.

Después de haber inicializado el mapa cognitivo difuso, se activa un mecanismo encargado de estimar los efectos causales que ocurren entre los conceptos. El cálculo se realiza mediante la alteración iterativa de los valores asociados a los estados de los conceptos. Es decir, que como resultado de la próxima iteración $n+1$ el nuevo valor c_{n+1} reemplaza al que el estado del concepto c ostenta actualmente c_n . Durante la simulación permanecen estáticos los valores asociados a las relaciones. En cambio, los valores asignados a los conceptos son transformados hasta converger hacia una situación de *estabilidad* o de *caos*. Para identificar una situación de estabilidad basta que los valores de los estados de los conceptos no cambien entre un ciclo y el siguiente, o bien que se presente un patrón compuesto de varios ciclos cuyos valores se repiten. En cambio, una situación de caos es aquella en que después de un proceso razonable, de acuerdo con el criterio del analista, la simulación no ha arribado aún a una situación de estabilidad.

La versión difusa de mapas cognitivos se define formalmente en (2.6^a), en donde C representa un vector con los valores de los conceptos en el ciclo $n+1$, cuyo valor se genera al aplicar la función de umbral S al producto entre el vector de conceptos actual C_n y la matriz de adyacencias que representa los valores numéricos de las relaciones E . El valor del concepto c_i del vector de conceptos C se obtiene de la sumatoria del producto de todos los arcos e_{ij} que arriban a c_i , conforme a (2.6^b). El valor obtenido x_i es alimentado a la función umbral del nodo para normalizar el resultado y registrar el valor final y_i del concepto c_i .

La clase de función de umbral S que se emplea depende del tipo de conjunto o intervalo usado para normalizar los valores asociados a los conceptos. Por lo tanto, las ecuaciones (2.6^c) a (2.6^f) corresponden respectivamente a: $\{0, 1\}$, $\{-1, 0, 1\}$, $[0, 1]$ y $[-1, 1]$.

$$C_{n+1} = S(C_n, E). \quad (2.6^a)$$

$$c_i = \sum_{j=1}^n c_j * e_{ij}. \quad (2.6^b)$$

$$Si (x_i \leq 0, \Rightarrow y_i = 0); \quad Si (x_i > 0, \Rightarrow y_i = 1). \quad (2.6^c)$$

$$Si (x_i \leq -0.5, \Rightarrow y_i = -1); \quad Si (x_i > -0.5 \wedge x_i \leq 0.5), \Rightarrow y_i = 0); \quad Si (x_i > 0.5, \Rightarrow y_i = 1). \quad (2.6^d)$$

$$S_i(x_i) = 1 / (1 + e^{-cx_i}), \quad para \quad c = 5. \quad (2.6^e)$$

$$S_i(x_i) = 2 / (1 + e^{-cx_i}) - 1, \quad para \quad c = 5. \quad (2.6^f)$$

Los mapas cognitivos difusos se han empleado en campos tales como diseño de mundos virtuales (Dickerson y Kosko, 1997)(Parenthöen, et al., 2001), inferencia causal (Miao y Liu, 2000), toma de decisiones (Khan et al., 2004), supervisión de procesos terapéuticos de radiación (Parsopoulos, et al., 2004), ergonomía cognitiva (Parenthöen et al., 2002), representación de hiper-conocimiento (Carlsson y Fuller, 1996) e inferencia dinámica (Miao et al., 2001). Así mismo, en cuanto a la generación automática de los valores causales para los arcos existen diversos métodos basados en inteligencia de partículas (Papageorgiou et al., 2004), computación evolutiva (Koulourioutis et al., 2003) y redes neuronales (Dickerson y Kosko, 1994) (Vázquez, 2002). Por su parte, Aguilar (2004) ha diseñado un método para estimar en forma automática los valores iniciales para los conceptos a través de una red neuronal aleatoria.

En resumen, los mapas cognitivos difusos son la versión más usada de la línea causal debido a la facilidad de diseño y a la simpleza del cálculo de la inferencia causal; aunque es un modelo que durante el proceso de simulación, en vez de hacer inferencias difusas clásicas, realiza cálculos semejantes al empleado por las redes neuronales. Por tanto, a partir del primer ciclo se pierde toda referencia al conocimiento cualitativo, ya que por el uso de la función de umbral S se pierde toda posibilidad de realizar una conversión numérico-lingüística.

2.3.3 Habilitación de eventos estocásticos mediante mapas cognitivos probabilísticos

Generalmente las versiones de mapas cognitivos causales realizan inferencias basadas en un escenario de certidumbre y monotonía. Por ello, ante relaciones como $c_a \rightarrow - c_b \rightarrow - c_c$, de acuerdo con (2.4^d), se acepta la conclusión en que c_c recibe influencia positiva desde c_a . Con todo, no siempre resulta ser así, especialmente cuando existen *evidencias* que apuntan en dirección contraria al del efecto causal asumido. A partir de esta clase de reflexiones, Wellman (1994) formula una hipótesis cuando dice que: “Si los valores asignados a las relaciones representan una correlación causal y los conceptos se valoran mediante variables aleatorias, entonces la validez de la inferencia causal no está garantizada”. En consecuencia, Wellman propone un modelo orientado a evaluar la validez de la inferencia de las relaciones. Dicho modelo constituye una versión simplificada de los mapas cognitivos cualitativos, en donde los conceptos son tratados como variables aleatorias cuyos dominios no requieren ser definidos explícitamente. Por lo tanto, no se permiten relaciones que produzcan ciclos entre los conceptos, por ello tan sólo se usa un conjunto mínimo de valores para las relaciones $\delta = \{+, -, 0\}$. El mapa cognitivo probabilístico se define por medio de la Ecuación (2.1) y emplea las ecuaciones (2.3) y (2.4) para definir las operaciones de suma y multiplicación.

La semántica del modelo provee una definición abstracta para las relaciones causales, de tal manera que sea posible determinar la validez de las reglas de inferencia. La definición procura ser lo más limitada posible para que una vez determinada la validez del arco (c, c', δ) se pueda limitar la atención a los conceptos vecinos de c y c' . El modelo insta a estimar sin ambigüedad la inferencia por medio de la relación causal precisa entre los conceptos. Si la relación es funcionalmente dependiente, el signo es una abstracción de la función que relaciona a los conceptos. Por tanto, si la relación causal es probabilística, el signo es una abstracción de la dependencia probabilística definida en términos de la probabilidad condicional.

Los mapas cognitivos probabilísticos se basan en la “Red probabilística cualitativa” propuesta por Wellman (1990), cuyo interés estriba en el orden relativo que existe entre los valores probabilísticos asociados a los conceptos. Por lo tanto, las relaciones en este modelo denotan el signo de la dependencia probabilística. Por ejemplo, la relación $(c, c', +)$, establece que para todos los valores $c_1 > c_2$ de c ; c'_0 de c' ; y todas las asignaciones x a otros predecesores de c' en un mapa cognitivo, su relación probabilística está definida por (2.7^a). En cuanto a la relación $(c, c', -)$, a ésta le corresponde (2.7^b). Cuando no existe un arco que una a c con c' , o el arco tiene el valor 0, o no hay una ruta desde c' hacia c , lo que implica un ciclo, entonces la parte izquierda y derecha para (2.7^a) y (2.7^b) son iguales. Cuando ninguno de esos casos ocurre, entonces existe un arco ambiguo $(c, c', ?)$. Si las ecuaciones (2.7^a) y (2.7^b) se mantienen con igualdad, el arco tiene el valor 0 ó no existe, entonces c y c' son condicionalmente independientes dado los predecesores de c' . Al evaluar la inferencia vía el análisis de la ruta, basado en (2.3) y (2.4), se descubre que es válida en tanto c y c' no tengan ancestros comunes.

$$\Pr(c' \geq c'_0 | c_1 x) \geq \Pr(c' \geq c'_0 | c_2 x). \quad (2.7^a)$$

$$\Pr(c' \geq c'_0 | c_1 x) \leq \Pr(c' \geq c'_0 | c_2 x). \quad (2.7^b)$$

Esta versión de mapa cognitivo probabilístico se ha empleado en la estimación de sinergias, explicación cualitativa y toma de decisiones (Wellman, 1994). Su extensión a otros ámbitos es motivo de investigación y desarrollo. Esta versión de mapa cognitivo causal es reducida, acíclica y no puede asociar conocimiento cualitativo a los conceptos y relaciones; por tanto resulta de limitado alcance.

2.3.4 Incorporación del enfoque dual a través de mapas cognitivos bipolares

Los mapas cognitivos bipolares, diseñados por Zhang (2003abc), ofrecen un enfoque dual para analizar casos de minería de datos y relaciones internacionales. En esta versión, las relaciones asumen un valor dual, costo-beneficio, que se obtiene de sistemas lógicos bipolares derivados de la combinación de valores discretos $\{-1, 0\} * \{0, 1\}$ o reales en los intervalos $[-1, 0] * [0, 1]$. Estas opciones producen un espacio de estados con cuatro combinaciones de valores o un número infinito de ellas. La lógica difusa bipolar usa la estructura (2.8^a), sobre la cual se desarrollan seis operaciones lógicas (2.8^b) a la (2.8^g), en donde BCL_F identifica al espacio bipolar difuso y B_F representa el producto cartesiano de los intervalos negativos y positivos. Los operadores $\equiv, \oplus, \otimes, \&, -, \neg, \Rightarrow$ significan respectivamente: identidad, disyunción, conjunción serial, conjunción paralela, negación, complemento e implicación. La lógica difusa bipolar corresponde a la versión difusa de la lógica discreta bipolar (Zhang, 2003a).

De igual manera que las T-norms difusas, varios conjuntivos bipolares (T-norms) pueden ser definidos en el espacio B_F , el cual produce diversos niveles de granularidad en las operaciones difusas. Por ello el operador \otimes es extendido desde el intervalo positivo $[0, 1]$ al espacio infinito $[-1, 0] * [0, 1]$. Los operadores *max* y *min* habilitan la propagación de efectos causales a través del par de cadenas causales más fuertes, el valor absoluto máximo. Es así como se realiza la propagación bipolar de valores de verdad, aprovechando la convención de comparación unipolar $\Theta \in \{\leq, \geq, <, >\}$ que se amplía a la versión ilustrada en (2.8^h). Zhang define las relaciones bipolares difusas R como mapas cognitivos bipolares desde X a Y , donde $X = \{x_{ij}\}$ con tamaño m e $Y = \{y_{ij}\}$ con tamaño n , es una colección de pares ordenados o subconjuntos de $X * Y$ caracterizados por una función de membresía $\mu_R(x_i, y_i)$. Esta función representa cada par (x_i, y_i) en el espacio bipolar difuso B_F definido formalmente en (2.8ⁱ).

$$BCL_F = (B_F, \equiv, \oplus, \otimes, \&, -, \neg, \Rightarrow); B_F^- = [-1, 0]; B_F^+ = [0, 1]; B_F = B_F^- * B_F^+ . \quad (2.8^a)$$

$$Disyunción : (x, y) \oplus (u, v) \equiv (-\max(|x|, |u|), \max(y, v)) . \quad (2.8^b)$$

$$Conjunción : (x, y) \otimes (u, v) \equiv (-\max(\min(|x|, v), \min(y, |u|)), \max(\min(|x|, |u|), \min(y, v))) . \quad (2.8^c)$$

$$Conjunción paralela : (x, y) \& (u, v) \equiv (-\min(|x|, |u|), \min(y, v)) . \quad (2.8^d)$$

$$Negación : -(x, y) \equiv (-y, -x) . \quad (2.8^e)$$

$$Complemento : \neg(x, y) \equiv (-x, -y) \equiv (-1 - x, 1 - y) . \quad (2.8^f)$$

$$\text{implicación} : (x, y) \Rightarrow (u, v) \equiv (x \Rightarrow u, y \Rightarrow v) \equiv (-\max(|-1-x|, |u|), \max(1-y, v)). \quad (2.8^g)$$

$$\Theta \in \{\leq, \geq, \leq\geq, \geq\leq, <<, >>, <>, ><, \leq\geq, \geq\leq, >\leq, \leq>, \geq>, \leq\leq, \geq\geq\}. \quad (2.8^h)$$

$$R = \{\mu_R(x_i, y_i) \mid \forall i, j, 0 < i \leq m, 0 < j \leq n\}, \quad \mu_R(x_i, y_i) \rightarrow B_F = B_F^- * B_F^+ = [-1, 0] * [0, 1]. \quad (2.8^i)$$

2.3.5 Aplicación de los mapas cognitivos en los SEBW

El uso de mapas cognitivos en el ámbito de los SEBW es incipiente. Esta investigación reporta dos aplicaciones de la versión difusa en los sistemas tutoriales inteligentes. La primera corresponde a su empleo en el módulo tutor, el cual se encarga de seleccionar y proveer las experiencias de aprendizaje (García et al., 2003). Esta función se realiza por medio de un mapa cognitivo difuso que expresa los objetivos de aprendizaje del estudiante, el dominio de conocimiento de la enseñanza y el tipo de auxilio que el tutor provee. El usuario identifica los conceptos, establece las relaciones y asigna valores numéricos a los conceptos y sus relaciones. A través de un programa se diseña y activa la simulación del mapa cognitivo (Mohr, 2004). Al final del proceso, el usuario aprecia la evolución de los valores asociados a los estados de los conceptos. La virtud de este trabajo estriba en proponer el uso de los mapas cognitivos difusos para recrear un mecanismo de toma de decisiones que soporte la operación del módulo tutor de un sistema tutorial inteligente. Más aún, su proceso es manual y externo, además de que carece de un medio para interpretar los resultados derivados de la simulación.

Las segunda aplicación corresponde a un módulo dedicado a la evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje (Laureano et al., 2004). El módulo emplea un mapa cognitivo para caracterizar la estrategia de enseñanza del estudiante. El usuario diseña, simula y analiza manualmente el mapa cognitivo. De acuerdo con la progresión de los cambios de estado de los conceptos, el usuario evalúa la conducta del modelo y estima el nivel alcanzado en el aprendizaje del estudiante. La virtud de este trabajo radica en proponer a los mapas cognitivos difusos como una herramienta para evaluar la enseñanza provista al estudiante, aunque este trabajo afronta las mismas limitantes que la aplicación de García et al. (2003).

En lo concerniente a la presente investigación sobre el uso de los mapas cognitivos causales para el modelado del estudiante, su crónica ha sido publicada durante sus etapas de investigación documental, propuesta, desarrollo y resultados. En consecuencia, se han difundido las siguientes publicaciones: Estado del Arte de los SEBW, modelo del estudiante y mapas cognitivos (Peña y Sossa, 2004ab), adaptar el aprendizaje mediante mapas cognitivos (Peña y Gutiérrez, 2004b), recrear un SEBW adaptable basado en mapas cognitivos (Peña y Gutiérrez, 2004c), empleo de mapas cognitivos para crear el modelo del estudiante (Peña y Sossa, 2004c; Peña et al., 2006c; Peña et al., 2007c), aprendizaje negociado por medio de mapas cognitivos (Peña y Sossa, 2005), modelo colaborativo del estudiante (Peña, 2005), método predictivo causal para el modelo del estudiante (Peña et al., 2006b), SEBW adaptables e inteligentes (Canales et al., 2007), un modelo formal para los mapas cognitivos causales (Peña et al., 2007c; Peña et al., 2007d) y representación a través de ontologías (Peña et al., 2007ab).

2.4 Aplicación de la Teoría de la Actividad en los SEBW

En su propuesta conceptual para usar las nuevas tecnologías de aprendizaje, Guttormsen y Krueger (2000) convocan a prestar atención a cinco aspectos relevantes para el diseño de un SEBW: teoría de aprendizaje, multimedia, tecnologías de aprendizaje, modos de interacción hombre-máquina y aceptación del usuario. En relación con el primer aspecto, ellos establecen que: “La teoría de aprendizaje que se elige constituye el fundamento de un SEBW eficaz.” También afirman que: “El aprendizaje no es un fenómeno unitario, puesto que el individuo adquiere conocimiento de diversas formas. En consecuencia, es necesario estimular de manera específica las diversas modalidades de aprendizaje.” Con base en esta premisa, Guttormsen y Krueger evalúan las teorías clásicas de aprendizaje y proceden a centrar su atención en la Teoría de la Actividad, la cual se distingue por ofrecer un método de trabajo consistente en un ambiente de cómputo.

Entre las aplicaciones de la Teoría de la Actividad en el ámbito de los SEBW se encuentra el sistema cognitivo distribuido Brainspace (Büster y Ninch, 2003). Brainspace recrea un ambiente de aprendizaje colaborativo en el que la adquisición de conocimiento es el resultado de las actividades desarrolladas por el grupo de estudiantes en la búsqueda de soluciones a problemas específicos. El sistema promueve la interacción cognitiva entre los estudiantes mediante el desarrollo de un entendimiento común. La comprensión se advierte al compartir los modelos mentales que corresponden a la percepción que los estudiantes tienen de su propia realidad. En la medida que el estudiante obtiene nueva información, ésta se compara con el modelo mental dando lugar a *perturbaciones*. Estas discrepancias modifican los modelos mentales involucrados. Por tanto, se considera a la *actividad*, como el agente promotor del entendimiento común entre los estudiantes, contribuyendo a delinear su conciencia. En el desarrollo de las actividades Brainspace representa al *instrumento* que establece la comunicación y la colaboración que alienta la construcción de modelos mentales comunes.

2.5 Conclusiones

El estado del arte descrito en este capítulo, ha centrado su atención en las cuatro aristas que recrean el ámbito del tema de tesis: los SEBW, el modelo del estudiante, los mapas cognitivos y la Teoría de la Actividad. En cada una de ellas se expusieron casos de estudio afines a la presente investigación y se identificaron sus bondades y limitaciones. Gracias a esta gama de trabajos, se recrea el escenario conceptual de la tesis y se facilita identificar sus atributos y contribuciones. En resumen, se pueden precisar las siguientes aportaciones: El modelo del estudiante propuesto es un mecanismo que suministra información clave para recrear SEBW adaptables e inteligentes. Al emplear mapas cognitivos en el modelado del estudiante se abre una línea de investigación causal-difusa para su representación. Al llevarlos al terreno del modelo del estudiante se pone a prueba la utilidad de los mapas cognitivos como herramienta predictiva de fenómenos cognitivos. Al proponer la Teoría de la Actividad como el fundamento conceptual para recrear el modelo del estudiante basado en mapas cognitivos se interpreta al aprendizaje como: “El efecto interno que ocurre en la mente del individuo como consecuencia de una causa externa llamada enseñanza”.

Capítulo 3

Marco teórico

*El principio de la sabiduría es el temor de Jehová;
Buen entendimiento tienen todos los que practican sus mandamientos;
Su loor permanece para siempre.
(Salmos 111.10)*

El modelo formal de *la propuesta* se fundamenta en las contribuciones de diversos campos de estudio, a saber: Los principios de la Teoría de la Actividad, la descripción del modelo del estudiante mediante proposiciones, los conceptos y definiciones formales de la lógica difusa, y los fundamentos matemáticos que sustentan la versión de mapas cognitivos difusos con base de reglas difusas. De acuerdo con estos elementos, se concibe el modelo formal para el modelo del estudiante basado en mapas cognitivos, el cual se explica en el Capítulo 4. Mientras tanto, el conjunto de fundamentos teóricos que ofrecen el sustento formal de *la propuesta* son presentados en este capítulo. Por tanto, en la primera sección se presentan y analizan los principios de la Teoría de la Actividad. También, se explica cómo los principios de la Teoría de la Actividad son aplicados en *la propuesta*. Acto seguido, se expone la descripción formal del modelo del estudiante. A continuación, se presentan diversos elementos y métodos de inferencia de la lógica difusa. Después se describe el modelo matemático de los mapas cognitivos difusos con bases de reglas difusas. El capítulo finaliza con la exposición de las conclusiones derivadas del marco teórico.

3.1 Principios de la Teoría de la Actividad

La Teoría de la Actividad surge como resultado de los estudios sobre memoria y atención realizados por Leont'ev (1978). La teoría se deriva de la corriente psicológica basada en la Filosofía Marxista que imperó durante las décadas de 1920 y 1930 en la entonces Unión Soviética.

Por tal motivo, la Teoría de la Actividad establece un vínculo entre el contexto social y el desarrollo de una sociedad. La teoría se orienta a concebir un modelo mediado por instrumentos y acciones orientadas a lograr un objeto. La relación entre el individuo y los objetos que persigue es mediada por instrumentos, signos y elementos culturales.

La teoría aprecia la división del trabajo como el proceso fundamental histórico que está detrás de las funciones mentales del individuo, por ello, a través de la mediación de los instrumentos, el trabajo es realizado en condiciones de unión y actividad colectiva. Esta clase de pensamiento alienta a concebir un principio de unidad e inseparabilidad de la conciencia y la actividad. Este principio revela que la mente humana nace, se desarrolla y es entendida dentro de un contexto significativo orientado a un objeto y determinado por la interacción social entre los individuos y su ambiente material.

La Teoría de la Actividad no es una teoría en el estricto sentido, más bien es un enfoque filosófico orientado a estudiar la actividad humana. Este enfoque se compone de un conjunto de principios que recrean un marco conceptual útil para el establecimiento de nuevas teorías. La esencia de la Teoría de la Actividad se manifiesta por medio de la definición de actividad como: Una formación sistemática y unidad de análisis para las ciencias humanas.

El principio *orientado a un objeto*, revela que la actividad se encamina hacia el logro de algo que existe en el mundo físico o mental del individuo. El principio *jerarquía* indica que la interacción entre la persona y el mundo que le rodea está organizado en una estructura compuesta por actividades, acciones y operaciones. Las actividades son emprendidas por un motivo. Su desarrollo corre a cargo de acciones que se ejecutan en forma individual y colectiva. Cada acción se orienta a satisfacer un objetivo específico. La acción está compuesta por operaciones cuyo desempeño observa ciertas condiciones que regulan la acción.

El principio *exteriorización–interiorización* revela los estímulos exteriores que activan la actividad mental del individuo, la cual una vez realizada, se manifiesta a través de la reacción que la persona manifiesta. El principio de *mediación* declara que la actividad humana está regulada por instrumentos. El principio *desarrollo* establece que la interacción humana con la realidad debe ser analizada en el contexto del desarrollo. El contexto recrea el ambiente exterior e interior del individuo.

En lo concerniente a la presente investigación, se procura aplicar los principios de la Teoría de la Actividad de la siguiente forma: *Orientado a un objeto*, concierne al interés del estudiante en aprender un tema de enseñanza específico; *jerarquía*, se representa por el programa de estudios compuesto por una estructura de contenidos y experiencias que el SEBW proporciona al estudiante; *exteriorización–interiorización*, corresponde al ciclo de enseñanza-aprendizaje que se propone representar por medio de un modelo causa-efecto; *mediación*, es el rol que corre a cargo del SEBW, el modelo del estudiante y el acervo de contenidos; *desarrollo*, corresponde a la apreciación que se obtiene del progreso del estudiante en relación con las predicciones estimadas por el modelo del estudiante.

3.2. Descripción formal del modelo del estudiante

El modelo del estudiante es en esencia un conjunto de juicios que el SEBW tiene acerca del individuo. La representación formal de los juicios se basa en la propuesta de Self (1988ab, 1991, 1999), en la que se expresan las creencias y el conocimiento del dominio de enseñanza por medio de fórmulas del cálculo proposicional (Suppes, 1984). Dado el nivel de incertidumbre inmanente a estas clases de juicios, en la definición formal son denominados como *creencias*. Así mismo, se emplea el término *sistema* para referirse al módulo del modelo del estudiante, al propio modelo del estudiante y al resto de módulos del SEBW que participan en el modelado del estudiante. Por tanto, a continuación se emplea el método algorítmico para la exposición del marco formal del modelo del estudiante de la siguiente forma:

Las creencias (C) son declaradas como proposiciones (p) emanadas del cálculo proposicional. Las proposiciones tienen un valor lógico falso o verdadero de acuerdo con la perspectiva del sistema (s) o con la del estudiante (e). Por lo tanto, el conjunto de creencias del sistema (Cs) corresponde al conjunto de creencias del sistema declaradas como proposiciones (Csp), tal como se muestra en (3.1^a). Además, el conjunto de preposiciones que el sistema cree que son creídas por el estudiante (Cep) son definidas como (Cse) en (3.1^b); sin embargo, el sistema ignora las creencias del estudiante, por ello, el razonamiento descansa sobre las creencias del sistema. Por tanto, el subconjunto de creencias que el sistema posee acerca del estudiante conforma la versión esencial del modelo del estudiante (ME) definido en la Ecuación (3.1^c).

$$Cs = \{ p \mid Csp \}. \quad (3.1^a)$$

$$Cs(e) = \{ p \mid Csp \wedge Cep \}. \quad (3.1^b)$$

$$ME = Cs(e) = \{ p \mid Csp(e) \}. \quad (3.1^c)$$

A partir del conjunto de ecuaciones (3.1) y a manera de ejemplo, una creencia que el sistema tiene sobre el estudiante *Juan* puede ser: *Juan tiene alta capacidad de razonamiento matemático*, mientras que una creencia que el sistema pudiera creer que Juan cree es: *Tengo muy alta capacidad de razonamiento matemático*. Por lo tanto, el modelo del estudiante está conformado por las creencias que el sistema tiene del estudiante, tales como: *A Juan se le facilita el aprendizaje de algoritmos*. En suma, la declaración de creencias que el sistema tiene del estudiante se basa en la definición de juicios por medio de proposiciones.

3.3 Fundamentos de la lógica difusa

De acuerdo con los fundamentos de la lógica difusa establecidos por Zadeh (1965, 1978, 1987, 1997) se procede a definir en esta sección los conceptos como variables lingüísticas, las relaciones como reglas difusas, las bases de reglas difusas, las relaciones de inferencia difusa, el escalamiento de conjuntos difusos, la agregación de conjuntos difusos y la estimación del efecto de refuerzo.

3.3.1 Conceptos caracterizados como variables lingüísticas

Dada la naturaleza cualitativa de los mapas cognitivos, los conceptos son declarados como *variables lingüísticas*. Esta clase de variables es capaz de representar *valores lingüísticos* provenientes del *universo de discurso* asociado a un concepto. El universo de discurso recrea un contexto semántico por medio de un conjunto de *términos lingüísticos*. Los términos lingüísticos son valores cualitativos que representan magnitudes de nivel o intensidades de variación del estado de un concepto.

Por ejemplo, el nivel del estado del concepto *actitud positiva* puede tener asociado un universo de discurso compuesto por los valores lingüísticos: {*baja, ..., alta*}. En tanto que la variación del estado del concepto *aprendizaje de algoritmos* se define por: {*disminuye, ..., aumenta*}.

Cada término lingüístico tiene asociada una *función de membresía*. Con esta función se define un *conjunto difuso*. El conjunto difuso se expresa gráficamente como la superficie delimitada por una forma geométrica, como por ejemplo un trapecio, un triángulo o un rectángulo.

Debido a que la morfología de un conjunto difuso es considerada durante la inferencia difusa, es pertinente identificar los atributos del conjunto difuso mediante el trapecio que aparece en la Figura 3.1, en donde: B representa al conjunto difuso, A representa el área del conjunto difuso, μ_B su función de membresía; N_B el núcleo; LN_B la longitud del núcleo; xC_B el centro de masa; DI_B el declive interior; DE_B el declive exterior; BI_B la base interior; BE_B la base exterior; S_B el soporte; LS_B la longitud del soporte. La definición de los atributos del conjunto difuso se basa en las ecuaciones (3.2^a) a (3.2^j), propuestas por Carvalho (2001).

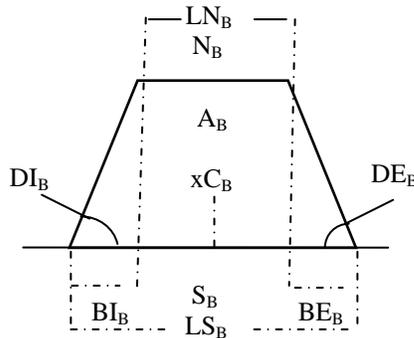


Figura 3.1 Morfología de un conjunto difuso

$$\text{Area : } A_B = \int_x \mu_B(x) dx . \tag{3.2^a}$$

$$\text{Coordenada del centro de masa : } xC_B = \frac{\int_x \mu_B(x) * x \ dx}{\int_x \mu_B(x) dx} . \tag{3.2^b}$$

$$\text{Soporte} : S_B = \{ x \in X \mid \mu_B(x) > 0 \}. \quad (3.2^c)$$

$$\text{Longitud Soporte} : LS_B = | \text{máximo}(S_B) - \text{mínimo}(S_B) |. \quad (3.2^d)$$

$$\text{Núcleo} : N_B = \{ x \in X \mid \mu_B(x) \geq \alpha, \alpha = 1 \}. \quad (3.2^e)$$

$$\text{Longitud Núcleo} : LN_B = | \text{máximo}(N_B) - \text{mínimo}(N_B) |. \quad (3.2^f)$$

$$\text{Base Interior} : BI_B = \text{mínimo}(N_B) - \text{mínimo}(S_B); \text{ si } B \text{ es positivo} . \quad (3.2^g)$$

$$\text{Base Interior} : BI_B = \text{máximo}(S_B) - \text{máximo}(N_B); \text{ si } B \text{ es negativo} .$$

$$\text{Base Exterior} : BE_B = \text{máximo}(S_B) - \text{máximo}(N_B); \text{ si } B \text{ es positivo} . \quad (3.2^h)$$

$$\text{Base Exterior} : BE_B = \text{mínimo}(N_B) - \text{mínimo}(S_B); \text{ si } B \text{ es negativo} .$$

$$\text{Declive Interior} : DI_B = \text{grado_membresía} / BI_B; \text{ en donde grado_membresía} = 1. \quad (3.2^i)$$

$$\text{Declive Exterior} : DE_B = \text{grado_membresía} / BE_B; \text{ en donde grado_membresía} = 1. \quad (3.2^j)$$

3.3.2 Relaciones expresadas como reglas difusas

Las relaciones se definen por medio de reglas difusas. Una regla difusa se conforma de dos juicios, el primero es el *antecedente*, la *causa*, y el segundo representa al *consecuente*, el *efecto*. En un juicio se establece una asociación entre un término lingüístico y el estado de un concepto. El antecedente constituye un juicio compuesto por una o más condiciones. La validez del juicio antecedente proviene de la verdad o falsedad de las condiciones que lo integran. El juicio antecedente debe ser evaluado cada vez que la regla difusa es examinada. El consecuente representa un juicio que solo es verdadero en el caso de que su antecedente lo sea.

Sirva de ejemplo la regla difusa: Si *Juan tiene una actitud positiva baja* entonces *disminuye el aprendizaje de Juan*. Para que el juicio *disminuye el aprendizaje de Juan* sea válido, es necesario que en el instante t_i , la *actitud positiva* de Juan esté *baja*.

La validez del juicio se determina al comparar el término lingüístico asociado al concepto antecedente c , contra el valor lingüístico que ostenta el estado de ese mismo concepto en el instante en que se evalúa la regla, $c(t_i)$. Cuando coincide, el valor lingüístico que ostenta el estado del concepto referenciado $c(t_i)$ tiene un grado de membresía superior a 0, es decir $\mu_{C(T_i)} > 0$. Cuando el antecedente resulta ser verdadero, entonces el término lingüístico asociado al concepto consecuente e es asignado al estado del concepto efecto $e(t_{i+1})$. Además, se otorga como grado de membresía para el término lingüístico del concepto efecto $e(t_{i+1})$ el mismo grado que tiene el estado del concepto referenciado en el antecedente, es decir: $\mu_{e(T_{i+1})} = \mu_{c(T_i)}$.

Como ejemplo, si en el instante t_i en que se evalúa la regla difusa, el estado del concepto *actitud positiva* ostenta el término lingüístico *baja*, con un grado de membresía $\mu_{C(T_i)} = 0.8$; entonces en el instante siguiente t_{i+1} , el estado del concepto efecto *e*, *el aprendizaje de Juan*, ostenta el valor lingüístico *disminuye* con grado de membresía $\mu_{e(T_{i+1})} = 0.8$.

3.3.3 Bases de reglas difusas

Una base de reglas difusas representa el conjunto de reglas difusas que describe una relación causal entre dos conceptos. El número de reglas difusas de la base corresponde a la cantidad de términos lingüísticos definidos en el universo de discurso asociado al concepto antecedente. A partir de esta definición se establece el Axioma 3-1 (Carvalho, 2001).

- **Axioma 3-1.** Una base de reglas difusas es consistente si contiene una y solo una regla difusa por cada término lingüístico perteneciente al universo de discurso asociado al concepto antecedente.

Por ejemplo, un universo de discurso puede estar compuesto por siete términos lingüísticos para el nivel asociado al estado de un concepto. Si dicho universo se asocia al concepto *actitud positiva*, entonces cualquier base de reglas en donde este concepto forme parte del juicio antecedente tendrá exactamente siete reglas difusas.

3.3.4 Relaciones de inferencia difusa

Una relación de inferencia difusa es: Un juicio que expresa una relación causal en el que se manifiesta de manera lingüística el nivel o la variación del estado de un concepto, conforme a los términos lingüísticos que se asocian al estado de otros conceptos. Las relaciones de inferencia difusa representan relaciones causales de una manera semejante a como lo hacen las relaciones causales-difusas, las cuales son explicadas en la Sección 3.4.2, pero sin tomar en cuenta algunas de sus restricciones.

Se define una relación de inferencia difusa cuando se requiere manifestar en una sola relación causal que dos o más causas afectan al mismo concepto. Por lo tanto, en el juicio antecedente se establecen varias condiciones relacionadas en forma conjuntiva o disyuntiva. Cada condición representa una asociación entre un término lingüístico y el estado de un concepto. El universo de discurso asociado a los conceptos que aparecen en el juicio antecedente puede contener valores que indiquen variación o nivel. Con respecto al concepto que sufre el efecto causal, éste puede estar asociado a un universo de discurso compuesto solamente por valores lingüísticos que revelan *variación*, o por términos que estiman *nivel*.

Por ejemplo, la siguiente relación de inferencia difusa se compone por dos condiciones conjuntivas, en donde la primera está asociada a un valor lingüístico que revela el nivel, y la segunda a un término lingüístico que manifiesta la variación: Si *Juan tiene baja capacidad de razonamiento matemático y la capacidad de análisis de Juan decrece*, entonces *decrece mucho el aprendizaje de Juan*. Se aprecia que el efecto causal provocado por las dos condiciones se traduce en una variación del estado del concepto del juicio consecuente.

La declaración de una relación de inferencia difusa se lleva a cabo a través de una base de reglas difusas, cuyo contenido puede estar normalizado conforme al Axioma 3-2, el cual se encarga de definir la validez de una relación de inferencia difusa de la siguiente forma:

- **Axioma 3-2.** Se dice que una relación de inferencia difusa es válida, si la base de reglas difusas contiene una y solo una regla difusa para cada combinación de valores lingüísticos que es posible derivar de los universos de discurso asociados a los conceptos que conforman el juicio antecedente.

3.3.5 Escalamiento de conjuntos difusos

El grado de membresía de un conjunto difuso revela la intensidad de expresión del término lingüístico al cual representa. Por tanto, cuando solamente una regla está activa, entonces el término lingüístico que se asigna al concepto consecuente está plenamente caracterizado. Es decir, los atributos de la morfología que definen al conjunto difuso del término lingüístico consecuente equivalen al 100% de la magnitud original establecida para el conjunto difuso. Gráficamente se muestra esta situación a través de las figuras 3.2^a y 3.2^b. En la primera aparece un plano cartesiano donde se muestra al conjunto difuso correspondiente al término lingüístico aludido en el juicio consecuente de la única regla activada. En la Figura 3.2^b se muestra a ese mismo conjunto difuso, esta vez con fondo gris, que conserva el 100% de la dimensión de los atributos originalmente establecidos, puesto que el grado de membresía asociado es igual a uno.

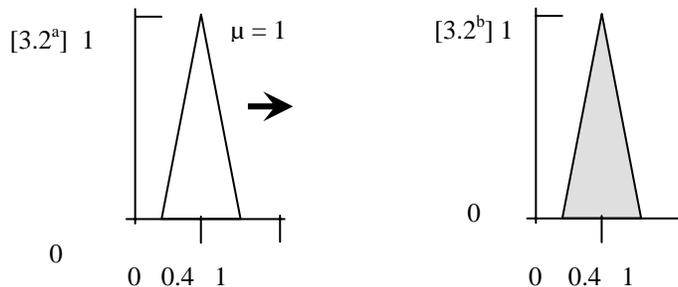


Figura 3.2 Activación de un solo conjunto difuso del consecuente de una regla¹

En contraparte, cuando dos reglas son activadas simultáneamente, se requiere aplicar un proceso de *escalamiento* para estimar la morfología de los conjuntos difusos en función de la proporción representada por sus respectivos grados de membresía. El escalamiento se realiza a través del método Max-Dot con el objetivo de preservar diversos atributos del conjunto difuso original, el cual está representado al 100% de su magnitud. Para lograr este fin, sólo se calculan los declives interior y exterior, además de actualizar el valor del área. El resto de los atributos conservan sus dimensiones originales, es decir que se mantienen: la forma gráfica definida por la función de membresía, la coordenada del centro de masa, el soporte y su longitud, el núcleo y su longitud, la base interior y la base exterior.

¹ Las figuras que integran en conjunto una Figura y que se citan de manera particular, son identificadas por medio del número de la Figura a la que conforman más una letra que les permite ser diferenciadas. El identificador de la figura se encierra entre corchetes [] para facilitar su ubicación dentro de la Figura, p. ej., [3.2^b].

Para calcular los declives interior y exterior, se asigna el grado de membresía del conjunto difuso en turno a la variable denominada *grado de membresía* de las ecuaciones (3.2ⁱ) y (3.2^j). Posteriormente, se aplica la Ecuación (3.2^a) para estimar el área del conjunto difuso escalado. Para ejemplificar la activación de dos reglas se presentan a continuación dos casos. En el primero, el término lingüístico aludido en los dos juicios consecuentes es el mismo, pero cada uno tiene su propio grado de membresía, 0.6 y 0.4, tal como se ilustra en las figuras 3.3^a y 3.3^b. Como resultado del escalamiento, el primer conjunto difuso muestra una proporción equivalente al 60%, mientras que el segundo exhibe el 40% restante en la forma ilustrada en las figuras 3.3^c y 3.3^d.

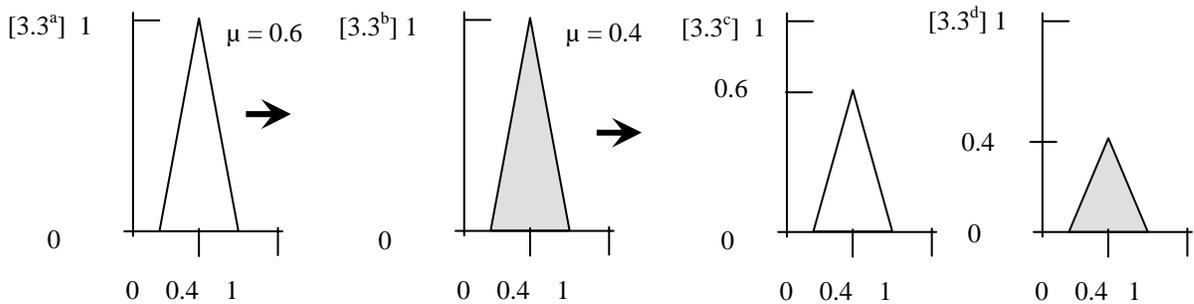


Figura 3.3 Secuencia de escalamiento del mismo conjunto difuso derivado de dos reglas

En el segundo caso, los términos lingüísticos asignados en los dos juicios consecuentes son diferentes y cada uno tiene su propio grado de membresía, 0.3 y 0.7. Los conjuntos difusos correspondientes se muestran en la Figura 3.4^a, en donde el primero tiene fondo gris. Una vez hecho el escalamiento, el primer conjunto difuso se exhibe con una escala del 30%, mientras que el segundo con el 70% restante, tal como se ilustra en la Figura 3.4^b.

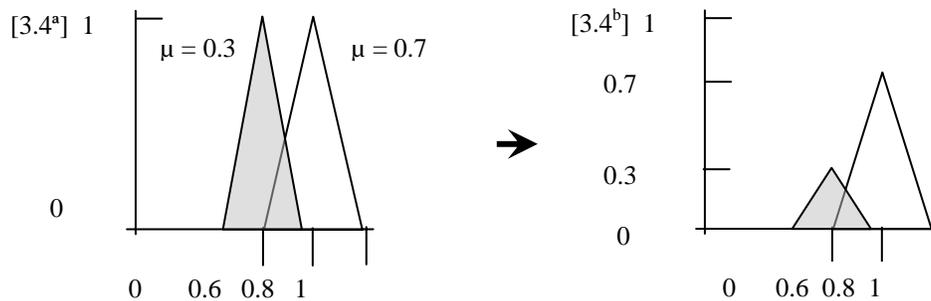


Figura 3.4 Secuencia de escalamiento de dos conjuntos difusos diferentes derivados de dos reglas

3.3.6 Agregación de conjuntos difusos

Una vez escalados los conjuntos difusos derivados de las reglas activadas en una relación, se procede a agregarlos en un *conjunto difuso resultante* (CDR). La agregación es un proceso de adición, en el que se combinan las áreas de varios conjuntos difusos. Como resultado, el área del CDR es igual a la suma de las áreas de los conjuntos envueltos en la agregación².

² Remitirse al teorema 10-1 presentado y demostrado por Carvalho (2001), pp. 136.

La agregación se define en la ecuación (3.3^a), en donde se establece que para cualquier producto cartesiano de los grados de membresía, ubicado en el intervalo $[0, 1]$, de n conjuntos difusos, el valor resultante corresponde a un grado de membresía inscrito en el intervalo $[0, 1]$. Así mismo, cuando la función de agregación (g) se aplica a n conjuntos difusos Z_i definidos en el universo de discurso X , la función de agregación genera un CDR Z a partir de la *suma* de los grados de membresía en x de cada conjunto difuso involucrado, tal como se establece en (3.3^b). Esta clase de función de membresía satisface los axiomas 3-3 y 3-4 que están relacionados con la condición de frontera de monotonía (Carvalho, 2001).

$$g : [0, 1]^n \rightarrow [0, 1]; n > 1. \quad (3.3^a)$$

$$\forall x \in X, \mu_Z(x) = g(\mu_{Z_1}(x) + \dots + \mu_{Z_n}(x)); n > 1. \quad (3.3^b)$$

- **Axioma 3-3.** Establece una condición de frontera, en donde la función de agregación g , aplicada a n conjuntos difusos produce: $g(0, \dots, 0) = 0$; $g(1, \dots, 1) = 1$.
- **Axioma 3-4.** La función de agregación g es monótona y no decreciente para todos sus elementos, ya que para cada par de elementos $(p_i | i \in N)$ y $(r_i | i \in N)$ en los que $p_i \in [0, 1]$, y $r_i \in [0, 1]$, si $p_i \geq r_i$ para todos las instancias $i \in N$, entonces: $g(p_i | i \in N) \geq g(r_i | i \in N)$.

Continuando con el ejemplo ilustrado en la serie de figuras 3.3, se procede a mostrar en la Figura 3.5 la generación del CDR para los dos conjuntos difusos que representan al mismo término lingüístico con su propio grado de membresía. El CDR aparece con líneas interrumpidas en el extremo derecho de la secuencia. Así mismo, con base en la secuencia de ilustraciones de la Figura 3.4, se exhibe en el lado derecho de la Figura 3.6 el CDR derivado de la agregación de dos conjuntos difusos que representan diferentes términos lingüísticos.

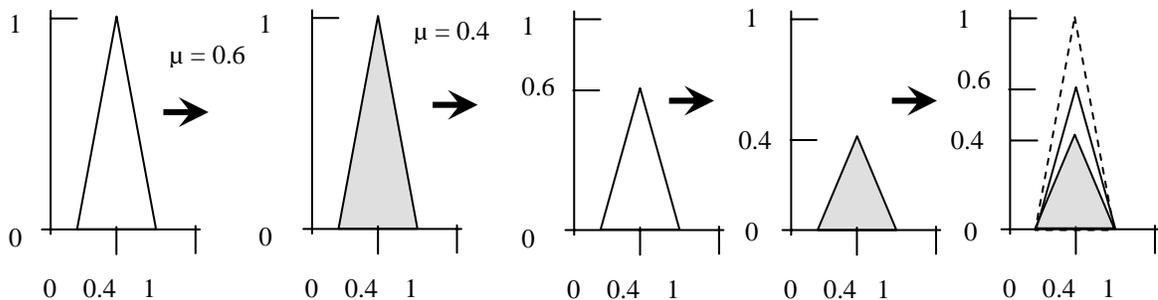


Figura 3.5 Agregación de los conjuntos difusos de dos términos iguales

Cuando sólo una regla está activa, el CDR es el mismo que el conjunto correspondiente al del término lingüístico aludido en el juicio consecuente, tal como aparece en las figuras 3.2^a y 3.2^b. En dicha secuencia de conjuntos difusos el que corresponde al CDR aparece con fondo gris en la Figura 3.2^b.

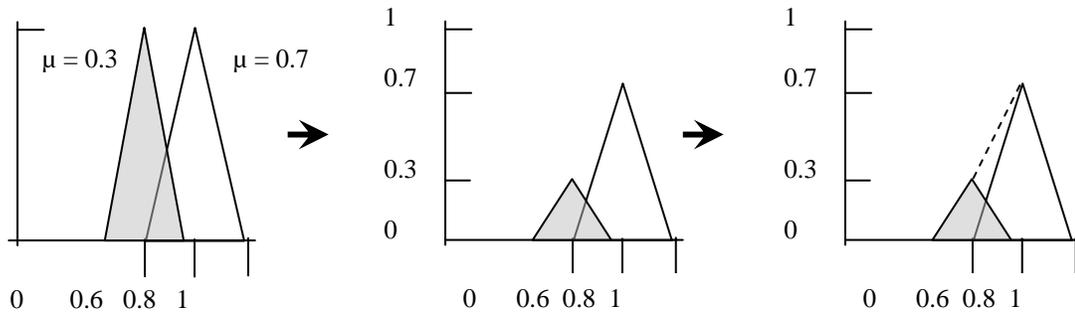


Figura 3.6 Agregación de los conjuntos difusos de dos términos diferentes

3.3.7 Estimación del efecto de refuerzo

El *efecto de refuerzo* se aplica únicamente a las relaciones de inferencia difusa. El efecto de refuerzo se estima por separado sobre los CDR que representan variaciones a la *baja* y al *alza* que ocurren sobre el estado de un concepto después de un lapso y sobre los CDR que corresponden a niveles *inferiores* y *superiores* con respecto al nivel normal del estado del concepto que se estiman en un instante del tiempo.

El cálculo del efecto de refuerzo descansa en un postulado que establece: El efecto que dos o más relaciones de inferencia difusa ejercen sobre el estado de un mismo concepto abona en la intensidad del grado de membresía. Este principio proviene de los sistemas de inferencia basados en reglas difusas. El postulado de refuerzo representa una especie de acumulación de los conjuntos difusos sobre el eje del grado de membresía, Y , cuyo límite es igual a uno.

En el cálculo del efecto de refuerzo sobre los conjuntos contenidos en el grupo de CDR se observan las especificaciones descritas en la Sección 3.3.6, relacionada con la agregación de conjuntos difusos; sin embargo, existen dos diferencias: la cifra de conjuntos involucrados y el grado de membresía de dichos conjuntos. En la agregación a nivel de relación únicamente se suma un par de conjuntos difusos y cuyos grados de membresía son complementarios, pues entre los dos suman uno. En cambio, la agregación a nivel de concepto puede involucrar uno o más conjuntos difusos y sus grados de membresía de cada uno de ellos son igual a uno. Más aún, pese a tales diferencias se aplican las ecuaciones (3.3^a) y (3.3^b) y los axiomas 3-3 y 3-4, es por ello que la variable n citada en dichos postulados, corresponde al número de conjuntos que conforman el grupo de conjuntos difusos con el que se esté trabajando.

Los casos ejemplificados en las figuras 3.5 y 3.6 son adaptados para ilustrar el efecto de refuerzo. Para el primer caso, se muestran en la Figura 3.7 dos conjuntos difusos con grado de membresía igual a 1 que corresponden al mismo término lingüístico. Por tanto, el CDR cuenta con la misma morfología. Este conjunto se exhibe en el extremo derecho con fondo color gris.

El segundo caso corresponde a dos conjuntos difusos con grado de membresía igual a 1 que representan diferentes términos lingüísticos. Se puede observar en el lado derecho de la Figura 3.8 una zona con fondo color gris, que corresponde a la región resultante de la suma de grados de membresía en el eje de las ordenadas. Esta región, representa el refuerzo que ocurre debido a los criterios de complementariedad definidos para los conjuntos difusos.

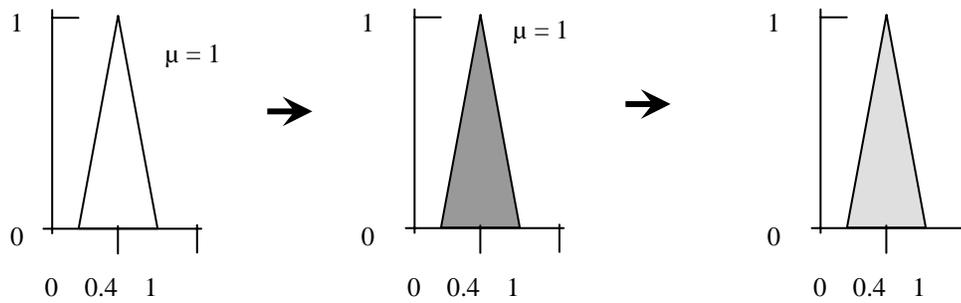


Figura 3.7. Efecto de refuerzo sobre dos conjuntos difusos para el mismo término lingüístico

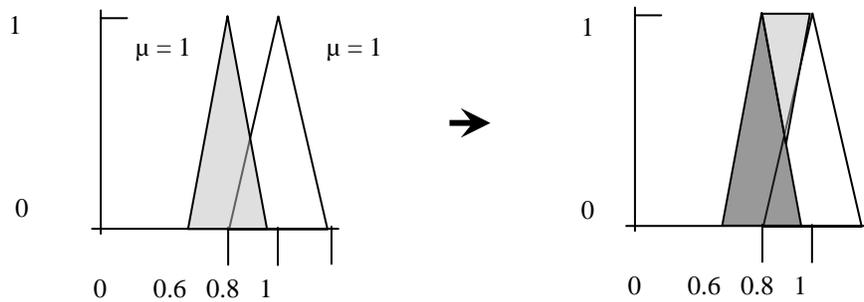


Figura 3.8. Efecto de refuerzo sobre dos conjuntos difusos para diferentes términos lingüísticos

3.4 Mapas cognitivos difusos con bases de reglas difusas

Los mapas cognitivos difusos con bases de reglas difusas son el resultado de la tesis doctoral de Carvalho (2001). Esta versión causal de mapas cognitivos es un modelo cualitativo que disfruta del soporte de la lógica difusa. Este tipo de mapas cognitivos recrea el razonamiento causal-difuso como un proceso de inferencia que acumula los efectos causales sobre el eje X del universo de discurso asociado al concepto. Por tanto, en esta sección se exponen los elementos de esta versión de mapas cognitivos, tales como la definición de universos de discurso compuestos por términos lingüísticos, la relación causal difusa, la relación de inferencia variación-nivel, la generación del conjunto difuso resultante de la agregación, la estimación del efecto de acumulación y la conversión lingüístico-numérica.

3.4.1 Agrupación de términos lingüísticos en universos de discurso

El orden de los valores lingüísticos en un universo de discurso corresponde semánticamente a la magnitud del nivel o a la intensidad de la variación del estado del concepto a representar. Si los términos caracterizan el nivel, entonces aparecen en orden creciente de magnitud: {*muy bajo*, *bajo*,..., *muy alto*}. Si los valores corresponden a la variación, primero aparecen las variaciones negativas en orden de intensidad decreciente, después el término de estabilidad, y luego las variaciones positivas en sentido creciente de magnitud, p. ej., {..., *disminuye*, *disminuye poco*,..., *mantiene*,..., *aumenta poco*, *aumenta*,... }.

El diseño gráfico de los conjuntos difusos que corresponden a los términos lingüísticos de un universo de discurso se realiza con respecto a un plano cartesiano. Normalmente, el eje de las ordenadas Y se escala con el rango $[0, 1]$. En cambio, el eje de las abscisas X se asocia con el rango $[0, 1]$ si representa el nivel del estado del concepto, o $[-1, 1]$ si revela su variación, tal como se exhibe en las figuras 3.9^a y 3.9^b en forma respectiva.

El valor x , definido en el eje de las coordenadas, identifica el *valor de imprecisión* revelado en los términos lingüísticos asociados al concepto. El valor y , definido en el eje de las ordenadas, establece el *grado de membresía* que corresponde al valor x al ser caracterizarlo por un término lingüístico, p. ej., si $x = 0$, entonces $y = 1$ en torno al término *muy bajo* o *mantiene*, para las figuras 3.9^a y 3.9^b respectivamente, mientras que para el resto de los términos $y = 0$.

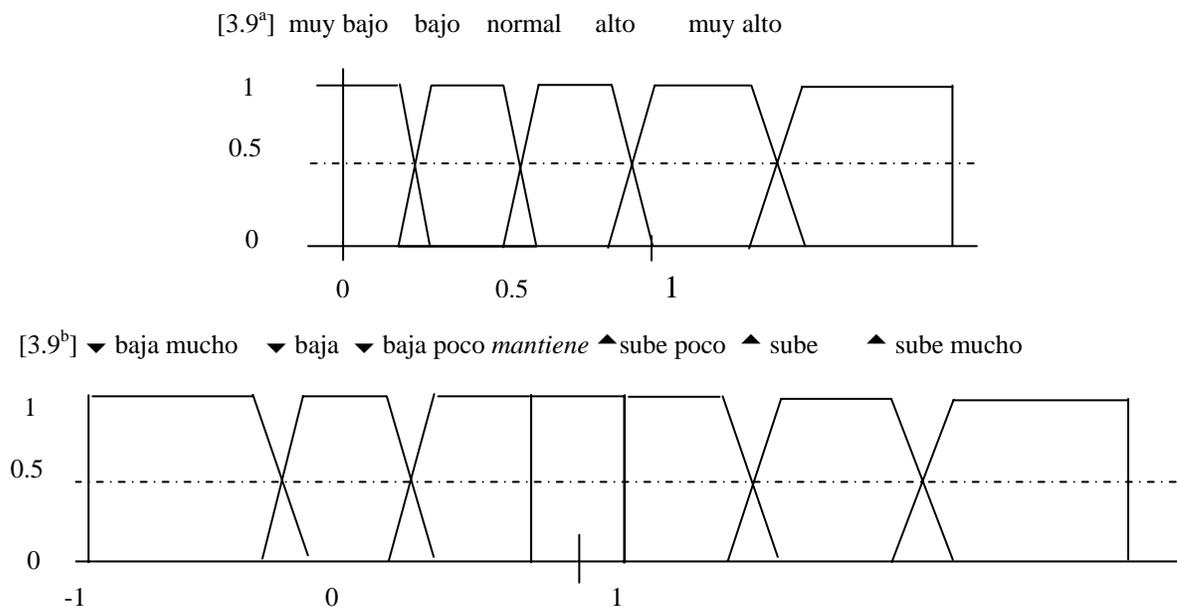


Figura 3.9 Universo de discurso para el estado de conceptos: [3.9^a] nivel; [3.9^b] variación

En el plano del universo de discurso que corresponde a la variación, Figura 3.9^b, se aprecia que el término lingüístico intermedio *mantiene* se ubica en torno a la coordenada $x = 0$. Por tanto, en la región negativa $[-1, 0)$, aparecen los términos lingüísticos de variación a la *baja*, mientras que en la región positiva $(0, 1]$, se encuentran los términos lingüísticos al *alza*. De acuerdo con Carvalho (2001), la distribución de los términos lingüísticos a lo largo del universo de discurso está regulada por el conjunto de axiomas que se expresa a continuación.

- **Axioma 3-5.** El conjunto difuso que aparece en el extremo izquierdo del plano identifica al término lingüístico de menor nivel o al de mayor variación a la baja. En cambio, el conjunto difuso del extremo derecho corresponde al término lingüístico de mayor nivel o al de mayor variación al alza. En ambos casos, los términos lingüísticos extremos deben ser posibles de alcanzarse durante el tiempo representado por una iteración.
- **Axioma 3-6.** En el plano de la variación, es nula la intersección del conjunto difuso asociado al término lingüístico intermedio en relación con los conjuntos difusos vecinos.

- **Axioma 3-7.** En el plano de la variación, la intersección entre cualquier conjunto difuso a la baja es nula en relación con los conjuntos difusos que están al alza.
- **Axioma 3-8.** Cuanto mayor sea la variación o el nivel representado semánticamente por un término lingüístico, mayor será la superficie y la longitud del soporte del conjunto difuso que lo caracterice.
- **Axioma 3-9.** Los grados de membresía de todos los términos lingüísticos definidos en el universo de discurso deben ser complementarios. Es decir que para cualquier valor de x , el grado de membresía es $y = 1$, de acuerdo con (3.4), en donde A es un conjunto difuso.
- **Axioma 3-10.** El grado de membresía que corresponde a la coordenada de intersección x entre cualquier par de conjuntos difusos adyacentes, cuya intersección no es nula, es $y=0.5$ para cada uno de ellos, como se aprecia en las figuras 3.9^a y 3.9^b por medio de una línea horizontal punteada.
- **Axioma 3-11.** Para cualquier par de conjuntos difusos vecinos, cuya intersección no es nula, se cumple que: La coordenada donde termina el núcleo del conjunto difuso con menor magnitud, es igual a la coordenada que corresponde al inicio del soporte del conjunto adyacente cuya intensidad es mayor.
- **Axioma 3-12.** El grado de membresía para la coordenada del centro de masa debe ser 1.

$$\forall x \in X, \forall (A_0, \dots, A_n) \in F(X), \quad \sum_{i=0}^n \mu_{A_i}(x) = 1. \quad (3.4)$$

3.4.2 Relación causal-difusa

Una relación causal-difusa es un juicio de relación causal que expresa en forma lingüística la variación del estado de un concepto, de acuerdo con los términos lingüísticos que pueden asociarse al estado de otro concepto. La relación causal-difusa estima únicamente efectos que alteran el estado de un concepto y que son expresados en términos de variación. Por lo tanto, el concepto que sufre el efecto causal debe estar asociado a un universo de discurso conformado exclusivamente por valores lingüísticos que revelan variación. En cambio, el concepto que produce el efecto causal puede estar asociado a un universo de discurso compuesto únicamente por términos que proyectan variación o por valores que reflejan nivel.

Así mismo, la relación causal-difusa caracteriza únicamente la relación causal entre un *par de conceptos*, por lo que si un concepto e recibe la influencia causal de varios conceptos, c_1, c_2, \dots , entonces se formula una relación causal-difusa entre e y cada uno de ellos por separado.

La declaración de una relación causal-difusa se expresa mediante una base de reglas difusas. Conforme al Axioma 3-13, por cada término lingüístico definido en el universo de discurso del concepto antecedente existe una y solo una regla difusa. El juicio antecedente de la regla se compone de una sola condición.

- **Axioma 3-13.** Se dice que una relación causal-difusa es *válida* si la base de reglas difusas que la representa es *consistente*.

Con base en el tipo de valores lingüísticos que componen el universo de discurso del concepto declarado en el juicio antecedente de una relación, se derivan dos instancias de relaciones causales-difusas, a saber:

- Nivel-variación. Todos los términos lingüísticos representan el *nivel* del estado asociado al concepto que es la *causa* de la relación.
- Variación-variación. Todos los valores lingüísticos revelan la *variación* que sufre el estado asociado al concepto que es la *causa* de la relación.

3.4.3 Relación de inferencia variación-nivel

Una relación de inferencia variación-nivel es: Un juicio de relación causal que manifiesta de manera lingüística la actualización del nivel del estado de un concepto en función de la variación que sufre el estado de ese mismo concepto. Esta relación es un caso especial de relación de inferencia difusa que se aplica únicamente para conceptos biestables cuyo nivel de estado no puede ser estimado por algún otro concepto. Por lo tanto, se acude al recurso de ser modificado únicamente por las variaciones que alteran el estado actual de ese concepto.

Por ejemplo, al concepto *aprender algoritmos* se le asocian dos universos de discurso: uno para expresar el nivel $\{nulo, bajo, \dots\}$ y otro para referirse a la variación $\{baja, mantiene, \dots\}$; por consiguiente, este concepto se define como biestable. Adicionalmente, se determina que el nivel asociado al estado del concepto sólo es alterado conforme a la variación del estímulo que recibe para el aprendizaje y al nivel actual del estado del aprendizaje. A partir de este par de juicios se formula una relación de inferencia variación-nivel para el concepto *aprender algoritmos*. A continuación se establecen reglas difusas, como: Si **decrece el estímulo para aprender algoritmos en Juan** y el nivel actual del *aprendizaje de algoritmos en Juan* es **bajo** entonces el nuevo nivel del *aprendizaje de algoritmos en Juan* es **muy bajo**. En este caso, se aprecia que el juicio antecedente se compone de dos condiciones conjuntivas.

3.4.4 Generación del conjunto causal de salida

Al analizar el CDR de la agregación de los conjuntos difusos una vez escalados, se observa que éste no satisface los axiomas 3-8 al 3-12 que norman la distribución de los términos lingüísticos a lo largo del universo de discurso asociado a un concepto. Por tal motivo, es necesario generar un *conjunto causal de salida* (CCS) que no solamente cubra los requisitos citados, sino que además represente una especie de término lingüístico *intermedio*. Esto significa que: Dados los conjuntos difusos que representan la activación del consecuente de dos reglas que pertenecen a la misma relación, el CCS revela el valor lingüístico *intermedio* que se deriva de los grados de membresía correspondientes a los términos lingüísticos involucrados en la consecuente.

De manera conceptual, la generación de un CCS (S) proviene del CDR (R) de la agregación de los conjuntos difusos (A) y (B) que representan a los términos lingüísticos de los consecuentes de las reglas que se activaron en una relación causal-difusa en el instante t_i . Por tanto, la derivación formal del CCS se realiza con base en los siguientes axiomas y ecuaciones:

- **Axioma 3-14.** La forma geométrica del S es semejante a la que caracteriza a los conjuntos difusos A y B que generaron a R .
- **Axioma 3-15.** El área del S es la misma que la propia de R , por ello también se emplea la Ecuación (3.2^a).
- **Axioma 3-16.** La coordenada del centro de masa del S es la misma que la de R , por lo cual se obtiene de (3.2^b).
- **Axioma 3-17.** S es normalizado, por ello tiene al menos un punto cuyo grado de membresía es máximo, es decir que cumple con (3.5^a).
- **Axioma 3-18.** La longitud del núcleo de S (LN_S) se obtiene de la Ecuación (3.5^b).
- **Axioma 3-19.** La base inferior y la base exterior de S , respectivamente (BI_S) y (BE_S), se obtienen en de las ecuaciones (3.5^c) y (3.5^d) en forma respectiva.
- **Axioma 3-20.** El soporte, la longitud del soporte, el núcleo, el declive interior y el declive exterior del S se obtienen de las ecuaciones (3.2^c), (3.2^d), (3.2^f), (3.2ⁱ) y (3.2^j).

$$\{ \exists x \in X \mid \mu_S : (x) = 1 \}. \quad (3.5^a)$$

$$\text{Longitud Nucleo : } LN_S = \text{mínimo} \{ LN_A, LN_B \} + \left| \frac{x^C_S - x^C_A}{x^C_A - x^C_B} * (LN_A - LN_B) \right|. \quad (3.5^b)$$

$$\text{Base Interior : } BI_S = \text{mínimo} \{ BI_A, BI_B \} + \left| \frac{x^C_S - x^C_A}{x^C_A - x^C_B} * (BI_A - BI_B) \right|. \quad (3.5^c)$$

$$\text{Base Exterior : } BE_S = \text{mínimo} \{ BE_A, BE_B \} + \left| \frac{x^C_S - x^C_A}{x^C_A - x^C_B} * (BE_A - BE_B) \right|. \quad (3.5^d)$$

$$\text{dado : } A_A \leq A_B; \text{ entonces : } (A_A \leq A_S \leq A_B) \wedge (LS_A \leq LS_S \leq LS_B). \quad (3.5^e)$$

Dados los axiomas anteriores se aprecia que el CCS conserva el área y el centro de masa definidos para el CDR, además de preservar la morfología de los conjuntos difusos que se agregaron. En favor de la derivación del CCS, ésta se sustenta en el conjunto de teoremas demostrados por Carvalho (2001)³, los cuales representan los siguientes criterios:

- **Uniformidad.** La función de membresía que delinea la forma geométrica de los conjuntos difusos que representan a los términos lingüísticos del universo de discurso del concepto consecuente debe ser la misma que la empleada por el CCS.
- **Límite.** El CCS se obtiene de la activación de un máximo de dos reglas de una relación.
- **Solución única.** El CCS representa una solución única, es decir que sólo existe un conjunto intermedio entre los conjuntos difusos agregados conforme a sus grados de membresía.

³ Remitirse a los teoremas 10-2 al 10-5 declarados y demostrados por Carvalho (2001), pp. 138-140.

- Representatividad. El área (A) y la longitud del soporte (LS) del CCS revela la magnitud de la variación que se desea expresar, de tal manera que se cumple la condición compuesta revelada en (3.5°).

A fin de ejemplificar el proceso que genera al CCS se presentan a continuación tres casos:

El primer caso corresponde al CCS que se produce del CDR obtenido de la agregación de dos conjuntos difusos que representan al mismo término lingüístico. Para explicar este caso, se aprovecha la secuencia exhibida en la Figura 3.5 para diseñar la Figura 3.10 con un sexto elemento adicional, que aparece con fondo negro, para ilustrar al CCS acumulado.

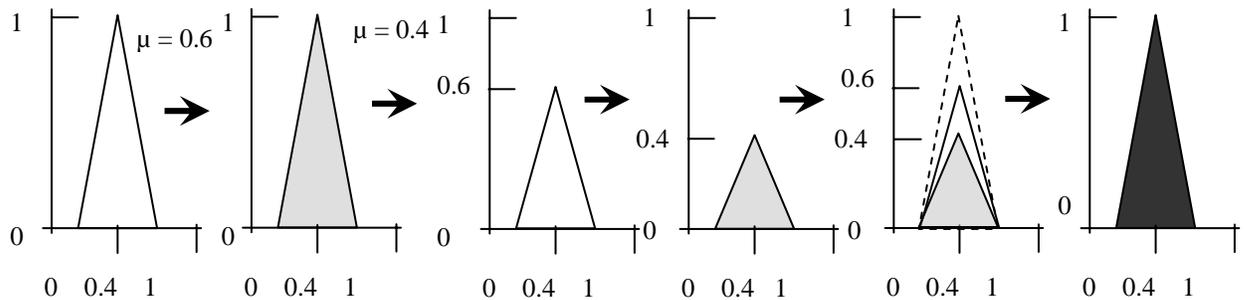


Figura 3.10 Conjunto causal de salida derivado de dos términos lingüísticos iguales

El segundo caso se refiere al CCS derivado del CDR resultado de la agregación de dos conjuntos difusos que representan diferentes términos lingüísticos. Este caso se ilustra en la Figura 3.11, en donde se aprovecha la serie de conjuntos difusos mostrados en la Figura 3.6, y se agrega el CCS acumulado al extremo derecho, el cual aparece con fondo negro.

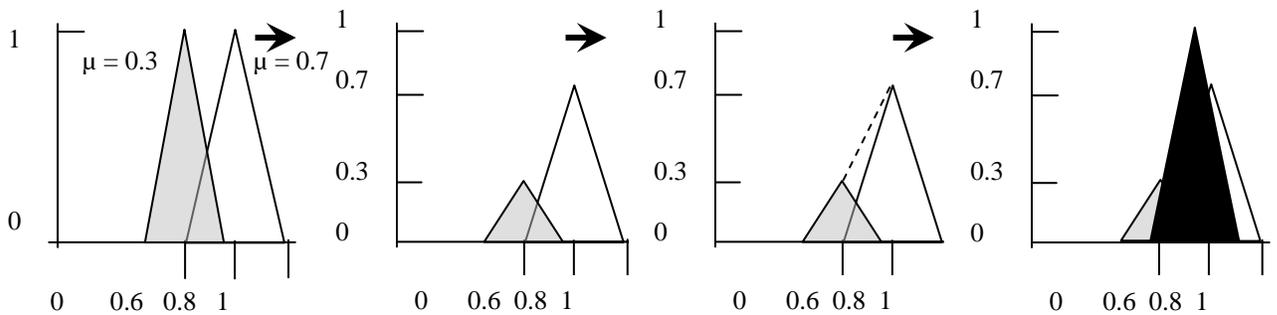


Figura 3.11 Conjunto causal de salida derivado de dos términos lingüísticos diferentes

El último caso corresponde a la situación en que sólo una regla está activa, por lo que el CCS (S) es el mismo que el CDR (R), el que a su vez es el mismo que el conjunto difuso (A) correspondiente al término lingüístico aludido en el juicio consecuente. Este caso se muestra en la secuencia presentada en la Figura 3.12, en donde el S tiene fondo negro.

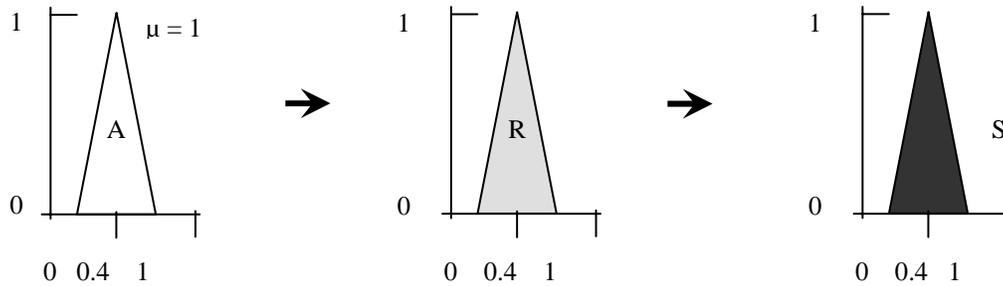


Figura 3.12 Conjunto causal de salida derivado de un solo término lingüístico

3.4.5 Estimación del efecto de acumulación

El efecto de *acumulación* se aplica únicamente a las relaciones causales-difusas. El cálculo del efecto de acumulación se realiza en forma separada para los grupos de CCS a la baja y al alza. La estimación del efecto de acumulación descansa en el postulado que establece: El efecto que dos o más relaciones causales-difusas ejercen sobre el estado de un mismo concepto es superior al que produce la mayor variación.

Con base en dicho fundamento se define la acumulación del efecto causal a través del *acarreamiento del grado de membresía* (Carvalho, 2001). El acarreamiento agrega el área representada por los CCS sobre el eje de las coordenadas del universo de discurso del concepto. Como resultado del acarreamiento se produce un *conjunto de variación de salida* (CVS), el cual se estima mediante (3.6^a), en donde V representa al CVS generado de la acumulación del efecto causal (\oplus) que varios CCS ($S: S_i$) producen sobre un mismo concepto.

Debido a que el número de CCS es variable (n), la agregación debe realizarse entre pares de conjuntos. Por lo tanto, se realiza un proceso compuesto por tres conjuntos de tareas: inicialización, acarreamiento sucesivo y control del desborde.

La tarea de *inicialización* se efectúa mediante dos actividades: identificación del conjunto que representa la mayor variación y asignación del valor inicial del CVS. La identificación del CVS que representa la mayor variación descansa en la coordenada que corresponde al comienzo del núcleo del conjunto, es decir: *mínimo* (N_A). Por lo tanto, al comparar el valor absoluto que corresponde a dicha coordenada entre todos los CCS, se elige al CCS que tiene la mayor coordenada, tal como se establece en la Ecuación (3.6^b). Una vez identificado el CCS con la mayor variación, se designa como el CVS *actual*.

$$\forall A \in F(X) \wedge A \text{ es un conjunto causal de salida } (S) \wedge A_i \mid i \in N, \quad V_A = A_1 \oplus A_2 \oplus \dots \oplus A_n. \quad (3.6^a)$$

$$\forall A \in F(X) \wedge A \text{ es un conjunto causal de salida } (S) \wedge A_i \mid i \in N, \quad (3.6^b)$$

$$\text{máximo} \{ \text{mínimo} (|N_{A_1}|), \text{mínimo} (|N_{A_2}|), \dots, \text{mínimo} (|N_{A_n}|) \}.$$

La tarea de *acarreamiento sucesivo* es un proceso en el que se agrega secuencialmente uno de los CCS, a partir del segundo con mayor variación, al CVS actual, con lo cual se actualiza el valor de este último. En cada ciclo se realizan las siguientes actividades: identificación del conjunto con mayor variación, desplazamiento del conjunto con menor variación, acarreamiento de los conjuntos.

La identificación del conjunto con mayor variación se lleva a cabo mediante la comparación de la coordenada que corresponde al comienzo del núcleo del CCS en turno contra el CVS actual. En esta tarea se aplica también la Ecuación (3.6^b) con un valor $n = 2$, pues sólo se comparan dos conjuntos. La tarea de comparación se muestra en la Figura 3.13^a, en donde S corresponde al CCS en *turno* y V al CVS *actual*.

El desplazamiento del conjunto con menor variación se realiza a partir de la coordenada correspondiente al inicio del núcleo del conjunto con mayor variación. Esta tarea se define en la Ecuación (3.7^a), en donde S es el conjunto a desplazar. La tarea de desplazamiento se ilustra en la Figura 3.13^b. En la gráfica se observa que el inicio del CCS en turno S está alineado con respecto al comienzo del núcleo del CVS actual V , el cual aparece con fondo gris.

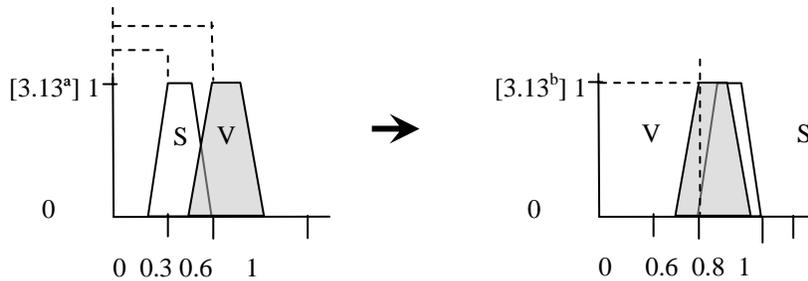


Figura 3.13. Proceso de acumulación: [3.13^a] comparación; [3.13^b] desplazamiento

Para realizar el acarreamiento de los conjuntos es necesario concebir al eje X del universo de discurso del concepto consecuente como un intervalo discreto entre $[0, 1]$, o bien entre $[-1, 0]$ según la categoría. A partir de esta consideración, el acarreamiento (\oplus) se realiza para todo punto normalizado x_i en el eje X del universo de discurso mediante la suma de los grados de membresía de los conjuntos involucrados en la acumulación de CCS (S) y CVS (V), tal como se define en (3.7^c). Cuando la suma sobrepasa el valor límite de 1, establecido para el eje de las ordenadas Y , el exceso se considera como *acarreo*. El valor del acarreo obtenido en el punto x_{i-1} , o x_{i+1} si es una variación negativa, se agrega a la suma de los grados de membresía de los conjuntos difusos en el punto inmediato posterior x_i . Por consiguiente, se obtiene un nuevo acarreo en la coordenada x_i , en la forma expresada en la Ecuación (3.7^b).

$$Desplazo_S = \text{mínimo}(|N_V|) - \text{mínimo}(|S_S|); \text{ en donde : Variación}_S \leq \text{Variación}_V. \quad (3.7^a)$$

$$acarreo(x_i) = \text{máximo}\{0, \mu_V(x_i) + \mu_S(x_{i-\text{desplazo}_S}) + acarreo(x_{i-1}) - 1\}. \quad (3.7^b)$$

$$\text{en donde : } acarreo(x_{-1}) = 0 \quad \wedge \quad \text{Variación}_S \leq \text{Variación}_V.$$

$$\mu_{S \oplus V}(x_i) = \text{mínimo} \{ 1, \mu_V(x_i) + \mu_S(x_{i-\text{desplazos}}) + \text{acarreo}(x_{i-1}) \}. \quad (3.7^c)$$

en donde : Variación_S ≤ Variación_V.

La acumulación se repite a lo largo del eje de las coordenadas X, hasta que el total de la suma de los grados de membresía de los conjuntos difusos en el punto x_i más el acarreamiento en x_{i-1} , o x_{i+1} para una variación negativa, resulte igual a cero tal como se ilustra en la Figura 3.14^a.

Durante el proceso de acumulación se puede dar el caso de arribar a un punto x_j tal que la suma de grados de membresía de los conjuntos es cero, pero el valor del acarreamiento es superior a cero. Por consiguiente, el acarreo *remanente* se emplea para generar un *área extra* a la acumulada hasta el punto inmediato anterior x_{j-1} , o x_{j+1} si es una variación negativa. El empleo del acarreo remanente se realiza a partir de la coordenada x_j a lo largo del eje de las coordenadas X. En cada punto x_k , en donde $|k| > |j|$, se realiza un decremento sucesivo de uno al valor actualizado del acarreo para el punto en curso x_k . El proceso termina cuando se arriba a una coordenada x_m tal que el valor actual del acarreamiento es inferior a uno o igual a cero.

En el primer caso, el grado de membresía que se asigna al punto x_m del *área extra* corresponde al valor sobrante del acarreo, el cual es superior a cero, pero inferior a uno. El segundo caso representa que ya se agotó el acarreo remanente, por ello no se agrega el punto actual x_m al *área extra* y por ende se restaura x_m al punto inmediato anterior, $x_m = x_{m-1}$, o $x_m = x_{m+1}$ para una variación negativa. En ambos casos se da por concluido el proceso de aplicación del acarreo remanente, por lo tanto el *área total* generada hasta el punto x_m viene a representar el efecto acumulado de las relaciones causales-difusas sobre el concepto consecuente.

Durante la acumulación se puede dar el caso en que al arribar al límite extremo del eje de las coordenadas X, $x = 1$ o $x = -1$, el acarreamiento generado para el punto x es mayor que cero. Por lo tanto, a pesar de que más allá del límite, los grados de membresía para los conjuntos difusos es cero, la aplicación del acarreo remanente prosigue. En consecuencia, el proceso de acumulación continúa más allá del límite normal del eje X hasta agotar el valor del acarreamiento. De esta forma se genera un *área extra* que forma parte del *área total*.

Para ilustrar las especificaciones del proceso de acumulación, en la Figura 3.14^a se muestra el conjunto resultante compuesto por tres regiones: la sección izquierda corresponde al conjunto difuso con mayor variación, V; en el centro, aparece la región de acarreamiento dentro del intervalo normal del eje X; y en el extremo derecho aparece con fondo gris la sección de acarreamiento posterior al límite normal del eje X.

La tarea para el *control del desborde* se aplica una vez concluida la acumulación de todos los CCS. Este proceso se realiza en el caso de que el *área total del CVS final* rebase el límite extremo del eje de las coordenadas X, $x = 1$ o $x = -1$ si es una variación negativa. En este proceso se busca normalizar el *área total* para que se ubique exclusivamente dentro del intervalo normal del eje X $[0, 1]$, o $[-1, 0]$ para una variación negativa. Por tal motivo, se elimina el *área extra* y se aplica la compensación respectiva en el extremo opuesto. Esta estrategia se realiza de la siguiente forma:

- Identificación de la región libre. Es la sección en el eje X, cuyos puntos discretos x_i no forman parte del área total, por ello el grado de membresía es igual a cero para cualquier punto x_i , $\mu(x_i) = 0$.
- Estimación de la longitud del área extra. Se obtiene al restar 1 al valor absoluto de la coordenada que corresponde a la terminación del área total, x_m .
- Estimación de la longitud de corrimiento. Corresponde a la menor dimensión entre la longitud de la región libre y la longitud del área extra.
- Eliminación del área extra del área total. Se elimina el área extra del conjunto difuso.
- Compensación. Se desplaza el punto inicial del área total una distancia igual a la longitud de corrimiento en dirección al límite superior de las coordenadas X, valor $x = 1$, o $x = -1$.
- Adaptación. Se preserva la morfología del nuevo CVS resultante y se actualizan sus atributos. Como resultado, el área del CVS está inscrita dentro de los límites normales del eje X $[0, 1]$, o $[-1, 0]$ para una variación negativa.

La descripción del control del desborde se ilustra en la Figura 3.14^b. La compensación se muestra en el lado izquierdo de la figura como una región diagonal con fondo gris, mientras que la región eliminada se exhibe como un rectángulo con fondo gris en la parte derecha. El CVS resultante aparece en la parte central de la ilustración. Una vez realizado el proceso de acumulación de los grados de membresía con acarreamiento y después de haber normalizado el área total, si hubiera sido necesario, el CVS generado se muestra en la Figura 3.14^c.

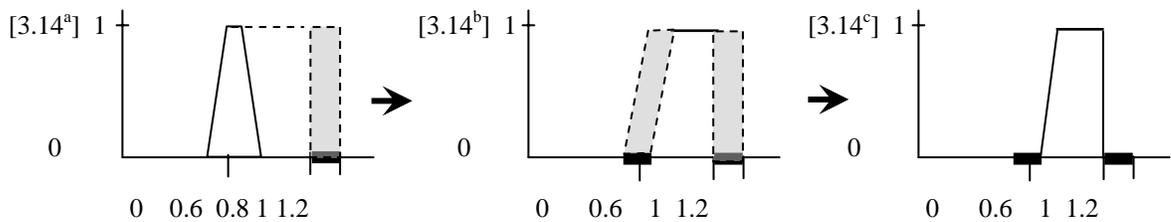


Figura 3.14. Acumulación: [3.14^a] comparación; [3.14^b] desplazamiento; [3.14^c] área final

3.4.6 Conversión lingüístico-numérica

Una vez estimados los efectos de acumulación y agregación, es necesario aplicar la conversión lingüístico-numérica para resolver el problema de alargamiento de la imprecisión sobre el eje de las coordenadas X del universo de discurso. Para comprender este problema se presentan las figuras 3.15^a y 3.15^b, en donde se muestra un par de planos cartesianos. En la Figura 3.15^a se exhibe un CVS derivado de una relación causal-difusa, mientras que en la Figura 3.15^b se ilustra el CDR proveniente de una relación de inferencia difusa.

En los dos casos ilustrados en las figuras 3.15^a y 3.15^b, se aprecia que la longitud del soporte cubre un amplio espacio de las coordenadas $[-1, 0]$, en consecuencia, al usarse este conjunto difuso en las siguientes iteraciones (t_{i+1}, \dots) pudiera rebasar el extremo superior del eje X, en este caso $x = -1$.

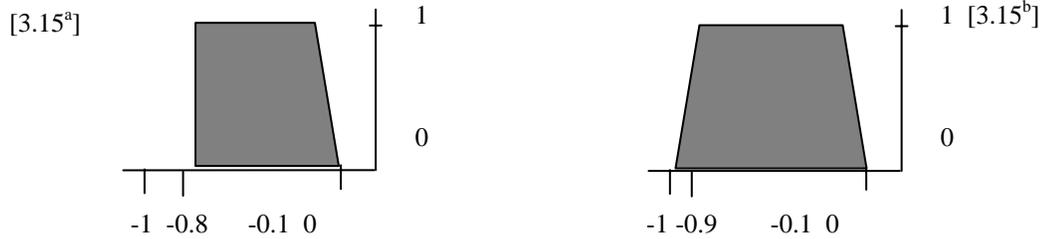


Figura 3.15. Saturación del universo: [3.15^a] acumulativa; [3.15^b] refuerzo

Para resolver el problema del alargamiento de la incertidumbre, se realiza la conversión lingüístico-numérica a través de dos pasos: acumulación de áreas por grupo de conjunto difuso y conversión a nivel de relación-tipo.

La acumulación de áreas por grupo se realiza mediante la sumatoria de los conjuntos difusos clasificados en un determinado grupo de CCS o CDR. Es decir, que se obtiene el total del área de los CCS a la baja, CCS al alza, CDR a la baja, CDR al alza, CDR que revelan nivel, y cuya representación en (3.8) corresponde para cualquiera de ellos a $Area(w^{\pm})$.

En lo que respecta a la conversión a nivel de relación-tipo, ésta se realiza mediante la aplicación de la Ecuación (3.8) sobre los tres tipos de asociación siguientes:

- Relaciones causales-difusas de variación. Integran los conjuntos a la baja y al alza.
- Relaciones de inferencia difusa de variación. Agrupan los conjuntos a la baja y al alza.
- Relaciones de inferencia difusa de nivel. Conjugan los conjuntos inferiores y superiores.

$$Valor\ numérico\ x_i = \frac{xCw^- * Area\ w^- + xCw^+ * Area\ w^+}{Area\ w^- + Area\ w^+} \quad (3.8)$$

En (3.8) w representa al conjunto difuso generado como resultado del efecto de acumulación o de refuerzo. Cuando se asocia un signo $^-$ o $^+$, indica la categoría, p. ej., w^- identifica que la morfología provino del grupo de conjuntos difusos a la *baja*; pero si es: w^+ revela el origen derivado del grupo de conjuntos difusos al *alza* o de *nivel*. xCw representa a la coordenada del centro de masa del conjunto resultante que corresponda al signo $^-$ o $^+$. $Area_w$ se sustituye por la sumatoria del área del grupo de conjuntos difusos clasificados por la relación y signo, es decir, la acumulación del área de los CVS o de los CDR que corresponden al signo $^-$ o $^+$.

Con respecto a la Ecuación (3.8), el valor numérico x_i que se obtiene de la conversión lingüístico-numérica representa la conjugación del total de los efectos en ambos sentidos conforme al tipo de relación, causal-difusa o inferencia difusa, y la clase del efecto, variación o nivel. La coordenada identificada por el valor x_i representa el *punto de equilibrio* del efecto total entre relaciones a la baja y al alza, o de nivel. Por tanto, en vez de conservar dos efectos totales en sentidos opuestos, se dispone de un valor que rebela el balance entre ellos. De esta forma la conversión lingüístico-numérica genera un valor único para el estado del concepto.

El valor numérico x_i se ubica en el sector del universo de discurso, negativo o positivo, que corresponda al mayor de los efectos totales. Por consiguiente, si el efecto total de las relaciones al *alza* es mayor que el efecto total de las relaciones a la *baja*, entonces el valor numérico x_i se ubica en el sector positivo; de lo contrario x_i aparece en el sector negativo.

En relación a las relaciones de inferencia-difusa de nivel, solamente se estima el efecto total en una sola región: la positiva. La razón es que de acuerdo con el universo de discurso ilustrado en la Figura 3.9ª, no existe el sector negativo para x , puesto que la dimensión del eje X es $[0,1]$. Por lo tanto, en el cálculo del valor numérico x_i se usa la Ecuación (3.9), que representa la versión simplificada de la Ecuación (3.8).

$$\text{Valor numérico } x_i = \frac{x C w^+ * \text{Area } w^+}{\text{Area } w^+}. \quad (3.9)$$

3.5 Conclusiones

El marco teórico descrito en este capítulo representa un escenario conceptual conformado por cuatro áreas de investigación: la Teoría de la Actividad, la representación formal para el modelo del estudiante, conceptos básicos de la lógica difusa y los postulados para el empleo de los mapas cognitivos. Gracias a estos campos se estableció el marco teórico para proponer un modelo del estudiante basado en mapas cognitivos.

El marco teórico presentado en el capítulo constituye una estructura compuesta por cuatro niveles: El primer nivel corresponde al conceptual, en donde se usa la Teoría de la Actividad para analizar el caso de estudio como un conjunto de actividades encausadas a un objeto. Estas actividades se manifiestan como un ciclo de exteriorización–interiorización, que representa a la enseñanza-aprendizaje. Este proceso se modela como un fenómeno causa-efecto. El segundo nivel representa al diseño lógico, en el que se concibe al modelo del estudiante como un modelo mental compuesto por creencias que el SEBW tiene acerca del individuo y que son manifestadas a través de proposiciones lógicas. El tercer nivel ofrece las bases formales provenientes de la lógica difusa que se emplean en el desarrollo de *la propuesta*. El cuarto nivel constituye la arquitectura de *la propuesta*, la cual se manifiesta a través de la exposición de los elementos esenciales de los mapas cognitivos difusos con bases de reglas difusas y la explicación de los procedimientos para la estimación del efecto de acumulación y la conversión lingüístico-numérica.

Capítulo 4

Modelo formal

*Envía tu luz y tu verdad; éstas me guarán;
Me conducirán a tu santo monte y a tus moradas
(Salmos 43.3)*

El modelo formal que se propone en la tesis consta de los conceptos, elementos y procedimientos necesarios para recrear el modelo del estudiante basado en mapas cognitivos. Para ello se parte de una premisa, en donde se afirma que la esencia de la tesis corresponde a la concepción de un modelo de modelos mentales. La razón estriba en que un modelo del estudiante es tan solo una percepción mental del sujeto que pretende caracterizar al estudiante, quien adquiere conocimiento sobre un dominio de enseñanza específico. Así mismo, como *la propuesta* busca introducir los mapas cognitivos en el terreno del modelo del estudiante, éstos también son una forma de modelo mental. La premisa rebela el propósito de emplear mapas cognitivos, con los cuales se busca representar y estimar un fenómeno causal desde el punto de vista de quien realiza el análisis: el modelo del estudiante.

En este capítulo se ofrece el desarrollo teórico de *la propuesta* con el objeto de recrear el modelo formal de la aportación doctoral. Por consiguiente, en la primera sección se establecen los aspectos conceptuales que fundamentan un proceso de modelado mental. Con base en este referente, a continuación se define la representación formal para el modelo del estudiante mediante el uso de proposiciones. A partir de este par de elementos, se precisa el proceso para el diseño de mapas cognitivos y el razonamiento causal. Posteriormente, el modelo formal se concreta mediante la formulación de los algoritmos encaminados a implementar el prototipo. Al final del capítulo, se destacan los aspectos relevantes del marco formal presentado en el presente capítulo.

4.1 Fundamentos para el modelado

El proceso cognitivo que tiene lugar en la mente del estudiante durante una experiencia es tema de investigación de diversas disciplinas como la neurología, la psicología, la filosofía y la pedagogía. En lo concerniente a la presente investigación, dicho objeto se aborda desde una perspectiva emanada de las ciencias de la computación. Por lo tanto, para estudiar un fenómeno abstracto, se decide hacerlo mediante un modelo de cómputo. Con esta forma de representación de una realidad subjetiva, se busca caracterizar algunas propiedades, establecer relaciones causales y anticipar sus efectos. Además, mediante el razonamiento por analogía, se formula una serie de hipótesis relacionadas con el objeto de investigación.

Por consiguiente, en esta sección se exponen las bases científicas empleadas para desarrollar el modelo del estudiante, el cual por cierto, está basado en otro modelo: los mapas cognitivos. En la descripción se presenta la definición de los conceptos elementales y se identifica el método para crear el modelo propuesto en la tesis. Posteriormente se explica el proceso de modelado y se definen los términos complementarios.

4.1.1 Escenario metodológico

Debido a que la tesis se encamina a *crear un modelo basado en otro modelo*, en esta sección se definen los conceptos fundamentales y se identifica el método empleado para la formulación de modelos. Como punto de partida, en este trabajo se define al modelo como: una representación análoga al objeto de estudio, a partir de la cual se analizan sus propiedades y se anticipa su comportamiento. Ante la diversidad de modelos, se considera que la naturaleza del modelo desarrollado por *la propuesta* corresponde a un modelo analógico-matemático que concreta mediante esquemas las propiedades y relaciones de un objeto abstracto a efecto de solucionar un problema.

La descripción del modelo creado en *la propuesta* se establece como: El objeto de estudio es abstracto, ya que se refiere a un proceso cognitivo. El modelo es análogo, pues se emplean programas de cómputo para su representación. El modelo es abstracto, debido a que su composición se representa por el conjunto de instrucciones que revelan el proceso representado. El modelo caracteriza propiedades y relaciones, debido a que las propiedades del objeto son definidas como conceptos y sus relaciones son interpretadas como asociaciones causa-efecto. El modelo emplea esquemas, que corresponden a la representación gráfica de un mapa cognitivo como una red compuesta de nodos y arcos. El modelo es matemático, debido a que el razonamiento causal-difuso se plantea en términos de las ecuaciones que se describen en el Capítulo 3. El modelo se orienta a la solución del problema descrito en la Sección 1.2.1.

En la generación del modelo presentado en la tesis se aplica el método algorítmico, por lo que es necesario establecer su significado. Se entiende por método al conjunto de acciones y condiciones que establecen cómo se debe proceder para alcanzar el resultado deseado, en tanto que, por algoritmo se entiende como el sistema de indicaciones de acciones de orden jerárquico que son necesarias para resolver problemas de determinada clase.

Un algoritmo se caracteriza por ser bien determinado, jerárquico, masivo y resolutivo. Debido ello, sus acciones son definidas unívocamente y se realizan en un orden específico. El algoritmo debe emplearse para resolver problemas de la misma clase y ser eficaz para alcanzar la solución. Por lo tanto, se define al método algorítmico como una secuencia jerárquica de reglas unívocamente determinadas que al aplicarse obtienen la solución a problemas pertenecientes a una determinada clase. Este método se ha convertido en un método científico general que puede ser aplicado en la exposición e interpretación de ideas científicas.

El modelo del estudiante y los mapas cognitivos son por sí mismos modelos mentales, es decir, ambos corresponden a la representación que en la mente de un individuo se genera con respecto a un estudiante o fenómeno causal. Por lo tanto, la caracterización del objeto está en función del conocimiento sensorial y lógico de quien modela. Además, si aquello que se pretende representar del estudiante o fenómeno es intangible, el modelo mental, será aún más abstracto y parcial. Así mismo, cuando el individuo exterioriza su modelo mental requiere emplear otro modelo, ya sea lenguaje oral o escrito, símbolos, diagramas, ecuaciones o programas de cómputo. Cada uno de los modelos que el individuo emplee para concretizar su modelo mental tiene sus propios elementos y restricciones.

Por lo tanto, la concepción de un modelo de cómputo capaz de generar modelos mentales que representen fielmente al objeto de estudio es un reto abierto a la investigación; no obstante, esta es la arena en la que se inscribe el presente trabajo: concretar un conjunto de ideas para caracterizar el proceso de enseñanza-aprendizaje en un modelo de cómputo, el cual genera modelos mentales que describen y anticipan el comportamiento del objeto del estudio.

La recreación de un modelo mental es producto de una compleja gama de actividades y procesos cognitivos que están fuera del alcance de la presente investigación; mas aún es necesario tener un referente para entender cómo se conforma un modelo del estudiante y cómo funciona un mapa cognitivo. Por lo tanto, a través del método algorítmico se expone en la siguiente sección una versión simplificada del proceso cognitivo y formas de pensamiento de los fundamentos científicos de los modelos.

4.1.2 Formulación del modelo

La formulación de un modelo mental se realiza a través de los siguientes pasos: composición del modelo, desarrollo del modelo, adquisición de conocimiento sensorial, formación del concepto, establecimiento de juicios y activación del razonamiento. Cada paso se expone mediante las acciones: abordar el tema en cuestión, presentar las definiciones de los términos introducidos, ilustrar un caso de ejemplo y agregar una reflexión.

4.1.2.1 Composición del modelo

Esencialmente, un modelo mental se compone de tres elementos base: conceptos, juicios y razonamiento. Este último se manifiesta de dos formas: analogía y heurística. El significado propuesto para estos cuatro términos se explica a continuación:

El *concepto* es una forma de pensamiento que revela las propiedades esenciales de los objetos y fenómenos y sus relaciones internas. El *juicio* es la forma del pensamiento en la cual se afirma o se niega algo de los objetos y fenómenos, como también de sus relaciones. La *analogía* es una forma de razonamiento en que a partir de la semejanza entre dos objetos o fenómenos que tienen propiedades comunes, se deduce la semejanza en las propiedades desconocidas del otro objeto que se estudia. La *heurística* es una forma de razonamiento que busca la solución de un problema con base en observaciones, experiencia e intuición. Para ilustrar el protagonismo de los cuatro términos se aprovecha el caso ilustrado en la Figura 1.2 y se ofrece la siguiente explicación:

- Los conceptos corresponden a los factores que se analizan. El caso de estudio es descrito en términos de objetos, reales o abstractos, fenómenos y relaciones. Cada uno de estos se define como un concepto. Por otro lado, concepto se representa por medio de un nodo en el modelo análogo, p. ej., en el mapa cognitivo aparecen siete conceptos, entre los cuales están *la capacidad de razonamiento matemático* y *el aprendizaje de algoritmos*.
- Los juicios son las afirmaciones que determinan la relación entre los conceptos. Por ello una relación causal constituye la afirmación de que existe un concepto que afecta a otro concepto. La precisión del tipo de efecto entre un par de conceptos, también es otro juicio, p. ej., se afirma una relación causal en la que el concepto *capacidad de razonamiento matemático* afecta al concepto *aprendizaje de algoritmos*.
- Basado en la analogía. Se establece una equivalencia entre el caso de estudio, *aprendizaje de algoritmos*, y el mapa cognitivo. La composición del modelo análogo se rige en todo momento por la analogía, de tal manera que cada elemento del objeto de estudio se representa por medio de un nodo. Las relaciones entre los elementos se muestran por medio de un arco. Cuando un elemento influye sobre otro, en el modelo se emplea un arco que parte del nodo causa y apunta por medio de una cabeza de flecha hacia el nodo que sufre el efecto. De esta forma se continúa derivando el modelo análogo al caso de estudio.
- La heurística se aplica para establecer los factores que han de caracterizar el objeto de estudio y precisar las relaciones que existen entre dichos factores. Esta serie de decisiones, son el resultado de las observaciones, experiencia e intuición a cargo del individuo, p. ej., a la luz de la experiencia, el tutor determina que la *capacidad de razonamiento matemático* con la que cuenta el estudiante, es determinante para *aprender algoritmos*.
- La analogía representa la norma que orienta el proceso de modelado. La heurística auxilia la creación del modelo. Los juicios y los conceptos integran el contenido del modelo.

4.1.2.2 Desarrollo del modelo

Un modelo mental es una forma de pensamiento elevada que se deriva de otras como el razonamiento. Éste a su vez se basa en una estructura lógica de juicios, los cuales se componen de conceptos. Luego entonces, el concepto es la forma de pensamiento básica. El concepto es fruto del conocimiento lógico, el cual se nutre del conocimiento sensorial. El conocimiento sensorial es el reflejo del mundo circundante que se genera en la mente del individuo. El conocimiento lógico es el resultado de la actividad cognitiva racional inmanente del individuo. El razonamiento es una forma de pensamiento mediante la cual, a partir de varios juicios relacionados lógicamente, se infiere uno nuevo que incrementa el conocimiento.

La ejemplificación del desarrollo del modelo parte del escenario en que un tutor facilita el aprendizaje de varios discípulos en el diseño de algoritmos. Primero, el tutor adquiere conocimiento sensorial proveniente de la conducta que observa de los discípulos. Con base en los registros mentales que el tutor tiene de sus discípulos, paulatinamente genera conceptos específicos como resultado de su actividad cognitiva racional. Acto seguido, formula juicios para caracterizar a sus discípulos, p. ej., *Juan tiene alta capacidad de razonamiento matemático*. Posteriormente, activa su razonamiento para crear nuevos juicios sobre sus discípulos, p. ej., *a Juan se le facilitará aprender los algoritmos*. En consecuencia, el tutor concibe un modelo mental de sus discípulos, e inclusive uno para el grupo, en el que pueda representar el desempeño de sus discípulos, p. ej., el modelo mental de Juan pudiera estar representado en la Figura 1.2.

Un modelo mental es el fruto de la actividad cognitiva que se realiza en la mente del individuo en forma progresiva. Se activa a partir del conocimiento sensorial, evoluciona al conocimiento lógico, da vida al modelo mental y a partir de su aplicación se activa el flujo una vez más.

4.1.2.3 Adquisición de conocimiento sensorial

El conocimiento sensorial se adquiere a través de tres actividades cognitivas: sensación, percepción y representación (Miguelena, 2000).

La *sensación* refleja las propiedades aisladas de los objetos y fenómenos que están en el entorno físico del individuo. La *percepción* refleja al objeto o fenómeno tomado por el conjunto de sus propiedades. La *representación* describe, almacena y recupera una imagen mental de los objetos y fenómenos; pese a que ya no estén presentes ante el individuo.

Continuando con el ejemplo anterior, un estudiante recibe su primera experiencia sobre los diagramas de flujo que se emplean en el diseño de algoritmos. La primera figura que observa es el rombo, que representa la decisión. Como resultado de la sensación, el estudiante registra la imagen mental de varias líneas. Al llevar a cabo la percepción, el estudiante ha creado la imagen mental de un polígono. Posteriormente, tiene lugar la representación en la mente del estudiante en la que se caracteriza la imagen mental de un rombo.

El conocimiento sensorial evoluciona progresivamente en la mente del individuo. Comienza con la recreación de la imagen mental de las propiedades del estímulo percibidas a través de los sentidos. Procede a integrar una imagen mental del estímulo. A continuación representa una imagen mental del objeto o fenómeno, la que puede ser recreada posteriormente, a pesar de que ya no se active el estímulo que la produjo.

4.1.2.4 Formación del concepto

El concepto se forma mediante la sucesión de cuatro actividades cognitivas: análisis, abstracción, síntesis y generalización.

El *análisis* es la facultad cognitiva que separa un objeto o fenómeno por sus elementos. La *abstracción* es la actividad cognitiva que enfoca la atención en algunos elementos del objeto o fenómeno. La *síntesis* es la composición mental de los elementos del objeto en un todo. La *generalización* es la actividad mental orientada a integrar las propiedades de varios objetos o fenómenos de la misma clase.

Progresando con el aprendizaje del estudiante, una vez fijada la imagen mental del rombo, el individuo la hace corresponder al símbolo de decisión. Posteriormente, el estudiante analiza sus propiedades y descompone la figura por sus líneas que la conforman, vértices, líneas que arriban o salen de él, y cabezas de flecha. Durante la abstracción, el estudiante presta atención a aquellos vértices que están conectados con líneas externas a las que delimitan el polígono. En la síntesis, el estudiante identifica al símbolo de decisión como un rombo, al cual arriba una línea y del cual sale al menos otra. Como resultado de la generalización, el estudiante establece que el símbolo de decisión tiene un flujo de entrada, representado por la línea externa que arriba al polígono, la evaluación de una condición inscrita en el polígono, y la posibilidad de desarrollar cursos alternos de acción, o la definición de sólo uno de ellos, en función de la verdad lógica determinada para la decisión.

El concepto se conforma por la sucesión de actividades cognitivas dedicadas a descomponer, destacar e integrar las propiedades de un objeto o fenómeno para después extender dichas propiedades a otros objetos. Los conceptos son *concretos* cuando designan objetos, fenómenos o clases de ellos. Los conceptos son *abstractos* cuando reflejan propiedades de los objetos o fenómenos, o bien cuando destacan relaciones entre ellos. Así mismo, los conceptos son expresados por medio de las palabras de un lenguaje. Cuando la palabra se usa para designar a un objeto, fenómeno, propiedad o relación, se denomina *término*. A su vez, el término se conforma por una palabra o por la combinación de varias, p. ej., *aprender*, *algoritmos*, *aprender algoritmos*.

4.1.2.5 Establecimiento de juicios

La formulación de un juicio requiere el protagonismo de tres componentes: sujeto, predicado y cópula. El *sujeto* representa el objeto, fenómeno, propiedad o relación de quien se afirma o se niega algo. El *predicado* es el atributo que se asocia al sujeto del juicio. La *cópula* revela la asociación entre el sujeto y el predicado del juicio.

Avanzando con el ejemplo anterior, el estudiante establece que: la decisión produce la bifurcación del flujo, en donde *la decisión* es el objeto, *produce* la cópula y *bifurcación* el predicado. El sujeto, predicado y cópula de un juicio, responden respectivamente a las preguntas: ¿quién?, ¿qué? y ¿cómo? reveladas en una afirmación o negación. El juicio es *verdadero* si lo que se afirma o niega refleja la realidad; de lo contrario es *falso*. El juicio es *singular* cuando la afirmación o negación corresponde a un solo objeto; es *particular* si se alude a varios objetos; es *universal* si se aplica a todos los objetos de la misma clase. Un juicio es de *propiedad* cuando afirma o niega que el objeto o fenómeno posea cierta propiedad. Un juicio es de *relación* cuando afirma o niega que el objeto o fenómeno posea cierta relación con otro. Los juicios se expresan mediante oraciones declarativas, sin embargo, la estructura del juicio siempre se mantiene independientemente del idioma en que es exteriorizado.

4.1.2.6 Activación del razonamiento

El razonamiento, como una forma de pensamiento, tiende a *inferir* nuevos juicios, llamados *conclusiones*, a partir de juicios previamente conocidos, denominados *premisas*. La inferencia de conclusiones se activa de acuerdo con ciertas condiciones que dan vida a varias clases de razonamientos como los deductivos, inductivos, de analogía y heurísticos.

El razonamiento *deductivo* toma premisas universales para generar conclusiones particulares o individuales que son verdaderas. El razonamiento *inductivo* parte de premisas verdaderas para varios objetos con el objeto de generar conclusiones universales que son verdaderas para todos los objetos de la clase. La inducción es *completa* cuando la conclusión se obtiene del estudio de todos los objetos pertenecientes a la clase. La inducción es *incompleta* cuando la conclusión se obtiene del estudio de varios objetos pertenecientes a la clase. La inducción es *científica* cuando la conclusión se obtiene del conocimiento de las propiedades esenciales o de la relación fundamental de parte de los objetos de la clase, para hacerlas extensivas al resto de las instancias de la clase.

Siguiendo con el ejemplo, el tutor puede evaluar el aprendizaje logrado por sus discípulos a partir del perfil de competencias que establece los requisitos mínimos que el estudiante debe satisfacer para ser competente en el diseño de algoritmos. Con base en este referente, aplica el razonamiento deductivo al momento de examinar a un discípulo con lo que podrá determinar si es o no competente. El uso de la inducción completa se evidencia cuando se desea conocer el progreso de todo el grupo de discípulos a partir de la evaluación hecha a cada uno de ellos, en tanto que si tan solo evalúa a una parte de los discípulos se estará usando la inducción incompleta. Cuando el tutor cuida de evaluar las habilidades esenciales que evidencian si el estudiante alcanzó el nivel mínimo de competencia, entonces el tutor emplea la inducción científica.

El razonamiento distingue al individuo como un ser racional; más aún las conclusiones a las que arriba la persona no están exentas de imprecisión e incertidumbre; especialmente en la inducción incompleta, la analogía y la heurística. En estas clase de razonamiento no hay la certeza absoluta que la conclusión sea verdadera. Así mismo, la inducción científica, como una opción relativamente confiable al razonamiento deductivo y al inductivo completo, no es ajena a la incertidumbre; con todo es la forma de razonamiento que se emplea para formular leyes y teorías.

4.2 Marco formal del modelado del estudiante

En esta sección se presenta la organización del marco formal del modelo del estudiante, el cual se compone de tres elementos: 1) escenario conceptual en que se inscribe el modelo del estudiante dentro de un SEBW; 2) los dominios empleados para caracterizar al estudiante, los cuales constan de una serie de creencias que determinan juicios sobre atributos específicos del individuo; 3) la integración de los dominios para recrear el modelo mental que revela ciertos rasgos del estudiante como persona y de las experiencias como forma de estimulación del aprendizaje en el estudiante.

4.2.1 Escenario conceptual

Un mapa cognitivo es un modelo mental que se diseña para representar un fenómeno causal. Cuando se emplea el mapa cognitivo para caracterizar un modelo del estudiante, se concibe un modelo basado en otro modelo. Por su parte, el modelo del estudiante es un modelo mental que genera el módulo del modelo del estudiante¹, el cual es miembro de un SEBW. Este módulo representa un modelo análogo al modelo mental que está almacenado en la mente del autor, quien pretende modelar el objeto de estudio para caracterizar los efectos causales que una experiencia produce en el estudiante. Este ambiente de modelación se representa gráficamente en la Figura 4.1, en la que se aprecia una secuencia progresiva de versiones de modelado con relación al objeto de estudio.

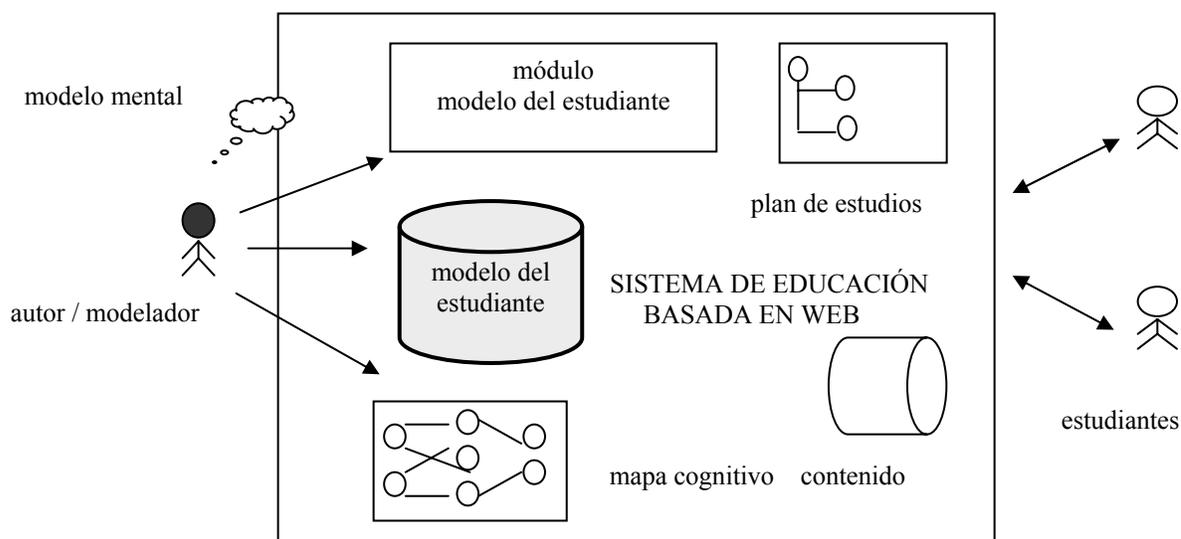


Figura 4.1 Ambiente para el modelado del estudiante

Ante la serie progresiva de modelos, se considera que el modelo del estudiante contiene las creencias que un SEBW concibe a cerca del estudiante, a partir de las cuales infiere ciertas suposiciones sobre el individuo. En esta definición se usan dos clases de juicios: creencias y suposiciones. Las *creencias* son los juicios interpretados como premisas, mientras que las *suposiciones* son los juicios emitidos como conclusión. Ambos tipos de juicios son aceptados dentro del contexto del modelo del estudiante.

4.2.2 Definición de los dominios

La caracterización del estudiante se lleva a cabo mediante tres dominios, a saber: cognitivo, de personalidad y de preferencias de aprendizaje. Además, se definen tres dominios para representar la experiencia: secuencia, contenido y evaluación. Adicionalmente, se emplea un dominio para identificar el conocimiento adquirido por el estudiante durante la experiencia.

¹ El término “*módulo del modelo del estudiante*” representa al conjunto de programas de cómputo y estructuras de datos que generan al modelo del estudiante y administran su funcionamiento.

En la organización de las creencias del sistema (s) sobre el estudiante (e), representadas por proposiciones (p), se reemplaza el dominio general de creencias (C) por un dominio particular. De esta forma se define la serie de ecuaciones (4.1^a) a (4.1^g) para describir respectivamente a los dominios: cognitivo (G), personalidad (R), preferencias de aprendizaje (A), secuencia (U), contenido (O), evaluación (V) y conocimiento adquirido (K).

$$Gs(e) = \{p \mid Csp(e) \cap p \in G\}. \quad (4.1^a)$$

$$Rs(e) = \{p \mid Csp(e) \cap p \in R\}. \quad (4.2^b)$$

$$As(e) = \{p \mid Csp(e) \cap p \in A\}. \quad (4.1^c)$$

$$Us(e) = \{p \mid Csp(e) \cap p \in U\}. \quad (4.1^d)$$

$$Os(e) = \{p \mid Csp(e) \cap p \in O\}. \quad (4.1^e)$$

$$Vs(e) = \{p \mid Csp(e) \cap p \in V\}. \quad (4.1^f)$$

$$Ks(e) = \{p \mid Csp(e) \cap p \in K\}. \quad (4.1^g)$$

Gracias al ejemplo que se ha venido presentando, se expone a continuación una proposición para los siete dominios, en el orden respectivo de las ecuaciones (4.1^a) a (4.1^g): *Juan tiene alta capacidad de razonamiento matemático, Juan tiene muy baja actitud positiva, Juan prefiere aprender poco por ejemplos, la secuencia es poco dinámica, el contenido tiene muy poca simulación, evaluar si el estudiante es muy capaz de aplicar algoritmos, Juan es poco estimulado para aprender algoritmos.*

La estructura formal del modelo del estudiante se presta para definir cualquier número de dominios que el modelador esté interesado en estudiar, puesto que los juicios se organizan en dominios que al acumularse recrean un modelo del estudiante más completo.

4.2.3 Integración del marco formal

La recreación del marco formal del modelo del estudiante se realiza mediante la unión lógica de las proposiciones definidas para cada dominio, tal como se establece en (4.2).

$$ME = Gs(e) \cup Rs(e) \cup As(e) \cup Us(e) \cup Os(e) \cup Vs(e) \cup Ks(e). \quad (4.2)$$

La recreación del ejemplo corresponde al mismo que se presenta en la Sección 4.2.2. En suma, el marco formal del modelo del estudiante está orientado a establecer todos los juicios que el sistema concibe sobre el individuo, la experiencia y el aprendizaje alcanzado.

Cabe señalar que las creencias y las suposiciones del modelo del estudiante son válidas exclusivamente en el contexto de la aplicación. Esto se debe a que un tutor concibe de manera natural un modelo mental de cada discípulo. Dicho modelo mental se nutre de los dominios que al tutor le interesa analizar. Con base en ese modelo conduce las experiencias y procede a la evaluación final. Por lo tanto, la imagen mental que tiene un tutor sobre un estudiante en particular solo tiene validez para él, ya que el resto de tutores tendrán su propia opinión del estudiante en particular.

4.3 Marco conceptual de los mapas cognitivos

Con base en la investigación realizada en el ámbito de los mapas cognitivos, particularmente en el campo de los mapas cognitivos causales, se considera que la versión de mapas cognitivos causales difusos con bases de reglas difusas facilita la representación de conocimiento cualitativo para el modelo del estudiante. La aplicación de dicha versión a la presente investigación requiere de una serie de precisiones de carácter metodológico. Por lo tanto, se establece en esta tesis un marco conceptual para la concepción, diseño y aplicación de los mapas cognitivos, el cual se compone de los siguientes aspectos: la naturaleza de la causalidad, la descripción de los mapas cognitivos, el proceso de mapeo cognitivo y los tres estratos de inferencia, a los niveles de mapa cognitivo, concepto y relación.

4.3.1 Causalidad

El principio filosófico de la causalidad establece: “Todo hecho tiene una causa, y dadas las mismas condiciones, las mismas causas producen los mismos efectos” (Carvalho, 2001). La causalidad revela una relación entre eventos como algo que existe, acontece y que provoca que algo suceda. Un evento puede ser el resultado de una o más causas. La precisión de las causas depende del objeto de estudio y del detalle requerido. Cuando se analiza la causa $c(t_1)$ de un evento $e(t_2)$, este último solo puede ser consecuencia del primero, si: $t_2 > t_1$.

En la modelación causal, las causas y los eventos son definidos como *conceptos*. Dentro del contexto del objeto de modelación, se asume que los conceptos tienen un *estado*. Luego entonces, la *evolución* del concepto se revela mediante la transformación que sufre el estado del concepto durante el transcurso discreto del tiempo $c(t_1), c(t_2), \dots, c(t_i)$.

Con base en lo que se desea manifestar sobre el estado, se dice que se hace referencia al *nivel* o a la *variación* del estado del concepto. Se alude al *nivel* del estado de un concepto al revelar la condición que guarda en un momento específico. En cambio, al hacer referencia a la *variación* del estado de un concepto, se revela el cambio que ha ocurrido después de un lapso.

Por ejemplo, sea el concepto *actitud positiva*. Si se establece el juicio: *Juan tiene baja actitud positiva*, se revela el estado actual de la actitud positiva de Juan. Mientas que el juicio: *Juan mejoró su actitud positiva*, indica que varió la actitud positiva de Juan después de un lapso indeterminado y sin importar cual era el estado anterior.

La causalidad se manifiesta como una forma de *influencia* sobre el estado de un concepto que trae como consecuencia su *variación*. Por lo tanto, la causalidad no pretende estimar o imponer un valor absoluto como nuevo estado de un concepto, es decir, la causalidad no calcula el *nivel* del estado del concepto. Además, la estimación de la alteración producida por la causalidad ignora el valor absoluto que tiene el estado del concepto efecto $e(t_i)$ en el momento que ésta ocurre. Es por ello, que la variación causal no es equivalente a la variación física, la cual se obtiene a partir de la derivada del nivel del estado de un concepto.

Existen circunstancias en que la causalidad es activada como consecuencia del nivel del estado de un concepto. También, se puede producir un efecto causal como resultado de la variación sufrida por el estado de un concepto. Así mismo, cuando varios conceptos $c_1(t_1), \dots, c_i(t_1)$ afectan simultáneamente al concepto $e(t_1)$, se produce una especie de efecto *acumulativo* sobre el estado del concepto $e(t_1)$. Es decir, que si dos o más efectos independientes c_i producen una ligera variación sobre el concepto efecto e , entonces el efecto derivado del conjunto de causas es superior al causado por ellas en forma separada.

A manera de ejemplo, a continuación se muestra la aplicación de las reglas difusas para los tres casos anteriores en el orden en que aparecen citados: Si *Juan tiene **baja** actitud positiva* entonces *el aprendizaje de algoritmos de Juan **mejora poco***. Revela que dado el *bajo* nivel del estado de la actitud positiva de Juan, el estado del aprendizaje de algoritmos en Juan sufre una variación de *poca mejoría*.

Por su parte, la regla difusa: Si *Juan **mejora** su capacidad de razonamiento matemático* entonces *el aprendizaje de algoritmos de Juan **mejora***. Indica que de sufrir una variación de *mejora* el estado de la capacidad de razonamiento matemático de Juan, entonces el estado del aprendizaje de algoritmos para Juan sufre una variación de *mejora*. Cuando las dos reglas anteriores afectan el aprendizaje de algoritmos en Juan, el efecto acumulado será superior al mayor de los dos producidos en forma aislada, es decir, que el estado del aprendizaje de algoritmos en Juan sufre un efecto acumulado superior a *mejora*, tal vez *mejora mucho*.

4.3.2 Descripción de los mapas cognitivos

La naturaleza de los mapas cognitivos se describe mediante una secuencia de pasos tendientes a explicar atributos específicos tales como: objeto del modelado, enfoque de la dinámica de los sistemas cualitativos y los fundamentos basados en la lógica difusa.

4.3.2.1 Objeto del modelado

La versión de mapas cognitivos empleada en la tesis no se orienta a representar cómo un individuo aprende, memoriza, razona o realiza alguna otra actividad cognitiva. Este tipo de modelo mental se emplea para modelar cómo una persona entiende y representa un objeto de análisis desde la perspectiva causal, a partir de la cual representa y predice eventos. Luego entonces, el objeto del modelado aplicado en la tesis corresponde a:

Caracterizar los efectos causales que produce una experiencia en el estudiante desde la perspectiva del modelo del estudiante. Es decir, que se manifiestan los juicios que el autor del módulo del modelo del estudiante concretiza en un modelo análogo.

4.3.2.2 Enfoque de la dinámica de sistemas cualitativos

La versión empleada de mapas cognitivos representa una alternativa para modelar la dinámica de sistemas a la desarrollada por Forrester (1968). La diferencia radica en que los mapas cognitivos describen la dinámica de sistemas desde una perspectiva cualitativa.

Un mapa cognitivo caracteriza la dinámica de sistemas, puesto que simula la evolución del objeto de análisis durante el incremento discreto del tiempo. La concepción de los mapas cognitivos se hace en términos cualitativos, debido a que los conceptos y las relaciones causa-efecto se expresan en forma lingüística. Ambos son fruto de la forma de pensamiento denominada *concepto*². Así mismo, las relaciones causales son derivadas de la forma de pensamiento denominada *juicio de relación*³. Los conceptos y los juicios se expresan respectivamente mediante palabras y oraciones del lenguaje natural.

4.3.2.3 Fundamentos de la lógica difusa

La versión empleada de mapa cognitivo es difusa debido a que la descripción de sus componentes y el tipo de inferencia se basan en la lógica difusa (Zadeh, 1997) y en la inferencia causal-difusa (Carvalho, 2001). Así mismo, al tratar cada concepto como una variable lingüística, se facilita precisar en forma cualitativa su naturaleza e intensidad. De igual forma, cada una de las relaciones causales se declara por medio de reglas difusas. En una regla difusa, el antecedente corresponde a la causa, mientras que el consecuente al efecto. Ambos elementos representan juicios. En un juicio se asocia un término lingüístico al estado de un concepto para representar a una condición o a una consecuencia.

Gracias al empleo de la lógica difusa se expresa conocimiento impreciso e incertidumbre en los mapas cognitivos. Estas características del conocimiento aparecen con mucha frecuencia al momento que el individuo expresa sus conceptos y juicios. Adicionalmente, los sistemas basados en reglas difusas son adecuados para modelar sistemas cualitativos, ya que son considerados como *aproximadores universales* (Lin y Lee, 1996). Por tanto, los mapas cognitivos cuentan con el respaldo teórico y matemático de la lógica difusa.

A manera de ejemplo, al concepto *actitud positiva* se le pueden asociar valores lingüísticos como *alta y baja*; con lo cual se establecen juicios como: *Juan tiene muy baja actitud positiva*. Si este tipo de juicio se considera como una causa que afecta al concepto *aprender algoritmos*, entonces se conforma la regla difusa: *Si Juan tiene muy baja actitud positiva entonces Juan es poco estimulado para aprender algoritmos*.

² Véase la sección 4.2.1.4 “Formación del concepto”, pp. 67.

³ Véase la sección 4.2.1.5 “Establecimiento del juicio”, pp. 68.

4.3.3 El mapeo cognitivo

El mapeo cognitivo es un procedimiento orientado a crear el mapa cognitivo que representa al fenómeno causal a estudiar. El procedimiento se compone del diseño de la topología y de la activación del mecanismo de inferencia causal-difusa, tal como se presenta a continuación.

4.3.3.1 Diseño de la topología

La definición de la estructura del mapa cognitivo consta de las siguientes actividades: precisión del objeto de modelación, establecimiento de los dominios, definición de conceptos, establecimiento de relaciones causales, valoración de efectos causales, estimación del estado inicial de los conceptos y bosquejo del mapa.

El objeto de modelación corresponde al caso de estudio que se analiza desde la perspectiva causal. Por lo tanto, el caso de estudio es visto como un fenómeno causal, compuesto por elementos que están interrelacionados por causas y efectos, que al ser activados dan lugar a una serie de comportamientos a partir de los cuales se busca anticipar resultados.

En el establecimiento de dominios se incorporan los puntos de vista desde los cuales se analiza el objeto de estudio. Cada dominio aporta los criterios que caracterizan al fenómeno causal.

En la definición de conceptos son identificados los actores que protagonizan las causas y los efectos del mapa cognitivo. Los conceptos representan las propiedades esenciales de los objetos, fenómenos y sus relaciones internas en los dominios. Como parte de la definición de los conceptos se establece el tipo de contexto que caracteriza a su estado. Es decir, se determina si la forma de evaluar el estado del concepto es a través de términos lingüísticos que revelan nivel, variación o ambos. Por lo tanto, un concepto puede tener asociado uno o hasta dos universos de discurso; en el que cada universo de discurso define un conjunto de términos lingüísticos que revelan exclusivamente diversas intensidades de nivel o variación.

El establecimiento de relaciones causales determina el rol de los conceptos. Para cada concepto se precisa a cuál otro afecta en forma causal. Por tanto, se identifican tres roles excluyentes para los conceptos: entrada, salida, entrada-salida. Los conceptos que únicamente afectan a otros son denominados de *entrada*. En cambio, aquellos que solamente son objeto de influencia causal se les conocen como de *salida*. Los conceptos que participan como causa en alguna relación y como efecto en otra, se les llama *entrada-salida*. Como resultado, se genera la estructura completa de relaciones causa-efecto que describe al mapa cognitivo. De acuerdo con la topología se pueden apreciar cuatro clases de relaciones:

- Directas. Es la relación causa-efecto que existe entre un par de conceptos, p. ej., $c \rightarrow e$.
- Indirectas. Son relaciones causales que existen entre un par de conceptos con el concurso de al menos un concepto diferente, de tal manera que puede existir al menos una ruta causal que los vincule, p. ej., $c \rightarrow c_1 \rightarrow \dots \rightarrow e$.
- Retroalimentación. Se expresa como relaciones directas o indirectas entre un par de conceptos en el que aquél que funge como efecto, se convierte también en la causa, p. ej., $c \rightarrow e \rightarrow c$; $c \rightarrow c_1 \rightarrow \dots \rightarrow e \rightarrow c$.

- Auto-retroalimentación, son las relaciones directas de retroalimentación que un concepto ostenta en forma causal consigo mismo, p. ej., $c \rightarrow c$.

La valoración de los efectos causales corresponde al juicio que determina en qué sentido y con cuánta intensidad un concepto afecta a otro por medio de una relación causal directa. Para tal efecto, se formula la relación causal-difusa o la relación de inferencia difusa que corresponda. En consecuencia, se establecen las reglas difusas que describen las diversas opciones de efecto causal, con base en el número, y en su caso combinaciones, de términos lingüísticos aludidos en el antecedente. El conjunto de reglas difusas se organiza en una base de reglas difusas.

La estimación del estado inicial de los conceptos se realiza conforme al contexto asociado al estado del concepto. Dicho contexto se revela en la naturaleza del conjunto de universos de discurso definidos para el concepto. Si el estado del concepto se evalúa mediante términos lingüísticos que reflejan nivel, se elige el valor que mejor represente el estado inicial para dicho concepto. En cambio, si el concepto es caracterizado por valores lingüísticos que denotan variación, se escoge aquella que identifique la tendencia inicial para el concepto en cuestión. Más aún, para aquellos conceptos cuyo estado se describe mediante dos universos de discurso, le corresponde un valor inicial que refleje su nivel y otro que muestre su variación.

Por ejemplo, como resultado de una valoración psicológica se identifica que la *capacidad de razonamiento matemático de Juan es alta*, pero su *actitud positiva es decrece poco*. Por lo tanto, para el caso de Juan, *alta* es el nivel inicial que se asocia al concepto *capacidad de razonamiento matemático*, mientras que *decrece poco* es la variación inicial que se establece para el concepto *actitud positiva*. Así mismo, en relación con el *aprendizaje de algoritmos* de Juan, se puede especular como valor inicial para revelar el nivel y la variación de dicho concepto los términos *nulo* y *crece poco* respectivamente.

Como producto del mapeo cognitivo se obtiene un diseño del mapa cognitivo. El diseño se representa gráficamente a través de una red compuesta por nodos y arcos dirigidos, en la forma ilustrada en la Figura 1.2. Mediante esta forma análoga de modelo basado en esquemas, se ilustra el modelo mental que el responsable del diseño del mapa cognitivo revela en torno al objeto de estudio.

4.3.3.2 Escenario de inferencia

El mecanismo de inferencia de los mapas cognitivos se organiza en tres niveles jerárquicos: mapa, concepto y relación. El nivel de mapa representa la raíz de la estructura a partir de la cual se deriva la inferencia a nivel de concepto. Ésta a su vez, activa la inferencia a nivel de relación en la que participa cada concepto como el consecuente.

La inferencia a nivel de *mapa* se realiza mediante un proceso de simulación en el que el tiempo transcurre a través de avances discretos. En cada instante, se realiza el cálculo de los efectos a los que se somete cada concepto como resultado de las relaciones en las que participa como el concepto efecto. En este escenario, se presta atención especial a la evolución de los conceptos al paso del tiempo. Adicionalmente, en este marco de trabajo se identifica si la simulación converge hacia alguna forma de estabilidad o arriba a una región de caos.

La inferencia a nivel de *concepto* se encamina a estimar el efecto al que se somete un concepto al participar en las relaciones representadas en el mapa cognitivo. De acuerdo con su protagonismo, la asociación de términos lingüísticos al estado del concepto puede ser: estática, unaria o plural. Es *estática* cuando el concepto ejerce el rol de entrada, por ello se mantiene su estado inicial. Es *unaria* si el concepto es objeto de una sola relación causal, por ello su valor depende exclusivamente del concepto aludido en el juicio antecedente. Es *plural* cuando el concepto se involucra como consecuente en más de una relación causal.

La inferencia a nivel de *relación* ofrece el contexto para valorar la base de reglas difusas que define a una relación causal. En este escenario se verifica la veracidad lógica del juicio antecedente de cada regla para determinar aquellas que son activadas. Una vez identificadas las reglas activas en la iteración t_i se procede a generar un CDR.

4.3.4 Inferencia a nivel de mapa cognitivo

La inferencia a nivel de mapa cognitivo se lleva a cabo mediante una simulación de la *evolución* de los conceptos representados en el mapa cognitivo. La simulación se implementa como un proceso iterativo que caracteriza el transcurso del tiempo en forma discreta. En cada ciclo se estima un nuevo valor para el estado de los conceptos que participan como el consecuente de al menos una influencia causal. El cálculo de la influencia causal se hace mediante los procedimientos descritos en las secciones 4.3.5 y 4.3.6, que corresponden respectivamente a la inferencia a nivel de concepto y a la inferencia a nivel de relación. La evolución del comportamiento del mapa cognitivo se mantiene en curso en tanto no se arribe a una situación de estabilidad, un patrón de estados o una región de caos.

Se dice que el mapa cognitivo converge a una situación estable cuando los valores asociados a los estados de los conceptos se mantienen entre una iteración y la siguiente, p. ej., $c_1(t_i) = c_1(t_{i+1})$; $c_2(t_i) = c_2(t_{i+1}), \dots$

Puede darse el caso en que la semejanza entre los patrones de valores para los estados de los conceptos es cíclica, es decir que cada n iteraciones se repite el mismo patrón, p. ej., $c_1(t_i) = c_1(t_{i+n})$; $c_2(t_i) = c_2(t_{i+n}), \dots$

En cambio, se reconoce que la evolución del mapa cognitivo se encuentra en una región de caos, cuando no es posible alcanzar la estabilidad o bien se agota el tiempo, los recursos o los criterios definidos para controlar la simulación.

La predicción del comportamiento que se estima para un concepto, así como para el mapa cognitivo en su conjunto, se obtiene de la interpretación de la progresión de los valores asociados a su estado conforme el tiempo pasa, p. ej., $c(t_1), c(t_2), \dots, c(t_i)$. Adicionalmente, es necesario interpretar el valor final, de variación o nivel, asociado al concepto. Este valor representa el límite del efecto causal que se estima podrá ocurrir sobre el estado del concepto. Por tanto, la evolución del mapa cognitivo puede concebirse como un video, con una duración determinada por el número de iteraciones, en donde la acción presentada en el video no es más que una sucesión de imágenes que se presentan en lapsos muy cortos.

4.3.5 Inferencia a nivel de concepto

Esencialmente, la evolución del mapa cognitivo se deriva de la transformación que sufre el estado de los conceptos. Por tanto, la atención se centra en la inferencia a nivel de concepto. Este proceso se realiza mediante ocho pasos: activación de la inferencia a nivel de relación, clasificación del efecto derivado de las relaciones, estimación del efecto de acumulación, estimación del efecto de refuerzo, integración de efectos, conversión lingüístico-numérica y numérico-lingüística, integración del efecto y estimación del efecto variación-nivel.

4.3.5.1 Activación de la inferencia a nivel de relación

Como primer paso del razonamiento a nivel de concepto está la activación de la inferencia a nivel de relación en las que dicho concepto c funge como su consecuente. Para este fin, es necesario identificar al conjunto de relaciones causal-difusas y de inferencia difusas $R_{-,c}$. Una vez obtenido dicho conjunto, se activa la inferencia para cada relación $r_{-,c}$, tal que: $r_{-,c} \in R_{-,c}$. La activación de cada relación provoca la inferencia a nivel de relación descrita en el procedimiento explicado en la Sección 4.3.6. Como resultado de la ejecución de dicho proceso, se obtiene un CCS para cada relación.

4.3.5.2 Clasificación del efecto derivado de las relaciones

Los CCS generados durante la inferencia a nivel de relación causal-difusa y de inferencia difusa representan el efecto causal estimado para las relaciones en donde el concepto c participa como su consecuente. Por tanto, tales efectos son clasificados con base en un criterio que establece: *Los efectos que se ejercen sobre el estado de un concepto deben separarse de acuerdo con las clases de relación que le dieron origen y sentido*. Este postulado aplica para conceptos involucrados en alguno de los siguientes casos incluyentes:

- Para conceptos que están declarados en el juicio consecuente de al menos una relación de inferencia difusa y de una relación causal-difusa.
- Para conceptos que al ser objeto de la influencia de varias relaciones del mismo tipo, reciben efectos en sentido contradictorio. Es decir, que al menos una consecuencia produce una variación negativa, mientras que al menos otra relación genera una variación positiva.

Para los conceptos que afrontan al menos una de esas dos situaciones, se deben clasificar y separar los CCS derivados de sus relaciones conforme a los siguientes criterios:

- Efectos derivados de relaciones causales-difusas *a la baja*. Son aquellas relaciones que producen una variación negativa.
- Efectos derivados de relaciones causales-difusas *al alza*. Son aquellas relaciones que provocan una variación positiva.
- Efectos derivados de relaciones de inferencia difusas *a la baja*. Son aquellas relaciones que generan una variación negativa.
- Efectos derivados de relaciones de inferencia difusas *al alza*. Son aquellas relaciones que dan lugar a una variación positiva.

- Efectos derivados de relaciones de inferencia difusas de *nivel*. Son aquellas relaciones que estiman un nivel por debajo del normal o por encima de éste.

Una vez clasificados los CCS en al menos uno de los criterios citados, se organizan los grupos de CCS *clasificados*.

Cuando sólo una regla está activa, el CCS también se clasifica de acuerdo con los criterios establecidos, por lo que solamente se define un grupo de CCS clasificados, compuesto por tan sólo un elemento.

4.3.5.3 Estimación del efecto de acumulación

Para un concepto c que es objeto de al menos una relación causal-difusa $r_{,c}$, ésta se manifiesta a través de un grupo de CCS a la baja o al alza. En el caso de que la consecuencia de todas las relaciones apunte en el mismo sentido habrá un solo grupo, pero si el concepto c resultó ser objeto de estímulos contradictorios habrá dos grupos.

La estimación del efecto de acumulación se realiza para cada grupo de CCS mediante el proceso detallado en la Sección 3.4.5. Este proceso se resume de la siguiente forma:

- Inicialización del CVS *actual* con la descripción del CCS que represente la mayor variación.
- Acumulación de los CCS con el CVS *actual*, procediendo actualizar la descripción de este último en cada paso.
- En cada paso se acumula el CCS en *turno* con el CVS *actual* mediante la operación difusa de acumulación con acarreamiento, la cual se fundamenta en las ecuaciones (3.6^a) y (3.6^b), y se describe en las ecuaciones (3.7^a) a (3.7^c).
- Una vez acumulados todos los CCS, se controla el desborde del universo de discurso por parte del CVS *resultante*.
- Para ello se procede a normalizar el soporte de dicho conjunto para generar con ello el CVS *normalizado*, tal como se aprecia en la secuencia de las figuras 3.14^a a 3.14^c.

Como resultado de la estimación del efecto de acumulación se obtiene un CVS. Este conjunto refleja el efecto de variación que las relaciones causales difusas ejercen en un sentido específico sobre el estado del concepto c . Por lo tanto, el efecto causal sobre un concepto c que es objeto de al menos una relación causal-difusa se revela a través de un CVS al alza o a la baja, o bien por dos de ellos, uno al alza y el otro a la baja.

4.3.5.4 Estimación del efecto de refuerzo

Para un concepto c que es objeto de al menos una relación de inferencia difusa $r_{,c}$, ésta se manifiesta a través de un grupo de CDR a la baja, al alza o de nivel. Cuando el tipo de efecto, de nivel o variación, y el sentido, a la baja o al alza, sean los mismos, habrá un grupo. Pero en el caso contrario, el estado del concepto c es alterado en términos de nivel o variación, además de que también es objeto de influencias opuestas, por ello habrá dos o hasta tres grupos.

El efecto de refuerzo se estima para cada grupo de CDR a través del procedimiento explicado en la Sección 3.3.7. El proceso aludido puede sintetizarse de la siguiente forma:

- Inicialización del CDR *actual* con la descripción del CCS que represente la mayor variación o nivel.
- Se agregan los CCS con el CDR *actual* dando lugar a la actualización de este último en cada paso.
- En cada paso se agrega el CCS en *turno* al CDR *actual* mediante el procedimiento establecido en la Sección 3.3.6 en el cual se emplean las ecuaciones (3.3^a) y (3.3^b), y se observan los axiomas 3-3 y 3-4.
- Una vez acumulados todos los conjuntos difusos se obtiene el CDR *final*, tal como se aprecia en la secuencia de las figuras 3.7 y 3.8.

Una vez aplicado el proceso de agregación para cada grupo de CCS, se obtiene un CDR a la baja, al alza, o de nivel. El tipo y sentido de cada conjunto responde al grupo de relaciones involucradas en la estimación. Por lo tanto, el efecto de agregación sobre un concepto c que es objeto de al menos una relación de inferencia difusa, se refleja a través de un CDR al alza, a la baja, o de nivel; o por más de uno de ellos.

4.3.5.5 Conversión lingüístico-numérica

Una vez estimados los efectos de acumulación y agregación que existen sobre un concepto c , es necesario realizar un proceso de conversión lingüístico-numérica. La razón fundamental es: En la medida en que se acumula o agrega el efecto causal o difuso que varios conceptos c_1, \dots, c_n ejercen sobre un mismo concepto c , crece el área y el soporte del conjunto difuso correspondiente al concepto c , con lo que se alarga la imprecisión sobre el eje X del universo de discurso hasta el grado de saturarlo.

Para resolver el problema del crecimiento de la incertidumbre se aplica el procedimiento descrito en la Sección 3.4.6. Para cumplir este propósito, se acumulan las áreas por grupo de CCS y se realiza la conversión a nivel de relación-tipo por medio de las Ecuación (3.8) y (3.9). Como resultado se obtiene un valor numérico x_i , que representa la conjugación del total de los efectos en ambos sentidos, al alza y a la baja, o de nivel.

El valor numérico x_i representa el valor *normalizado* en el universo de discurso asociado al estado de un concepto c . Este valor proviene del tipo de relación y de la clase de efecto del cual es objeto el concepto c . Por lo tanto, el valor numérico x_i corresponde a una categoría de efecto tomada de las siguientes instancias:

- Efecto final de variación causal. Proveniente de la conjugación de las relaciones causales-difusas a la baja y al alza.
- Efecto final de variación difusa. Derivado del balance de las relaciones de inferencia difusas a la baja y al alza.
- Efecto final de nivel difuso. Se obtiene del equilibrio de las relaciones de inferencia difusas de nivel.

4.3.5.6 Conversión numérico-lingüística

Una vez reconocida la categoría de efecto al que corresponde el valor numérico x_i derivado de la conversión lingüístico-numérica, es necesario identificar los términos lingüísticos a los que les corresponde dicho valor. Esta asociación entre el valor normalizado x_i y el universo de discurso X asociado al estado del concepto c se realiza mediante una conversión numérico-lingüística. Por consiguiente, el valor lingüístico que corresponde al valor numérico x_i se deriva del universo de discurso que corresponde a una las siguientes opciones:

- Términos lingüísticos que revelan variación para el efecto final de variación causal.
- Valores lingüísticos que expresan variación para el efecto final de variación difusa.
- Términos lingüísticos que estiman nivel para el efecto final de nivel lingüístico.

Una vez reconocida la categoría de universo de discurso que corresponde al valor normalizado x_i , se procede a identificar al conjunto difuso que le corresponde. El conjunto difuso elegido D , es aquel cuyo grado de membresía x_i es mayor que cero, es decir: $\mu_D(x_i) > 0$.

Ahora bien, dado los criterios para la conformación de universos de discurso establecidos en la sección 3.4.1, que corresponden a la agrupación de términos lingüísticos en universos de discurso, cualquier valor numérico x_i que esté normalizado en el rango $[-1, 1]$ está asociado a cuando menos un conjunto difuso, y podrá estar asociado a lo sumo hasta dos conjuntos difusos. Esta afirmación proviene de la observancia de los axiomas 3-5 al 3-12 y de la Ecuación (3.4), en los que se garantiza la complementariedad entre conjuntos difusos vecinos. Adicionalmente, se puede confirmar esta declaración mediante el análisis de la distribución de conjuntos difusos sobre el universo de discurso que aparece en las figuras 3.9^a y 3.9^b.

4.3.5.7 Integración de efectos

En el caso de que un concepto participe como el consecuente de relaciones causales-difusas y relaciones de inferencia difusa, éste es objeto de una integración o segregación de efectos. La decisión descansa en la identificación de la versión del término lingüístico que corresponde a los efectos finales que inciden sobre el concepto. Es decir, como resultado de la aplicación secuencial de los procesos de inferencia a nivel de concepto, en el orden en que se han descrito hasta el momento, el estado de un concepto puede estar asociado a dos versiones de efectos finales:

- Variación. Al integrar los términos lingüísticos que revelan el efecto final de variación causal y el efecto final de variación difusa.
- Nivel. Al mantener por separado el término lingüístico que corresponde al efecto final de nivel lingüístico.

Para integrar los términos lingüísticos que revelan el efecto final de variación causal y el efecto final de variación difusa, se requiere que ambos términos sean miembros del mismo universo de discurso asociado al concepto. Esto es lógico, puesto que ambos revelan la variación que sufre el estado del concepto.

Así mismo, para realizar la integración de los términos lingüísticos que revelan los efectos finales de variación causal y difusa se aplica el procedimiento descrito en la Sección 3.4.5 para la estimación del efecto de acumulación, sin embargo, es menester hacer tres precisiones:

- El número de conjuntos difusos involucrados en la acumulación es dos.
- Los CCS aludidos en el procedimiento están representados por los conjuntos difusos que corresponden a los términos lingüísticos que revelan el efecto final de variación causal y el efecto final de variación difusa.
- El CVS corresponde al efecto final de variación.

Una vez generado el término lingüístico que representa el efecto final de variación, se realiza su conversión lingüístico-numérica en los términos descritos anteriormente. Por consiguiente, esta vez solamente se genera un valor numérico x_i que identifica la variación final acumulada por la suma de todas las relaciones causales-difusas y de inferencia difusa que afectan al concepto. Adicionalmente, el valor numérico x_i es objeto de una conversión numérico-lingüística para identificar a los términos lingüísticos que revelan el efecto final de variación.

4.3.5.8 Estimación del efecto variación-nivel

En el caso de que el estado de un concepto c sea biestable, es decir que se asocian términos lingüísticos de variación y nivel al estado del mismo concepto, se requiere estimar el efecto de variación-nivel. Esta clase de efecto se activa una vez que se obtiene el valor final de variación c_v para el concepto c . Con base en el valor de variación actual $c_v(t)$ y el valor de nivel inmediato anterior $c_n(t-1)$ se genera el valor de nivel actual $c_n(t)$, conforme al procedimiento detallado en la Sección 3.4.3.

Es conveniente destacar que la actualización del nivel asociado al estado biestable de un concepto sólo puede ser realizada de esta forma, debido a que el concepto solamente es objeto de relaciones causal-difusas y de inferencia difusas que afectan la variación de su estado, pero no su nivel. La actualización de su nivel se reserva para ser modificado únicamente por sí mismo como resultado de la variación que perturba el estado del concepto.

4.3.6 Inferencia a nivel de relación

La inferencia a nivel de relación causal-difusa y de inferencia difusa se lleva a cabo a través de los siguientes pasos: evaluación de la relación, activación de las reglas, escalamiento de los conjuntos difusos, agregación de conjuntos difusos y generación del CDR.

4.3.6.1 Evaluación de la relación

La evaluación de una relación causal se lleva a cabo de la manera siguiente:

- Durante el proceso de simulación son evaluadas todas las relaciones causales definidas en el mapa cognitivo.
- En la evaluación de la relación se examina la base de reglas difusas asociada a la relación.

- El examen de una base de reglas difusas se lleva a cabo mediante la identificación del estado lógico de las reglas difusas contenidas en la base.
- El estado lógico de una regla determina la validez lógica del juicio antecedente.
- La validez del juicio antecedente depende de la satisfacción de todas sus condiciones.
- Una condición se dice que es satisfecha cuando el término lingüístico asociado al estado del concepto aludido en la condición, corresponde con el que está asignado al estado de dicho concepto en el instante t_i en que es evaluada la regla.
- Si fueron satisfechas todas las condiciones del juicio antecedente, entonces éste es verdadero y el estado lógico de la regla también es verdadero, activando con ello la regla.
- En caso contrario el juicio antecedente y el estado de la regla son falsos.

Con base en el estado lógico de las reglas se identifican las reglas que están activas. Por lo tanto, se dice que una regla está activa si su estado lógico es verdadero.

Debido a las restricciones impuestas para la distribución de los términos lingüísticos a lo largo del universo de discurso asociado a un concepto, particularmente la Ecuación (3.4) y los axiomas 3-9, 3-10 y 3-11, se aprecia que al evaluar una relación al menos una regla debe estar activa, y hasta un máximo de dos reglas pueden estar activas simultáneamente.

4.3.6.2 Activación de las reglas

Como resultado de la evaluación de la relación se identifican las reglas, una o hasta dos, que están activas para la iteración en curso t_i . Por ello la activación de una regla difusa se traduce en la aplicación de su juicio consecuente, es decir, que para la iteración en turno t_i surte efecto la asociación entre el término lingüístico y el estado del concepto que están declarados en el juicio. Este efecto se traduce en dos acciones:

- Se asigna el término lingüístico declarado en el consecuente de la regla al estado del concepto aludido en el juicio en el tiempo t_{i+1} .
- Se asigna el grado de membresía que ostenta el concepto declarado en el juicio antecedente, al conjunto difuso que corresponde al término lingüístico asociado al estado del concepto citado en el juicio consecuente.

Cuando solamente una regla está activa al estado del concepto declarado en el juicio del consecuente, se le asigna un sólo término lingüístico y a su conjunto difuso D se le adjudica el valor de uno como máximo grado de membresía, $\mu_D = 1$, tal como se aprecia en la Figura 3.2.

En contraparte, cuando dos reglas están activas se asignan los términos lingüísticos aludidos en las dos reglas al estado del concepto del juicio del consecuente. Además, a los conjuntos difusos D_1 y D_2 correspondientes a los términos lingüísticos se les adjudica su propio grado de membresía, cuyos valores son inferiores a uno, $\mu_{D_1}(x_i) < 1 \cap \mu_{D_2}(x_i) < 1$. Por esto, conforme a la Ecuación (3.4) y a los axiomas 3-9 al 3-11, dichos conjuntos difusos son *complementarios*. Es decir, que si al sumar el grado de membresía para el punto x_i , arrojan el valor de uno; $\mu_{D_1}(x_i) + \mu_{D_2}(x_i) = 1$, tal que: $\mu_{D_1}(x_i) > 0$ o $\mu_{D_2}(x_i) > 0$.

La activación simultánea de dos reglas difusas se ilustra en la Figura 3.3, en donde los conjuntos difusos aludidos en el consecuente corresponden al mismo término lingüístico, mientras que en la Figura 3.4 los conjuntos difusos representan diferentes términos lingüísticos. Por consiguiente, cuando se activan dos reglas difusas, el estado del concepto se asocia a más de un término lingüístico, en donde cada uno tiene su propio conjunto difuso con su grado de membresía correspondiente.

4.3.6.3 Escalamiento de conjuntos difusos

Una vez identificadas las reglas que están activas durante la evaluación de una relación, se presentan dos escenarios a saber:

- En el caso de que solamente una regla esté activa, el conjunto difuso del término lingüístico asignado al estado del concepto que aparece en el consecuente se le asigna el máximo grado de membresía, es decir uno, tal como se ilustra en la Figura 3.2.
- Por el contrario, cuando dos reglas están activas, se requiere aplicar el proceso de escalamiento a los dos conjuntos difusos que representan a los términos lingüísticos asignados al concepto del consecuente.

El proceso de escalamiento se aplica únicamente cuando se activan dos reglas difusas, por lo que una vez asignado el grado de membresía al conjunto difuso que representa al término lingüístico del consecuente, se estima la proporción de su dimensión conforme al proceso descrito en la Sección 3.3.5, el cual se ilustra en las figuras 3.3 y 3.4.

Con el escalamiento se busca ajustar la dimensión del conjunto soporte, la longitud del soporte y el área del conjunto difuso en la proporción representada por el grado de membresía asignado. El resto de los atributos que describen la morfología del conjunto difuso, ilustrados en la Figura 3.1, permanecen inalterados.

4.3.6.4 Agregación de conjuntos difusos

Una vez escalados los conjuntos difusos activos de una relación, se aplica el proceso de agregación. Este proceso tiene por objetivo generar un nuevo conjunto difuso denominado *resultante*. En el CDR R se conjuga el área de los dos conjuntos difusos A y B aludidos en el consecuente, de tal forma que: $A_R = A_A + A_B$. Para llevar a cabo este procedimiento se aplican los lineamientos establecidos en la Sección 3.3.6.

Durante la agregación de los conjuntos difusos se aplican las ecuaciones (3.3^a) y (3.3^b) y se observan los axiomas 3-3 y 3-4. Con esto se busca preservar las condiciones de frontera y de monotonía de tal forma que en ningún punto del eje X del universo de discurso, la suma de los grados de membresía sea superior a uno, es decir: $\forall x_i \in X; 0 \leq \mu D_1(x_i) + \mu D_2(x_i) \leq 1$.

Cuando los dos conjuntos difusos representan al mismo término lingüístico, el CDR conserva la morfología que corresponde al máximo grado de membresía, tal como se muestra en la Figura 3.5. En caso contrario, los conjuntos difusos representan distintos términos lingüísticos, por ello el CDR asume una morfología diferente, tal como se aprecia en la Figura 3.6.

Cuando sólo una regla está activa, el CDR corresponde al conjunto difuso con el término lingüístico asociado al concepto del consecuente con grado de membresía igual a uno.

4.3.6.5 Generación del conjunto causal de salida

El CCS representa el efecto final que una relación $r_{-,c}$ ejerce sobre un concepto c . Por lo tanto, la generación del CCS se ciñe a las especificaciones descritas en la sección 4.3.6.4. En consecuencia, es posible advertir los siguientes casos:

- Cuando solamente una regla está activa. El CCS corresponde con el conjunto difuso del término lingüístico asociado al concepto del consecuente de la regla.
- Cuando los dos términos lingüísticos aludidos en los consecuentes de las dos reglas activas son iguales, el CCS corresponde con el CDR.
- En el caso contrario son diferentes los términos lingüísticos y por lo tanto el CCS se calcula mediante el procedimiento descrito en la Sección 3.4.4, por medio de las ecuaciones (3.5^a) a (3.5^e) y la observancia de los axiomas 3-14 al 3-20.

En el último caso, el proceso busca generar un nuevo conjunto difuso en el universo de discurso asociado al concepto. Mientras tanto, se estima la ubicación exacta entre los dos conjuntos difusos aludidos en el consecuente, los cuales son vecinos. Dicha ubicación, corresponde al término medio representado por las áreas de los conjuntos difusos una vez que han sido escalados e integrados en el CDR. Además, la morfología del CCS es semejante a la propia de los conjuntos difusos aludidos con un grado de membresía igual a uno, tal como se aprecia en la Figura 3.11, en donde el CCS aparece con fondo negro.

4.4 Algoritmos

De acuerdo con la definición dada al *algoritmo* en la Sección 4.1.1, en esta sección se presenta la colección de algoritmos para los procesos de provisión de experiencias, evaluación de la experiencia en turno, generación de mapas cognitivos, simulación de una instancia de mapa cognitivo, inferencia a nivel de concepto e inferencia a nivel de relación. Con este propósito se organizan los algoritmos de manera jerárquica y en su descripción se emplea el pseudocódigo. Así mismo, el fundamento de los algoritmos proviene de la sección respectiva del marco teórico, en el que se presentan las especificaciones, axiomas y ecuaciones.

4.4.1 Algoritmo general

El procedimiento para el desarrollo del modelo del estudiante basado en mapas cognitivos se describe mediante el Algoritmo {4-1}⁴. Este algoritmo se basa en la arquitectura de diseño expuesta en la Figura A1.6, la cual se compone de seis capas que contienen subsistemas que agrupan clases de diseño. El Algoritmo {4-1} consta de cuatro procesos cíclicos, cuya iteración depende del número de estudiantes y experiencias.

⁴ Al citar un algoritmo se encierra entre llaves {} el número que lo identifica, con independencia de la presencia o ausencia de los términos *Algoritmo* o *algoritmos*, p. ej., {4-2}.

00 Algoritmo {4-1} General

01 Para cada estudiante:

02 Adquirir el perfil del individuo

03 Para cada experiencia:

04 Adquirir el perfil de la experiencia

05 Para cada estudiante:

06 Evaluar el conocimiento inicial que tiene sobre el tema de enseñanza

07 Para cada estudiante:

08 Proveer la experiencia {4-2}

La adquisición del perfil del individuo se ciñe al modelo de objetos que aparece en la Figura A1.4 para crear la estructura del contexto del perfil.

En relación con la adquisición del perfil de la experiencia, ésta considera la taxonomía del programa de estudios descrita en las Figura A4.3, en donde el elemento raíz de la jerarquía corresponde al *juicio*. La enseñanza de un *juicio* se realiza mediante una experiencia. Cada experiencia dispone de varias opciones de *secuencia*, *contenido* y *evaluación*.

Antes de que el estudiante inicie el curso provisto por el SEBW, el individuo es sometido a un examen de evaluación de conocimientos preliminares sobre el dominio de enseñanza. Para ello se hace una auscultación general del nivel de conocimientos que el estudiante ostenta en relación con los conceptos que integran los temas del programa de estudios. Posteriormente, el estudiante comienza el ciclo de enseñanza mediante la adquisición de experiencias provistas por el SEBW en la forma en que se describe en la siguiente sección.

4.4.2 Algoritmo para proveer la experiencia

De acuerdo con la taxonomía ilustrada en la Figura A4.4, en sentido ascendente, la adquisición de conocimiento por el individuo se estimula a través del aprendizaje de *juicios*. Los juicios, tal como se definen en la Sección 4.1.2.1, afirman o niegan un atributo del objeto o fenómeno sujeto al juicio. Por consiguiente, mediante la provisión de varios juicios relacionados con el mismo objeto o fenómeno de estudio, a través de las experiencias respectivas, se va recreando paulatinamente un *concepto* específico en la mente del estudiante. Una vez que el estudiante asimila un conjunto de conceptos afines, se dice que ha adquirido conocimiento de un *tema* específico. Al acreditar el conjunto de temas que integran al programa de estudios, el estudiante aprueba el *módulo* provisto por el SEBW. Este procedimiento se expresa por medio del Algoritmo {4-2} de la siguiente forma:

00 Algoritmo {4-2} Proveer la experiencia

01 Validar el ingreso del estudiante e al SEBW

02 Recuperar al perfil del individuo que corresponde al estudiante e

03 Recuperar la información del último juicio j provisto al estudiante e

04 Si la experiencia x fue aprobada

entonces:

05 incrementar el contador de la experiencia x al siguiente juicio $j + 1$

sino:

06 igualar el contador de la experiencia x con el juicio actual j

07 Mientras el estudiante e no concluya el programa de estudios, o no deserte, o no agote el plazo, o dé por terminada la sesión:

```

08   Procurar la mejor opción  $o$  para el juicio  $j$  {4-3}
09   Seleccionar la mejor opción  $o$  para el juicio  $j$ 
10   Inicializar la experiencia  $x$  con la mejor opción  $o$  para el juicio  $j$ 
11   Proveer el contenido de la opción elegida  $o$  para el juicio  $j$ 
12   Registrar el desempeño del estudiante  $e$ 
13   Evaluar la adquisición del juicio  $j$  por el estudiante  $e$ 
14   Grabar la información del juicio  $j$  provisto al estudiante  $e$ 
15   Si el estudiante  $e$  aprobó la adquisición del juicio  $j$ 
    entonces:
16       incrementar el contador del juicio  $j = j + 1$ 
    sino:
17       mantener el contador del juicio actual  $j$ 
18       marcar la opción provista  $o$  para el juicio  $j$ , a efecto de que no se vuelva a proveer
19   Si se han agotado los juicios  $j$  correspondientes al concepto  $c$ 
    entonces:
20       aplicar evaluación final a nivel del concepto  $c$ 
21       incrementar el contador de concepto  $c = c + 1$ 
22   Si se han agotado los conceptos  $c$  correspondientes al tema  $t$ 
    entonces:
23       aplicar la evaluación final a nivel del tema  $t$ 
24       incrementar el contador de tema  $t = t + 1$ 
25   Si se han agotado los temas  $t$  correspondientes al programa del módulo  $m$ 
    entonces:
26       aplicar la evaluación final a nivel del módulo  $m$ 
27       Grabar los contadores de juicio  $j$ , concepto  $c$ , tema  $t$ 

```

Dada la complejidad del proceso identificado en la línea 08, *procurar la mejor opción para el juicio*, en la siguiente sección se explica el algoritmo que implementa dicha funcionalidad.

4.4.3 Algoritmo para procurar la mejor opción de experiencia

El algoritmo para proveer la mejor opción hace uso de los elementos definidos en la Sección 3.3, dedicada a los fundamentos de lógica difusa, además de observar el procedimiento citado en la Sección 4.3.3. También, el algoritmo lleva a cabo el razonamiento causal-difuso conforme a los lineamientos marcados en las secciones 4.3.5 y 4.3.6. Por tal motivo, este algoritmo hace referencia a los algoritmos especializados en el desarrollo de funcionalidades específicas tal y como se presenta a continuación.

4.4.3.1 Algoritmo base

La columna vertebral del procedimiento responsable de identificar la mejor opción de experiencia se describe por medio del Algoritmo {4-3}:

```

00 Algoritmo {4-3} Procurar la mejor opción de experiencia
01 Crear los mapas cognitivos derivados del estudiante  $e$ , juicio  $j$ , opción  $o$ , experiencia  $x$  {4-4}
02 Para cada instancia  $i$  de los mapas cognitivos:
03     Simular instancia  $i$  de los mapas cognitivos {4-5}
04     Evaluar estado final de la instancia  $i$  de los mapas cognitivos:

```

4.4.3.2 Algoritmo para crear mapas cognitivos

El procedimiento para generar mapas cognitivos se describe en el Algoritmo {4-4}:

- 00 **Algoritmo {4-4}** Crear los mapas cognitivos derivados del estudiante e , juicio j , opción o , experiencia x
- 01 Generar la tabla *conceptos*, por medio de:
 - 02 Recuperar el perfil de la opción o , experiencia x .
 - 03 Recuperar los conceptos relacionados con las técnicas de secuencia
 - 04 Recuperar los conceptos relacionados con las clases de contenido
 - 05 Recuperar los conceptos relacionados con los niveles de evaluación
- 06 Crear la tabla de *opciones* con base en las combinaciones posibles entre los conceptos de secuencia, contenido y evaluación
- 07 Recuperar el perfil del estudiante e
- 08 Recuperar el conocimiento adquirido por el estudiante e , con relación al juicio j
- 09 Generar la tabla *relaciones*, por medio de:
 - 10 Para cada concepto c de la tabla *conceptos*:
 - 11 Recuperar las relaciones en que el concepto c aparece como origen o destino
 - 12 Para cada renglón r de la tabla *opciones* generar una instancia i de mapa cognitivo, por medio de:
 - 13 Integrar los conceptos para la combinación declarada en r
 - 14 Integrar las relaciones para la combinación declarada en r
 - 15 Identificar los conceptos raíz, aquellos que solamente participan como antecedente les corresponde el nivel 0
 - 16 Identificar el flujo secuencial de las relaciones. Por ello, a partir de los conceptos raíz se asocia a los restantes el número consecutivo de nivel que les corresponde

4.4.3.3 Algoritmo para simular la instancia de mapa cognitivo

El procedimiento para simular la instancia de mapa cognitivo aplica los lineamientos definidos en la Sección 4.4.3, a efecto de procurar la mejor opción de experiencia, tal como se presenta en el Algoritmo {4-5}.

- 00 **Algoritmo {4-5}** Simular instancia i de los mapas cognitivos
- 01 Establecer parámetros para controlar la simulación, como límite de ciclos y número de conceptos
- 02 Inicializar el contador de ciclo = 1
- 03 Mientras el estado de la instancia i de los mapas cognitivos no sea estable, o no sea caótico, o no se alcance el límite de ciclos:
 - 04 Para cada concepto c que aparece en la instancia i de los mapas cognitivos:
 - 05 Si el concepto c es el consecuente de al menos una relación causal entonces:
 - 06 Hacer inferencia a nivel de concepto {4-6}
 - 07 Incrementar el contador de ciclo = ciclo + 1
 - 08 Evaluar si la simulación arribó a un estado estable o caótico

El algoritmo para la inferencia a nivel de concepto aplica los postulados, axiomas y ecuaciones expuestos en la Sección 4.3.5, particularmente los criterios establecidos en la Sección 4.3.5.2 conforme a la descripción que aparece en el Algoritmo {4-6}:

- 00 **Algoritmo {4-6}** Inferencia a nivel de concepto
- 01 Recuperar registro ontológico correspondiente al concepto c
- 02 Recuperar registros ontológicos correspondientes a los términos lingüísticos del concepto c

- 03 Hacer referencia a las relaciones causales r (causal-difusa o inferencia-difusa) en donde el concepto c es su consecuente
- 04 Para cada relación causal r (causal-difusa o inferencia-difusa) cuyo consecuentes es c
- 05 Recuperar el registro ontológico correspondiente a la relación causal r
- 06 Recuperar el registro ontológico correspondiente al concepto a que es el antecedente de r
- 07 Hacer referencia a las bases de reglas y macros usadas para definir la relación causal $r: a \rightarrow c$
- 08 Para cada definición de la relación r entre $a \rightarrow c$ descrita en una base de reglas o macro:
- 09 Estimar la inferencia a nivel de relación r {4-7}
- 10 Almacenar el CCS r derivado de las relaciones causales r
- 11 Clasificar los CCS r derivados de las relaciones causales r
- 12 Caso: de acuerdo con la Sección 4.3.5.2, pueden ser:
 - relación causal-difusa a la baja
 - relación causal-difusa al alza
 - relación inferencia-difusa a la baja
 - relación inferencia-difusa al alza
 - relación inferencia-difusa de nivel
- 13 Estimar efecto de acumulación sobre el concepto c {4-9}
- 14 Estimar efecto de refuerzo sobre el concepto c {4-10}
- 15 Hacer la conversión lingüístico-numérica {4-11}
- 16 Integrar efectos sobre el concepto c {4-12}
- 17 Estimar efecto variación-nivel sobre el concepto c {4-13}

El algoritmo de inferencia a nivel de relación aplica los lineamientos vertidos en las secciones 4.3.6.1 y 4.3.6.2 de la forma mostrada en el Algoritmo {4-7}:

- 00 **Algoritmo {4-7}** Inferencia a nivel de relación
- 01 Si la relación causal r está definida por una base de reglas b entonces:
- 02 Identificar tipo de relación: nivel-variación, variación-variación, variación y nivel-nivel
- 03 Recuperar el registro ontológico correspondiente a la base de reglas b de la relación causal r
- 04 Identificar número de términos lingüísticos que usa el concepto antecedente a en la relación r
- 05 Para cada término lingüístico t que usa el concepto antecedente a :
- 06 Buscar la regla g de la base de reglas b en que el término lingüístico t es antecedente
- 07 Identificar el término lingüístico u que es el consecuente de la regla g
- 08 Recuperar el grado de membresía que corresponde al concepto antecedente a :
- 09 Calcular el efecto de la relación {4-8}
- sino: (se trata de una relación causal r que está definida por una macro m)
- 10 Identificar tipo de relación: nivel-variación, variación-variación, variación y nivel-nivel
- 11 Recuperar el registro ontológico correspondiente a la relación causal macro m entre $e \rightarrow c$
- 12 Identificar número de términos lingüísticos que usa el concepto antecedente a en la relación r
- 13 Para cada término lingüístico t que usa el concepto antecedente a :
- 14 Buscar el registro g de la tabla de *macros* para el tipo de macro de la relación r
- 15 Identificar el término lingüístico u que es el consecuente conforme al registro g
- 16 Recuperar el grado de membresía que corresponde al concepto antecedente a :
- 17 Calcular el efecto de la relación {4-8}

El procedimiento para calcular el efecto de la relación observa los postulados vertidos en las secciones 4.3.6.3, 4.3.6.4 y 4.3.6.5 que corresponden respectivamente al escalamiento de conjuntos difusos, a la agregación de conjuntos difusos y a la generación del conjunto causal de salida en la forma mostrada en el Algoritmo {4-8}.

UN MODELO DEL ESTUDIANTE BASADO EN MAPAS COGNITIVOS

- 00 **Algoritmo {4-8}** Calcular el efecto de la relación
- 01 Si únicamente un término lingüístico u corresponde al consecuente entonces:
- 02 Generar el CCS con el conjunto difuso del término lingüístico u
- sino:
- 03 Si los términos lingüísticos u correspondientes al consecuente son los mismos entonces:
- 04 Generar el CCS con el conjunto difuso del término lingüístico u
- sino: (los términos lingüísticos u son diferentes, por ello deben integrarse en un CCS)
- 05 Escalar los conjuntos difusos de los términos lingüísticos $u1$ y $u2$ con el método Max_Dot, conforme con las ecuaciones (3.2^a) a (3.2^l)
- 06 Agregar los conjuntos difusos escalados de los términos lingüísticos $u1$ y $u2$, de acuerdo con las ecuaciones (3.3^a) y (3.3^b)
- 07 Generar el CCS a partir del conjunto difuso agregado, ecuaciones (3.5^a) a (3.5^e)

Conforme a las especificaciones establecidas en la Sección 4.3.5.3, dedicada a la estimación del efecto de acumulación, se crea el CVS en la forma establecida en el Algoritmo {4-9}.

- 00 **Algoritmo {4-9}** Estimar efecto de acumulación, Ecuación (3.6^a)
- 01 Para los dos tipos de relación causal-difusa (a la baja y al alza):
- 02 Clasificar los CCS descendientemente
- 03 Identificar el CCS m con mayor variación, Ecuación (3.6^b)
- 04 Asignar el CCS m como el CVS actual (CVS a)
- 05 Para los CCS r restantes:
- 06 Identificar el conjunto con mayor variación VOS a : CCS r , Ecuación (3.6^b)
- 07 Desplazar al conjunto con menor variación (VOS a o CCS r_i), Ecuación (3.7^a)
- 08 Estimar la acumulación del acarreamiento difuso, ecuaciones (3.7^b) y (3.7^c)
- 09 Controlar el desborde, mediante:
- 10 Identificar la región libre
- 11 Estimar la longitud del área extra
- 12 Estimar la longitud de corrimiento
- 13 Estimar el área extra del área total
- 14 Compensar la eliminación

La estimación del efecto de refuerzo, descrita en la Sección 3.3.7, se aplica a los tres tipos de relaciones de inferencia-difusa: a la baja, al alza y de nivel. El algoritmo responsable se basa en las especificaciones expuestas en la Sección 4.3.5.4, las cuales a su vez descansan en los axiomas 3-3 y 3-4 y las ecuaciones 3.3^a y 3.3^b. Como resultado se crea un CDR de la forma mostrada en el Algoritmo {4-10}:

- 00 **Algoritmo {4-10}** Estimar el efecto de refuerzo
- 01 Para los tres tipos de relación de inferencia-difusa (a la baja, al alza y de nivel):
- 02 Clasificar los CDR descendientemente
- 03 Identificar el CDR m con mayor variación, Ecuación (3.6^b)
- 04 Asignar el CDR m como el CDR a
- 05 Para los CDR r restantes:
- 06 Agregar el CDR r al CDR a , ecuaciones (3.3^a) y (3.3^b)
- 07 Si el CDR r corresponde al mismo término lingüístico que el CDR a entonces:
- 08 Mantener el mismo CDR a
- sino:
- 09 Crear un nuevo CDR a por la agregación de CDR a y CDR r

El algoritmo para hacer la conversión lingüístico-numérica se ciñe a las especificaciones de las secciones 4.3.5.5 y 4.3.5.6 en la forma descrita en el Algoritmo {4-11}.

- 00 **Algoritmo {4-11}** Hacer conversión lingüístico-numérica
- 01 Calcular el efecto final de variación causal a partir de los CVS a la baja y al alza, Ecuación (3.8)
- 02 Calcular el efecto final de variación difusa a partir de los CDR a la baja y al alza, Ecuación (3.8)
- 03 Calcular el efecto final de nivel lingüístico a partir de los CDR de nivel, Ecuación (3.9)
- 04 Hacer la conversión numérico-lingüística para identificar los términos lingüísticos que expresan:
- 05 Variación para el efecto final de la variación causal
- 06 Variación para el efecto final de la variación difusa
- 07 Nivel para el efecto final del nivel lingüístico n

En relación con la integración de efectos, el proceso observa las especificaciones de la Sección 4.3.5.7. Este procedimiento se basa en el método descrito en la Sección 4.3.5.3 para recrear el Algoritmo {4-12} de la siguiente forma:

- 00 **Algoritmo {4-12}** Integrar efectos
- 01 Si existen términos lingüísticos que expresan la variación causal final c y la variación difusa final d entonces:
- 02 Estimar efecto de acumulación con base en los dos términos lingüísticos c y d , {4-9}, (3.6^a)
- 03 Calcular variación final a partir de la integración de los dos términos lingüísticos c y d , (3.8)
- 04 Hacer la conversión numérico-lingüística para identificar al término lingüístico de variación final

Por último, el algoritmo orientado a implementar la funcionalidad descrita en la Sección 4.3.5.8, se dedica exclusivamente para los conceptos que caracterizan su estado mediante términos lingüísticos biestables que representan el nivel y la variación de su estado. Por lo tanto, una vez obtenido el término lingüístico de *variación final*, estimada por medio del Algoritmo {4-12}, se procede a calcular el *nivel final* mediante el Algoritmo {4-13}:

- 00 **Algoritmo {4-13}** Estimar efecto variación-nivel
- 01 Recuperar la base de reglas difusas que corresponde a la relación variación-nivel en turno
- 02 Identificar la regla que se activa v con base en:
- 03 El valor de variación final obtenido en la iteración actual t
- 04 El valor de nivel final obtenido en la iteración inmediata anterior $t-1$
- 05 Identificar el término lingüístico para el consecuente s de la regla activada v

De esta forma se han descrito los principales algoritmos que integran el prototipo del modelo del estudiante basado en mapas cognitivos. En cuanto a la programación de los algoritmos, ésta se realiza a través de componentes y agentes, tal como se presenta en los apéndices 1 y 2.

4.5 Conclusiones

El modelo formal del modelo del estudiante basado en mapas cognitivos se describió en este capítulo mediante la definición de cuatro elementos, a saber: fundamentos para el modelado, el marco formal para el modelado del estudiante, el marco conceptual de los mapas cognitivos y el conjunto de algoritmos necesarios para su implementación.

Mediante los fundamentos para el modelado se estableció el procedimiento conceptual que se aplica para el diseño de un modelo. En este escenario, se parte del conocimiento sensorial que el individuo percibe a través de sus sentidos, para posteriormente desarrollar el conocimiento lógico. Basado en este tipo de conocimiento, la persona define conceptos y juicios que son empleados en el razonamiento. Con estos tres elementos, el individuo crea los modelos que le permiten estudiar objetos o fenómenos específicos como lo es el modelo del estudiante.

Con el modelo del estudiante se busca representar las creencias que el SEBW tiene sobre la personalidad del individuo, sus preferencias de aprendizaje y sus capacidades cognitivas. Además, se trata de caracterizar las estrategias de secuencia, los contenidos y las formas de evaluación que un SEBW brinda. Estos elementos se expresan por medio de proposiciones.

Con respecto al mapeo cognitivo, el proceso se fundamenta en el principio de causalidad, en la descripción de los mapas cognitivos, en el diseño de la topología de los mapas cognitivos y en el escenario de inferencia, el cual se compone por tres niveles: mapa, concepto y relación.

Mediante el conjunto de algoritmos definidos en el marco formal se establecen las guías que orientan la implementación del prototipo que se expone en los apéndices 1, al 4.

Capítulo 5

Verificación

*He aquí que Tú amas la verdad en lo íntimo,
Y en lo secreto me has hecho comprender sabiduría.
(Salmos 51.6)*

De acuerdo con Bunge (1979), las ciencias fácticas se ocupan de hechos o fenómenos que ocurren en la experiencia. En el campo de los hechos para afirmar que un enunciado es verdadero, se requiere de información empírica derivada de observaciones y experimentos. Por ello, al reconocer que el problema de investigación de la tesis se inscribe en el campo de las ciencias fácticas, se hace necesario acudir a la verificación de su hipótesis. La verificación se orienta a comprobar hipótesis acerca de hechos o fenómenos observables que ocurren en la realidad y se lleva a cabo mediante técnicas que involucran la experiencia. Por tal motivo, con base en el diseño del experimento de la Sección 1.5.3, en este capítulo se presentan los fundamentos de la verificación, el planteamiento del experimento, la recolección de datos empíricos, el análisis de la información empírica y la exposición de los resultados. Al final del capítulo se exponen las conclusiones de la verificación.

5.1 Encuadre teórico de la verificación

Con el propósito de establecer las bases de la verificación realizada para comprobar la hipótesis de la investigación, en esta sección se plantean el marco epistemológico de la investigación, el perfil de la investigación, la descripción de la hipótesis y los fundamentos de la comprobación experimental que se llevó a cabo para sustentar la tesis. Así mismo, en cada uno de las siguientes secciones, se explica cómo dichos lineamientos fueron llevados al terreno del experimento realizado.

5.1.1 Marco epistemológico de la investigación

La epistemología (del griego *episteme*: conocimiento, y *logo*: teoría), también conocida como la teoría del conocimiento o gnoseología (del griego *gnosis*: conocimiento, y *logos*: estudio), es la disciplina cuyo objeto de estudio es saber cómo se hace posible el conocimiento. La epistemología se plantea problemas relacionados con el conocimiento, a saber: la posibilidad, el origen, la estructura, la esencia y las formas. Estos problemas se han afrontado mediante posturas que establecen un enfoque de atención, por lo que a continuación se introducen las que corresponden con el objeto de la presente investigación, su hipótesis y verificación.

En cuanto a la posibilidad del conocimiento, este problema plantea si es posible el conocimiento. La postura que se adopta en la tesis se denomina *escepticismo provisional*. Esta clase de escepticismo duda transitoriamente de la realidad con la intención de encontrar una verdad segura sobre la cual afirmar un conocimiento certero. El escepticismo provisional es el que explicó Descartes en su obra intitulada “Discurso del método”.

Con respecto al origen del conocimiento, en este problema se investigan los fundamentos del conocimiento. Por ello, se adopta en la investigación la corriente del *empirismo* (del griego *emperia*: experiencia). El empirismo sostiene que el fundamento del conocimiento se busca en el mundo de lo sensible que aprecia los hechos y fenómenos. El acervo del conocimiento son las ciencias fácticas que se apoyan en la observación y en la experimentación.

En relación con la estructura del conocimiento, se busca identificar cuáles son los principales elementos que integran el fenómeno del conocimiento. Por tanto, de acuerdo con Albarrán y Escobar (2004) son cuatro los elementos que estructuran el conocimiento, a saber: 1) sujeto: es el ser que pretende conocer el objeto; 2) objeto: es la entidad o fenómeno, físico o abstracto, que es aprehendido por el sujeto; 3) representación: es la imagen de la realidad plasmada en la mente del sujeto acerca del objeto; 4) sociedad: es el contexto socio-histórico que enmarca el conocimiento. En el caso particular de la tesis, el sujeto corresponde al modelo del estudiante, el objeto al fenómeno de enseñanza-aprendizaje, la representación al mapa cognitivo, y la sociedad es el contexto recreado por la experiencia provista por un SEBW.

En torno a la esencia del conocimiento, se plantea si el sujeto o el objeto es el elemento más importante del conocimiento. La postura del *realismo natural*, argumentada por Aristóteles, establece que el factor más relevante es el objeto, por lo que todas las propiedades del mismo que son percibidas por el sujeto tienen una correspondencia en las cosas, con independencia de la conciencia cognoscente. Además del realismo natural, en la tesis también se adopta el *idealismo objetivo*. En esta postura, el elemento más importante es el sujeto cognoscente. Según el idealismo objetivo, el sujeto es una conciencia general y objetiva, cuyo contenido es un conjunto de juicios que ostentan validez objetiva. Esta postura busca representar la realidad como entidades lógicas elaboradas en la mente del sujeto.

Las formas de conocimiento revelan la manera de cómo se genera el conocimiento. Por ello, en la tesis se aplica el *conocimiento discursivo*, el cual se basa en el discurso lógico y racional. Esta forma de conocimiento parte de premisas para arribar a conclusiones con base en el encadenamiento de juicios y argumentaciones representadas en el razonamiento causal-difuso.

5.1.2 Perfil de la investigación

En el marco de las corrientes de pensamiento encaminadas a la búsqueda de conocimiento se encuentra el enfoque *cuantitativo* de la investigación. En el enfoque cuantitativo se usa la recolección de datos para probar las hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico. La interpretación de la información empírica constituye una explicación de cómo los resultados encajan en el conocimiento existente. La investigación cuantitativa busca generalizar los resultados encontrados en una muestra a una población, además de intentar replicar los hallazgos. Con el paradigma cuantitativo se pretende explicar y predecir los fenómenos investigados, así como se buscan regularidades y relaciones causales entre elementos (Hernández, et al., 2006). Es pues el enfoque cuantitativo el que corresponde a la presente investigación doctoral, por lo que a continuación se precisa su alcance explicativo.

La investigación de alcance explicativo pretende establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian. La investigación explicativa, además de describir los objetos y establecer relaciones entre los conceptos, identifica las causas que provocan los eventos. De acuerdo con el planteamiento del problema de investigación, asentado en la Sección 1.2.1, sus *conceptos clave* revelan lo que se desea estudiar. En consecuencia, los conceptos clave de esta investigación de alcance explicativo se correlacionan como un par de constructos ligados por una relación causa-efecto, tal como se visualizan en la Figura 5.1. En la ilustración, el concepto causa corresponde a las experiencias provistas por un SEBW, el concepto efecto revela el aprendizaje del estudiante y la relación causal refleja el estímulo positivo.

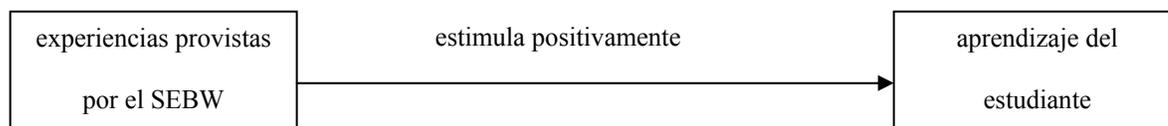


Figura 5.1 Conceptos clave de la investigación explicativa

5.1.3 Descripción de la hipótesis

Según Villoro (1982), para definir la creencia es necesario considerar las relaciones del hombre con su mundo circundante, por lo que su definición es de carácter epistémico, y responde más bien a la necesidad de saber si el objeto de la actitud forma parte o no del mundo real. De este modo, creer algo implica tener expectativas y disposiciones que regulan la relación del individuo con el mundo circundante. Por ello, la creencia es definida como: la disposición de un sujeto considerada como cuánto relación tiene con la realidad.

Las creencias admiten grados de certeza según sean las razones en que se fundamenten. Las razones equivalen a los referentes que le aseguran a la persona que su acción está determinada por la realidad, la cual le marca las pautas de orientación. Las razones pueden ser intuiciones, emociones estéticas, experiencias personales o expectativas religiosas. En suma, las creencias le garantizan al individuo el acierto de su acción en el mundo. Por tanto, aquellas creencias que son emanadas de algunos indicios, pistas o señales se les denominan *conjeturas*.

La hipótesis es pues una conjetura que establece una relación entre dos o más variables para explicar y predecir un fenómeno y cuyo enunciado debe ser susceptible de comprobación. Por tanto, la hipótesis de la tesis, presentada en la Sección 1.3.1, es ante todo una conjetura de investigación, puesto que representa una proposición tentativa sobre las posibles relaciones entre diversas variables. Inclusive, se considera una hipótesis de investigación la que establece una relación causal, puesto que manifiesta una relación causa-efecto entre las variables. Esta afirmación se deriva de la correlación entre la variable independiente, *selección de la experiencia*, y la variable dependiente, *aprendizaje*. También, del hecho de que la variable independiente ocurre antes que la dependiente, y que es a partir de los cambios en la causa que se provocan modificaciones en el efecto.

Abundando en el análisis de la hipótesis planteada en esta investigación, ésta es multivariada, pues en cierto modo hay dos variables independientes que se relacionan causalmente con la variable dependiente. Es decir, la variable *perfil del individuo*, también contribuye en el efecto sobre la variable dependiente. Más aún, el rol preciso que le corresponde al concepto *perfil del individuo* es el de una variable *interveniente*, pues modifica la relación causal entre la variable independiente y la variable dependiente, tal como se ilustra en la Figura 5.2.

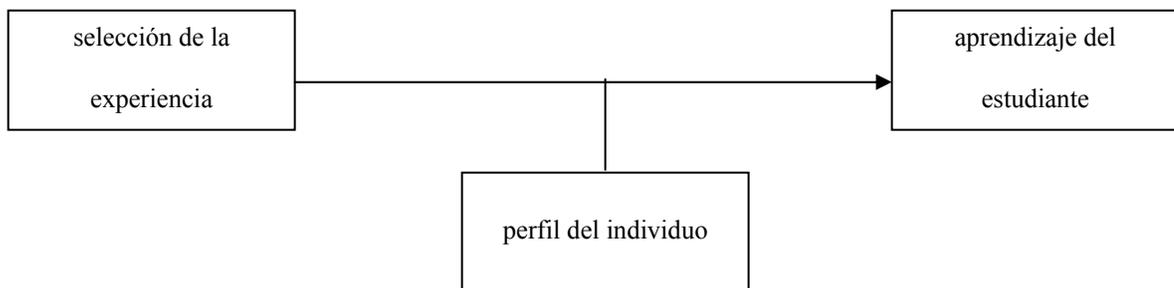


Figura 5.2 Esquema causal de la hipótesis de investigación causal con variable interveniente

5.1.4 Fundamentos de la verificación

De acuerdo con Chávez (2005) la *verificación*: “Es el proceso de comprobar, mediante una nueva operación, la verdad o exactitud de un resultado obtenido, así como determinar si un resultado es verdadero o falso.” En el marco de esta definición, el término *comprobar* significa: “Dar certeza a una conjetura; así como buscar la veracidad o la exactitud de una suposición o de un resultado obtenido antes.”

En relación con la aceptabilidad de la hipótesis, ésta debe poseer seis criterios para estimar su valor después de someterla a prueba, tal como lo señala Copi (1972); estos criterios son:

1. Simplicidad. La hipótesis debe contener el menor número posible de variables, tal que pueda expresar correctamente la conjetura a comprobar.
2. Atinencia. El hecho por explicar debe derivarse de la hipótesis. La derivación se hace a partir de la hipótesis misma y debe constituir una solución al problema planteado.

3. Contrastabilidad. La hipótesis debe poderse comparar contra los hechos reales mediante observaciones y experimentos.
4. Predicción. Es el conjunto de hechos observables que pueden deducirse de la hipótesis.
5. Explicación. Las predicciones acertadas sirven para explicar la hipótesis.
6. Compatibilidad con el conocimiento previo. La hipótesis debe ser consistente con el cuerpo de conocimientos propio de su ámbito de estudio.

La observancia de los criterios para determinar la aceptabilidad de la hipótesis se logró de la siguiente forma: 1) simplicidad: la hipótesis consta de tan solo tres variables; 2) atinencia: al proponer el tomar en cuenta el perfil del individuo para elegir la experiencia que estimule positivamente el aprendizaje del estudiante, la hipótesis ofrece una solución al problema planteado; 3) contrastabilidad: la hipótesis se compara con el experimento que se reporta en este capítulo y en el Apéndice 5; 4) predicción: el grado de precisión de las estimaciones derivadas del razonamiento casual-difuso se presenta en la Sección 5.4; 5) explicación: como resultado del grado de precisión de las predicciones, la explicación de la hipótesis alcanza un grado satisfactorio, tal como se detalla en la Sección 5.4; 6) compatibilidad: una vez verificada la propuesta, su modelo formal acumula evidencia empírica al marco teórico correspondiente al ámbito de estudio de la tesis, el cual aparece en el Capítulo 3.

Esencialmente, la verificación se realiza mediante la combinación de las técnicas conceptuales y las técnicas empíricas. Las primeras comprueban las hipótesis en forma lógica y racional. Las técnicas conceptuales se usan para plantear problemas, formular hipótesis y derivar consecuencias. También se emplean para realizar razonamientos lógicos y cálculos numéricos basados en la lógica y en la matemática.

En lo concerniente a las técnicas empíricas, éstas se basan en la observación y experimentación de hechos reales. Por medio de la observación se adquiere una percepción intencionada e ilustrada del objeto de estudio. Por ello, se usan cuatro elementos: el objeto de observación, el sujeto observador, las circunstancias y los medios de observación. En cambio, la experimentación es la reproducción intencionada de ciertos fenómenos con el propósito de estudiarlos, para lo cual se realizan actividades como: identificar los factores relevantes del hecho; determinar cuáles factores se modificarán; aplicar las alteraciones a los factores elegidos; estimar la consecuencia sobre los factores que no se modificaron; repetir el experimento tantas veces como sea necesario.

En la verificación de la hipótesis de la investigación se emplean la deducción formal y el análisis estadístico derivado de la observación y la experimentación. Es decir, la consecuencia deducida de la hipótesis, se comprueba experimentalmente de los hechos arrojados por la verificación. Esto significa que al validar experimentalmente la consecuencia, se aporta evidencia favorable para la hipótesis, por lo que garantiza que ésta no es falsa; pero no significa que la hipótesis sea verdadera.

5.2 Planteamiento del experimento

En esta sección se establece la logística para dirigir la verificación de la hipótesis. Por ello, se exponen a continuación los conceptos que fundamentan el entorno de la comprobación experimental y los criterios de validez necesarios para otorgar confiabilidad al experimento. También, se presentan los argumentos para la selección de la muestra de voluntarios que participan en el experimento y se explica el flujo de trabajo que se aplica durante la verificación.

5.2.1 Logística

El experimento que se realiza en la investigación se define como una situación de control, en la cual se manipulan intencionalmente las variables independientes con el propósito de analizar las consecuencias causales que producen sobre la variable dependiente. El diseño del experimento se ciñe al enfoque cuantitativo de la investigación, al paradigma deductivo y al análisis estadístico a efecto de validar la hipótesis de la tesis presentada en la Sección 1.3.1.

En lo concerniente al contexto del presente experimento, éste corresponde al *experimento de campo*, pues se trata de una verificación efectuada en una situación realista en el que las variables independientes son manipuladas por el experimentador en condiciones controladas como lo permita la situación. De acuerdo con el dominio de la tesis, el campo del experimento es la educación basada en Web. Por tanto, durante la verificación se provee un curso sobre “Metodología de la investigación científica” a una muestra de voluntarios que participan en un conjunto de experiencias provistas por el SEBW a través de la Internet.

El planteamiento del experimento procura satisfacer cinco criterios, a saber: 1) manipulación intencional de las variables independientes; 2) medir el estado de la variable dependiente; 3) medir el efecto que tiene la activación de la variable independiente sobre la variable dependiente; 4) garantizar la validez interna; 5) procurar la validez externa. La forma en que son satisfechos los primeros tres requisitos se explica a continuación, mientras que la manera en que se cumplen los últimos dos se aborda en la siguiente sección.

Para acometer al primer requisito, la variable independiente *selección de la experiencia* y la variable interviniente *perfil individual*, son consideradas como dos variables independientes cuya manipulación se hace al unísono como si se tratase de una sola variable independiente. Con base en esta asunción, se manipula la “única” variable independiente con *dos grados* de nivel. Este nivel representa la *presencia-ausencia* de la variable independiente. Por ello, cada grado de manipulación involucra un grupo de voluntarios en el experimento. Es decir, el *grupo experimental* se compone de voluntarios que participan en el experimento bajo la activación de la variable independiente, en tanto que el *grupo de control* se compone de voluntarios que no están sometidos al efecto de la variable independiente durante el experimento. En resumen, se trata de activar el funcionamiento del modelo del estudiante basado en mapas cognitivos para recomendar la opción de experiencia que estimule el aprendizaje del voluntario que pertenezca al grupo experimental.

La satisfacción del segundo requisito se basa en la *definición operacional* para la variable dependiente, expresada en la Tabla 1.1. Por ello, se realizan mediciones de preprueba y posprueba. La primera ocurre antes de iniciar el experimento: a través de ella se identifica el nivel preliminar de conocimientos que de acuerdo con la taxonomía de Bloom, el voluntario ostenta sobre una *muestra clave de conceptos*. La posprueba se realiza después de la provisión de las experiencias. En la posprueba se evalúa el nivel final de conocimientos una vez más con base en la taxonomía de Bloom, el voluntario alcanza sobre la muestra clave de conceptos. Posteriormente, se estima la diferencia entre el nivel final y el nivel preliminar de conocimientos para la muestra de conceptos clave, a efecto de calcular el *aprendizaje logrado* por el voluntario. Este factor revela el número de niveles que el conocimiento del voluntario ascendió en la taxonomía de Bloom. Por ejemplo, si el conocimiento preliminar del voluntario sobre el concepto *ciencia* correspondió al nivel dos, *aplicación*, y al final del experimento alcanza el nivel cinco, *síntesis*, el aprendizaje logrado para dicho concepto fue de tres niveles.

Para satisfacer el tercer requisito se estiman indicadores estadísticos que revelan el aprendizaje logrado por los voluntarios pertenecientes a los grupos experimental y de control. Por ello, en la Sección 5.3 se presenta el procedimiento para la recolección de datos cuantitativos, mientras que en la Sección 5.4 se analizan los datos cuantitativos mediante indicadores estadísticos. A través del análisis descriptivo e inferencial de la hipótesis se compara el aprendizaje alcanzado promedio de los dos grupos. Por tanto, las diferencias que se descubran, representan el efecto que tiene la activación de la variable independiente sobre la variable dependiente.

5.2.2 Validez

En aras de asegurar la confiabilidad del experimento, en la presente investigación se busca satisfacer las condiciones de validez interna y externa. En cuanto a la validez interna, ésta concierne al grado de confianza que se tiene de que los resultados del experimento son interpretados adecuadamente y son válidos. Por lo que respecta a la validez externa, en esta condición se busca generalizar los resultados del experimento a diversas muestras, a otras poblaciones y a situaciones no experimentales, es decir casos reales.

Para lograr la validez interna se procura que la verificación de la hipótesis corresponda con un *experimento puro*. Por ello, se deben satisfacer los requisitos de: 1) garantía de la presencia de una relación causal; 2) eliminación de las explicaciones rivales; 3) control del experimento.

La presencia de una relación causal en el experimento se garantiza al cumplir dos condiciones: observar que la variable independiente hace variar a la variable dependiente; y apreciar que la variación de la variable dependiente es el resultado de la manipulación de la variable independiente y no a otras causas. Este par de condiciones son satisfechas a la luz del análisis estadístico revelado en la Sección 5.5, en donde se resumen los resultados del experimento.

En torno a las explicaciones rivales, éstas son fuentes de invalidación interna que ocurren por la aparición de factores ajenos al experimento, pero que pueden influenciar sus resultados. Las causas que son eliminadas en este experimento provienen de las explicaciones rivales definidas por Campbell (1975) y son tratadas como variables de ruido de la siguiente forma:

- Historia. Durante el experimento los voluntarios afrontan una serie de circunstancias comunes, en la que sin excepción, el sujeto realiza ciertas actividades y encara situaciones especiales que ponen en práctica su interés y capacidad. Dicha reseña aparece documentada en el Apéndice 5.
- Maduración. Es el proceso interno por el que transita el voluntario como resultado de llevar a cabo las diversas actividades encomendadas durante el experimento. Este proceso se traduce en la manifestación del interés y del compromiso real del sujeto que finalmente participa en la verificación. Por ello, de una población de voluntarios solicitantes, solamente se eligen aquellos sujetos que cumplen con todas las actividades y requisitos.
- Inestabilidad. Los voluntarios deben contar con los recursos necesarios para acceder al portal Web, el que se emplea para realizar el experimento y resolver los problemas técnicos de seguridad y de compatibilidad en las versiones del programa navegador. Por lo tanto, la muestra de voluntarios que reciben la invitación para participar en las dos últimas etapas del experimento, debe ser capaz de superar esta variable.
- Administración de pruebas. En la aplicación de los exámenes psicométricos preliminar de conocimientos sobre “Metodología de la investigación científica” y al final, sobre el conocimiento adquirido en esa materia, el voluntario sólo recibe una oportunidad para realizarlos. Por ello, se evita el efecto de la repetición de la prueba, con sus implicaciones de predisponer a la persona para efectuar por segunda vez un mismo examen.
- Instrumentación. Los instrumentos de medición psicométricos y de conocimientos de los que consta el experimento son aplicados a todos los voluntarios sin excepción.
- Deserción. De acuerdo con la crónica del experimento, relatada en el Apéndice 5, de entre la muestra de voluntarios que participa en la provisión de las experiencias, solamente son involucrados los sujetos que manifiestan un real interés y compromiso con el experimento. Por lo tanto, la deserción durante la quinta y la sexta etapas del experimento es mínima.
- Interacción entre selección y maduración. La asignación de sujetos a los grupos de control y experimental se ciñe a los criterios de apareamiento, descritos en la Sección 5.2.3, en donde se procura la equivalencia en nivel de estudios.
- Difusión de tratamientos experimentales. Para reducir la posibilidad de comunicación entre los sujetos, la muestra está dispersa geográficamente en la república mexicana y se compone por voluntarios de diversas instituciones educativas, de investigación y del poder ejecutivo federal. Así mismo, se evita compartir información entre los voluntarios o realizar actividades colaborativas.
- Actuaciones anormales de los grupos. El experimento es cerrado, por lo que se evita difundir al sujeto información que revele la naturaleza de la verificación, la existencia del modelo del estudiante, la influencia que el modelo del estudiante ejerce sobre la provisión de las experiencias y la pertenencia del voluntario a un grupo experimental o de control.

En relación al control del experimento, éste se alcanza en la presente investigación mediante la aplicación de dos medidas: 1) la integración de dos grupos de comparación, el experimental y el de control; 2) la equivalencia de los dos grupos por medio de las técnicas de apareo y asignación al azar. Este par de medidas son explicadas en la Sección 5.2.3.

Con respecto a la validez externa, en esta investigación se atienden las fuentes de invalidación externa, sugeridas por Hernández et al. (2006), de la siguiente forma:

- Efecto reactivo. En este experimento todos los sujetos presentan el mismo conjunto de pruebas. Por tanto, no existe el riesgo que algunos voluntarios sean estimulados de manera diferente que otros como resultado del efecto que produce cierto examen.
- Efecto de interacción entre selección y tratamiento. El experimento se abre a la población académica con estudios a nivel superior o posgrado de cualquier disciplina. El curso que se ofrece es de propósito general, “Métodos para la investigación científica”. Por tal motivo, el experimento es replicable en estudiantes y profesores de cualquier rama y centro de estudios que ostenten un nivel académico mínimo de licenciatura.
- Efecto reactivo del tratamiento experimental. El experimento no es atípico respecto al ámbito real de aplicación, pues todo el proceso se realiza a través de la Web.
- Interferencia de tratamientos múltiples. El diseño del experimento se traduce en un proceso único compuesto por actividades, exámenes y experiencias, en la forma descrita en el Apéndice 5, por lo que los sujetos no participan de tratamientos alternativos.
- Imposibilidad de replicar el tratamiento. La finalidad de la investigación es su aplicación en diversos niveles académicos y para distintos dominios de enseñanza, por lo que *la propuesta* y su procedimiento experimental están al alcance de un amplio universo.
- Descripción insuficiente. La comprobación experimental de la tesis está compilada en el presente capítulo y en el Apéndice 5. Por tanto, se ofrecen los elementos suficientes para que el interesado pueda analizarla y aprovecharla para sus propias investigaciones.
- Efectos de novedad e interrupción. Los SEBW paulatinamente adquieren la aceptación de las personas, por lo que los voluntarios se caracterizan por asumir una actitud positiva a esta clase de experimento. En cuanto al efecto negativo, los sujetos invitados se distinguen porque durante la aplicación de los exámenes psicométricos administran su tiempo para evitar que su actividad cotidiana sea interrumpida por su participación en el experimento.
- Conocer previamente al experimentador. Para evitar que el trato entre el experimentador y el sujeto altere el experimento, el 95% de los voluntarios no conocen al experimentador. Así mismo, la comunicación y el trato entre sujeto y el experimentador es cordial; pero siempre conservando la debida distancia, sin apartarse del motivo de la relación.
- Interacción entre la historia o el lugar. Este experimento puede replicarse en casos reales y en otros experimentos sin importar el lugar, el tiempo, ni los antecedentes, pues la educación y la Internet son dos elementos de consumo masivo y permanente.
- Medición de la variable dependiente. Se emplea el mismo instrumento de medición del conocimiento del voluntario sobre el tema de enseñanza: la taxonomía de Bloom. Por ello, se evita la diversidad de mediciones en la variable dependiente, objeto de la investigación.

5.2.3 Selección de la muestra

En esta sección se exponen los conceptos que se observan para seleccionar la muestra de voluntarios. Así mismo, se explica el procedimiento que se aplica para integrar los grupos de comparación denominados experimental y de control. Con base en este par de fundamentos se garantiza la confiabilidad de la muestra de voluntarios que participa en la comprobación experimental.

En lo concerniente a las unidades de análisis, que son los sujetos de estudio, están las personas que participan como voluntarios en el experimento. Su rol es participar en un proceso compuesto por las siguientes etapas: 1) promoción del experimento; 2) inscripción para participar en el experimento; 3) aplicación de una preprueba de exámenes psicométricos y de conocimientos preliminares a la población; 4) asignación de sujetos a los grupos de comparación que integran la muestra; 5) provisión de las experiencias; 6) aplicación de una posprueba sobre los conocimientos finales adquiridos por los sujetos de la muestra.

El universo o población de voluntarios a los que se dirige el experimento se conforma por personas de academia, es decir, estudiantes o profesores que cursan o imparten clases a los niveles de licenciatura, maestría o doctorado. Inclusive, participan tesis y candidatos interesados en desarrollar sus tesis. El universo al que se dirige la promoción lo componen centros de educación superior y de posgrado, así como instituciones públicas vinculadas con la ciencia y la estadística. En la población se registran voluntarios de veintiséis estados del país.

La muestra es el subgrupo de voluntarios que se elige de la población con la cual se realizan las últimas dos etapas del experimento. Por tanto, la selección de la muestra es no probabilística, pues la decisión de los voluntarios depende fundamentalmente de los criterios de la investigación y del procedimiento que se lleva a cabo. Así mismo, el marco muestral corresponde al 25% del total de sujetos elegidos del universo de estudio. Se emplea la estrategia de *selección natural* entre los voluntarios que componen la población. Para ello, los sujetos que se eligen deben realizar a cabalidad las siguientes actividades: 1) capturar la información completa del registro de datos personales; 2) presentar los cuatro exámenes sobre preferencias de aprendizaje, personalidad, cognición y conocimientos preliminares sobre el dominio de enseñanza –“Metodología de la investigación científica”-; 3) revelar un patrón de respuestas carente de tendencias de mentira, frecuencia o manipulación; 4) confirmar su interés de participar como voluntario durante la provisión de las experiencias.

Los grupos de comparación experimental y de control, observan los criterios de equivalencia inicial y durante el experimento. Por ello, se aplica la técnica de apareo complementada por la asignación al azar. Como resultado se obtiene un número semejante de voluntarios con las siguientes características: 1) nivel académico; 2) estatus; 3) disciplina; 4) grupo de edad. Para el nivel académico hay tres estratos: licenciatura, maestría y doctorado. Con respecto al estatus hay tres opciones: estudiante, pasante-candidato, profesor-titulado-graduado. Las disciplinas se agrupan en tres ramas: ciencias exactas e ingeniería, sociales y administrativas, médico-biológicas. Para el grupo de edad se aplican seis rangos establecidos en el examen cognitivo para adultos WAIS.

5.2.4 Flujo del experimento

Con base en el procedimiento experimental, compuesto por las seis etapas presentadas en la sección anterior, se esquematiza la esencia del flujo de trabajo en la Tabla 5.1. En el flujo, aparecen cuatro etapas relevantes con las claves: *GAi*) integración de grupos de comparación por apareamiento, en donde *GAe* corresponde al grupo experimental y *GAc* al de control; *O*) medición; *X*) activación del modelo del estudiante; *-*) ausencia del modelo del estudiante.

Tabla 5.1 Diseño experimental con preprueba-posprueba y grupo de control

Preprueba	Asignación	Estímulo	Posprueba
0	<i>GAe</i>	X	0
0	<i>GAc</i>	–	0
Se aplica una medición sobre conocimientos preliminares acerca de “Metodología de la investigación científica”	Se asignan sujetos a cada grupo de comparación equivalente por medio de apareamiento	Se administra el estímulo, en donde el modelo del estudiante X está activo – no está activo	Se aplica una medición sobre conocimientos finales acerca de metodología de la investigación científica

5.3 Recolección de información empírica

La observación experimental realizada en esta investigación se traduce en la recolección y medición de datos cuantitativos sobre la muestra de sujetos. De acuerdo con el flujo de trabajo del diseño experimental, presentado en la Tabla 5.1, la observación se aplica en las actividades dos y cuatro. En la preprueba, se aplica el examen de conocimientos preliminares sobre metodología de la investigación científica, y también se realizan los exámenes de preferencias de aprendizaje, personalidad y cognición para formular el perfil del individuo. En la posprueba solamente se aplica el examen de conocimientos finales sobre el dominio de enseñanza. Por tal motivo, en esta sección se presentan los fundamentos para la recolección y medición de datos cuantitativos que son objeto de análisis estadístico. Así mismo, se describen los instrumentos de medición que se emplean para asignar el valorar inicial a los conceptos que integran el modelo del estudiante. Adicionalmente, se explica el procedimiento para la recolección de información empírica con el cual se recrea el estado inicial del modelo del estudiante.

5.3.1 Fundamentos para la recolección

En la presente investigación se establece una serie de cuestiones básicas y se observa un conjunto de criterios durante el proceso de recolección de datos empíricos para garantizar la fidelidad de la información empírica. Estos fundamentos se explican a continuación.

En relación con las cuestiones básicas se determina que: las fuentes de donde se obtienen los datos, son los voluntarios que participan en el proceso completo del experimento. Las fuentes se localizan en la muestra de sujetos seleccionada conforme a los criterios no probabilísticos presentados en la sección anterior. Los medios de recolección son exámenes que se aplican a través de la Web de acuerdo con la definición operacional de las variables. La representación de los datos se basa en el uso de códigos alfanuméricos que facilitan su procesamiento estadístico.

La medición, entendida como el proceso que vincula conceptos abstractos con referentes empíricos, se lleva a cabo mediante el análisis de las tres variables que integran la hipótesis de acuerdo con el enfoque de los modelos cognitivos, pedagógicos y psicométricos presentados en la columna dedicada a la *definición operacional* de la Tabla 1.1.

Los instrumentos de medición empleados en la presente investigación, así como los recursos para registrar los datos, consisten en el conjunto de exámenes y criterios de valoración emanados de los modelos cognitivos, pedagógicos y psicométricos usados en la definición operacional para los tres tipos de variables. Por tanto, los conceptos que integran los dominios que componen a las tres variables de la hipótesis son medidos a través de dichos instrumentos.

La confiabilidad de la medición, aceptada como el grado en que los instrumentos empleados producen resultados consistentes, descansa en el acervo de investigaciones que soporta a los modelos cognitivos, pedagógicos y psicométricos usados en la definición operacional. Por ejemplo, el examen de la personalidad MMPI-2 se ha empleado por más de cuarenta años en diversos países; en tanto que el examen de inteligencia WAIS, cuenta con más de medio siglo de aprovechamiento, como sucede con la taxonomía de Bloom.

La validez, que revela el grado en que en verdad el instrumento mide la variable que se busca evaluar, descansa en el prestigio que han alcanzado los exámenes emanados de los modelos cognitivos, pedagógicos y psicométricos en sus ámbitos de investigación respectivos, y cuya madurez se citó en el párrafo anterior. En la presente investigación se observan los rasgos de validez de contenido, de constructo, de criterio predictivo y de validez total.

La validez de contenido se refiere al grado en que un instrumento refleja el dominio específico de contenido de lo que se mide. La validez de constructo explica el modelo teórico-empírico que subyace a las variables. Ambos criterios son satisfechos, pues los modelos y los instrumentos que se emplean para la definición operacional de las variables corresponden en forma absoluta, amén de gozar de un amplio respaldo formal y práctico. En lo concerniente al criterio predictivo, esta validez se logra al comparar un instrumento con algún criterio que busca medir lo mismo. En este caso la capacidad predictiva de la propuesta se mide con base en la diferencia entre sus pronósticos y los resultados de aprendizaje alcanzado. Finalmente, la validez total es la suma de la validez de contenido, constructo y criterio predictivo.

En esta investigación se busca establecer instrumentos confiables y válidos; es decir, que los instrumentos son capaces de estimar medidas consistentes y de medir lo que se pretende. Por ello, se intenta alcanzar la objetividad del instrumento, en el que el recurso es permeable a la influencia de los sesgos y tendencias del experimentador que lo aplica, evalúa e interpreta (Mertens, 2005). En la presente investigación, esta cualidad se logra en sus recursos mediante el empleo de instrumentos que cuentan con un amplio consenso de empleo y de aceptación en las comunidades epistemológicas de la cognición, la pedagogía y la psicología. Por lo que la contribución de la tesis es: la aplicación de los instrumentos de medición a través de la Web, además de procurar la observación de los criterios y de los procedimientos de evaluación e interpretación emanados de los modelos cognitivos, pedagógicos y psicométricos elegidos.

En relación con la estimación de la confiabilidad de los instrumentos empleados, se considera emplear las medidas de consistencia interna (Hernández et, al., 2006) mediante el cálculo del coeficiente de confiabilidad alfa de Cronbach (1984).

5.3.2 Instrumentos de medición

En esta sección se describen los instrumentos empleados para medir el estado inicial de los conceptos que conforman los dominios que integran las tres variables de la hipótesis. Por ello, se utiliza como primer referente la definición descriptiva para la variable, que se define en la segunda columna de la Tabla 1.1. A partir de este lineamiento, se procede a emplear el modelo e instrumento de medición que corresponde a cada dominio que conforma la variable con base en la definición operacional establecida en la columna del extremo derecho de la Tabla 1.1. Por tanto, a continuación se expone un perfil de los instrumentos empleados para medir los conceptos de las tres variables y cuyos detalles son presentados en el Apéndice 5.

5.3.2.1 Instrumentos para la variable independiente

La variable independiente *selección de la experiencia*, se compone de cuatro dominios, a saber: juicio, contenido, secuencia y evaluación. El modelo que se emplea para medir el estado de los conceptos que componen cada dominio son citados en esta sección. En lo que respecta al instrumento, éste se traduce en los acervos *meta-taxonomía* y *taxonomía* que describen el perfil de la experiencia, cuya estructura aparece en la Sección A4.2.2. La estimación de los valores para los conceptos se basa en el criterio del autor de la presente investigación.

En el dominio *juicio* se precisa el carácter de la experiencia. De acuerdo con los términos definidos en la Sección 4.1.2.1, cada *experiencia* se concibe como un *juicio* en el que se afirma o se niega algo del *concepto*, que es el objeto de enseñanza-aprendizaje. Con base en este referente las experiencias se caracterizan por medio de los cinco atributos que aparecen en la primera columna de la Tabla 5.2.

El dominio *contenido* se fundamenta en el modelo cognitivo y pedagógico que se extrae del trabajo sobre “Teorías de aprendizaje y didáctica de la multimedia” hecho por Guttormsen y Krueger (2000). A partir del estudio realizado sobre dicha obra y otras afines, se eligen las filosofías *objetivista* y *constructivista* que explican el fenómeno del aprendizaje desde una arista en particular. La filosofía objetivista establece que: el individuo aprende a través del proceso de información; en tanto que la filosofía constructiva afirma que: la persona aprende por lo que hace. Con base en estas dos filosofías se diseñan los contenidos de las experiencias. El material de la experiencia se caracteriza por un conjunto de conceptos pedagógicos, que son adecuados para analizar el impacto de la multimedia en el aprendizaje del individuo. Estos criterios revelan el carácter dinámico o estático del contenido, el sentido humano que más se privilegió, auditivo o visual, y la presencia o ausencia de mensajes lingüísticos. Por tanto, seis conceptos son empleados para caracterizar los contenidos que estimulan las dos filosofías de aprendizaje, tal como se presentan en la segunda columna de la Tabla 5.2.

El dominio *secuencia* de las experiencias emplea dos técnicas sugeridas por Brusilovsky y Vassileva (2003): dinámica y participativa. En la primera técnica, la secuencia se lleva a cabo por iniciativa del propio SEBW conforme progresan las experiencias; en tanto que en la segunda técnica se involucra al propio estudiante en la planeación y selección de experiencias. La descripción de cada opción de secuencia consta de los conceptos presentados en las dos columnas que aparecen en el extremo derecho de la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Conceptos de los dominios *juicio*, *contenido* y *secuencia*

Juicio	Contenido	Secuencia dinámica	Secuencia participativa
abstracto	dinámica	adapativa	manejada estudiante
complejo	estática	considera objetivos	negociada
novedoso	sonora	considera progresos	
práctico	visión		
técnico	no lingüística		
	lingüística		

En el dominio *evaluación* de las experiencias se aplica la taxonomía de Bloom (1984) para definir el nivel de conocimientos que ostenta el estudiante sobre un concepto en particular. Esta escala consta de seis niveles que en orden progresivo de manejo del concepto son: conocimiento, comprensión, aplicación, análisis, síntesis y evaluación. Estos niveles son considerados como *objetivos de aprendizaje*, pues son referentes del alcance cognitivo al que arriba el individuo durante su aprendizaje. Para determinar el nivel de conocimientos que corresponde al estudiante, éste debe mostrar evidencia en el manejo de ciertas competencias al momento de responder a una pregunta o de realizar algún ejercicio. Estas competencias son definidas como conceptos que describen al nivel de conocimientos de la taxonomía conforme a la relación que se presenta en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Conceptos asociados a los niveles del dominio *evaluación del conocimiento*

Conocimiento	Comprensión	Aplicación	Análisis	Síntesis	Evaluación
definir	comparar	cambiar	abstraer	contrastar	clasificar
describir	distinguir	ejemplificar	descomponer	criticar	combinar
identificar	explicar	resolver	diferenciar	decidir	integrar
nombrar	interpretar	trasladar	enfocar	fundamentar	organizar
seleccionar	relacionar	usar	interrelacionar	justificar	proyectar
definir	comparar	cambiar	abstraer	contrastar	clasificar

Los conceptos integrantes de los cuatro dominios de la variable independiente son evaluados desde la perspectiva del nivel de su estado. Por ello, se emplea un universo de discurso compuesto por cinco términos cualitativos que revelan magnitudes crecientes de nivel en la forma expuesta en la Tabla 5.4. El rango normalizado de los valores numéricos en el eje de las abscisas para este universo de discurso es $[0, 1]$, tal como aparece en la Figura 3.9^a.

Tabla 5.4 Universo de discurso para evaluar el nivel del estado del concepto

muy bajo	bajo	medio	alto	muy alto
----------	------	-------	------	----------

5.3.2.2 Instrumentos para la variable dependiente

La variable dependiente *aprendizaje del estudiante* consta solamente del dominio: aprendizaje alcanzado. Por tanto, también se utiliza como modelo cognitivo-pedagógico la taxonomía de Bloom (1984), los seis niveles que identifican el dominio del concepto y los treinta conceptos que revelan las competencias alcanzadas por el estudiante que se muestran en la Tabla 5.3.

Los conceptos del dominio *aprendizaje alcanzado* son evaluados a nivel de estado del concepto durante las mediciones de preprueba y posprueba, identificadas en la Tabla 5.1. Por ello, se utiliza como instrumento un examen sobre la *muestra clave de conceptos*, que se presenta en la Tabla 5.5 en donde aparecen los diez conceptos clave. El instrumento consta de una batería de seis preguntas para cada concepto. En la batería, cada reactivo busca identificar si el estudiante ostenta un nivel cognitivo específico conforme a la competencia que se le solicita exhibir para contestar la pregunta o realizar el ejercicio. Por tanto, el cuestionario se compone de 60 preguntas de respuesta abierta, a efecto de evitar influir en la respuesta o darle oportunidad al azar.

Tabla 5.5 Muestra de conceptos clave para evaluar el dominio de aprendizaje alcanzado

ciencia	producto científico	conocimiento	conceptos básicos	conceptos científicos
investigación	razonamiento	planteamiento	comprobación	experimentación

En el modelo del estudiante se consideran a los conceptos del dominio *aprendizaje alcanzado* como biestables, por lo que se realiza una estimación sobre el *nivel* del estado y la *variación* que sufre el estado. Para determinar el nivel del estado se emplea el universo de discurso mostrado en la Tabla 5.4, por lo que el rango normalizado de valores numéricos es $[0, 1]$, ilustrado en la Figura 3.9^a. En lo que concierne a la medición de la variación, se emplea un universo de discurso compuesto por once términos cualitativos organizados en tres clases de efectos causales: estimula, mantiene y desestimula. El primero revela que el estado del concepto es influenciado a transformarse en un sentido positivo, al alza; el segundo indica que no hay alteración para el estado del concepto; el tercero señala que el estado del concepto es sometido a cambios en sentido negativo, a la baja. Los efectos *estimula* y *desestimula* son graduados por cinco términos lingüísticos de intensidad, en tanto que *mantiene* sólo tiene un término. En el primer renglón de la Tabla 5.6 y de izquierda a derecha, aparecen en orden decreciente las cinco intensidades para *desestimula* hasta llegar a *mantiene*; en tanto que en el segundo renglón se muestran de izquierda a derecha las cinco intensidades crecientes para *estimula*. En lo que respecta al eje *X* para este universo de discurso, su rango normalizado de valores numéricos es $[-1, 1]$, en la forma como se muestra en la Figura 3.9^b.

Tabla 5.6 Universo de discurso para evaluar la variación del estado del concepto

desestimula_ muchísimo	desestimula_ mucho	desestimula	desestimula_ poco	desestimula_ muy poco	mantiene
estimula_ muy poco	estimula_poco	estimula	estimula_ mucho	estimula_ muchísimo	

Las mediciones que se aplican al único dominio de la variable dependiente son diversas, pues además de la preprueba y de la posprueba, también se realiza al menos un par de evaluaciones para cada concepto perteneciente a la muestra clave de conceptos durante la provisión del estímulo correspondiente. Esto significa, que cuando es el turno de elegir la opción de la experiencia que corresponde a un concepto de la muestra, se registra la predicción del aprendizaje que alcanza el estudiante para cada opción disponible. Adicionalmente, una vez provista la experiencia, se almacena el resultado que logra el estudiante, es decir la posprueba.

Las mediciones realizadas a los conceptos que conforman al dominio *aprendizaje alcanzado* son registradas en el acervo *conocimiento-adquirido* descrito en la Sección A4.2.2. Es decir, que se almacenan las evaluaciones sobre el conocimiento preliminar del estudiante, la estimación generada por el razonamiento causal-difuso que sirve de base para elegir la opción de experiencia que se provee al estudiante y la medición de posprueba efectuada para revelar el aprendizaje alcanzado por el estudiante.

5.3.2.3 Instrumentos para la variable interviniente

La variable interviniente *perfil del individuo* se compone de tres dominios dedicados a valorar las preferencias de aprendizaje, los atributos de la personalidad y las capacidades cognitivas del voluntario. Cada uno de estos dominios se mide con base en modelos y recursos psicométricos especializados en su campo, por lo que gozan de una amplia aceptación.

Los conceptos que integran los tres dominios de la variable interviniente son biestables, por lo que es necesario estimar el nivel del estado y la variación que sufre el estado. Por ello, se aplica el universo de discurso compuesto por cinco términos lingüísticos que revelan el nivel del estado del concepto que se expresa en la Tabla 5.4. Así mismo, para medir la variación del estado de los conceptos se emplea el universo de discurso organizado en los once términos lingüísticos que aparecen en la Tabla 5.6. Por tanto, la distribución de los conjuntos difusos que corresponde a los universos de discurso de nivel y variación corresponden a la graficada en las Figuras 3.9^a y 3.9^b respectivamente, y cuyos rangos en el eje X son $[0, 1]$ y $[-1, 1]$.

Al aplicar la preprueba, el valor inicial para el nivel del estado de los conceptos es estimado con base en la medición hecha por los instrumentos de cada dominio. En cambio, como valor inicial de variación para el estado de los conceptos se asigna el término lingüístico *mantiene*.

Durante la provisión de experiencias, en cada ciclo los valores iniciales de nivel y variación de los conceptos son usados como punto de partida de la simulación. Una vez que se activa el razonamiento causal-difuso, dichos valores son alterados como resultado de los estímulos provenientes de la opción de experiencia que se evalúa. Una vez que concluye el proceso y se escoge la opción de experiencia más adecuada, los valores iniciales son restaurados.

El dominio *preferencias de aprendizaje* representa el nivel en que el sujeto privilegia los ocho estilos de aprendizaje que se identifican en la Tabla 5.7. La medición se fundamenta en el modelo de “Inteligencias múltiples” de Gardner (1983). Por tanto, se diseña un instrumento compuesto por reactivos bivalentes, en donde el sujeto selecciona el 0, si la forma de aprendizaje expresada en el reactivo le resulta poco atractiva y escoge el 1, si la manera de aprendizaje le es muy favorable. Para identificar el nivel de aceptación de un estilo se formulan diez preguntas. En consecuencia, el instrumento consta de 80 reactivos organizados al azar para evitar exhibir secciones dedicadas a un estilo en particular.

Tabla 5.7 Conceptos del dominio *preferencias de aprendizaje*

verbal	lógica	auditiva	interpersonal
intrapersonal	naturalista	visual	corporal

El dominio *personalidad* refleja el nivel de intensidad de ciertos atributos de la personalidad del voluntario. El modelo que se emplea es MMPI-2 (Hathaway y McKinley, 2000), cuyo instrumento consta de 567 preguntas a responder como *falso* o *verdadero*. Al aplicar el recurso se obtiene un diagnóstico preliminar para más de 35 escalas de la personalidad del individuo, además de un conjunto de hipótesis sobre la intensidad de la escala y diversas formas de manifestación. Con base en el diagnóstico, se concentran las mediciones entre escalas afines para recrear un concepto común, el cual se emplea para recrear el dominio *personalidad*. Esta relación de mapeo se presenta en la Tabla 5.8 en la que su primera columna aparecen los doce conceptos que alimentan al modelo del estudiante y en las columnas restantes se identifican las escalas que son integradas al concepto de acuerdo con el renglón en el que aparecen.

Tabla 5.8 Escalas integradas a los conceptos del dominio personalidad

Concepto	Escala	Escala	Escala	Escala
problemas de salud	preocupación por la salud	histeria de conversión	hipocondriasis	
nerviosismo	depresión	ansiedad		
psicosis	pensamiento delirante	esquizofrenia	hipomanía	paranoia
trauma	desorden de estrés postraumático	miedo		
madurez	hostilidad reprimida	responsabilidad social	género masculino	fuerza del yo
proclividad adicción	alcoholismo	género femenino		
negatividad	psicastenia	obsesión		
irreverencia	desviación psicopática	prácticas antisociales	cinismo	
enérgica	personalidad tipo A	enojo	dominancia	
debilidad	represión	baja autoestima		
inseguridad	introversión social	incomodidad social	rechazo al tratamiento	
desadaptada	desajuste profesional	problemas familiares	dificultad en el trabajo	

El dominio *cognición* mide el nivel de ciertas capacidades intelectuales del sujeto con base en el modelo WAIS (Wechsler, 2000) El modelo sustenta un instrumento que consta de varios tipos de exámenes que miden habilidades verbales, de memoria y visualización, las cuales son medidas a través de reactivos cuyas respuestas están acotados por el tiempo. Una vez que se aplica el instrumento se obtienen valores normalizados y coeficientes intelectuales para varios atributos. Con base en estos elementos, se generan diez conceptos para representar al dominio *cognición*, tal como se muestra en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9 Conceptos para evaluar el dominio *cognición*

conocimiento-independiente	cálculo	retención-auditiva	observación	habilidad-verbal
coeficiente-intelectual	causal	retención-visual	visualización	habilidad-ejecución

Una vez que se aplica el recurso de cada dominio al sujeto se obtiene un valor normalizado en el contexto del modelo. Por tanto, se establece una equivalencia entre el valor normalizado del dominio y el término lingüístico que se asigna como el nivel inicial del estado del concepto. Esta conversión se representa en la Tabla 5.10. En ella, la columna de la izquierda contiene a los cinco términos lingüísticos que conforman el universo de discurso de nivel.

Tabla 5.10 Escalas integradas a los conceptos del dominio *personalidad*

Término lingüístico	Preferencia de aprendizaje Número de respuestas = 1	Personalidad Rangos de puntos <i>t</i>	Cognición Coeficiente intelectual	Cognición Puntos normales
muy alto	9-10	78-85	111 → 179	17-19
alto	7-8	65-77	101 - 110	13-16
medio	4-6	54-64	90-100	8-12
bajo	2-3	43-53	70-89	4-7
muy bajo	0-1	1-42	60-69	1-3

En la segunda columna, de izquierda a derecha, aparecen los valores normalizados para el dominio *preferencias de aprendizaje*; en la tercera se muestran los rangos de puntos *t* que arroja el instrumento MMPI-2, mientras que en las últimas dos columnas se identifican rangos de coeficientes intelectuales y de puntos normales por grupo de edad que se estiman a través de WAIS.

5.3.3 Procedimiento de recolección

De acuerdo con las seis etapas que componen el proceso de comprobación empírica, citado en la Sección 5.2.3, y en consonancia con el flujo de trabajo para el diseño experimental, en el cual se destacan cuatro etapas en la Tabla 5.1, a continuación se ofrecen tres secciones para explicar el procedimiento de recolección de evidencia empírica. Así mismo, en el Apéndice 5 se brindan los detalles correspondientes a la ejecución del procedimiento y sus resultados.

5.3.3.1 Conformación de la población de voluntarios

La integración del universo de voluntarios se lleva a cabo durante las primeras dos etapas: promoción del experimento e inscripción para participar en el experimento.

En la etapa de promoción, se realizan actividades encaminadas a difundir el proyecto, explicar su naturaleza y convocar a la comunidad académica a participar como voluntario. Las estrategias de difusión que se usan son: personal, indirecta y a través de la Internet. En la modalidad personal, se presenta el proyecto ante autoridades académicas, grupos de estudiantes y directamente a profesores. La estrategia indirecta se traduce en el diseño y publicación de propaganda que exhibe un perfil general del proyecto y que se coloca en lugares a la vista de la comunidad en diversas instituciones. Con respecto al uso de la Internet, se crea un sitio Web, cuya página principal ofrece la información que explica la naturaleza del proyecto. Además, se emplea el correo electrónico personal e institucional para hacer llegar información a comunidades de la academia y del gobierno federal.

Como resultado de la puesta en práctica de las estrategias de promoción, se logra cubrir un espectro representativo de centros de educación e investigación, así como de órganos rectores en ciencia y estadística diseminados en el territorio nacional.

La etapa encaminada a registrar la participación en el experimento en calidad de voluntario, se compone de las siguientes actividades: ingresar al sitio Web del experimento, analizar los términos de participación publicados en el portal, tomar la decisión sobre registrar la solicitud de colaborar como voluntario, capturar la solicitud, revisar y en su caso complementar los datos personales y académicos. Al final de la etapa, se registran 200 voluntarios que viven en veintiséis estados de la República. La población se distingue por aglutinar sujetos de los tres niveles académicos - licenciatura, maestría y doctorado-, especialistas en las tres ramas - ciencias exactas e ingeniería, sociales y administrativas, médico-biológicas-, que en su mayoría pertenecen a centros de estudios y de investigación públicos, así como a instituciones federales.

5.3.3.2 Selección de la muestra e integración de los grupos de comparación

La selección de la muestra y la asignación de sujetos a los grupos experimental y de control se realizan durante las etapas 3 y 4, que están abocadas a la preprueba y conformación de los grupos.

La etapa de preprueba consiste en la aplicación de cuatro instrumentos de medición por la vía autoadministrada a través de la Web. Por ello, se establece un lapso para que el sujeto agende la realización de los exámenes en el siguiente orden: 1) preferencias de aprendizaje; 2) personalidad; 3) cognición; 4) conocimientos preliminares sobre el dominio de enseñanza – “Metodología de la investigación científica”-. Se recomienda a los voluntarios reservar quince minutos para aplicar el primer examen y una hora para cada una de las pruebas restantes. También se les aconseja realizar los exámenes en diferentes días, en un horario al margen de las ocupaciones cotidianas y que no haya demasiado tráfico en la Internet. Adicionalmente, se realizan las actividades de evaluación e interpretación de los cuatro instrumentos en donde se advierten patrones de respuestas, tendencias a la mentira o a la manipulación del examen. También, se solicita a los voluntarios que cubren a cabalidad los cuatro exámenes el confirmar su interés de participar como sujetos durante la provisión de las experiencias.

Durante la preprueba se aplica la estrategia de *selección natural* con el fin de evidenciar el interés real del sujeto por participar en el experimento y su capacidad para emplear un SEBW. En consecuencia, el 75% de voluntarios desertan paulatinamente, pues se apreciándose la siguiente tendencia: el 44% no presentan ningún examen; 56% sólo realizan el primer examen; el 51% aplica hasta el segundo instrumento; el 31% contesta hasta el tercer examen; el 31% responde hasta el cuarto instrumento, el cual está relacionado con los conocimientos preliminares; el 25% contesta correctamente sus cuatro exámenes y confirma su decisión de continuar participando en las etapas restantes del experimento.

En la etapa de organización de los grupos de comparación, solamente se analizan los expedientes del 25% de los voluntarios que componen el universo, pues es la proporción de sujetos que cubren cabalmente las mediciones preliminares. Así mismo, se toma en cuenta la técnica del apareamiento para asignar los voluntarios a los grupos en forma equivalente.

Como resultado de la ejecución de la etapa, se conforman un par de grupos de comparación. El grupo experimental y el grupo de control se componen cada uno de 25 voluntarios. En cada grupo se procura que exista el mismo número de sujetos con nivel de licenciatura, maestría y doctorado. También se busca que la cantidad de estudiantes, pasantes-candidatos y de profesores sea la misma. Así mismo, se considera tener representantes de las tres ramas - ciencias exactas e ingeniería, sociales y administrativas, médico-biológicas- en los dos grupos. Adicionalmente, se observan seis rangos de edad que se emplean en el instrumento WAIS, a efecto de alcanzar un balance entre las habilidades y rapidez de actuación entre jóvenes y adultos.

5.3.3.3 Provisión de las experiencias y de aplicación de la posprueba

En este estadio de la verificación, los grupos de comparación se someten a la etapa de provisión de experiencias que el SEBW ofrece sobre el dominio de enseñanza, “Metodología de la investigación científica”. De manera simultánea, la etapa de posprueba se realiza en la medida que progresan las experiencias, pues una vez provista la experiencia se evalúa el aprendizaje real del voluntario y se compara contra el pronosticado por *la propuesta*.

La etapa dedicada a la provisión del estímulo consta de las siguientes actividades: 1) actualizar los datos personales y académicos del sujeto; 2) registrar un proyecto de investigación que el voluntario realiza a la par de su participación en el experimento; 3) proveer las experiencias sobre el dominio de enseñanza; 4) definir el protocolo del proyecto de investigación del voluntario. Durante esta etapa, el sujeto accede al SEBW para realizar las actividades correspondientes a un programa de trabajo que se publica en el portal Web del experimento. A lo largo de la etapa, el sujeto cuenta con el soporte necesario para operar el SEBW y disfruta de la asesoría para atender dudas y realizar las metas de trabajo derivadas de las experiencias. Por ello, establece comunicación con el experimentador a través del correo electrónico.

En la provisión de las experiencias se pone en práctica *la propuesta*. La planeación del suministro de experiencias se ciñe al temario del curso sobre “Metodología de la investigación científica”. El programa de estudios consta de ocho temas, a saber: ciencia, productos de divulgación epistemológica, el conocimiento y su taxonomía, la investigación científica y su desarrollo, la experimentación y tópicos complementarios. Los temas se componen por conceptos interrelacionados. A cada concepto se le asocia un objetivo de aprendizaje de acuerdo con la taxonomía de Bloom. La enseñanza de un concepto se realiza mediante la provisión de varios juicios que en conjunto dan forma al significado del concepto. Por ello, el evento clave de la comprobación experimental es la experiencia, en donde se provee un juicio específico que nutre la formación de un concepto dado en la mente del sujeto.

Si el sujeto pertenece al grupo experimental, se realizan las siguientes tareas: 1) evaluar las opciones disponibles para la experiencia en turno; 2) elegir la opción cuyo pronóstico ofrece el mayor efecto positivo en el aprendizaje del voluntario; 3) registrar la estimación; 4) proveer la experiencia; 4) realizar la posprueba; 5) comparar pronóstico contra resultado final.

Cuando el voluntario es miembro del grupo de control se ejecutan las tareas siguientes: 1) elegir una opción de experiencia al azar; 2) proveer la experiencia; 3) realizar la posprueba.

5.4 Análisis de la información empírica

Durante el desarrollo de la comprobación experimental se recolecta la evidencia empírica que satisface los criterios y procedimientos de medición explicados en la Sección 5.3. Por tanto, en esta sección se explica el tratamiento estadístico que se aplica a la información recabada. El análisis se basa en el uso de la estadística descriptiva para las variables y categorías que son de interés para la investigación. También se realiza el análisis estadístico inferencial para la hipótesis de la investigación, además de llevar a cabo la prueba de la hipótesis mediante el análisis paramétrico o no paramétrico de la hipótesis.

5.4.1 Análisis estadístico descriptivo

El análisis estadístico descriptivo que se aplica a los datos empíricos consta de tres clases de proceso estadístico, a saber: la distribución de frecuencias para categorías relevantes, la estimación de medidas de tendencia central y el cálculo de medidas de la variabilidad.

5.4.1.1 Distribución de frecuencias

La distribución de frecuencias es un conjunto de puntuaciones ordenadas en sus respectivas categorías.

5.4.1.2 Medidas de tendencia central

Las medidas de tendencia central son puntos en una distribución que sirven como referentes dentro de una escala de medición. Las principales medidas son: moda, mediana y media.

5.4.1.3 Medidas de la variabilidad

Son intervalos que indican la dispersión de los datos en la escala de medición. Las medidas más comunes son: rango, desviación estándar y varianza.

5.4.2 Análisis estadístico inferencial

El análisis estadístico inferencial se utiliza para probar la hipótesis de investigación y estimar parámetros. Por ello se calcula la distribución muestral y el nivel de significancia.

5.4.2.1 Distribución muestral

La distribución muestral es un conjunto de valores sobre una estadística calculada de todas las muestras posibles de determinado tamaño de una población.

5.4.2.2 Nivel de significancia

El nivel de significancia es un nivel de probabilidad de equivocarse que se fija de manera a priori en la investigación.

5.4.3 Prueba de la hipótesis

En la prueba de la hipótesis se consideran dos alternativas de análisis: el paramétrico y el no paramétrico. Cada tipo posee sus características y presuposiciones que lo sustentan. Cabe señalar que en la investigación pudiera ser posible llevar a cabo el análisis paramétrico para la hipótesis y algunas variables, además de considerar el análisis no paramétrico para otras.

5.4.3.1 Análisis paramétrico

El análisis paramétrico es útil cuando en la investigación se dan tres presuposiciones: 1) la distribución poblacional de la variable dependiente es normal; 2) el nivel de medición de la variable dependiente es por intervalos o razón; 3) cuando dos poblaciones son estudiadas y se advierte que tienen una varianza homogénea.

En el caso de que las características de la presente investigación cumplan con las condiciones, se considera aplicar alguna de las siguientes pruebas estadísticas: coeficiente de correlación de Pearson, regresión lineal, prueba de contraste de la diferencia de proporciones, el análisis de varianza o el análisis de covarianza.

5.4.3.2 Análisis no paramétrico

El análisis no paramétrico es útil cuando no se requiere de presupuestos acerca de la forma de la distribución poblacional: las variables pueden estar definidas por intervalos, razón, nominal u ordinal, es decir, que las variables deben ser categóricas.

Debido a que el análisis no paramétrico es más flexible que su contraparte, en la presente investigación se puede realizar alguna de las siguientes pruebas: chi cuadrada o coeficientes de correlación e independencia.

5.5 Exposición de resultados

Una vez realizado el análisis estadístico de datos empíricos y habiendo aportado referentes a favor de la hipótesis de investigación, a continuación se expone un resumen de los resultados de la investigación y una relación de los hallazgos y reflexiones derivadas del experimento.

5.5.1 Resumen de los resultados

En esta sección se presenta una síntesis del problema de investigación, la forma en que se propone una solución y como ésta se comprobó experimentalmente. Como evidencia se aporta el conjunto de indicadores estadísticos que soportan la hipótesis y se revelan las conclusiones más relevantes.

5.5.2 Hallazgos y reflexiones

Como resultado de la planeación, desarrollo y conclusión de la comprobación experimental se recopilaron un conjunto de hallazgos empíricos basados en los referentes estadísticos que bien pudieran motivar investigaciones especializadas en alguno de esos puntos. Así mismo, durante el desarrollo del experimento, se concibieron una serie de reflexiones personales que conviene compartir a la comunidad interesada en iniciarse en el ámbito de la investigación.

5.5.2.1 Hallazgos

Durante el desarrollo del experimento se recogieron ciertos indicadores que son determinantes en el éxito de la verificación y otros más que revelan la naturaleza del campo propio de la investigación: la Internet. Sin contar con el amplio respaldo formal que ofrece la estadística, se exponen a continuación algunos hallazgos de carácter cualitativo que son acompañados por cifras que pretenden facilitar la comprensión de magnitudes.

La integración de una muestra representativa de sujetos para llevar a cabo las etapas esenciales de la verificación exigió el reclutamiento de una población cuatro veces mayor de voluntarios. Por ello, se concluye una proporción de 4 a 1; es decir, que de cada cuatro sujetos, sólo uno de ellos resulta ser apto para participar como voluntario en la muestra.

5.5.2.2 Reflexiones

En esta sección se comparten las experiencias adquiridas durante el ejercicio del experimento con la intención de estimular la reflexión y la concepción de mejores planteamientos en una investigación.

En lo concerniente a la promoción del experimento, el esfuerzo realizado implicó una enorme inversión de tiempo que por momentos detuvo el avance de la investigación. La gestión ante autoridades, la concertación ante profesores y la exposición de la convocatoria ante grupos de estudiantes arrojaron frutos muy magros.

5.6 Conclusiones

En este capítulo se expuso el planteamiento formal para la comprobación experimental de la tesis. En este escenario se destacó el marco epistemológico de la investigación, en el que se revela que ésta corresponde al ámbito de las ciencias fácticas y que por lo tanto es una investigación empírica de carácter explicativo, en donde no sólo se describe el fenómeno, sino que además se pretende anticipar ciertas consecuencias. Adicionalmente, se estudiaron las tres variables que integran la hipótesis, la cual constituye el eje de la presente investigación. Con base en estos elementos se identificaron los fundamentos de la verificación que se procuraron observar cabalmente durante el desarrollo del experimento.

También se hizo el planteamiento formal del experimento en este capítulo. Por tanto, se definió la logística que orienta el curso de acción. Así mismo, se precisaron los criterios de validez que garantizan la confiabilidad del experimento. De igual forma, se establecieron los lineamientos para la selección de la muestra, en donde la estrategia empleada fue la *selección natural*. Al haber aplicado fielmente dicha estrategia, se logró integrar una muestra de sujetos realmente interesados y comprometidos con el experimento, y cuyo beneficio se tradujo en el conocimiento necesario para encausar sus propias investigaciones.

En cuanto a la recolección de información empírica, primero se precisaron sus fundamentos que buscan garantizar la confiabilidad y la validez de sus instrumentos, criterios que pugnan por la consistencia de las mediciones y por la eficacia de las mismas. A este respecto, se detallaron los instrumentos de medición para los dominios que representan las tres clases de variables que integran la hipótesis de investigación. A través de estos recursos, se obtuvieron las medidas cualitativas para los conceptos que conforman el modelo del estudiante. Además, se explicó el procedimiento para la recolección de la información empírica por medio de los recursos previamente definidos. Dicho procedimiento se realizó a través de la conformación de la población de voluntarios, la selección de la muestra de sujetos, la integración de los grupos de comparación y la provisión de las experiencias acompañadas por la posprueba.

El análisis de la información empírica se realizó a partir de tres clases de análisis estadísticos: descriptivo, inferencial y prueba de hipótesis. Con base en las pruebas estadísticas, emanadas de estas clases, se presentaron indicadores como: distribución de frecuencias, medidas de tendencia central, medidas de la variabilidad, distribución muestral y nivel de significancia. También, se agregaron referentes derivados de análisis paramétricos y no paramétricos para la prueba de la hipótesis.

Finalmente, se presentaron los resultados concluyentes de la comprobación experimental mediante un resumen y un conjunto de experiencias obtenidas de la verificación. En el resumen se ofreció una síntesis del proyecto de investigación doctoral y de las conclusiones a las que se arribó a la luz de los indicadores estadísticos relevantes. Con respecto a las experiencias, se ofrecieron los hallazgos y reflexiones que se consideró pertinente compartir a la comunidad en aras de encausar nuevas investigaciones.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajo futuro

*No os engañéis; Dios no puede ser burlado:
Pues todo lo que el hombre sembrare, eso también cegará.
(Gálatas 6.7)*

En este capítulo se arriba a la conclusión de la investigación mediante la presentación de cuatro secciones dedicadas a exponer una discusión sobre las lecciones aprendidas durante el desarrollo de la tesis; precisar las aportaciones alcanzadas; proponer las líneas de investigación futuras que se derivan de los resultados o aún pendientes arrojados por la tesis; identificar los productos de divulgación generados durante el desarrollo del proyecto, mismos que fueron puestos al escrutinio de la comunidad epistemológica internacional.

6.1 Discusión

En esencia, la tesis se encaminó a proponer un modelo de cómputo para recrear un modelo mental orientado a representar y anticipar el desarrollo de un fenómeno complejo: el ciclo de enseñanza-aprendizaje.

Por tanto, en aras de comprobar la hipótesis planteada, se identificó un conjunto de conceptos derivados de siete dominios de análisis que fueron evaluados en forma cualitativa conforme a ciertos criterios de estudio. Mediante el conjunto de dominios, se establecieron las relaciones causa-efecto entre sus conceptos. De esta forma se diseñaron mapas cognitivos para caracterizar el fenómeno de enseñanza-aprendizaje, y mediante la inferencia causal-difusa, se buscó anticipar el impacto que las experiencias producen en el aprendizaje del estudiante.

La razón para proponer un modelo del estudiante basado en mapas cognitivos es el considerar el ciclo de enseñanza-aprendizaje como la actividad en que un SEBW transmite conocimientos a través de su exteriorización, los que el estudiante adquiere mediante su interiorización. Este ciclo fue analizado desde la perspectiva causal, como una relación causa-efecto. Por lo tanto, con base en la Teoría de la Actividad y los mapas cognitivos, en la tesis se propuso un modelo que recrea el escenario en donde se caracteriza al estudiante como individuo y a la experiencia en turno, a efecto de estimar consecuencias causales. De esta forma, se alienta la provisión de educación centrada en el estudiante a través de un SEBW.

La propuesta se distingue por incorporar la representación de la experiencia en el modelo del estudiante. Generalmente, las aplicaciones afines se concentran en representar el conocimiento adquirido por el estudiante –GRUNDY (Rich, 1979) –, sus atributos personales –Smex Web (Albrecht et al., 2000) –, conductas observadas –ELM-PE (Brusilovsky, 1995b) –, distorsiones en el aprendizaje –Modelos de Diagnóstico (Brown y Burton, 1978) – y el conocimiento de enseñanza –ADAPS (Brusilovsky y Cooper, 1999) –. En cambio, en el presente trabajo los atributos de la experiencia forman parte del propio modelo del estudiante. Como resultado, se obtiene una representación más rica del fenómeno de estudio, puesto que se consideran a dos protagonistas: el emisor y el receptor del conocimiento que se transmite y adquiere.

Adicionalmente, en el modelo propuesto se introdujo la lógica difusa como el medio formal para representar conocimiento cualitativo. Mediante la lógica difusa se definieron los conceptos como variables lingüísticas y las relaciones por medio de reglas difusas. Gracias al marco teórico de la lógica difusa, se recreó una representación formal de los atributos que describen al estudiante y a la experiencia; además de proveer la base para el razonamiento causal-difuso que se implementó.

En contraparte, el común de los modelos del estudiante representa conocimiento cualitativo por medio de redes semánticas –Scholar (Carbonell, 1970) – y mapas conceptuales –DynMap (Rueda et al., 2003) –. Esta clase de modelos carece de un modelo formal que ofrezca un sólido respaldo para la representación de conocimiento cualitativo. Además, el razonamiento aplicado emplea relaciones identificadas por términos que representan una jerarquía abstracta para definir atributos que se heredan a través de asociaciones de inherencia. Por tanto, esta clase de inferencia es de carácter conceptual, mientras que la empleada en *la propuesta* disfruta del respaldo matemático de la lógica difusa. Por lo tanto, la ventaja radica en el respaldo formal que goza el paradigma empleado para la representación de conocimiento y el razonamiento cualitativo usado en *la propuesta*.

Al comparar *la propuesta* contra los modelos del estudiante que usan la estructura episódica –ELM-ART (Weber y Brusilovsky, 2001) –, patrón del perfil del usuario –EPK (Timm y Rosewitz, 1998) – y estereotipos –CALL (Murphy y McTear, 1997) –; se advierte que éstos emplean estructuras para representar conocimiento muy simples, tales como: conceptos relacionados lógicamente en una red y conceptos definidos como parejas atributo-valor, mientras que la representación hecha en el prototipo descansa en el uso de ontologías y acervos de conocimiento. Con estos paradigmas, se establece una robusta representación semántica de los conceptos y de las relaciones envueltas en el modelo del estudiante.

En relación con los modelos del estudiante orientados al razonamiento causal, tales como las tres versiones de SOPHIE (Brown et al., 1982), se advierte que éstos emplean un sistema de reglas de producción para representar conocimiento cualitativo y realizar razonamiento causal. Este paradigma es ampliamente utilizado en el ámbito de los sistemas expertos, por ser un modelo que facilita la manifestación del conocimiento del experto humano en la solución de un problema. Generalmente esta clase de representación de conocimiento y forma de razonamiento es empírica, intuitiva y parcial, además de carecer de un modelo formal para sustentar las inferencias derivadas. Por tanto, es un paradigma limitado para representar conocimiento y razonamiento derivado de la experiencia y sentido común del individuo que realiza el modelo. En contraparte, el razonamiento causal que se aplica en *la propuesta* no solo disfruta del soporte matemático de la lógica difusa, sino que además incorpora la modalidad de razonamiento causal-difuso proveniente de los mapas cognitivos difusos con bases de reglas difusas. Por tanto, no solamente se estima un efecto de agregación, propio de las relaciones de inferencia difusa, sino que además se calcula el efecto de acumulación derivado de las relaciones causales-difusas. Por consiguiente, se ofrece un mecanismo de razonamiento cualitativo y causal que goza del marco formal de la lógica difusa y de los mapas cognitivos difusos con bases de reglas difusas. Gracias a este paradigma, el prototipo genera conclusiones que disfrutan de un mayor soporte formal que los modelos del estudiante que usan sistemas de producción.

Al comparar el enfoque de predicción causal que emplea *la propuesta* contra el aplicado por modelos del usuario, se evidencia la diferencia entre los alcances y el impacto que se persigue. Mediante el modelo del estudiante basado en mapas cognitivos se anticiparon efectos de carácter cognitivo que se supone ocurrirán cuando el estudiante afronte una experiencia. En cambio, los modelos del usuario basados en modelos lineales (Orwant, 1995) sólo pretenden anticipar los ingresos del individuo al sistema; aquellos que usan frecuencias sólo buscan recomendar contenidos que puedan resultar atractivos al usuario (Moukas y Maes, 1998); los que emplean modelos de Markov tratan de predecir eventos como la próxima página que la persona visitará (Bestavros, 1996); los modelos basados en redes neuronales buscan prever las preferencias de contenido del usuario. Por tanto, estos paradigmas son muy limitados.

Con respecto al empleo de mapas cognitivos, la propuesta introdujo los mapas cognitivos en el terreno del modelo del estudiante. En consecuencia, no solamente se inicia un nuevo campo de investigación y aplicación, sino que además se lleva al terreno experimental la versión de los mapas cognitivos difusos con bases de reglas difusas, debido a que una vez definido su modelo formal por parte de Carvalho (2001), esta versión de mapas cognitivos no se ha empleado en casos reales como la enseñanza y el aprendizaje. Así mismo, al comparar este trabajo contra los realizados por García et al. (2003) y Laureano et al., (2004), se advierte una vez más la diferencia en el alcance. Como primera diferencia, este par de trabajos emplean la versión de mapas cognitivos difusos. Esta versión carece del soporte de la lógica difusa para realizar el razonamiento causal, pues éste se realiza de una manera parecida al empleado por las redes neuronales. Por lo tanto, la inferencia es de carácter numérico en vez de cualitativo y causal. Otra diferencia radica en el grado de automatización, pues a excepción del cálculo numérico para la inferencia, el diseño del mapa cognitivo y la interpretación del comportamiento revelado durante la simulación, son manuales. En cambio, en el prototipo se implementó un mecanismo que se encarga de dichas tareas.

En relación con las lecciones aprendidas, éstas se resumen de la siguiente manera: El proceso para formular modelos mentales es una tarea compleja, sobretodo cuando el objeto a modelar es abstracto, como ocurre con la enseñanza y el aprendizaje. Así mismo, esta clase de objeto es por demás relativo, incierto, impreciso y no monotónico. Es relativo porque la modelación de la persona que aprende, así como el material y forma de enseñanza, están sujetos al punto de vista particular de quien realiza el modelo. Debido a que no existe un modelo único y aceptado de manera absoluta que establezca la forma de representar al individuo y a la experiencia, es incierto, pues todas las valoraciones que se hacen del estudiante y de la experiencia son aproximadas, ya que a pesar del uso de métricas para medir la inteligencia, éstas no son garantías de que en efecto una persona es más inteligente que otra. Es impreciso, puesto que a pesar de la exactitud de las apreciaciones hechas del estudiante y de la experiencia, no hay garantía de que el desempeño que ocurrirá corresponda con la predicción. No es monotónico, puesto que la conducta del individuo puede ser inestable e inconstante, amén de verse afectada por toda clase de imponderables que están fuera del alcance de cualquier modelo por muy completo que éste sea. Por ejemplo, si el individuo durmió mal, siente ansiedad, está cansado o simplemente si en el día que afronta una experiencia no está concentrado por cualquier causa, su desempeño será diferente al regular.

Adicionalmente, la determinación de los dominios y conceptos que componen el modelo del estudiante afronta los siguientes conflictos: enfoques de estudio, número y variedad de los dominios, cantidad y diversidad de conceptos, referente para la valoración, precisión de la valoración, marco de referencia para establecer relaciones y validación de criterios. El primer conflicto se relaciona con la pregunta: ¿cuáles son los puntos de vista necesarios para modelar al estudiante? Una respuesta puede proponer enfoques relacionados con aspectos intelectuales, culturales, fisiológicos, anímicos, familiares, sociales e históricos, entre otros muchos. Con relación al número y variedad de los dominios, en el prototipo se incorporaron tres: personalidad, capacidades cognitivas y preferencias de aprendizaje. Adicionalmente, se pueden agregar dominios tales como: salud física, inteligencia emocional, estado de ánimo, estado nutricional, factores genéticos, situación familiar, herencia, sentimientos, intereses, espiritualidad, actitud, necesidades fisiológicas, estrés, afectivas y muchos otros enfoques más que revelan tan solo una parte del individuo. A los conflictos anteriores, se agrega el determinar para cada enfoque-dominio, la cantidad y diversidad de conceptos necesarios para caracterizarlos fielmente. También, se afronta el reto de establecer el marco formal, método e instrumentos necesarios para valorar los conceptos y determinar el grado de precisión requerida. Por ejemplo, ante la variedad de exámenes psicométricos que determinan la personalidad del individuo, ¿cuál de ellos es el más acertado?, ¿cuál es el más útil?, ¿cuál es el más completo? Estas son tan solo tres cuestiones que también se aplican al identificar el marco de referencia para establecer relaciones y validar criterios.

Ante esta muestra de conflictos, todo se traduce a una conclusión: el intento para modelar el estudiante se reduce a un esfuerzo parcial, limitado, relativo, monotónico y cerrado que solo tiene validez para quien realiza el modelo. Es decir, el responsable de diseñar el modelo debe estar consciente de que la representación a la que arribe, responde a sus propios intereses, que ésta no es exhaustiva y tan solo corresponde a los medios que emplea, que ofrece un comportamiento estable que en la práctica suele suceder de otra manera y que además diseña un modelo cerrado a condiciones exógenas, con lo cual no es congruente con la realidad.

6.2 Aportaciones

De acuerdo con el problema planteado en la tesis, se logró representar un conjunto de conceptos dedicados a caracterizar al estudiante y a las experiencias. El universo de conceptos se organizó en siete dominios de análisis. Cada dominio representa un punto de vista particular de análisis. Por consiguiente, el prototipo dispuso de un acervo de conocimientos para identificar las capacidades cognitivas del individuo, sus preferencias de aprendizaje y rasgos distintivos de su personalidad. También, se crearon tres dominios orientados a describir las experiencias a través de las estrategias de secuencia, tipo de contenido y niveles de evaluación. Como séptimo dominio se recrearon los conocimientos sobre el tema de enseñanza adquiridos por el estudiante durante las experiencias provistas por el SEBW. De esta manera se cumplió el objetivo de representar un conjunto de factores que inciden en el estudiante durante el ciclo de enseñanza-aprendizaje con un SEBW. Se reconoce que los siete dominios empleados no son exhaustivos para representar el universo de factores que están presentes durante un proceso tan complejo; sin embargo para efectos de iniciar en la investigación son suficientes.

Adicionalmente, en el problema planteado se requirió de un medio para anticipar los efectos causales que produce una experiencia. Este requisito se satisfizo parcialmente a través de las predicciones generadas por la simulación llevada a cabo a través de los mapas cognitivos. La razón de haber logrado una solución parcial obedece a la naturaleza misma del problema: la generación de modelos mentales que representan un proceso abstracto. Los detalles de este problema fueron expuestos en la Sección 6.1, es por ello que en este caso se agrega a dichos argumentos, el reto que constituye predecir el futuro. Por tanto, ante un problema que conjuga modelación mental de fenómenos abstractos con la predicción de su desenvolvimiento, sólo es posible desarrollar soluciones aproximadas.

En relación con las cuestiones formuladas al comienzo de la investigación, en la Sección 1.2.1, se obtuvieron los siguientes resultados conforme al orden en que fueron presentados:

1. Los dominios de influencia que son involucrados en la provisión de una experiencia son siete. En esta investigación se propusieron tres para caracterizar al estudiante, tres más para describir a la experiencia y uno más para identificar el conocimiento aprendido por el estudiante durante las experiencias.
2. Los factores considerados pertenecientes a dichos dominios fueron cincuenta. Cabe señalar que se escogió un grupo reducido de conceptos para los siete dominios.
3. La valoración de los factores se realizó mediante escalas cualitativas para estimar el nivel o la variación de los conceptos. En los dominios que caracterizan al estudiante se usaron exámenes psicométricos. En los dominios que representan las experiencias se emplearon enfoques técnicos para valorar secuencias, contenidos y formas de evaluación. Para el dominio de conocimiento adquirido se aplicó la taxonomía de Bloom.
4. Las relaciones causales que existen entre los factores fueron definidas de manera empírica, las que de acuerdo con su naturaleza se organizaron en un modelo estático de mapa cognitivo. La topología diseñada consta de tres niveles de interrelación. En el primero aparecen los conceptos que representan a la experiencia en turno. En la segunda se ubican los conceptos que revelan el perfil del individuo. En tanto que en el tercero se encuentran los conceptos que identifican el conocimiento adquirido por el estudiante.

5. Las relaciones causales se definieron por medio de mapas cognitivos. La red de relaciones causales directas, indirectas y de retroalimentación entre los conceptos que conforman los siete dominios de estudio están presentes en la topología del mapa cognitivo. Se reconoce que la aplicación de los mapas cognitivos en la educación es incipiente, y como se reportó, este es el tercer trabajo orientado a los SEBW, y el primero en el modelo del estudiante.
6. La modelación del sistema dinámico de factores y relaciones causales se fundamentó en el marco teórico y en el modelo formal presentados en los capítulos 3 y 4 de la tesis. En dichos capítulos se presentaron los conceptos, axiomas y ecuaciones necesarios para desarrollar modelos que simulan el comportamiento de un sistema dinámico.
7. La anticipación del efecto que producen los factores con base en sus relaciones causales se fundamentó en la lógica difusa y en el razonamiento causal-difuso. Con base en este par de elementos se recreó un mecanismo de inferencia que se aplica al mapa cognitivo para inferir comportamientos y resultados causales.
8. La estimación de la alteración de los factores como resultado de los efectos causales se llevó a cabo con base en dos clases de inferencia: causal-difusa e inferencia difusa. En cuanto a la inferencia causal-difusa, ésta se orienta a ponderar el efecto de acumulación de influencias causales; en tanto que la inferencia difusa genera el efecto de refuerzo.
9. La secuela de influencias causales que se produce entre los factores al cambiar el estado de alguno de ellos se estudió desde dos puntos de vista: nivel y variación. Al estimar el nivel del estado del concepto se identifica su magnitud cualitativa. Al calcular la variación del estado del concepto se pondera la intensidad y el sentido de variación que sufrió el estado del concepto después de un lapso. Con base en la evolución de los valores de los estados de los conceptos y el valor final al que arriban durante la simulación, se realizan la interpretación del comportamiento de los conceptos y la predicción de sus resultados.

En relación con la hipótesis planteada en la Sección 1.3.1, se estableció el marco teórico, el modelo formal y el experimento para proponer y verificar la satisfacción de las tres variables que la conforman tal y como se describe a continuación:

- La selección de la experiencia que el SEBW provee al estudiante. Esta variable independiente se valoró en consideración a los beneficios que las opciones de experiencia proporcionan al estudiante como resultado del diseño del mapa cognitivo y de la activación de la inferencia causal-difusa durante la simulación. Con base en el resultado arrojado para cada opción, se escogió aquella que ofreció el mayor estímulo para el aprendizaje.
- El estímulo positivo del aprendizaje en el estudiante. Esta variable dependiente se estimó de manera empírica al comparar el alcance promedio en el aprendizaje que los voluntarios del experimento lograron al contar con el soporte de *la propuesta* contra el propio logro por aquellos que no disfrutaron de su respaldo durante las experiencias que integraron el programa de estudios aplicado en el experimento.
- Tomar en cuenta el perfil del individuo. Esta variable interviniente se caracterizó a través de instrumentos científicos de la psicología, por medio de los cuales se estimaron las preferencias de aprendizaje, las capacidades cognitivas y los atributos de la personalidad de los voluntarios. Con base en esta imagen mental del individuo y de las opciones disponibles para la experiencia, se buscó elegir la mejor opción de experiencia para incentivar el aprendizaje del estudiante.

Al reflexionar sobre los objetivos planteados al concebir el proyecto, expuestos en la Sección 1.2.2, se concluye que se satisfizo el objetivo principal de la tesis: crear un modelo computacional que represente cualitativamente los factores que inciden en el aprendizaje del estudiante durante las experiencias. Este modelo se materializó mediante un prototipo en el que se caracterizó al estudiante y a la opción de experiencia en turno por medio de un mapa cognitivo. También como parte de las aportaciones al modelado del estudiante, se incluyó un mecanismo de inferencia causal-difusa a través del cual se anticipó en forma cualitativa el impacto en la adquisición de conocimiento en el estudiante como resultado de la experiencia.

En cuanto a los cuatro objetivos teóricos, expresados en la Sección 1.2.2, estos fueron cubiertos mediante los hallazgos derivados de la comprobación experimental de *la propuesta*, los cuales se encuentran detallados en el Capítulo 5. Por tanto, se aporta la conjetura que: el modelo del estudiante de un SEBW influye en la provisión de educación centrada en el estudiante, siempre y cuando lo represente fielmente y tome en cuenta sus atributos.

Con respecto a los cinco objetivos prácticos establecidos en la Sección 1.2.2 se lograron los siguientes resultados conforme al orden en que fueron planteados:

1. Se creó un perfil del individuo mediante el uso de una ontología y un conjunto de acervos para representar en forma de conceptos los atributos que identifican las capacidades cognitivas del individuo, sus preferencias de aprendizaje y su personalidad.
2. Se recreó un perfil de la experiencia mediante el empleo de una ontología y un conjunto de acervos, con los cuales se caracterizó en forma de conceptos las estrategias de secuencia, los tipos de contenido y los niveles de evaluación.
3. Se representó el progreso en la adquisición de conocimiento por parte del estudiante mediante el uso de una ontología y de un conjunto de acervos.
4. Se creó una ontología para definir los conceptos de los dominios integrantes del modelo del estudiante. Al cumplir este objetivo se realizó una contribución técnica al ámbito del modelado del estudiante y de los mapas cognitivos, puesto que generalmente los trabajos en estos dos campos emplean estructuras más simples para representar conocimiento.
5. Se creó un modelo dinámico que describe en forma cualitativa los factores y las relaciones causales del objeto de estudio por medio de un mapa cognitivo.
6. Al incorporar el modelo del estudiante al marco de operación de un SEBW, se contribuyó a crear un escenario de trabajo propicio para la formulación, evaluación y selección de las experiencias acordes con el perfil del estudiante.
7. Al anticipar los efectos causales que las experiencias producen en el estudiante, antes su provisión, es una medida para habilitar el rol proactivo del modelo del estudiante y una contribución a la planeación, la provisión y el control de las experiencias.

En relación con el principal producto establecido en la investigación, se logró crear un modelo computacional con el cual se genera en forma automática los mapas cognitivos que soportan al modelado del estudiante. El desarrollo de dicho modelo computacional se tradujo en la creación de un prototipo, cuya construcción se compiló en los apéndices 1 al 4, dedicados respectivamente al desarrollo del prototipo, la ingeniería de software, los agentes y la ontología. Así mismo, con relación a los productos específicos que se establecieron en la Sección 1.3.3, la tesis arrojó los siguientes resultados en el orden en que fueron establecidos:

1. Procedimiento para modelar al estudiante de acuerdo con los principios de la Teoría de la Actividad. Este procedimiento se describe ampliamente en el Capítulo 4 conforme a los principios vertidos en la Sección 3.1.
2. Mediante la ontología y los acervos se recrea el modelo para representar y ponderar los factores de las experiencias, el perfil del individuo y el conocimiento adquirido por el estudiante.
3. Durante el desarrollo de la investigación se estableció y se aplicó un método de ingeniería de software para crear sistemas basados en Web denominado ISIW. La puesta en práctica del método se manifestó en los apéndices 1 al 4.
4. Se diseñó el modelo ontológico para caracterizar los conceptos y las relaciones causales que integran el modelo del estudiante. El marco teórico del modelo, su arquitectura, sus componentes, el desarrollo y el contenido de la ontología se documentan en el Apéndice 4.
5. El método para generar en forma automática los mapas cognitivos se expuso mediante el Algoritmo {4-4} que aparece en la Sección 4.4.3.2.
6. El mecanismo para representar y estimar la secuela de efectos causales que se activan al modificar el estado de los factores que integran el modelo del estudiante se diseñó con base en los fundamentos establecidos en los capítulos 3 y 4, dedicados al marco teórico y al modelo formal, además de mostrar el proceso para su creación en el Apéndice 1.
7. El prototipo del modelo del estudiante orientado a representar relaciones causa-efecto que inciden en la provisión de una experiencia, es el producto de cómputo que lleva al terreno experimental los postulados teóricos establecidos en la tesis, en particular los vertidos en los capítulos 3 y 4, cuyos resultados experimentales se expusieron en el Capítulo 5.

6.3 Líneas de investigación futuras

A partir de los resultados derivados del proyecto de investigación doctoral y de los frutos alcanzados en la tesis, es posible identificar futuros cursos de acción para extender el ámbito de investigación y aplicación del modelo del estudiante basado en mapas cognitivos. Por tanto en esta sección se identifican tres líneas de trabajo futuro esenciales:

En el campo del modelo del estudiante, se reconoce la necesidad de incorporar capacidades de inteligencia para la adquisición automática de conocimiento sobre el estudiante y la experiencia. Con ello se pretende que el modelo del estudiante esté facultado para identificar por sí mismo, aquellos rasgos relevantes del individuo y de la experiencia.

Así mismo, es necesario que el modelo del estudiante cuente con capacidades para evaluar y actualizar el estado de los conceptos y de las relaciones. De igual forma, es conveniente profundizar en el estudio de mecanismos que permitan establecer las relaciones entre los conceptos integrantes del modelo del estudiante.

Por otra parte, se advierte la demanda de realizar investigación en el diseño de modelos para grupos de estudiantes, en donde no solamente se recree una imagen del individuo, sino que además se establezca un modelo mental de todo el conjunto de estudiantes que colaboran en la adquisición conjunta de conocimientos sobre cierto tema.

También, es necesario reforzar la investigación en modelos del estudiante proactivos que incorporen diversas modalidades para anticipar conductas y resultados del estudiante.

Por otra parte, se acusa la necesidad de abrir este campo a especialistas de diversas ciencias para diseñar modelos del estudiante que consideren fundamentos de la filosofía, la pedagogía, las neurociencias, la psicología, la sociología, la lingüística y la comunicación social.

Con respecto a los mapas cognitivos, es necesario unir esfuerzos para crear una teoría holística de los mapas cognitivos causales, en la que se establezcan los fundamentos y el marco formal para definir conceptos, determinar relaciones, diseñar topologías, unificar criterios para valorar los conceptos y relaciones, recrear un mecanismo sólido de inferencia y establecer pautas para interpretar los resultados arrojados por la simulación del mapa cognitivo.

Se considera que mediante un marco formal integral se podrá impulsar la investigación y empleo de los mapas cognitivos en aplicaciones reales que trasciendan el laboratorio y que puedan ser aprovechadas en soluciones cotidianas como la presentada en este trabajo.

Así mismo, se debe incursionar en la adquisición automática de conocimiento para determinar los conceptos y las relaciones a representar en el mapa cognitivo. Además, es conveniente abrir la línea de mapas cognitivos colaborativos en donde un conjunto de éstos se dedica a recrear comportamientos individuales, mientras que otros revelan la conducta del grupo como un todo. Con esta clase de representación y simulación se pueden analizar comportamientos sociales que aglutinan conductas individuales con un propósito común.

Finalmente, al considerar el objeto de la tesis, el modelo del estudiante basado en mapas cognitivos debe ser motivo de ulterior investigación y desarrollo en las siguientes direcciones: incorporar nuevos enfoques de estudio; agregar diferentes dominios de análisis; experimentar con otros marcos de referencia para los dominios representados hasta este primer avance; adicionar otros conceptos para los dominios caracterizados; reemplazar las métricas de evaluación de los conceptos y relaciones; habilitar la ocurrencia de eventos estocásticos que alteren el comportamiento normal de la simulación; alterar la monotonía de la inferencia y del estado del conocimiento representado dando paso a variaciones y contradicciones.

Adicionalmente, es pertinente incorporar métodos de aprendizaje automático para automatizar el mapeo cognitivo, su inferencia e interpretación de resultados. De igual forma, es necesaria la recreación de acervos de conocimiento especializados y reusables para dominios específicos de aplicación. De esta manera, se podrá ampliar el ámbito de investigación, desarrollo y aplicación de modelos del estudiante basado en mapas cognitivos.

6.4 Productos de divulgación científica

Con respecto a la producción científica derivada del proyecto de investigación y tesis doctoral, bajo la dirección de dos directores, se tradujo a veintiuna publicaciones, de las cuales cuatro de ellas aparecen en medios indizados por el Institute of Scientific Information (ISI), cuyo resumen es el siguiente:

- Dos artículos publicados por revista internacional indizada por ISI, uno de los cuales es un trabajo conjunto con dos colegas, el otro es exclusivo de la presente investigación.
- Un artículo publicado por revista internacional indizada por CONACYT.
- Dos artículos publicados en las memorias de congresos internacionales por Springer Verlag en su serie Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI) indizada por ISI.
- Cuatro artículos publicados en las memorias de congresos internacionales por IEEE.
- Nueve artículos publicados en las memorias de congresos internacionales.
- Tres reportes técnicos publicados por el Centro de Investigación en Computación (CIC).

Es pertinente señalar que los quince artículos publicados en las memorias de congresos internacionales, fueron presentados ante la comunidad científica internacional mediante su exposición en la conferencia respectiva en al menos una ciudad de los cinco continentes.

6.4.1 Publicaciones en revistas internacionales con arbitraje

Como resultado del trabajo realizado durante el lapso 2003-2007, dos revistas internacionales han decidido publicar algunos de los resultados de la investigación:

1. *Causal knowledge and reasoning by cognitive maps: pursuing a holistic approach from Journal: Expert Systems with Applications*. Elsevier Jay Liebowitz Editor ISSN 0957-4174. Este artículo se publicará en diciembre de 2008. La revista está indizada por ISI.
2. *Adaptive and intelligent web based education system: towards an integral architecture and framework*. Int. J. Expert Systems with Applications. Elsevier Series. Jay Liebowitz editor ISSN 0957-4174, 1076-1089. Noviembre de 2007. La revista está indizada por ISI. Este artículo se realizó con el concurso de las tesis doctorales de tres doctorandos del CIC.
3. *Cognitive Maps: An Overview and their Application for the Student Modeling*. Int. J. Revista Iberoamericana de Computación y Sistemas, CIC, México. ISSN: 1405-5546, 230-250. Este artículo se publicó en agosto de 2007. La revista está indizada por CONACYT.

6.4.2 Publicaciones en congresos internacionales con arbitraje

Durante el período de septiembre de 2003 a agosto de 2007, se han publicado quince artículos derivados de la investigación doctoral, aparte de exponer la conferencia respectiva en el congreso internacional correspondiente. Entre los artículos destacan dos editados por Springer Verlag en su serie LNAI, la cual se encuentra indizada por ISI.

1. *Ontology Agent based Rule Base Fuzzy Cognitive Maps*. In: Nguyen, N.T. (ed.): Springer Verlag, in Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI 4496), qualified by ISI. In Proc. 1st KES International Symposium Agents and Multi-Agent Systems - Technologies and Applications (KES AMSTA'07). Wroclaw, Poland, del 31 de mayo al 1 de junio de 2007. ISBN 3-540-29896-7, ISSN 0302-9743, 328-337.
2. *Ontology based Rule Base Fuzzy Cognitive Maps*. In Proceedings of The 4th International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunication (SETIT'2007). In: IEEE Morocco Chapter (ed.). Hammamet, Tunisia, del 25 al 29 de marzo de 2007, ISBN: 978-9973-61-474-2, 114-121.

3. *Cognitive Maps-Based Student Model*. Edited by: R. Mizoguchi, P. Dillenbourg and Z. Zhu, IOS Press, Learning by Effective Utilization of Technologies: Facilitating Intercultural Understanding, Volume 151 Frontiers in Artificial Intelligence and Applications Edited In Proc. ICCE'06, 14th Int. Conference on Computers in Education. Organized by Asia-Pacific Society for Computers in Education (APSCE). Beijing Normal University. Beijing, China, del 30 de noviembre al 3 de diciembre de 2006. ISBN 1-58603-687-4, ISSN 0922-6389, 643-644.
4. *Predictive Causal Approach for Student Modeling*. MICAI'06, 5th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, Edited by IEEE. Organizado por la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA) y la American Society of Artificial Intelligence (ASAI). Tlaxcala, México, del 13 al 17 de noviembre de 2006. ISBN 0-7695-2722-1, 398-407.
5. *Web-Services based Ontology Agent*. 2nd International Conference Distributed Frameworks for Multimedia Applications, Edited by IEEE, Capítulo Malasia. Organizado por Malaysia Research & Education Network (MyREn), Univeristy Sains Malaysia. Penang, Malasia, del 14-17 de mayo de 2006. ISBN: 1-4244-0409-6. 115-122.
6. *Knowledge and Reasoning Supported by Cognitive Maps*. MICAI'05, 4th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, Edited by Springer Verlag in Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI 3789), indizada por ISI. Organizado por la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA) y la American Society of Artificial Intelligence (ASAI). Monterrey, México, del 14 al 18 de noviembre de 2005. ISSN: 0302-9743, ISBN 3-540-29896-7, 41-50.
7. *Ontology-based Knowledge Administration*. E-Learn 2005. World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare & Education. Organizado por Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). Vancouver Canada, del 24 al 28 de octubre de 2005. ISBN 1-880094-57-6, 128-133.
8. *Intelligent Web Software Engineering*. SEAAIR'05, 5th Conference of South East Asian Association Institutional Research. Organizado por South East Asian Association Institutional Research (SEAAIR), Widyatama University, Indonesia. Bali, Indonesia, del 14 al 16 de septiembre de 2005. ISBN 979-25-0220-3, 307-314.
9. *Negotiated Learning by Fuzzy Cognitive Maps*. WBE 05, 4th International Conference Web-Based Education. Organizado por The International Association of Science and Technology for Development (IASTED). Grindelwald, Switzerland, del 21 al 23 de febrero de 2005. ISBN: 0-88986-482-9, ISSN: 1482-7905, 590-595.
10. *Collaborative Student Modeling by Cognitive Maps*. DFMA 2005, 1st International Conference Distributed Frameworks for Multimedia Applications, Edited by IEEE, Capítulo Francia. Organizado por University of Franche-Comté. Besançon, France, del 6 al 9 de febrero 2005. ISBN 0-7695-2273-4, 160-167.
11. *Web-based Education supported by Intelligent Web Software Engineering*. ICCE'2004, International Conference on Computers in Education. Organizado por Asia-Pacific Society for Computers in Education (APSCE) and RMIT University. Melbourne Australia, del 30 de noviembre al 2 diciembre de 2004. ISBN: 1-86335-570-7, 1713-1721.
12. *Using Cognitive Maps to Develop a Student Model*. Iberamia-2004, Iberoamerican Workshops on Artificial Intelligence. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Puebla, México, 22 de noviembre 2004. ISBN 968-863-786-6, 435-445.

13. *Propuesta conceptual para un sistema adaptivo de educación basada en Web*. CNIES'04, 8vo. Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas. Organizado por: Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN. D.F., México, Del 15 al 19 de noviembre de 2004. ISBN: 970-36-0211-8, 114-121.
14. *Adaptive Learning through Cognitive Maps*. E-Learn 2004, World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare & Education. Organizado por Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). Washington, DC, USA, del 1 al 5 de noviembre de 2004. ISBN 1-880094-57-6, 2090-2095.
15. *Educación basada en Web: Un estado del arte*. XX Simposio Internacional de Computación en la Educación. Organizado por la Sociedad Mexicana de Computadoras en la Educación (SOMECE). Puebla, México, Del 16 al 20 de octubre de 2004. 101-112.

6.4.3 Reportes técnicos

Durante el lapso 2003-2004 se publicaron los siguientes reportes técnicos:

- Administrador de Ontologías. CIC, ISBN: 970-36-0171-5, páginas. 89.
- Ingeniería para los Sistemas Web: Una Propuesta Metodológica. CIC, ISBN: 970-36-0169-3 páginas 138.
- Educación Basada en Web, Modelo del Estudiante y Mapas Cognitivos. CIC, ISBN: 970-36-0170-7, páginas 182.

Referencias

*...Muchos correrán de aquí para allá,
Y la ciencia se aumentará.
(Daniel 12.4)*

- ADL (2007a) SCORM 2004 2nd Content Aggregation Model, Vol. 1.3.1. Advanced Distributed Learning (ADL) (última visita 18/02/07) <http://www.adlnet.gov/downloads/70.cfm>.
- ADL (2007b) SCORM 2004 3rd Multiple Sequencing with API, Vol. 1.0. Advanced Distributed Learning (ADL) (última visita 18/02/07) <http://www.adlnet.gov/downloads/197.cfm>.
- ADL (2007c) SCORM 2004 2nd Run-Time Environment, Vol. 1.3.3. Advanced Distributed Learning (ADL) (última visita 18/02/07) <http://www.adlnet.gov/downloads/197.cfm>.
- Aguilar, J. (2004) Dynamic Random Fuzzy Cognitive Maps. Iberoameric J. Computation and Systems, Vol. 4, No. 2, April, 260-271.
- Albarrán, M., y G. Escobar (2004) Método de investigación: El conocimiento, la ciencia y el proceso de investigación. Publicaciones Cultural, D.F., México.
- Albrecht, F., N. Koch and T. Tiller (2000) SmexWeb: An Adaptive Web-based Hypermedia Teaching System. Int. J. Interactive Learning Research, Intelligent Systems/Tools, 367.
- Alpert, S.R., M.R. Singley and P.G. Fairweather (1999) Deploying Intelligent Tutors on the Web: An Architecture and an Example. Int. J. Artificial Intelligence in Education, 13, 183-194.
- Anderson, J.R., C.F. Boyle, A.T. Corbett and M.W. Lewis (1990) Cognitive Modeling and Intelligent Tutoring. Artificial Intelligence, 42, 7-49.
- Ariadne (2007) Ariadne. Web Application Server and Content Management System. (última visita 18/02/07) <http://ariadne.muze.nl/>.
- Ariadne-EU (2007) Alliance Remote Instructional Authoring & Distribution Networks Europe. (última visita 20/02/07) http://www.ercim.org/publication/Ercim_News/enw33/forte.html.

- Aroyo, L. and P. Kommers (1999) Special Issue on Intelligent Agents for Educational Computer-Aided Systems. *Int. J. Interactive Learning Research*, Vol. 10, 3/4.
- Asnicar, F. and C. Tasso (1997) If Web: A Prototype of User-Model-Based Intelligent Agent for Document Filtering and Navigation in the WWW. In *Proc. Workshop Adaptive Systems and User Modeling on the WWW, User Modeling C.*
- Ausubel, D., J. Novak and H. Hanesian (1978) *Educational Psychology: A Cognitive View*. 2nd edition, New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Axelrod, R. (1976) *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*. Princeton.
- Ayala, G. and Y. Yano (1998) Collaborative Learning Environment Based on Intelligent Agents. *Int. J. Elsevier, Expert Systems with Applications* 14, 129-137.
- Barlett, F.C. (1932) *Remembering: A Study in Experimental and Social Psychology*. Cambridge University Press.
- Baumeister H., N. Koch and L. Mandel (1999) Towards a UML Extension for Hypermedia Design. In *Proc. UML '99, Fort Collins, USA, LNCS 1723*, Springer Verlag.
- Belleza, F.S. (1999) The Spatial Arrangement Mnemonic. *Int. J. Experimental Psychology: Applied*. 5(1), 54-75.
- Berners-Lee, T., J. Hendler and O. Lassila (2001) The Semantic Web. *Scientific American*, 284, 34-43.
- Bestavros, A. (1996) Speculative Data Dissemination and Service to Reduce Server Load, Network Traffic and Service. *Tine in Distributed Information Systems*. In *Proc. Int. C. Data Engineering*.
- Billinghurst, M. and S. Weghorst (1993) The Use of Sketch Maps to Measure Cognitive Maps of Virtual Environments. In *Proc. Virtual Reality Artificial Intelligent Systems*, 40-47.
- Blackboard (2007) Level One, Course Development and Management Tools. Blackboard Inc. (última visita 15/02/07) <http://www.blackboard.com/us/index>.
- Bloom, B.S. (1984) *Taxonomy of Educational Objectives: Published by Allyn and Bacon*. By Pearson Education.
- Booch, G. (1996) *Object Solutions: Managing the Object Oriented Project*. Addison Wesley.
- Brown, S. R.B. and Burton (1978) Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills. *Cognitive Science*, 2, 155-192.
- Brown, J.S., R.R. Burton and J. Klear (1982) Pedagogical Natural Language and Knowledge Engineering Techniques in SOPHIE I, II, and III. In Sleeman, D.H. and J.S. Brown (eds.): *Intelligent Tutoring Systems*, Academic Press, London.
- Brusilovsky, P. (1995a) Adaptive learning with WWW: The Moscow State University Project. In *Telematics for Education and Training*, Amsterdam, IOS Press, 252-255.
- Brusilovsky, P. (1995b) Towards Adaptive Learning Environments, GISI-95, 25. GI-Jahrestagung un 13, Schweizer Informatikertag, Zürich, September, 18-20.
- Brusilovsky, P. (2002) A framework for Adaptive E-Learning Based on Distributed Re-usable Learning Activities. In: M. Driscoll and T. C. Reeves (eds.) *Proc. World C. on E-Learning*, Montreal, Canada, October 15-19, 154-161.
- Brusilovsky, P. (2003a) Adaptive and Intelligent Web-based Education Systems. *Int. J. Artificial Intelligence in Education*, 13, 156-169.

- Brusilovsky, P. (2003b) A Distributed Architecture for Adaptive and Intelligent Learning Management Systems. In Proc. AIED2003, July 20-24, Sydney, Australia.
- Brusilovsky, P. (2003c) Adaptive and Intelligent Web-based Education Systems. *Int. J. Artificial Intelligence in Education*, 13, 156-169.
- Brusilovsky, P. (2004) Knowledge tree: A Distributed Architecture for Adaptive E-Learning. WWW 2004, May 17-22, New York, NY, ACM 1-58113-912-8/04/005.
- Brusilovsky, P. and D. Cooper (1999) (ADAPTS) Adaptive Hypermedia for a Web-based Performance Support System. Workshop on Adaptive Systems and User Modeling on WWW.
- Brusilovsky, P. and J. Vassileva (2003) Course Sequencing Techniques for Large-scale Web-based Education. *Int. J. Content Engineering Education and Lifelong Learning*, Vol. 13 .
- Brusilovsky, P., S. Ritter and E. Schwars (1997) Distributed Intelligent Tutoring on the Web. In: du Boulay, B. and R. Mizoguchi (eds.), *Artificial Intelligence in Education: knowledge and Media in Learning Systems*. IOS, Amsterdam 482-489.
- Buchanan, B.G., D. Barstow, R. Bechtel, J. Bennet, W. Clancey, C. Kulikowski, T.M.M. Mitchell and D.A. Waterman. (1983) Constructing an Expert System. In: Hayes-Roth.
- Bull, S., P. Brna and H. Pain (1995) Extending the Scope of the Student Model. *Int. J. User Modeling and User-Adapted Interaction*, Kluwer Academic Publishers, 5, 45-65.
- Bunge, M. (1979) *La ciencia, su método y su filosofía*. Ediciones Siglo Veinte, Nueva Imagen, Buenos Aires.
- Burton, R.B. and J.S. Brown (1979) An Investigation of Computer Coaching for Informal Learning Activities. In: Sleeman and Brown, 77-98.
- Büsser, M. and A. Ninch (2003) Brain Space – a Method for Computer Supported Collaborative Knowledge Construction. In Proc. IASTED Int. C., Computers and Advanced Technology in Education, Rhodes, Greece, June 30 – July 2.
- Campbell, D.T. (1975) Reforms as experiments. In E. L. Struening and M. Guttentag (eds.) *Handbook of evaluation research*. Vol. 1, Sage Publications, 71-100.
- Canales, A., A. Peña, R. Peredo, H. Sossa and A. Gutiérrez (2007) Adaptive and Intelligent Web Based Education System: Towards an Integral Architecture and Framework. *Int. J. Expert Systems with Applications*, Elsevier Series, Jay Liebowitz (ed) ISSN 0957-4174, 1076-1089. November 2007, qualified by ISI.
- Carbonell, J.R. (1970) AI in CAI: An Artificial Intelligence Approach to Computer Assisted Instruction. *Int. J. Transactions on Man Machine Systems*, MMS-11(4), IEEE, 190-202
- Carlsoon, Ch. and R. Fuller (1996) Adaptive Fuzzy Cognitive Maps for Hyper-knowledge Representations in Strategy Formation Process. In Proc. Int. C. on Soft and Intelligent Computing, Technical University of Budapest 43-50.
- Carr, B. and I. Goldstein (1977) *Overlays: a Theory of Modeling for Computer Aided Instruction* Cambridge, AI memo, 406, MIT, AI Laboratory.
- Carvalho, J.P. (2001) *Rule Base-based Cognitive Maps: Qualitative Dynamic Systems Modeling and Simulation*. PhD Thesis, Lisboa Technical University, Portugal.
- Ceri S., P. Fraternali and A. Bongio (2000) Web Modeling Language (WebML): A modeling languages for designing Web sites. In Proc. 9th Int. World Wide Web C., Amsterdam, May 15-19, (última visita 15/02/07) <http://www9.org/w9cdrom/177/177.html>.

- Chaib-draa, B. (2002) Causal Maps: Theory, Implementation and Practical Applications in Multiagent Environments. *Int. J. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, November.
- Chaib-draa, B. and J. Desharnais (1998) A relational model of cognitive maps. *Int. J. Human-Computer Studies*, Academic Press, 49, 181-200.
- Chávez, P. (2005) *Comprobación Científica*. 6ta. Reimpresión, Publicaciones Cultural, México.
- Chen, W. (2003) Web Services in Web-Based Education Systems. In *Proc. Int. C. Computers and Advanced Technology in Education (IASTED)*, Rhodes, Greece, June 30.
- Chin, D.N. (2001) Empirical Evaluation of User Models and User-Adapted Systems. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, Kluwer Academic Publishers, 181-194.
- Clancey, W.J. (1983) GUIDON. *Int. J. Computer Based Instruction*, 10(1-2), 8-15.
- Collins, A. M. and M.R. Quillian (1969) Retrieval Time from Semantic Memory. *Int. J. Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8, 240-248.
- Collins, J., J. Creer, V. Kumar and G. McCalla (1997) Inspectable User Models for Just-in Time. Workshop Training, In *Proc. Int. C. User Modeling (UM'97)* 327-337.
- Constantino, G.M., D. Suthers and D.J. Escamilla (2003) Coaching Web-based Collaborative Learning Based on Problem Solution Differences and Participation. *Int. J. Artificial Intelligence in Education*, 13(2-4), 262-297.
- Copi, I. (1972) *Introducción a la lógica*. Eudeba, Buenos Aires.
- Cook, R. and J. Kay (1994) The Justified user Model: a Viewable, Explained user Model. In *Proc. of the Fourth International C. on User Modeling*, Massachusetts, USA.
- Cronbach, L. J. (1984) *Essentials of psychology testing*. New York, Gardner Press.
- CSS (2007) Cascading Style Sheets. World Wide Web Consortium, W3C (última visita 18/02/07) <http://www.w3.org/Style/CSS/>.
- DAML (2007) Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) Agent Markup Language. (última visita 18/02/07) <http://www.daml.org/ontologies/>.
- De Bra, P.M.E. (1996) Teaching Hypertext and Hypermedia through the Web. *Int. J. Universal Computer Science* 2(2), 797-804.
- De Kleer, J. and J.S. Brown (1983) Assumptions and Ambiguities in Mechanistic Mental Models. In: Gentner, D. and A. Stevens (eds.) *Mental Models*, Lawrence Erlbaum Associates.
- Devedzic, M. and V. Devedzic (2003) Learning Demography in a Web Classroom: Ontology Support. In *Proc. Artificial Intelligence on Education (AIED'03)* Sydney, Australia, July 20-24.
- Dickerson, J.A. and B. Kosko (1994) Adaptive Cognitive Maps in Virtual Worlds. In *Proc. World Congress on Neural Networks*, Vol. 4 484-492.
- Dickerson, J.A. and B. Kosko (1997) Virtual Worlds in Fuzzy Cognitive Maps. In Kosko, B. (ed.): *Fuzzy Engineering*, Prentice Hall, New Jersey 499.
- Dublin Core (2007) Dublin Core Metadata Initiative. (última visita 18/02/07) <http://es.dublincore.org/>.
- ECMAScript (2007) World Wide Web Consortium, W3C (última visita 17/02/07) <http://www.w3.org/TR/2000/WD-SVG-20000629/ecmascript-binding.html>.
- Eden, C.J. (1979) *Thinking in organizations*. London Macmillan.

- Eito, R. (2001) Programación con XML. Anaya Multimedia.
- Encarnacao, M. and A. Store (1996) An Integrated Approach to User-centered Interface Adaptation. Technical Report WSI-96-10, University of Tübingen.
- Espinoza, F. and C. Höök (1996) An Interactive WWW Interface to an Adaptive Information System. In Proc. User Modeling C. (UM'96).
- Esposito, D. (2002) Building Web Solutions with ASP .NET and ADO.NET, Microsoft Press.
- ETS (2007) Kit of Factor-Referenced Cognitive Tests. ETS Research & Development, Educational Testing Service (última visita 1202/07) <http://www.ets.org/>.
- Falquet, G. and J.C. Ziswiler (2003) A Virtual Hyper Book Model to Support Collaborative Learning. In Proc. Artificial Intelligence on Education (AIED'03) Sydney, Australia, July 20-24.
- FIPA (2001) FIPA Ontology Service Specification. Foundation for Intelligent Physical Agents, XC00086D.
- FIPA (2002) FIPA Abstract Architecture Specification. Foundation for Intelligent Physical Agents, XC00001.
- Forrester, J.W. (1968) Principles of Systems. Whaltam, MA, Pegasus Communications.
- Frason, C., T. Mengelle, E. Aïmeur and G. Gouardères (1996) An Actor Base Architecture for ITS. In: Frason, C., G. Gauthier and A. Lesgold (eds.) Int. C. on Intelligent Tutoring Systems, ITS-96, Springer Verlag.
- García, F. (2003) La Ingeniería Web Aplicada a la Construcción de Sistemas de Educación a Distancia. Memorias del 4To. Taller Internacional de Sistemas de Información 2003, CIC-IPN, Pachuca, México, Agosto 20.
- García, H., C.A. Reyes y R. Morales (2003) Diseño e Implementación de Mapas Cognitivos Difusos para Tutoriales Inteligentes. In Proc. Congreso Int. de Informática y Computación de la ANIEI, Zacatecas, México, Octubre 22-24, 55-60.
- Gardner, H. (1983) Frames of Mind. New York: Basic Book Inc.
- Genesereth, M.R. and N.J. Nilsson (1987) Logic Foundation of Artificial Intelligence. Morgan Kaufmann, Los Altos California.
- Gómez J., C. Cachero and O. Pastor (2001) Extending a Conceptual Modeling Approach to Web Application Design. In Proc. C. on Advanced Information Systems Engineering, Springer LNCS Berlin, Interlaken, Switzerland, June 4-8 (última visita 15/02/07) <http://citeseer.ist.psu.edu/481295>.
- Greer, J. and G.I. McCalla (1997) Dimensions of User Modeling in Real-World Use. In Proc. User Models in the Real World Workshop, Int. C. on User Modeling, June.
- Gruber, T.R. (1995) Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. Int. J. Human and Computer Studies, 43 (5/6): 907-928.
- Guarino, N. (1998) Formal Ontology in Information Systems. In: Guarino, N. (ed.) Formal Ontology in Information Systems, In Proc. (FOIS'98), Trento, Italy, June 6-8. IOS Press, 3-15.
- Guarino, N. and P. Giaretta (1995) Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification. In: N. Mars (ed.) Towards Very large Knowledge Bases: Knowledge and Knowledge Sharing, IOS Press (Amsterdam), 25-32.
- Gutierrez, J., T. Perez, I. Usandizanga and P. Lopisteguy (1996) HyperTutor: Adapting Hypermedia Systems to the User. In Proc. Int. C. User Modeling (UM'96).

- Guttormsen, S. and H. Krueger (2000) Using new Learning Technologies with Multimedia. *Int. J. IEEE Multimedia*, July-September.
- Hafner, V.V. (2000) Learning Places in Newly Explored Environments. In: Meyer, Berthoz, Floreano, Roitblat and Wilson (eds.) In Proc. SAB2000 Supplement Book, Publication of the International Society for Adaptive Behavior (Honolulu), Paris, 111-120.
- Hathaway, S.R. and J.C. McKinley (2000) *Inventario Multifásico de la Personalidad Minnesota-2*. Editorial El Manual Moderno, México.
- Heift, T. and D. Nicholson (2001) Web Delivery of Adaptive and Interactive Language Tutoring. *Int. J. Artificial Intelligence in Education*, 12(4), 310-324.
- Henze, N. and W. Nejdil (2001) Adaptation in Open Corpus Hypermedia. *Int. J. Artificial Intelligence in Education*, 12(4), 325-350.
- Hernández, R., C. Fernández y P. Baptista (2006) *Metodología de la Investigación*. 4ta. Edición, Mc Graw Hill, México.
- HTML (2007) Hypertext Markup Language. World Wide Web Consortium, W3C (última visita 17/02/07) <http://www.w3.org/MarkUp/#html4>.
- HTTP (2007) Hypertext Transfer Protocol. World Wide Web Consortium, W3C (última visita 18/02/07) <http://www.w3.org/Protocols/>.
- Huff, A.S. (1990) *Mapping Strategic Thought*. England. Willey & Sons.
- IEEE (2007a) Learning Technology Standard Architecture (LTSA). Institute of Electrical and Electronic Engineer (última visita 17/02/07) <http://edutool.com/ltsa/>.
- IEEE (2007b) Learning Object Model (LOM) V.1484.12.1, Institute of Electrical and Electronic Engineer (última visita 17/02/07) <http://ieeeltsc.org/wg12LOM/>.
- IEEE (2007c) Data Model for Content Object Communication. V.1484.11.1, Draft Standard for Learning Technology Institute of Electrical and Electronic Engineer (última visita 17/02/07) http://ltsc.ieee.org/wg11- /files/IEEE_1484.11.1_D5_submitted.pdf.
- IMS (2007a) Instructional Management Systems Global Learning Consortium Inc. (última visita 14/02/07) <http://www.imsglobal.org>.
- IMS (2007b) IMS Learner Information Package Specification. IMS Global Learning Consortium Inc. (última visita 14/02/07) <http://www.imsglobal.org/profiles/index.html>.
- IMS (2007c) IMS Learning Design Information Model. IMS Global Learning C. (última visita 20/02/07) http://www.imsglobal.org/learningdesign/ldv1p0/imslid_infov1p0.html.
- IMS (2007d) IMS Reusable Definition of Competency or Educational Objective, IMS Global Learning C. (última visita 14/02/07) <http://www.imsglobal.org/collectionsearchaction.cfm>.
- Isakowitz, T., E.A. Stohr and P. Balasubramanian (1995) RMM: A Methodology for Structured Hypermedia Design. In *Communications of the ACM*, Vol. 38, 8, 33-44, August (última visita 15/02/07) <http://citeseer.ist.-psu.edu/isakowitz95rmm.html>.
- ISO (2007a) Vocabulary. (SC36/WG1), Industry Standards Organization (ISO) (última visita 20/02/07) <http://vocabulary.jtc1sc36.org/>.
- ISO (2007b) Collaboration Technology. (SC36/WG2), Industry Standards Organization (ISO) (última visita 20/02/07) <http://collab-tech.jtc1sc36.org/>.

- ISO (2007c) Learner Information. (SC36/WG3), Industry Standards Organization (ISO) (última visita 20/02/07) <http://participant-info.jtc1sc36.org/>.
- ISO (2007d) Management and Delivery. (SC36/WG4), Industry Standards Organization (ISO) (última visita 20/02/07) <http://mdlet.jtc1sc36.org/>.
- Jacobson, I., G. Booch and J. Rumbaugh (1999) *El Lenguaje Unificado de Modelado*. Addison Wesley
- Jacobson, I., G. Booch and J. Rumbaugh (2000) *El Proceso Unificado de Desarrollo de Software*. Addison Wesley.
- JavaScript (2007) Java Script. JavaScript (última visita 1702/07) <http://www.javascript.com/>.
- Jennings, A. and H. Higuchi (1993) A User Model Neural Network for a Personal News Service. *Int. J. User Modeling and User Adapted Interaction*, 3(1) 1-25.
- Johns, C. and E. Blake (2001) Cognitive Maps in Virtual Environments: Facilitation of Learning Through the Use of Innate Spatial Abilities. In *Proc. 1st Int. C. on Computer Graphics, Virtual Reality and Visualization*. Cape Town, South Africa, 125– 129.
- Johnson, W.L. (1990) Understanding and Debugging Novice Programs. *Artificial Intelligence*, 42, 51-97.
- Kelly, G.A. (1955) *The Psychology of Personal Constructs*, New, Norton.
- Khan, S., S. Khor and A. Chong (2004) Fuzzy Cognitive Maps with Genetic Algorithm for Goal Oriented Decision Support. *Int. J. Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*.
- Klein, J. and D. Cooper (1982) Cognitive Maps for Decision Makers in a Complex Game. *Int. J. Operational research society*, 2, 377-393.
- Koch, N. (2000) *Software Engineering for Adaptive Hypermedia Systems: Reference Model. Modeling Techniques and Development Process*, Dissertation zur Grades des Doktors der Ludwig Maximilians Univeristät München, 12.
- Koper, R. (2002) Modeling Units of Study from a Pedagogical Perspective. (última visita 20/02/07) <http://eml.ou.nl/-introduction/docs/ped-metamodel.pdf>.
- Kosko, B. (1986) Fuzzy Cognitive Maps. *Int. J. Man-Machine Studies*, Vol. 24, 65-75.
- Kosko, B. (1992) Fuzzy Associative Memory Systems. *Int. J. Fuzzy Expert Systems*, 135-162.
- Koulouriotis, D.E., I.E. Diakoulakis, D.M. Emiris, E.N. Antonidakis and I.A. Kaliakatsos (2003) Efficiently Modeling and Controlling Complex Dynamic Systems Using Evolutionary Fuzzy Cognitive Maps. *Int. J. Computational Cognition*, Vol. 1, No. 2, 41–65.
- Kozierok, C. (2005) *The TCP/IP Guide: A Comprehensive, Illustrated Internet Protocols Reference*. No Starch Press Inc.
- Laureano, A.L., J. Ramirez and A. Teran (2004) Evaluation of the Teaching-Learning Process with Fuzzy Cogniive Maps. In *Proc. Iberamia 2004*, Puebla, México. November 23.
- Learning Space (2007) Learning Space. Open University (última visita 20/02/07) <http://openlearn.open.ac.uk/>.
- Leont'ev, A. N. (1978) *Activity, Consciousness and Personality*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Limonalco, T. and R. Sison (2003) Learner Agents as Student Modeling: Design and analysis. In *Proc. Int. C. Computers and Advanced Technology in Education (IASTED'03)*, Rhodes, Greece, June 30 - July 2.

- Lin, C.T. and C.S.G. Lee (1996) *Neural Fuzzy Systems: A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems*. Prentice Hall.
- Liu, J. (2003) *Web Intelligence (WI): What Makes Wisdom Web*, In Proc. Int. C. Artificial Intelligence (IJCAI'03) Acapulco, México, August 9-15.
- Lytras, M. and A. Tsilira (2003). *Semantic Web-Challenges for E-Learning: A Discussion of the new Research Agenda in the E-Learning Field*. In Proc. Int. C. Computers and Advanced Technology in Education (IASTED), Rhodes, Greece, June 30 – July 2.
- Mathé, N. and J. Chen (1996) *User-centered, Indexing for Adaptive Information Access*. Int. J. User Modeling and User-Adapted Interaction, 6(2-3), 225-261.
- McCalla, G.I., J.E. Greer, V.S. Kumar, P. Meagher, J.A. Collins, R. Tkatch and B. Parkinson (1997) *A Peer Help System for Workspace Training*. In: B. Boulay and R. Mizoguchi (eds.) *AI-ED'97, 8th World Conference Artificial Intelligence in Education*, Amsterdam, 183-190.
- Melis, E., E. Andrés, J. Bündenbender, A. Frishauf, G. Goguadse, P. Libbrecht, M. Pollet and C. Ullrich (2001) *Active Math: A Web-based Learning Environment*. Int. J. Artificial Intelligence in Education, 12(4) 385-407.
- Mertens, D.M. (2005) *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative and mixed methods (2nd Ed.)* Thousand Oaks: Sage.
- Miao, Y. and Z. Liu (2000) *On Causal Inference in Fuzzy Cognitive Maps*. Int. J. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 8, No. 1, January.
- Miao, Ch., A. Goh, Y. Miao and Z. Yang (2001) *A dynamic Inference Model for Intelligent Agents*. Int. J. Software Engineering and Knowledge Engineering, 5, 509-52.
- Miguelena, F. (2000) *Fundamentos Científicos de los Modelos*. Editorial Instituto Politécnico Nacional, México.
- Mitrovic, A. (2003) *An Intelligent SQL Tutor on the Web*. Int. J. Artificial Intelligence in Education, 13(2-4), 171-195.
- Montezemi, A. and D. Conrath (1986) *The Use of Cognitive Mapping for Information Requirement Analysis*. MIS Quarterly, 45-56.
- Morales, R. (2000) *Exploring Participative Learner Modeling and its Effects on Learner Behavior*. PhD thesis, University of Edinburgh.
- Moukas, A. and P. Maes (1998) *Amalthea: An Evolving Multi-agent Information Filtering and Discovery System for the WWW, Autonomous Agents and Multi-agent System*, 1.
- Murphy, M. and M. McTear (1997) *Learner Modeling for Intelligent CALL*. User Modeling, In Proc. 6th Int. C., UM 301-312.
- Murray, T. (2003) *MetaLinks: Authoring and Affordances for Conceptual and Narrative Low in Adaptive Hyperbooks*. Int. J. Artificial Intelligence in Education, 13 197-231.
- My UCLA (2007) *My UCLA. Virtual University Portal of University of California Los Angeles* (última visita 20/02/07) <http://www.my.ucla.edu>.
- My UW (2007) *My UW, Virtual University Portal of University of Washington*. (última visita 20/02/07) <http://www.myuw.Washington.edu>.
- Nakamura, K., S. Iwai and T. Sawaragi (1982) *Decision Support Using Causation Knowledge Base*. Int. J. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 12, 765-777.

- Noguez, J., E. Sucar and F. Ramos (2003) A Probabilistic Relational Student Model for Virtual Laboratory. In Proc. AIED2003, July 20-24, Sydney, Australia.
- Novack, J. (1977) A Theory of Education. Ithaca, NY Cornell University Press.
- Noy, N.F. and D.L. McGuinness (2001) Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Stanford University, (última visita 15/02/07) <http://www.ksl.stanford.edu/people/dlm/papers/ontology-tutorial-noy-mcguinness-abstract>.
- Oda, T., H. Satoh and S. Watanabe (1998) Searching Deadlocked Web Learners by Measuring Similarity of Learning Activities. In Proc. Workshop WWW-Based Tutoring at 4th Int. C. on ITS, august 16-19, San Antonio, TX.
- Odell, J., H. Parunak, H. Dyke and B. Bauer (2000). Extending UML for Agents. Workshop at AAAI.
- Okazaki, Y., K. Watanabe and H. Kondo (1996) An Implementation of an Intelligent Tutoring System on the WWW, Educational Technology Research, 19(1), 35-44.
- OKI (2007) The Open Knowledge Initiative. Massachusetts Institute of Technology. (última visita 20/02/07) <http://www.okiproject.org/>.
- Orwant, J. (1995) Heterogenous Learning in the Doppelgänger User Modeling System. Int. J. User Modeling and User-Adapted Interaction, 4(2), 107-130.
- OWL (2007) Web Ontology Language. World Wide Web Consortium, W3C (última visita 17/02/07): <http://www.w3.org- /2004/OWL/>.
- Paiva, A., J. Self and R. Hartley (1995) Externalizing Learner Models. In Proc. AIED'95, AACE Publication.
- Parenthöen, M., P. Reignier, and J. Tisseau (2001) Put Fuzzy Cognitive Maps to Work in Virtual Worlds. In Proc. 10th IEEE Int. C. on Fuzzy Systems, Melbourne, Australia.
- Parenthöen, M., J. Tisseau and T. Morineau (2002) Believe Decision for Virtual Actors. In Proc. IEEE Int. C. on Systems, Man and Cybernetics, Hammamet, Tunes, October 6-9.
- Papageorgiou, E.I., K.E. Parsopoulos, P.P. Groumpos and M.N. Vrahatis (2004) Fuzzy Cognitive Maps Learning through Swarm Intelligence. Springer Verlag, LNAI , 3070, 344-349.
- Parsopoulos, K.E., E.I. Papageorgiou, P.P. Groumpos and M.N. Vrahatis (2004) Evolutionary Computation Techniques for Optimizing Fuzzy Cognitive Maps in Radiation Therapy Systems. Springer Verlag, LNCS, 3102, 402-413.
- Peña, A. (2004) Administrador de Ontologías: Una Propuesta de Construcción, Reporte Técnico, Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional, D.F., México, Agosto. ISBN 970-36-0171-5, 89.
- Peña, A. (2005) Collaborative Student Modeling by Cognitive Maps. DFMA 2005, 1st Int. C. Distributed Frameworks for Multimedia Applications, Edited by IEEE, France Section, University of Franche-Comté, February 6-9, Besançon, France, ISBN 0-7695-2273-4, 160-167.
- Peña, A. y A. Gutiérrez (2004a) Ingeniería para los Sistemas Web: Una Propuesta Metodológica, Reporte Técnico, Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional, D.F., México, Agosto 2004, ISBN: 970-36-0169-3, 138.
- Peña, A. and A. Gutiérrez (2004b) Adaptive Learning Through Cognitive Maps. E-Learn 04, World C. on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare & Education, Organizado por Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), November 1-5 , Washington, DC, USA, ISBN 1-880094-57-6. 2090-2095.

- Peña, A. y A. Gutiérrez (2004c) Propuesta Conceptual para un Sistema Adaptivo de Educación Basada en Web. CNIES'04, 8vo Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas, Organizado por: Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN, Noviembre 15-19, 2004, D.F., México, ISBN: 970-36-0211-8, 114-121.
- Peña, A. y H. Sossa (2004a) Educación Basada en Web. Modelo del Estudiante y Mapas Cognitivos: Un Estado del Arte. Reporte Técnico, Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional, D.F., México, Julio, ISBN 970-36-0170-7, 182.
- Peña, A. y H. Sossa (2004b) Educación Basada en Web: Un Estado del Arte. XX Simposio Internacional de Computación en la Educación, Organizado por la Sociedad Mexicana de Computadoras en la Educación (SOMECE), Octubre 16-20, Puebla, México., 101-112.
- Peña, A. and H. Sossa (2004c) Using Cognitive Maps to Develop a Student Model. Iberamia-2004, Ibero-American Workshops on Artificial Intelligence, Organizado por Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Noviembre 22-23, Puebla, México, ISBN 968-863-786-6, 435-445
- Peña, A. and H. Sossa (2004d) Web-based Education supported by Intelligent Web Software Engineering. ICCE'2004, Int. C. on Computers in Education, Edited by Asia-Pacific Society for Computers in Education (APSCE) and RMIT University. November 30-December 2, Melbourne, Australia, ISBN: 1-86335-570-7, 1713-1721.
- Peña, A. and H. Sossa (2005) Negotiated Learning by Fuzzy Cognitive Maps. WBE 05, 4th Int. C. Web-Based Education, Organized by The International Association of Science and Technology for Development (IASTED), Grindelwald, Switzerland, February 21-23, ISBN: 0-88986-482-9, ISSN: 1482-7905, 590-595.
- Peña, A., H. Sossa and A. Gutiérrez (2005a) Intelligent Web Software Engineering. SEAAIR'05, 5th C. of South East Asian Association Institutional Research, Organized by South East Asian Association Institutional Research (SEAAIR), Widyatama University, Indonesia, Bali, Indonesia, September 14-16, ISBN 979-25-0220-3., 307-314.
- Peña, A., H. Sossa and A. Gutiérrez (2005b) Ontology-based Knowledge Administration. E-Learn 05. World C. on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare & Education, Organizado por Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), Vancouver, Canada, October 24-28, ISBN 1-880094-57-6, 128-133.
- Peña, A., H. Sossa and A. Gutiérrez (2005c) Knowledge and Reasoning Supported by Cognitive Maps. Edited by Springer in Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI 3789), In Proc. MICAI'05, 4th Mexican Int. C. on Artificial Intelligence (SMIA) and the American Society of Artificial Intelligence (ASAI), Monterrey, México, November 14-18, ISSN: 0302-9743, ISBN 3-540-29896-7, 41-50, qualified by ISI.
- Peña, A., H. Sossa and A. Gutiérrez (2006a) Web-Services based Ontology Agent. In Proc. 2nd Int. C. Distributed Frameworks for Multimedia Applications, Edited by IEEE, Malasya Section, Malaysia Research & Education Network (MyREN), Univeristy Sains Malaysia, May 14-17, Penang, Malasia, ISBN 1-4244-0409-6, 115-122.
- Peña, A., H. Sossa and A. Gutiérrez (2006b) Predictive Causal Approach for Student Modeling. In Proc. 5th Mexican Int. C. on Artificial Intelligence (MICAI'06) Edited by IEEE, Organized by Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA) y la American Society of Artificial Intelligence (ASAI), November 15, Apizaco, México, ISBN 0-7695-2722-1, 398-407.

- Peña, A., H. Sossa and A. Gutiérrez (2006c) Cognitive Maps-Based Student Model. By: R. Mizoguchi, P. Dillenbourg and Z. Zhu (eds), IOS Press, Learning by Effective Utilization of Technologies: Facilitating Intercultural Understanding, Vol. 151 Frontiers in Artificial Intelligence and Applications Edited In Proc. ICCE'06, 14th Int. C. on Computers in Education, Organized by Asia-Pacific Society for Computers in Education (APSCE), Beijing, China. 30 noviembre – 3 diciembre de 2006, Hosted by Beijing Normal University, ISBN 1-58603-687-4, ISSN 0922-6389, 643-644.
- Peña, A., H. Sossa and A. Gutiérrez (2007a) Ontology based Rule Base Fuzzy Cognitive Maps. In Proc. Int. C. Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunication (SETIT'2007), In: IEEE Marocco Chapter (ed.) Hammamet, Tunisia, March 25-29, ISBN: 978-9973-61-474-2, 114-121.
- Peña, A., H. Sossa and A. Gutiérrez (2007b) Ontology Agent based Rule Base Fuzzy Cognitive Maps. In: Nguyen, N.T. (ed.): Springer in Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI 4496), In Proc. Agents And Multi-Agent Systems - Technologies And Applications (KES'07) Wroclaw, Poland, May 31-June 1st, ISBN 3-540-29896-7, ISSN 0302-9743, 328-337, qualified by ISI.
- Peña, A., H. Sossa and A. Gutiérrez (2007c) Cognitive Maps: An Overview and their Application for the Student Modeling. Int. J. Iberoamericana de Computación y Sistemas, CIC-IPN, México, ISSN: 1405-5546, August 2007, qualified by CONACYT, Latindex and RedALyC.
- Peña, A., H. Sossa and A. Gutiérrez (2007d) Causal knowledge and reasoning by cognitive maps: pursuing a holistic approach. Int. J. Elsevier, Expert Systems with Applications. Jay Liebowitz Editor. ISSN 0957-4174, accepted to be published in December 2008, qualified by ISI.
- Pérez, M., C. Durán y E. Gómez (2003) Un estudio sobre la estabilidad temporal del MMPI-A. J. Salud Mental, Vol. 26, No. 26, abril, 55-96 (última visita 15/02/07) <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/582/58222607.pdf>.
- Perkowitz, M. and O. Etzioni (2000) Towards Adaptive Web Sites, Conceptual Framework and Case Study. Artificial Intelligence, 118(1-2), 245-275.
- Platt, D. (2003) Introducing Microsoft.Net. 3rd E. Microsoft Press.
- Protégé (2007): Protégé Vol. 3.2.1. The Protégé Project, Stanford University, (última visita 15/02/07) <http://protege.stanford.edu>.
- Quillian, R. (1968) Semantic Memory. In Semantic Information Processing, Minsky M. (ed.) MIT. Press, Cambridge Massachusetts, USA.
- RDF (2007) Resource Description Framework (última visita 21/02/07) <http://www.w3c.org/tr/rdf-concepts/>.
- Rich, E. (1979) User Modeling via Stereotypes. Computer Science 3, 329-354.
- Rich, E. and K. Knight (1991) Artificial Intelligence. Mc Graw Hill, 2nd Edition.
- Ríos, A., E. Millán, M. Trella, J.L. Pérez and R. Concejo (1999) Internet Based Evaluation System. In: Lajoic, S.P. and M. Vivet (eds.): Artificial Intelligence in Education: Open Learning Environments, IOS Press Amsterdam, 387-394.
- Ritter, S. (1997) Pat-Online: A model for Tracing Tutor on the WWW. In Proc. Workshop Intelligent Educational Systems on the WWW, 8th World C. on Artificial Intelligence in Education (AI-ED '97), Kobe, Japan, August 18.
- Ross, L. and R. Hall (1980) Influence Diagrams and Organizational Power. Administration Science, quarterly, 25, 57-71.

- Royce, W. (1998) Software Project Management. Addison Wesley.
- Rueda, U., M. Larrañaga, B. Ferrero, A. Arruarte and J.A. Elorriaga (2003) Study of Graphical Issues in a Tool for Dynamically Visualising Student Models. In Proc. AIED2003, Sydney, Australia, July 20-24.
- Self, J. (1988a) Bypassing the Intractable Problem of Student Modeling. In Proc. ITS'88, 18-24.
- Self, J. (1988b) The use of Belief Systems for Student Modeling. In Proc. 1st European Congress on Artificial Intelligence and Training.
- Self, J. (1991) Formal Approaches to Student Modeling. Technical Report, AI-59 Lancaster University, England.
- Self, J. (1999) The defining characteristics of intelligent tutoring systems research ITS care, precisely, Int. J. Artificial Intelligence in Education, 10, 350-364.
- Sharp, J. and J. Jagger (2003) Microsoft Visual C# .Net, Step by Step. Microsoft Press.
- Sheremetov, L. y V. Uskov (2001) Hacia la nueva generación de sistemas de aprendizaje basado en la Web. Revista Computación y Sistemas, CIC-IPN.
- Short, S. (2002) Building XML Web Services for the .Net Platform. Microsoft Press, 3-4.
- Smith, R.L., H. Gicaves, T.H. Besine and V.G. Marinov (2003) Computer-assisted Axiomatic Mathematics Informal Rigor. In: Computer Education. Lecarne and Lewis (eds.), North Holland, Amsterdam.
- SOAP (2007) Simple Object Access Protocol. World Wide Web Consortium, W3C (última visita 18/02/07) <http://www.w3.org/TR/2003/REC-soap12-part0-20030624/>.
- Soller, A. and A. Lesgold (2003) A computational Approach to Analyzing Online knowledge Sharing Interaction. In U. Hopper, F. Verdejo and J. Kay (eds.), AI-ED'2003, 253-260.
- Stybilinsky, M. and B. Mayer (1988) Fuzzy Cognitive Maps, Signal Flow Graphs, and Qualitative Circuit Analysis. In Proc. IEEE Int. C. on Neural Networks, 549-556.
- Suppes, P. (1984) Introducción a la Lógica Simbólica. Editorial CECSA.
- SW (2007) Semantic Web. World Wide Web Consortium, W3C (última visita 18/02/07) <http://www.w3.org/2001/sw/>.
- Taber, W.R. and M. Siegel (1987) Estimation of Expert Weights with Fuzzy Cognitive Maps. In Proc. 1st Int. C. on Neural Networks (ICNN-87), 319-325.
- Tamura, Y., T. Inoue, Y. Miyadera, M. Kayama, K. Iwazaki and T.Okamoto (2003). Meta-data for Collaborative Learning, In Proc. Int. C. Computers and Advanced Technology in Education (IASTED), Rhodes, Greece, June 30 – July 2.
- Timm, U. and M. Rosewitz (1998) Benutzermodellierung in der Elektronischen Produktberatung – Konzept und prototypische Realisierung in einer On-line Umgebung, In Proc. ABIS-98: Workshop on Adaptively & User Modeling in Interactive Software Systems.
- Tolman, E.C. (1948) Cognitive Maps in Rats and Men. Psychological Review, July, 198-208.
- Trowbridge, C.C. (1913) On Fundamental Methods of Orientation and Imaginary Maps. In Science (Washington, D.C.), N.S., 38 (990), December 19, 888-897.
- UDDI (2007) Universal Description Discovery and Integration. OASIS UDDI Member Section (última visita 18/02/07) <http://www.uddi.org>.

- Uhr, I. (1969) Teaching Machine Programs that Generate Problems as a Function of Interaction with Students. In Proc. 24th National Conference, 125-134.
- Uskov, V. (2001) Development of Web-based Instructional Tool and Online Educational Materials of the third Generation. In Proc. World C. on the Internet and World Wide Web (WebNet-2001), Orlando Florida, October 23-27.
- Uskov, V. and C. Etaugh (2003) Bradley University, Towards Innovative Web Based Education. In Proc. International C. Computers and Advanced Technology in Education (IASTED), Rhodes, Greece, June 30 – July 2.
- VALS (2007) Internet values and lifestyles. SRI Consulting Business Intelligence (última visita 21/02/07) <http://www.sric-bi.com/VALS/>.
- Vassileva, J. (1992) A three-dimensional Perspective on the Current Trends in Student Modeling. In Proc. EW'92 East-West Conference on Emerging Technologies in Education, 315-320.
- Vassileva, J. (1996) A task-centered Approach for User Modeling in a Hypermedia Office Documentation Systems. Int. J. User Modeling and User-Adapted Interaction, 6, 185-223.
- Vázquez, A. (2002) A Balanced Differential Learning Algorithm in Fuzzy Cognitive Maps. Depto. Lenguajes, Universidad Politécnica de Cataluña, (última visita 14/02/07) http://monet.aber.ac.uk:8080/monet/docs/pdf_files/qr_02/qr2002alberto-vazquez.pdf.
- Villoro, L. (1982) Saber, crear, conocer. Ed. Siglo XXI, D.F., México,
- VU-ITESM (2007) Virtual University. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. (última visita 20/02/07) <http://www.ruv.itesm.mx/>
- Warmer, J. and A. Kleppe (1999) The Object Constraint Language: Precise Modeling with UML. Object Technology Series. Addison-Wesley.
- W3C (2007) World Wide Web Consortium. (última visita 15/02/07) <http://www.w3c.org>.
- WebCT (2007) WebCT Course Management System, Lynnfield, MA, WebCT Inc. (última visita 15/02/07) <http://www.webct.com>.
- Weber, G. and P. Brusilovsky (2001) ELM-ART: An Adaptive Versatile System for Web-based Instruction. Int. J. Artificial Intelligence in Education, 12, 351-384.
- Weber, G. and M. Specht (1997) User Modeling and Adaptive Navigation Support in WWW-based Tutoring Systems. In: Jameson, A., C. Paris and C. Tasso (eds.) User Modeling, Springer Verlag, Wien, 289-300.
- Weber, G., H.C. Kuhl and S. Weibezahl (2001) Developing Adaptive Internet Based Courses with the Authoring System NetCoach, In Proc. 3rd Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia, Sonthofen, Germany, Technical University Eindhoven, 35-48.
- Wechsler, D. (2000) WAIS-Español: Escala de Inteligencia para Adultos. Editorial El Manual Moderno, México.
- Wegner, E. (1987) Artificial Intelligence and Tutoring Systems, Computational Approaches to the Communication of Knowledge, Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Wellman, M. (1990) Fundamental Concepts of Qualitative Probabilistic Networks. Artificial Intelligence, 44:257-303.
- Wellman, M. (1994) Inference in Cognitive Maps. Mathematics and Computers in Simulation, 36, 137-148.

- Wooldrige, M., N.R. Jennings and D. Kinn (2000) *The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design, Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- WS (2007) *Web Services*. World Wide Web Consortium, W3C (última visita 18/02/07) <http://www.w3.org/2002/ws/>.
- Wyke, A., S. Rehman and B. Leupen (2002) *XML Programming*. Microsoft Press.
- XHTML (2007) *Extended Hypertext Markup Language*. World Wide Web Consortium, W3C (última visita 18/02/07) <http://www.w3.org/MarkUp/>.
- XML (2007) *Extensible Markup Language (XML)* World Wide Web Consortium, W3C (última visita 18/02/07) <http://www.w3.org/XML/>.
- XSD (2007) *XML Schema Definition*. World Wide Web Consortium, W3C (última visita 18/02/07) <http://www.w3.org/XML/Schema>.
- Yacef, K. (2003) *Some Thoughts on the Synergetic Effects of Combining ITS and LMS Technologies for the Service of Education*, In Proc. AIED2003, Sydney, Australia, July.
- Zaitseva, L. and C. Boule (2003) *Adaptation in WBE Systems Based on Student Model*. In Proc. Int. C., *Computers and Advanced Technology in Education (IASTED)* June 30-July 2, Rhodes, Greece, 161-163.
- Zadeh, L. (1965) *Fuzzy sets*. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zadeh, L. (1978) *Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility*. *Fuzzy sets and systems*, 1(1).
- Zadeh, L. (1987) *Fuzzy Sets and Applications: Selected Papers*, Wiley-interscience.
- Zadeh, L. (1997) *Towards a Theory of Fuzzy Information Granulation and its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic*, *Fuzzy Sets and Systems*, 19.
- Zhang, W.R. (2003a) *Soundness and Completeness of 4-Valued Bipolar Logic*. *Int. J Multi-Valued Logic and Soft Computing*, Vol. 9, 241-256.
- Zhang, W.R. (2003b) *Equilibrium Relations and Bipolar Cognitive Mapping for Online Analytical Processing with Applications in International Relations and Strategic Decision Support*. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 33, No. 2, April.
- Zhang, W.R. (2003c) *Equilibrium Energy and Stability Measures for Bipolar Fuzzy Decision and Global Regulation*. *Int. J. of Fuzzy Systems*, Vol. 5, No. 2.
- Zhang, W.R. and S.S. Chen (1988) *A Logical Architecture for Cognitive Maps*. In Proc. 2nd IEEE Int. C. on Neural Networks (ICNN-88), 231-238.
- Zukerman, I. and D.D. Albrecht (2001) *Predictive Statistical Models for User Modeling*. *Int. J. User Modeling and User-Adapted Interaction*, Kluwer Academic Publishers, 11: 5-18.

Apéndice 1

Desarrollo del prototipo

*Conforme a la gracia de Dios que me ha sido dada,
Yo como perito arquitecto puse el fundamento, y otro edifica encima;
Pero cada uno mire como sobreedifica.
(1era. Corintios 3.10)*

En este apéndice se presenta la forma en que se implementan los postulados teóricos y formales del modelo del estudiante basado en mapas cognitivos a través del prototipo. En la creación del prototipo se utiliza el método ISIW, el cual se compone por cuatro flujos de trabajo: requisitos, análisis, diseño e implementación. Como resultado de la ejecución de los flujos de trabajo se producen los siguientes modelos: casos de uso, análisis, diseño, despliegue e implementación. Por consiguiente, en este apéndice se dedican cinco secciones para describir la naturaleza, la estructura y los componentes de los modelos citados. En relación con los diagramas ilustrados en este apéndice, sus símbolos son definidos en el Anexo 1.

A1.1 El modelo de casos de uso

El modelo de casos de uso representa los requerimientos funcionales que el prototipo debe satisfacer de acuerdo con el objeto de estudio que se pretende implementar. El desarrollo del modelo de casos de uso consta de las siguientes actividades: definición del entorno mediante la identificación de los actores; descripción de los objetos que componen el modelo de dominio; establecimiento de los procesos funcionales que recrean el modelo de negocio; identificación de los niveles de proceso que integran la arquitectura del prototipo; selección de los elementos que componen la interfaz del usuario; y definición de los *términos clave* que son empleados en el contexto del prototipo. Cabe señalar que los términos clave aparecen en la Sección correspondiente al glosario.

A1.1.1 Actores

Los actores son individuos o recursos de cómputo que demandan algún valor del prototipo. Los actores humanos que interactúan con el prototipo son los siguientes: estudiante, tutor, desarrollador y administrador. Estos actores realizan un papel protagónico de acuerdo con una perspectiva particular de interés y roles a desempeñar, tal como se describe a continuación:

- Estudiante. Representa al conjunto de individuos interesados en la educación que el SEBW ofrece. Entre los roles se encuentran: solicitante, alumno, usuario y evaluador.
- Tutor. Corresponde al individuo que supervisa el proceso de enseñanza-aprendizaje que el estudiante experimenta en su interacción con el SEBW.
- Desarrollador. Se refiere al conjunto de personas que está a cargo de crear los módulos del SEBW, a saber: de secuencia, de evaluación, de provisión de contenido, interfaz sistema-estudiante y administrador. También, se incluyen aquellas personas dedicadas al diseño de los repositorios del SEBW, tales como: temario, contenido y evaluación.
- Administrador. Es el conjunto de individuos encargados de integrar, organizar y manejar la infraestructura de recursos y programas de cómputo necesarios para el funcionamiento del SEBW. Adicionalmente, se consideran como tales a las personas responsables del uso del SEBW para proveer un servicio de educación.

Los actores de cómputo representan los programas y repositorios de cómputo que componen el SEBW y que interactúan con el prototipo. De acuerdo con la descripción funcional de los módulos y acervos, establecida en la Sección 1.3.4.3, se identifican los actores: secuencia, seguimiento, evaluador, proveedor de contenido, interfaz sistema-estudiante, administrador y modelo del estudiante; también se consideran los repositorios plan educativo, registro de actuación y contenido.

A1.1.2 Modelo de casos de uso

El modelo de casos de uso analiza al prototipo desde la perspectiva de su uso y establece en forma gráfica la forma en que se provee valor a sus actores. Este modelo concentra los requisitos funcionales mediante casos de uso, en donde aparecen los actores, la funcionalidad y el rol que juega el actor que inicia el caso de uso.

A efecto de adquirir una vista global de la funcionalidad que se implementa en el prototipo, se expone en la Figura A1.1 un diagrama compuesto por cuatro casos de uso que integran los requisitos funcionales citados previamente.

Una vez identificados los casos de uso se procede a describir su funcionalidad mediante un registro de información denominado *plantilla*. En este esquema se describe la naturaleza del caso de uso, las condiciones anteriores y posteriores a su empleo, la secuencia de acciones y las excepciones a considerar para su aplicación.

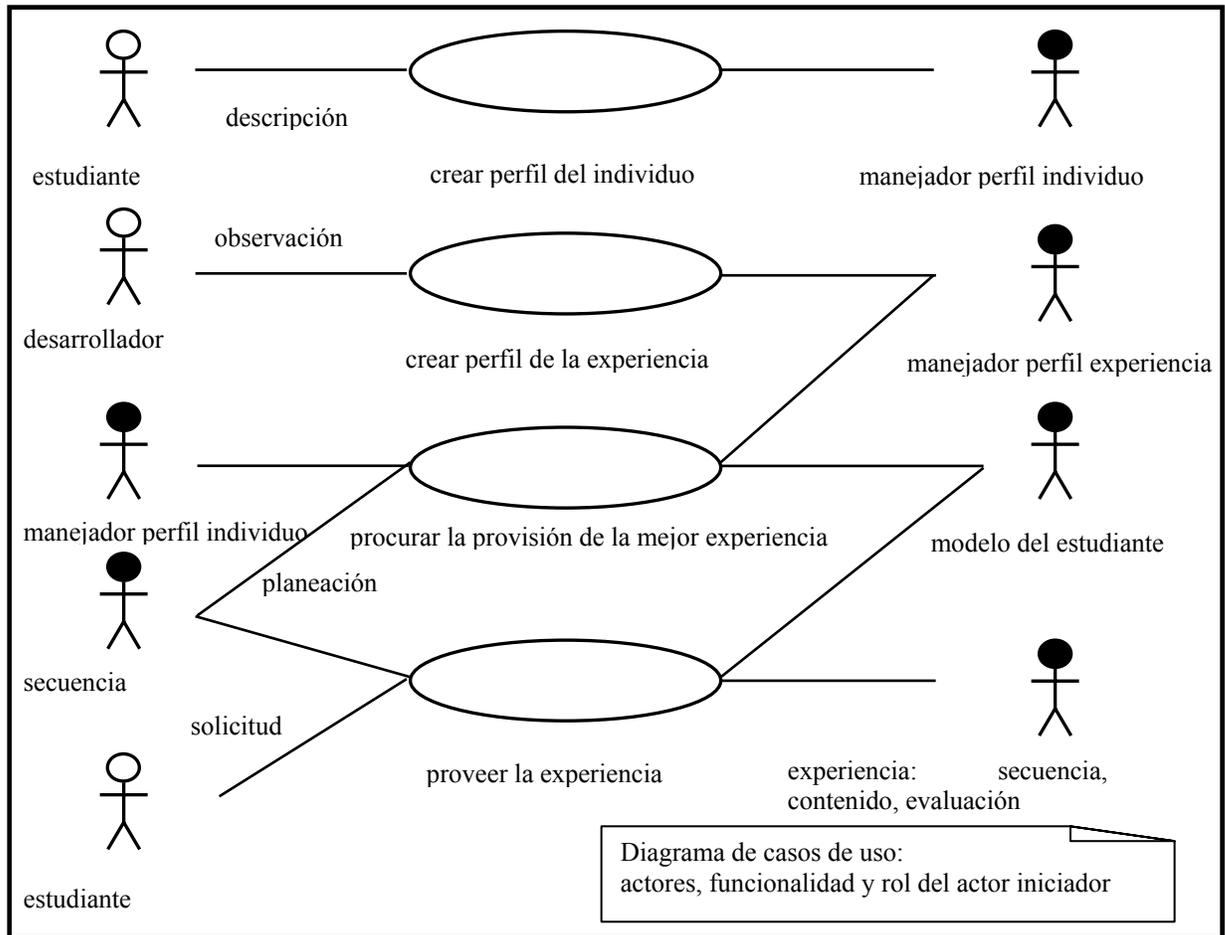


Figura A1.1 Modelo de casos de uso a nivel general

A1.1.3 Modelo de objetos

El modelo de objetos describe la perspectiva interna de la funcionalidad sustantiva a cargo del prototipo. El modelo exhibe la forma en que cada caso de uso es ejecutado por un grupo de trabajadores que realiza un conjunto de entidades de negocio y de unidades de trabajo. Los trabajadores son actores responsables del ejercicio o supervisión de una función específica. Las entidades de negocio representan objetos o eventos que pueden ser concretos o abstractos. Las unidades de trabajo generalizan las entidades de negocio por medio de clases.

El modelo de objetos se manifiesta gráficamente por medio de diagramas de actividad y de colaboración. Con los diagramas de actividad se identifican flujos de trabajo que representan secuencias de actividades conectadas por eventos o decisiones. Por medio de los diagramas de colaboración se establecen la secuencia de envío y el manejo de mensajes entre los objetos de negocio.

Como parte del desarrollo del prototipo se muestra en la Figura A1.2 un diagrama de actividades que corresponde al caso de uso *procurar la provisión de la mejor opción de experiencia para el estudiante en turno*. En el diagrama se aprecian las actividades que se realizan en cuatro escenarios: secuencia, manejador del perfil de la experiencia, modelo del estudiante y manejador del perfil del individuo.

En el diagrama de actividad de la Figura A1.2 se observa el flujo de trabajo en las actividades son realizadas en forma secuencial y en paralelo. El escenario de comunicación se caracteriza por el envío de mensajes entre objetos que provocan la ejecución de una actividad. También, se aprecia la ocurrencia eventos como resultado del procesamiento de alguna actividad.

La secuencia de actividades inicia con la activación de cuatro agentes; posteriormente el servicio de planeación envía un mensaje al servicio que administra el modelo del estudiante; éste a su vez envía mensajes solicitando el registro del perfil de la experiencia y del individuo a los manejadores correspondientes. Una vez que se recupera la información, se procede a generar los mapas cognitivos por cada opción; después se desarrolla la inferencia causal para cada uno de ellos y al final se identifica la mejor opción. La información resultante del servicio de evaluación de la experiencia es reportada al agente de secuencia. Éste elige la opción de experiencia que ofrece el estímulo más positivo para el aprendizaje del estudiante.

En la Figura A1.3 se exhibe un diagrama de colaboración en el que se identifican dieciséis entidades de negocio y unidades de trabajo. Las entidades de negocio son objetos cuyo nombre se acompaña del símbolo (:). Al nombre de las unidades de trabajo se les antepone ese mismo símbolo (:). La interacción revela la secuencia de mensajes entre entidades de negocio y unidades de trabajo para la generación de las instancias de mapas cognitivos.

La secuencia es activada a partir de la clase *administrador*. El flujo activa una instancia de la clase *experiencia*. Como consecuencia, se dispara la clase que controla la generación de mapas cognitivos. A continuación se activan dos objetos que son ejecutados en paralelo: *acceso ontología* y *acceso acervos*. Ambos objetos invocan la clase *repositorio*. El primero con el propósito de tener acceso a elementos ontológicos. El segundo recupera registros de los perfiles de la experiencia, del individuo y de la adquisición de conocimiento. Con esta información se crea un hilo¹ para encapsular la generación de cada instancia de mapa cognitivo y para invocar a la clase responsable de la inferencia.

A1.2 Modelo de análisis

Durante el flujo de trabajo de análisis se interpretan los requisitos funcionales y adicionales con el fin de proceder a detallarlos y estructurarlos. Como resultado, se crea un modelo de análisis compuesto por una arquitectura de paquetes de análisis, un conjunto de clases de análisis y la realización de los casos de uso a través de diagramas de colaboración. Adicionalmente, se desarrollan los modelos de roles e interacción para el análisis de agentes.

¹ Un hilo es un procedimiento que se ejecuta en su propio ambiente de datos, alternativo a otros hilos homólogos, y que una vez que concluye su tarea procede a destruir su propio ambiente de proceso.

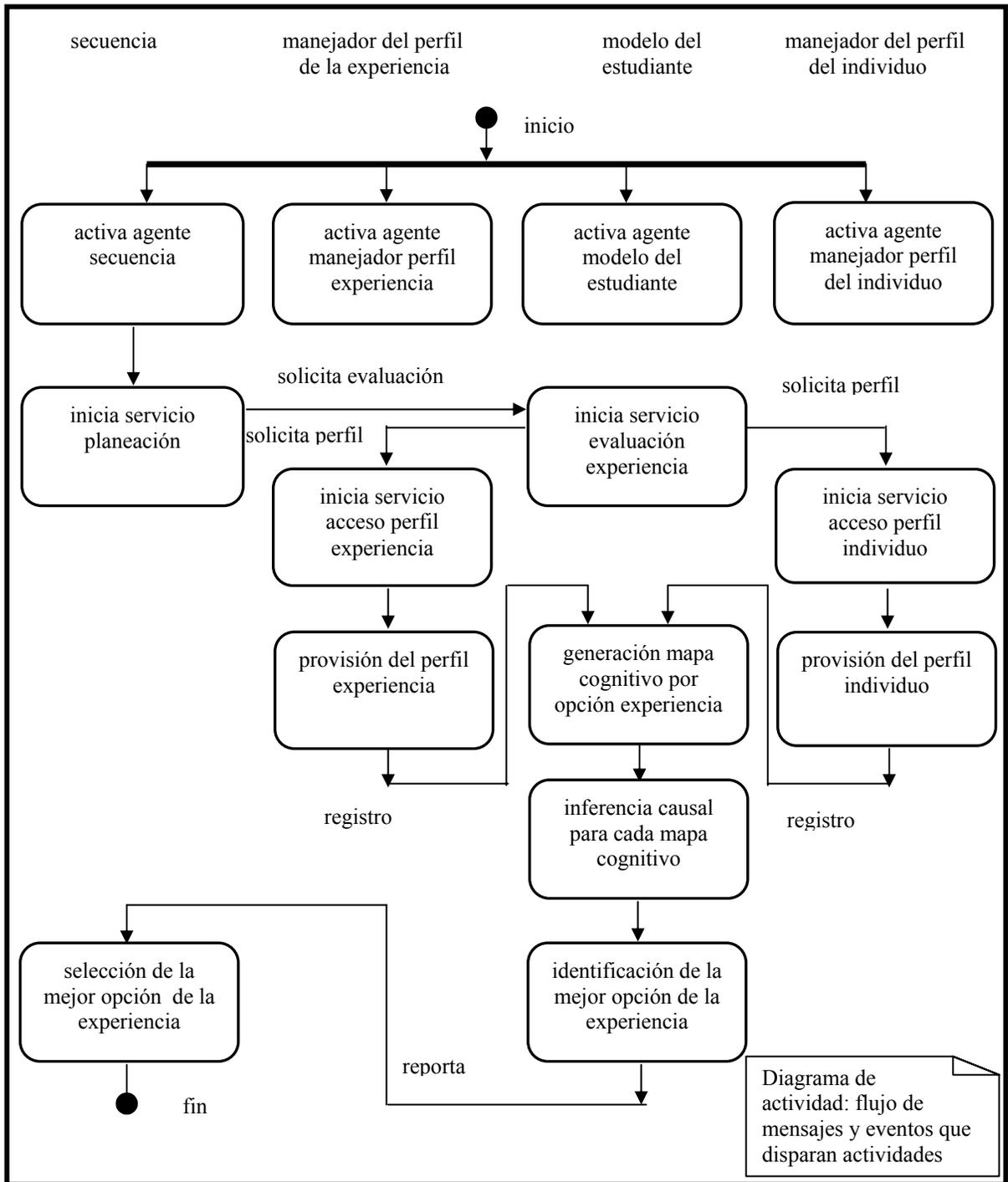


Figura A1.2 Diagrama de actividades que describe el caso de uso *provisión de la mejor opción*

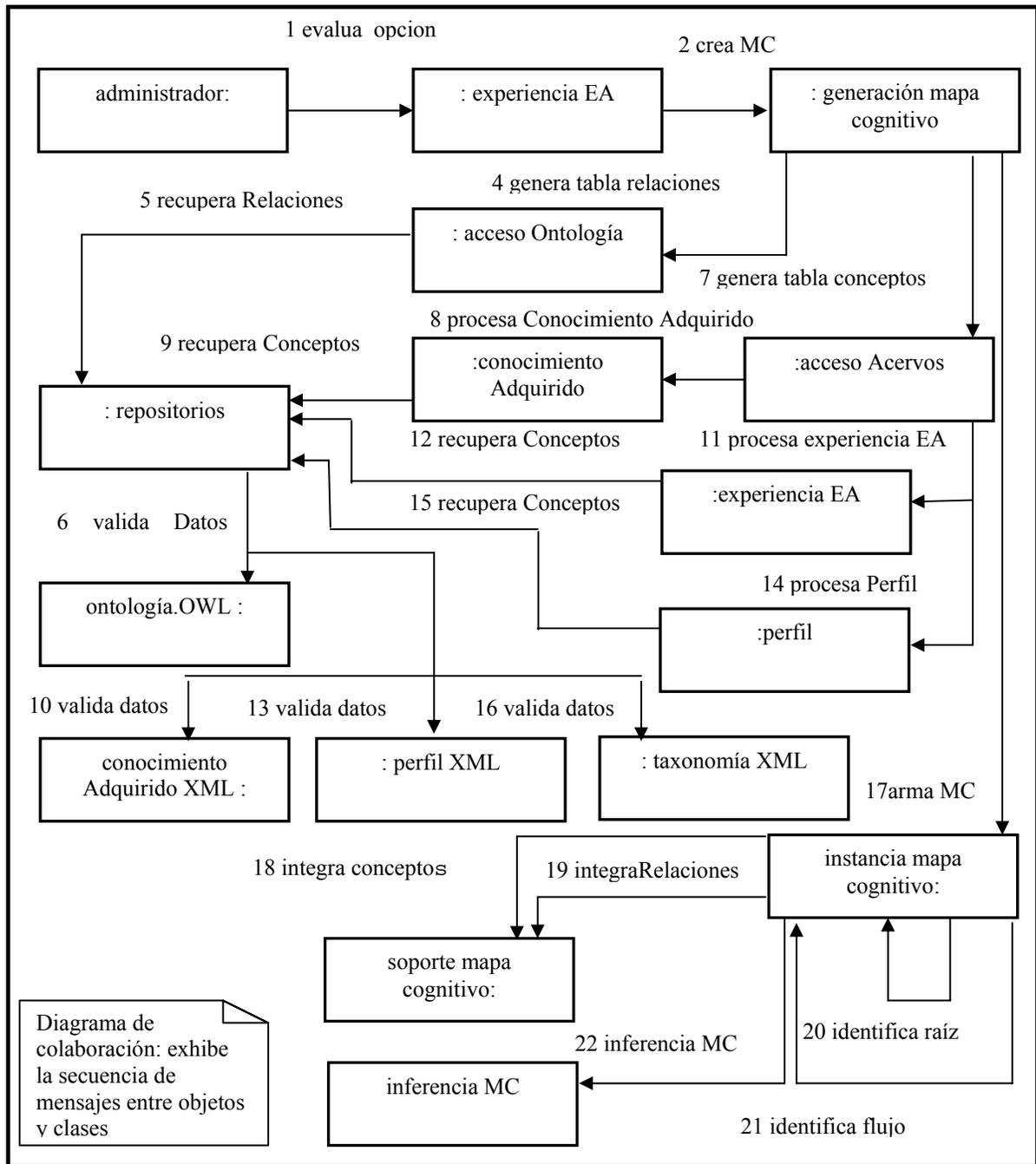


Figura A1.3 Diagrama de colaboración para generar mapas cognitivos

A1.2.1 Clases de análisis

Una clase de análisis representa la abstracción de una funcionalidad, en donde se busca destacar su carácter principal mediante un estereotipo, a saber: interfaz, entidad o control. Las clases de interfaz se emplean para modelar la interacción entre el sistema y los actores. Las clases de entidad modelan la información y el comportamiento asociado con una entidad o evento. Las clases de control revelan la coordinación, la secuencia, la transacción y la supervisión de los objetos que se usan con frecuencia en el ambiente de trabajo. De acuerdo con los modelos de casos de uso y de análisis realizados hasta el momento, se derivan instancias de clases de análisis a partir de los casos de uso.

Con base en los elementos citados, se establece una serie de clases de análisis para representar la funcionalidad demandada por los tres casos de uso funcionales, tal y como se muestra en el modelo de objetos ideal que aparece en la Figura A1.4. En el diagrama los arcos describen un flujo de análisis de izquierda a derecha a partir del actor *estudiante*, quien protagoniza tres casos de uso. Cada uno de ellos está caracterizado por una secuencia que integra los tres estereotipos de clases. De esta forma la clase *interfaz* se hace cargo de la interacción con el actor *estudiante*, la que a su vez tiene el respaldo de una clase de control, y está soportada por una clase de entidad denominada *perfil del individuo*.

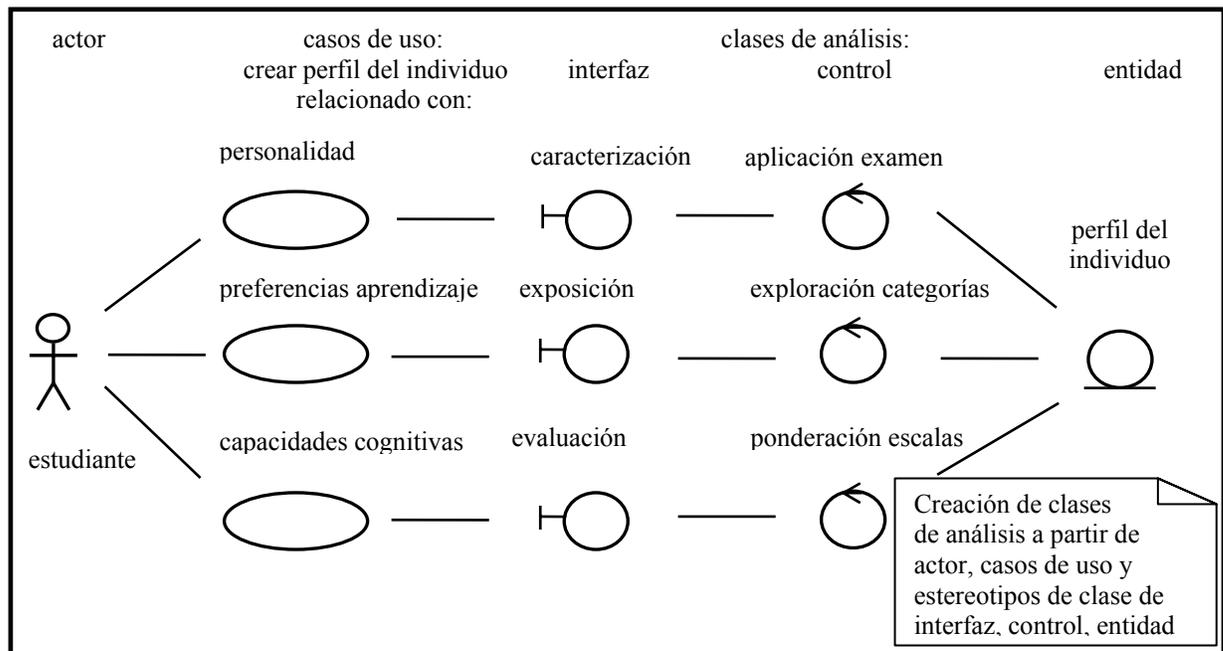


Figura A1.4 Modelo de objetos ideal para el caso de uso *perfil del individuo*

A1.2.2 Realización de los casos de uso

A partir de los modelos de objeto ideal, como el mostrado en la Figura A1.4, se lleva a cabo la realización de los casos de uso. En este proceso se establece la interacción entre las clases de análisis mediante diagramas de colaboración.

Por medio de los diagramas de colaboración se identifica la secuencia de comunicación entre los tres estereotipos de clases de análisis. Al recorrer la secuencia de colaboración expresada en el flujo se obtiene una idea de la funcionalidad requerida para crear el caso de uso. Por ejemplo, en la Figura A1.5 se presenta el diagrama de colaboración para las clases de análisis del caso de uso *procurar la provisión de la mejor opción de experiencia para el estudiante en turno*. En el diagrama de la Figura A1.5 se emplean los símbolos del modelo de objeto ideal.

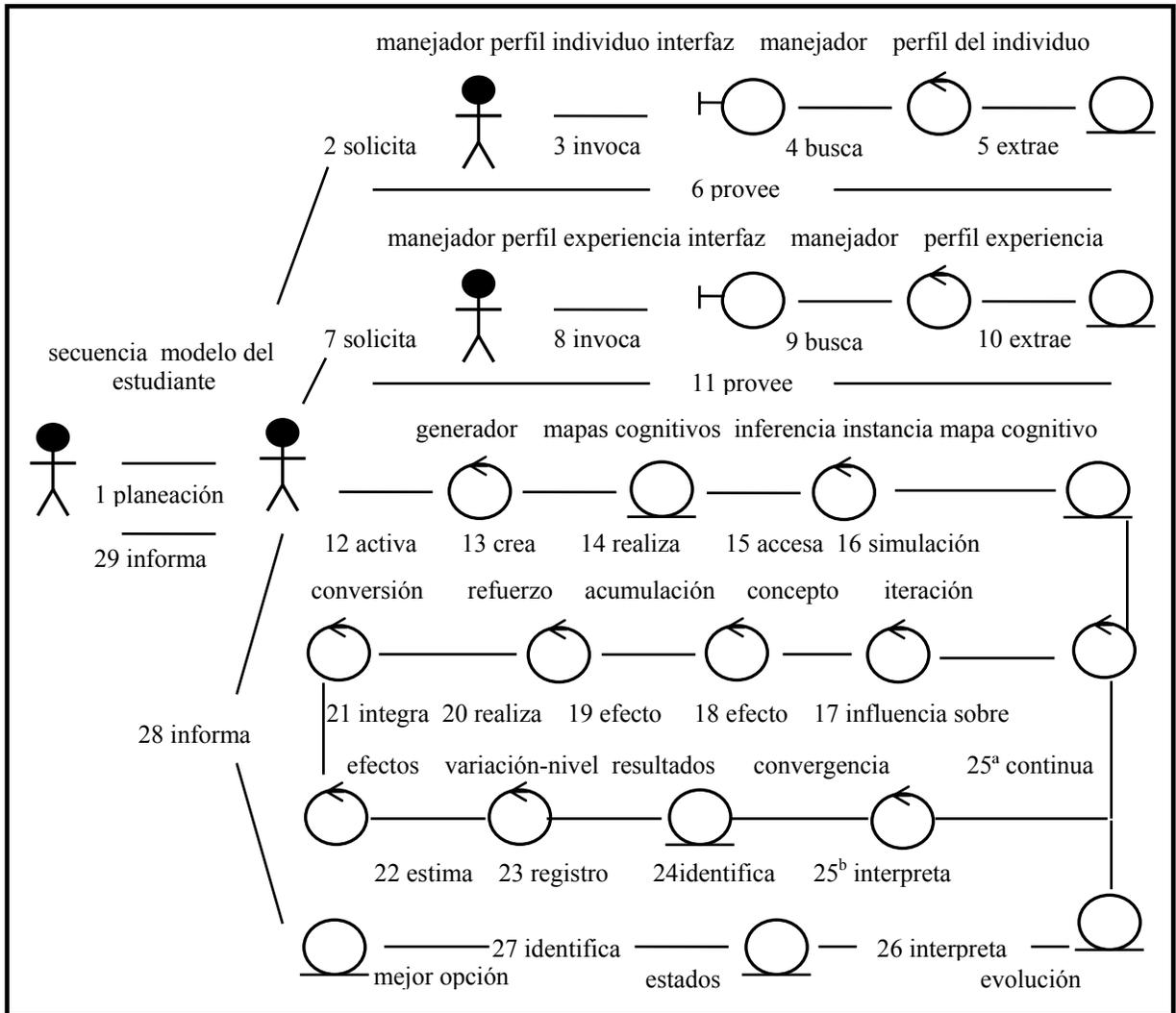


Figura A1.5 Diagrama de colaboración de clases para proveer la mejor experiencia

En la descripción del caso de uso *procurar la provisión de la mejor opción de experiencia para el estudiante en turno*, se aprecia la actuación de los actores de cómputo: el de *secuencia* que se encarga de iniciar y terminar el flujo del caso de uso; los actores *manejadores de los perfiles del individuo y de la experiencia* son responsables de proveer la información solicitada del acervo respectivo; el actor *modelo del estudiante* solicita la información de los perfiles y activa la secuencia principal de pasos que van desde la generación de los mapas cognitivos hasta la identificación de la mejor opción de experiencia.

En la secuencia principal aparece un ciclo de pasos que comienza con la clase *iteración* y termina mediante el control que ejerce la clase *convergencia*. El cuerpo del ciclo se integra por los mensajes etiquetados con los números del 17 al 25^a. En el caso de que no se haya logrado la convergencia con el mensaje 25^a se produce una nueva iteración; de lo contrario, se termina el ciclo y se activa la serie final de funciones por medio del mensaje 25^b. En esta serie final se interpreta la evolución y el estado final de los conceptos con el objeto de identificar la mejor opción de experiencia. Acto seguido, se informa el resultado al actor *modelo del estudiante*, el cual a su vez hace lo propio con el actor *secuencia*.

A1.3 Modelo de diseño

En el modelo de diseño se describe la realización física de los casos de uso. El modelo se concentra en los requisitos funcionales y adicionales para formular las especificaciones que se toman en cuenta en la implementación. El modelo de diseño consta de una arquitectura de subsistemas, la especificación de los casos de uso y la descripción detallada de las clases.

A1.3.1 Arquitectura de diseño

La arquitectura de diseño corresponde a una estructura jerárquica de subsistemas funcionales distribuidos en diversos ambientes de trabajo. Los subsistemas se derivan de los paquetes de análisis. Cada subsistema se orienta a integrar una funcionalidad específica que se encapsula en el contexto global del prototipo. Los subsistemas se organizan en un esquema compuesto por diversas capas de proceso. Cada nivel representa un ambiente de trabajo que restringe la comunicación entre subsistemas ubicados en distintas capas. El envío de mensajes sólo se permite entre subsistemas del mismo nivel y con otros ubicados en la capa inmediata superior e inferior. Un subsistema integra varias clases de diseño, o paquetes de clases, que colaboran en la provisión de una funcionalidad específica.

Una vez que son definidos los subsistemas de diseño, se procede a distribuirlos en la estructura operacional que se emplea para la implementación del prototipo. Como consecuencia del trabajo realizado durante el flujo de trabajo de diseño, la arquitectura del prototipo evoluciona hacia una estructura multicapas. En la jerarquía, cada nivel representa un entorno de operación propicio para la funcionalidad encapsulada en los subsistemas. Por esta razón, se diseña para el SEBW una arquitectura compuesta por las seis capas que son descritas a continuación:

- Usuario. Representa el medio de operación de los actores humanos recreado por estaciones de trabajo y equipo portátil, que permite al individuo interactuar con el prototipo.
- Interfaz. Conjuga los subsistemas especializados para proveer las facilidades de comunicación entre los dos tipos de actores, humano y de cómputo, con el prototipo.
- Negocio. Representa la funcionalidad sustantiva del prototipo, la cual se orienta a generar mapas cognitivos y a simular el razonamiento causal-difuso sobre los mapas cognitivos.
- Administración. Conjuga los subsistemas dedicados a proveer servicios adjetivos tales como el acceso a repositorios y el manejo de servicios federados.
- Repositorios. Recrea el ambiente de organización de bases de datos, acervos de contenido y ontologías. Los subsistemas contienen manejadores especializados y archivos físicos.

- Soporte. Integra el conjunto de capas de programas y recursos físicos de cómputo que hace posible la operación del prototipo, tales como protocolos de comunicación, manejador de sitios Web, ambiente de proceso y el sistema operativo.

La versión de la arquitectura de diseño se ilustra en la Figura A1.6. En la estructura aparecen los seis niveles citados y se identifican los nombres de los subsistemas que se distribuyen en cada una de las capas. Se aprecia que la capa *negocio* está compuesta por veinte subsistemas especializados en tareas sustantivas, tales como: la estimación de efectos de acumulación y refuerzo, la integración de dichos efectos, la conversión lingüística y el manejo de métodos matemáticos. En lo concerniente al flujo de comunicación, éste es lineal y su alcance se limita a tan sólo el nivel inmediato vecino. En consecuencia, el paso de mensajes proviene desde la capa *usuario* hasta la capa *soporte*, pasando por los cuatro niveles intermedios, tal como se ilustra en la secuencia trazada: *perfil del individuo*, *adquisición perfil del individuo*, *acervos perfil del individuo*, *ontología* y *manejo de servicios Web*.

A1.3.2 Diseño de casos de uso

En la realización de casos de uso a nivel de diseño se busca precisar las clases involucradas y el flujo de envío de mensajes entre clases y objetos. Para tal efecto se consideran las definiciones de casos de uso y clases de análisis establecidas en los flujos de trabajo.

En la transformación de las clases definidas en los flujos de trabajo, requisitos y análisis se prosigue con la derivación de las clases de diseño. Para tal efecto, se enfoca la atención en las clases *análisis de los casos de uso*, puesto que a partir de su estereotipo se definen las clases de diseño correspondientes.

Al centrar la atención en el caso de uso *procurar la provisión de la mejor opción de experiencia para el estudiante en turno*, representado en el diagrama de colaboración de la Figura A1.5, se aprecian más de veinte clases de análisis. En este escenario, se observa que el mensaje 16 demanda la simulación de la instancia de mapa cognitivo. Por consiguiente, se dispara un ciclo de mensajes, del 17 al 25^a, en que son activadas diversas clases de análisis. Dentro de este marco de proceso, la derivación de las clases de diseño correspondientes a las clases de análisis es activada por los mensajes 15 al 18 tal como se ilustra en la Figura A1.7.

A1.3.3 Interacción de las clases de diseño

Una vez identificadas las clases de diseño que participan en la realización de un caso de uso, se procede a establecer el flujo de intercambio de mensajes. Para tal fin, se utiliza un diagrama de secuencia en donde se identifican la clase u objeto que inicia el flujo, los destinatarios y la respuesta que ofrecen. En esta clase de diagramas se revela el ciclo de vida de los objetos derivados de las clases por medio de líneas interrumpidas, así como también el lapso en que están activas mediante barras verticales. De igual forma, para indicar el momento en que un objeto es destruido se utiliza el símbolo de la cruz. Con este escenario gráfico es posible advertir la forma en que interactúan las clases involucradas en el desarrollo de un caso de uso.

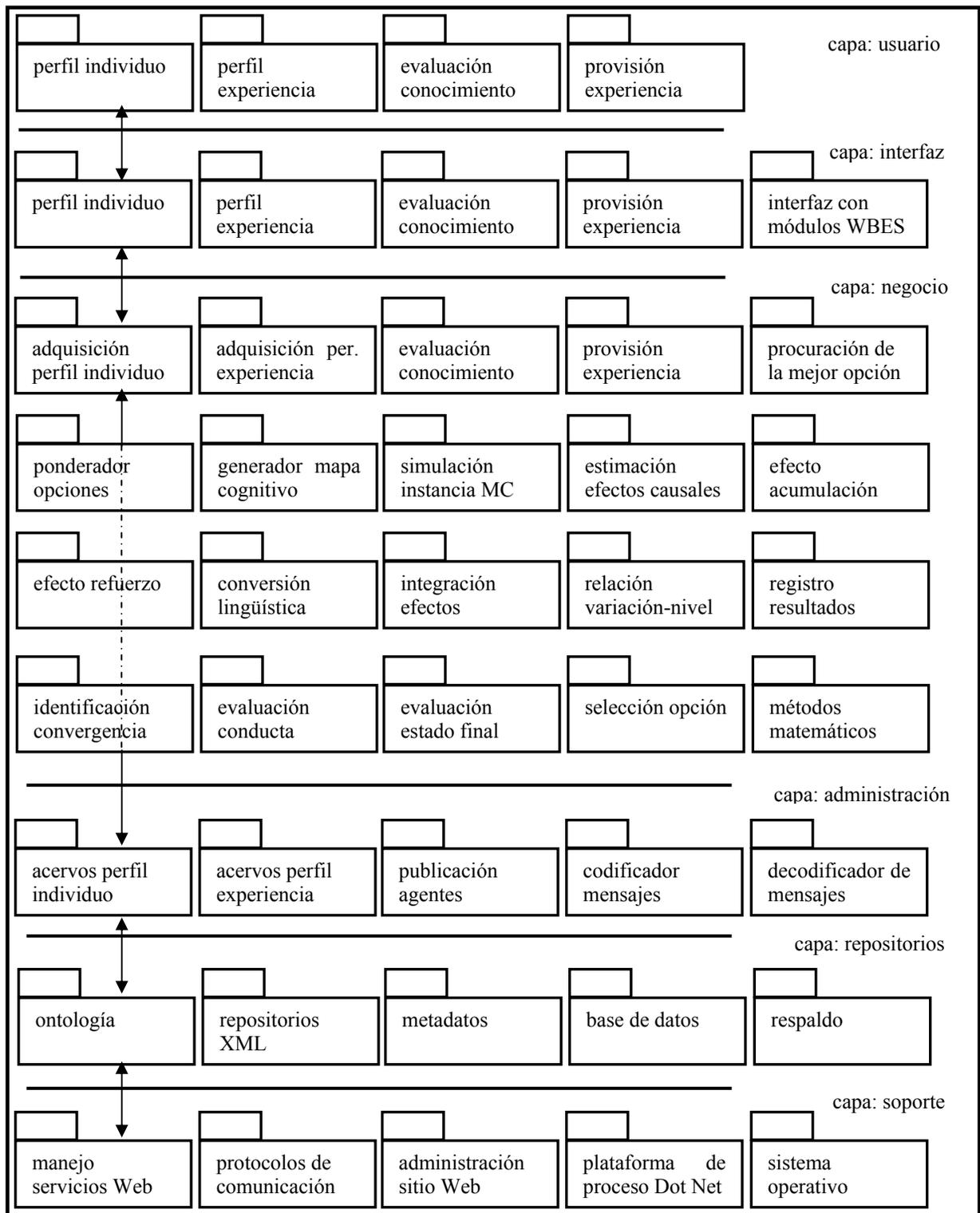


Figura A1.6 Arquitectura de diseño para el prototipo

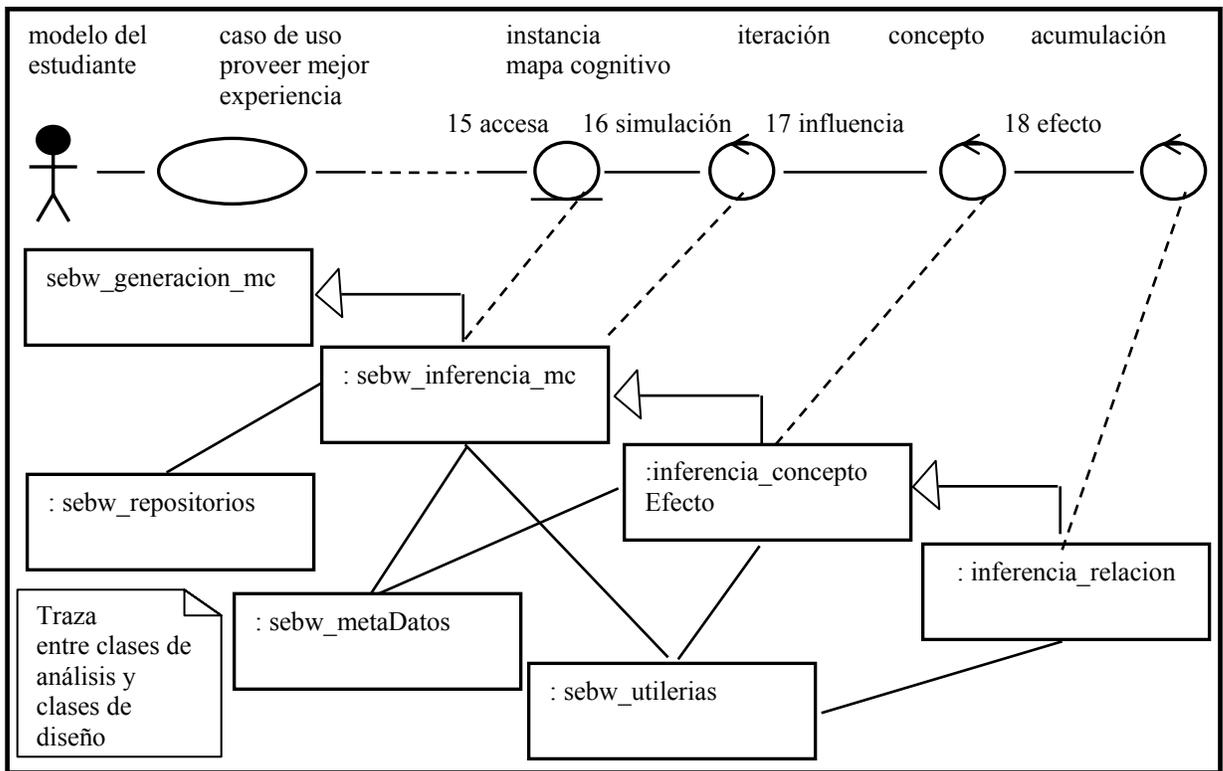


Figura A1.7 Derivación de las clases de diseño a partir de las clases de análisis

Continuando con el ejemplo anterior, se presenta en la Figura A1.8 el diagrama de secuencia para el caso de uso *procurar la provisión de la mejor opción de experiencia para el estudiante en turno*. En el diagrama se muestra la secuencia de mensajes a partir de la activación de la simulación y hasta el evento en que se estima el efecto de acumulación. Por lo tanto, en la parte superior aparece el nombre de las cuatro clases de diseño involucradas. Así mismo, en la parte superior izquierda comienza el flujo de mensajes por medio del llamado a la clase *sebw_inferencia_mc* a efecto de crear un objeto. Posteriormente, se invoca al método *control_inferencia_mc*, el que se encarga de ejecutar la inferencia para la instancia de mapa cognitivo en turno. Este método crea un hilo de ejecución para cada concepto que aparece como el concepto *efecto* de al menos una relación causal.

Durante la ejecución del hilo se crea un objeto de la clase *inferencia_conceptoEfecto*, y se invoca al método *control_inferencia_conceptoEfecto*. Este método controla la estimación del efecto causal ejercido sobre el concepto en turno. Por tanto, se procede a crear un hilo para cada relación, en donde el concepto es el consecuente. Luego entonces, se crea un objeto *inferencia_relacion*, y se invoca al método *control_inferencia_relacion*. Este método invoca a los métodos responsables de brindar acceso a los valores de la relación causal-difusa y de manejar la relación definida en una base de reglas difusas. Este último método invoca a la vez al método *efecto_relacion*. La estimación del efecto causal de una relación se realiza mediante la invocación a tres métodos: estimación de la inferencia difusa a través del método Max-Dot, la creación del CDR y la creación del CCS. Una vez concluido el proceso se retorna el registro del CCS generado.

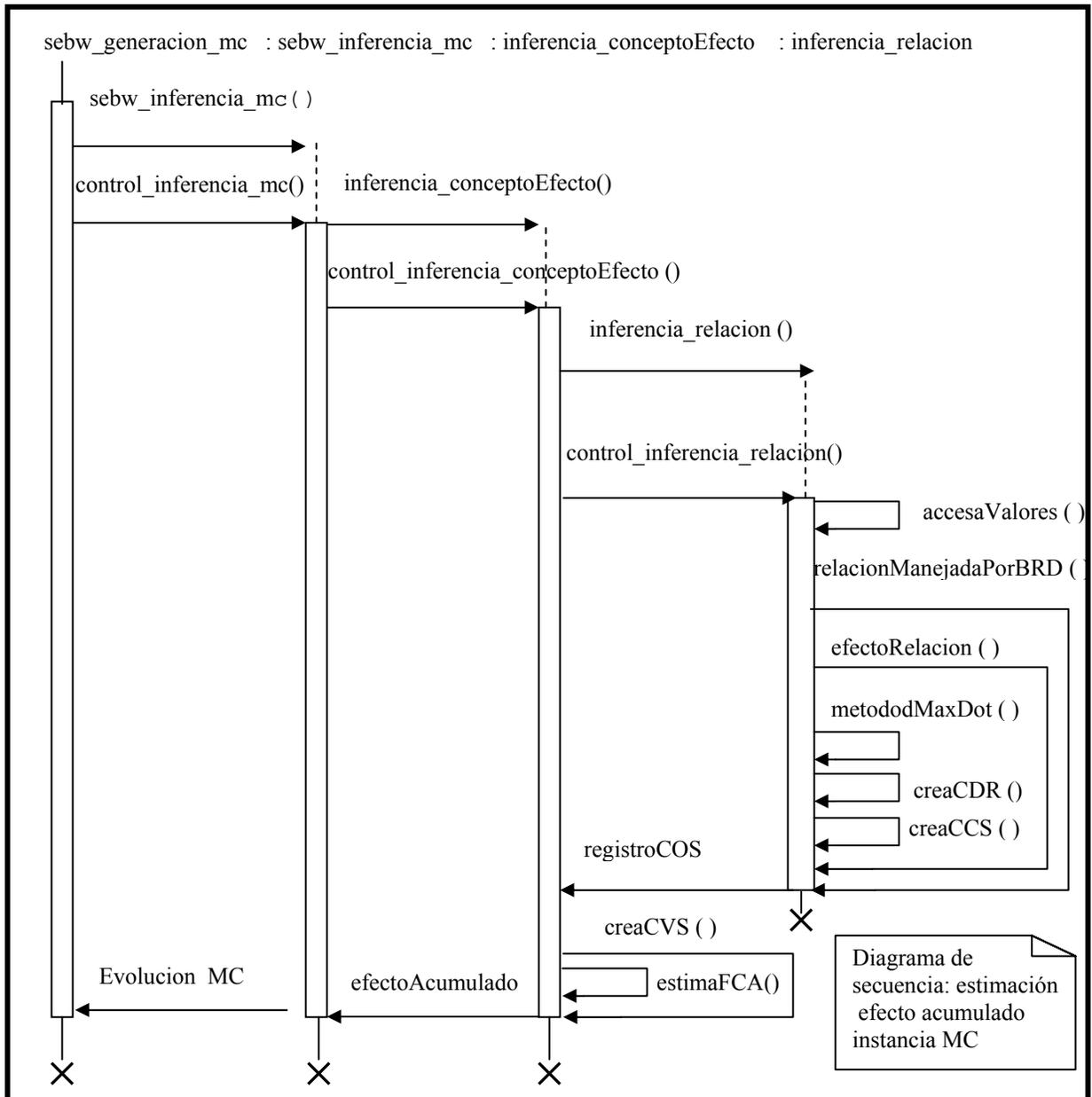


Figura A1.8 Diagrama de secuencia estimación del efecto acumulado

El método *control_inferencia_relacion*, una vez que recibe los conjuntos causales de salida retornados, invoca el método *creaCVS*, que es el responsable de generar el CVS. Este método se apoya en la funcionalidad provista por el método *estimaFCA*, el cual provee la funcionalidad para estimar el efecto de acumulación mediante la invocación a métodos especializados en: identificación de la variación del conjunto difuso, desplazamiento del conjunto difuso con menor variación, agregación de conjuntos difusos, acarreamiento de conjuntos difusos, control del desborde y normalización del CVS. Al terminar el proceso descrito se retorna el valor del efecto acumulado para el concepto en turno.

El método *control_inferencia_mc* recibe los efectos acumulados para los conceptos, identifica si la simulación ha llegado a un estado de convergencia o región de caos para concluir con el proceso. En caso contrario, se procede a incrementar el tiempo mediante un contador discreto. De esta manera se desarrolla la evolución de la instancia de mapa cognitivo en turno. La aplicación de los postulados de las secciones 4.3.6 y 3.4.5, que corresponden respectivamente a la inferencia a nivel de relación y a la estimación del efecto de acumulación, se ilustra en el diagrama de secuencia de la Figura A1.8.

A1.3.4 Diseño de clases

En la realización de las clases de diseño se busca precisar la funcionalidad que se desea encapsular en un componente de programación. Esta actividad considera las versiones preliminares de clases establecidas en los flujos de trabajo requisitos y análisis. A partir de ellas, se formula el papel que deben desempeñar las clases y se procede a caracterizarlas. Como resultado, se genera un conjunto de diagramas de clase y de estados.

A1.3.4.1 Descripción de las clases

La definición de las clases de diseño se realiza mediante el establecimiento de los siguientes elementos: atributos, métodos, asociaciones, interfaces y requisitos para su implementación. De manera gráfica se representan las clases por rectángulos segmentados en tres partes para identificar el nombre, los atributos y los métodos. El nombre de los dos últimos elementos está precedido por un símbolo que indica si es privado (-), público (+) o protegido (#). Mediante líneas se revela la asociación funcional entre las clases y su cardinalidad respectiva en cuanto al número de asociaciones. Así mismo, al final de la línea se pueden identificar relaciones de inherencia, mediante un triángulo, o bien de agregación completa o parcial, a través de un rombo con fondo negro o blanco respectivamente.

Como muestra del universo de clases de diseño que conforman el prototipo se presenta en la Figura A1.9 un extracto del diagrama de clases. En dicho diagrama se definen algunas de las clases usadas para la estimación del efecto causal que aparecen en la Figura A1.7. En el diagrama se aprecia que la clase raíz, la de mayor jerarquía, es *sebw_generacion_mc*. A partir de esta clase se derivan tres relaciones de inherencia de atributos y métodos a diversas clases, como *sebw_inferencia_mc*. Esta clase es ancestro de la clase *inferencia_conceptoEfecto*, la cual hereda a la clase *inferencia_relacion*.

Las relaciones de asociación parten de la clase *generacionMC*. Esta clase sostiene una relación “uno a muchos” con la clase *instanciaMC*, debido a que activa un hilo de ejecución por cada instancia de mapa cognitivo. En cada hilo se crea un objeto de la clase *instanciaMC*, la cual mantiene una relación unaria con la clase *sebw_generacion_mc*. Esta clase crea un hilo para cada concepto consecuente de las relaciones causales. Dentro del hilo se crea un objeto de la clase *inferencia_relacion*. En esta clase se implementan los fundamentos establecidos en la Sección 3.4.5. Por tanto, la clase mantiene una relación “uno a muchos” con la clase *inferencia_relacion*. Esta última clase implementa los postulados vertidos en la Sección 4.3.6

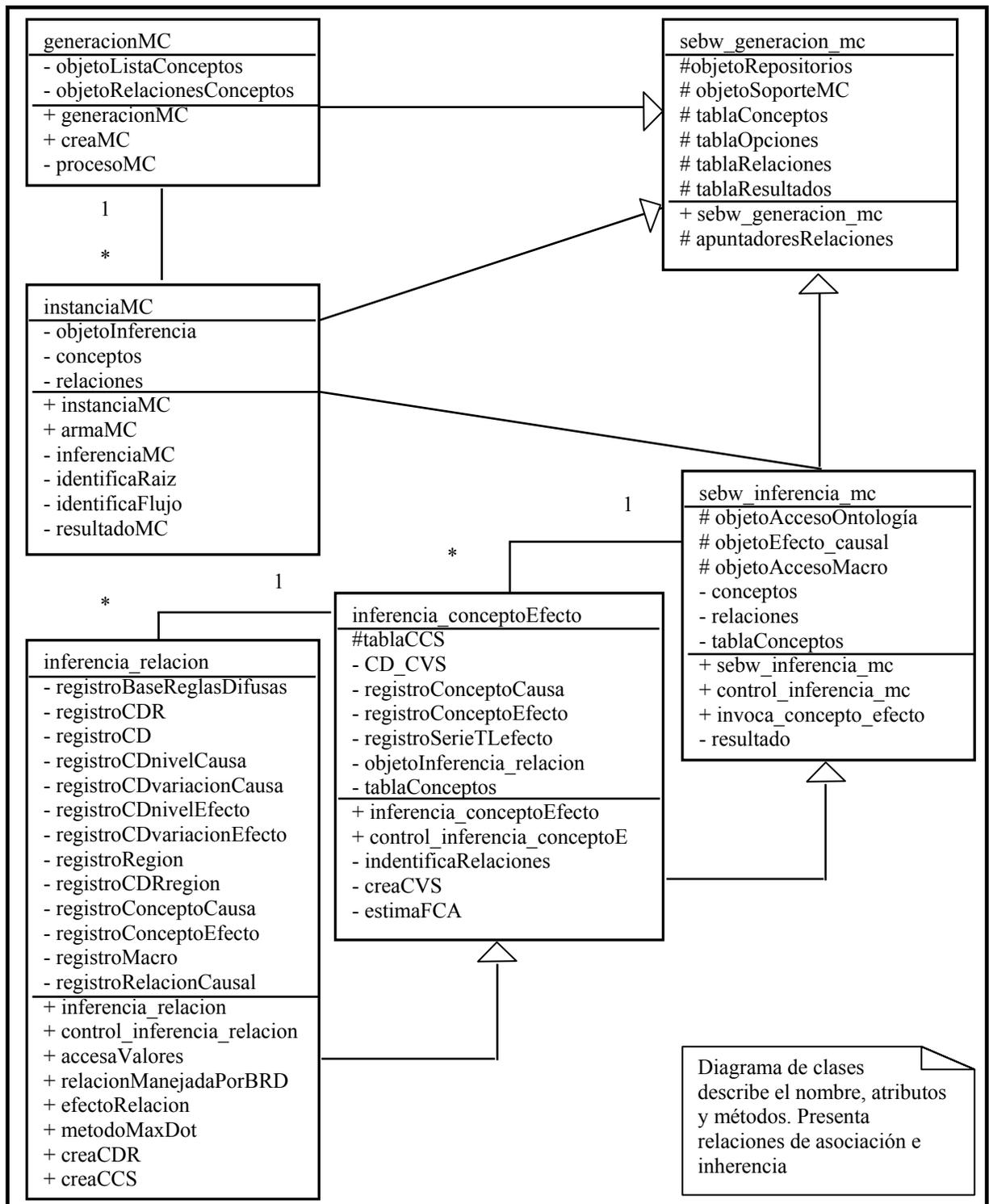


Figura A1.9 Diagrama de clases para la simulación de la inferencia de un mapa cognitivo

A1.3.3.2 Identificación de los estados

El diseño de las clases se enriquece a través del estudio de los estados por los que transita una instancia de clase durante el lapso de su activación, por lo que el estado de un objeto se refiere al conjunto de valores que lo describen en un momento dado.

Para expresar cómo un objeto cambia de estado cuando recibe y procesa mensajes se emplea un diagrama de estados. El flujo que se muestra en el diagrama comienza por la invocación que se hace al objeto a través de un mensaje que le es enviado. El mensaje contiene el nombre del objeto y el método que se desea activar, además de parámetros opcionales que se transfieren. En respuesta al mensaje, el objeto ejecuta el método invocado, el cual puede dar lugar a la ocurrencia de eventos. Los eventos suceden al instante en que los valores de los atributos del objeto son alterados.

A manera de ejemplo, se presenta en la Figura A1.10 el diagrama de estados para la clase *inferencia_conceptoEfecto*. En esta clase se encapsula la funcionalidad requerida para llevar a la práctica los postulados establecidos en la Sección 3.4.5, correspondiente a la estimación del efecto de acumulación. De acuerdo con la secuencia ilustrada en el diagrama, el flujo inicia con el mensaje que produce la creación de un objeto para la clase de estudio. Después, otro mensaje activa la ejecución del método *inferencia_conceptoEfecto*. Este método envía dos mensajes a la clase *inferencia_relacion* para crear un objeto y activar el método responsable de controlar la inferencia a nivel de relación. En respuesta, recibe el registro de información que representa al CCS. Este ciclo de invocación y retorno de valor entre las dos clases se repite para cada relación causal en que el concepto en turno participa como consecuente. Una vez que se recibe toda la información de los CCS, se activa la secuencia para estimar el efecto de acumulación. Esta serie produce tres conjuntos de estados: inicialización, acarreamiento sucesivo y control del desborde. El acarreamiento produce un ciclo en que se activan tres estados para hacer posible la agregación de las áreas de los CCS. Por su parte, el control del desborde activa cinco estados destinados a producir el CVS normalizado.

A1.4 Modelo de despliegue

El modelo de despliegue es un modelo de objetos que describe la distribución física del prototipo. El modelo de despliegue precisa cómo se distribuye la funcionalidad entre los recursos de cómputo, denominados *nodos*. Los nodos poseen relaciones que representan medios de enlace y de comunicación. Inclusive el modelo hace referencia al tipo de red, topología, distribución, respaldo y redundancia. El modelo de despliegue se representa a través de varios escenarios como el diagrama de despliegue y la distribución de los subsistemas.

Los diagramas de despliegue se usan para representar el ambiente de red, los recursos y los programas de cómputo que se emplean para implementar el prototipo. Los nodos identifican estaciones de trabajo, servidores, redes locales o redes públicas.

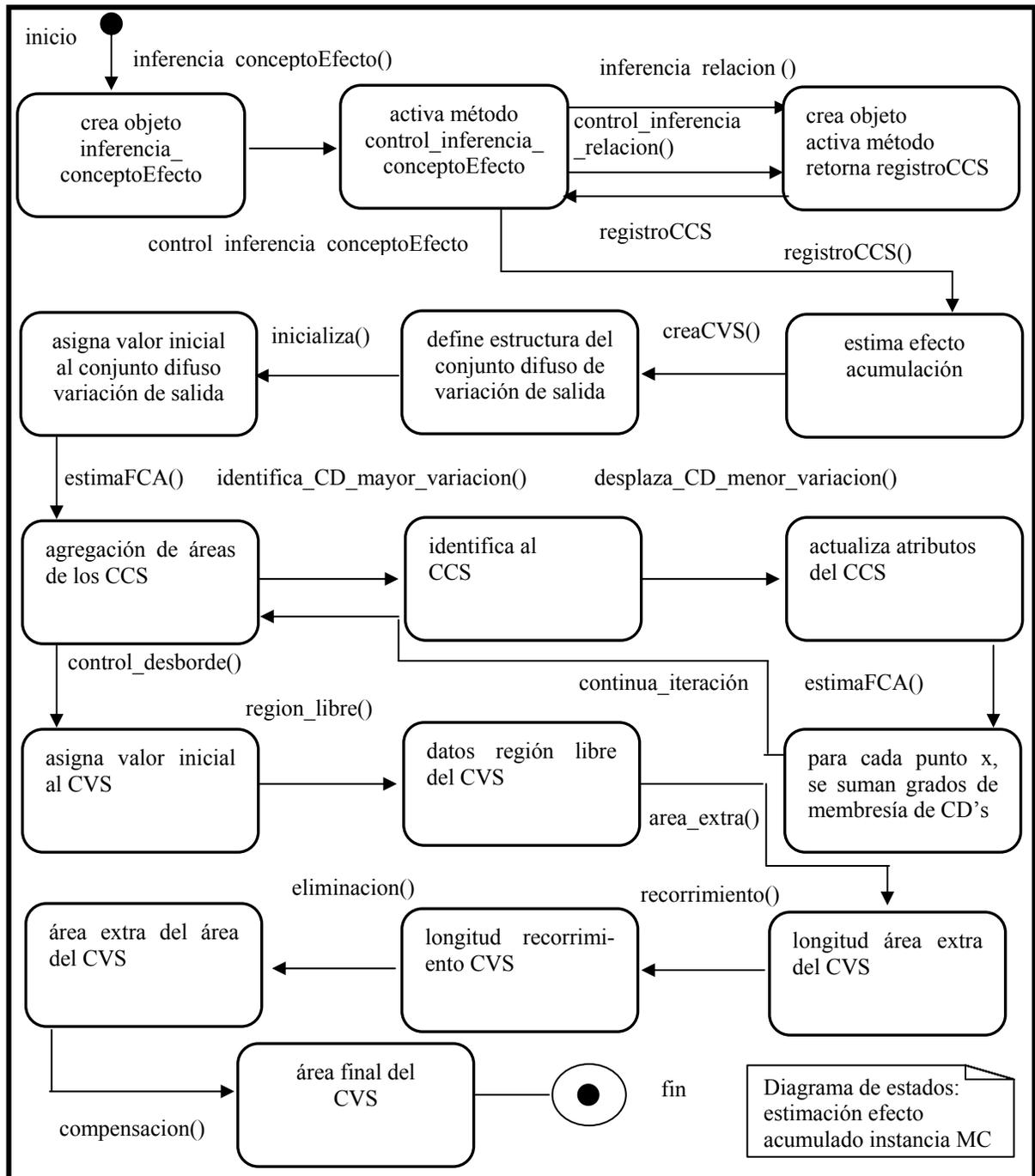


Figura A1.10 Diagrama de estados para la estimación del efecto acumulado

En cada nodo se instalan los subsistemas que integran clases, o paquetes de clases, responsables de funciones específicas. La decisión de qué instalar y dónde hacerlo, depende del equilibrio entre la capacidad de recursos y los requisitos de proceso. En este escenario, las clases que se distribuyen en los nodos representan una forma de mediador y de conciliador que hacen viable la prestación de un servicio.

En lo concerniente a la construcción y prueba del prototipo, se establece el modelo de despliegue representado en la Figura A1.11; en ella, aparece un diagrama de despliegue compuesto esencialmente por tres tipos de nodos: consumidor, desarrollador y proveedor. El nodo *consumidor* corresponde a los recursos que emplean los actores humanos que juegan el rol de estudiante. Estos actores acceden a la funcionalidad del prototipo mediante un programa de navegación para la Web instalado en un computador personal que cuente con enlace a la Internet o bien a través de una red de cómputo que disponga de conexión de banda ancha.

El nodo *desarrollador* es el ambiente dedicado a la creación y mantenimiento del prototipo y del SEBW. Este nodo dispone de los recursos físicos y programas de cómputo identificados en la Sección A2.2. El nodo desarrollador provee un escenario de Intranet para hospedar la arquitectura de diseño del prototipo ilustrada en la Figura A1.6

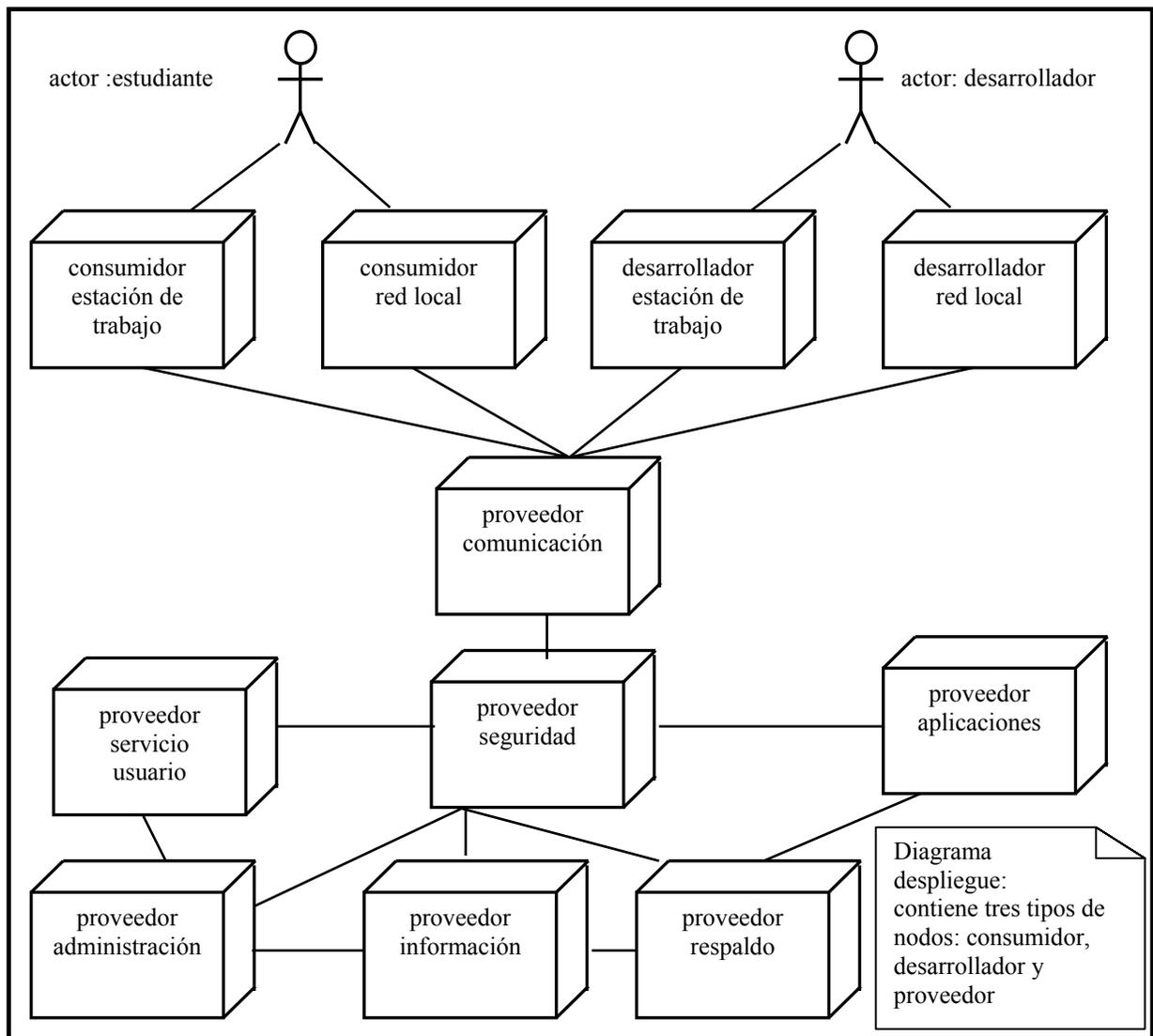


Figura A1.11 Diagrama de despliegue para el desarrollo y prueba del prototipo

El nodo proveedor conjuga los servidores de comunicaciones, seguridad, servicio al usuario, aplicaciones, administración, información y respaldo. Este conjunto de servidores, incluye los recursos y programas identificados en la Sección A2.2.

A1.5 Modelo de implementación

En el modelo de implementación se programa la funcionalidad establecida en los flujos de trabajo precedentes. Por lo tanto, a partir de la arquitectura, subsistemas y clases definidas en el flujo de trabajo de *diseño*, se procede a crear un ambiente basado en componentes. En suma, el modelo de implementación consta de una arquitectura, varios subsistemas de componentes, y las trazas entre las clases de diseño y los componentes para su implementación. También, se incluyen las interfaces para tener acceso a las clases de implementación y la asignación de componentes a los nodos del modelo de despliegue.

A1.5.1 Componentes

Los componentes contienen el código escrito en algún lenguaje de programación o de representación de información que es necesaria para implementar la funcionalidad establecida por las clases de diseño. Por tanto, a partir de las definiciones del caso de uso representadas en la clase de diseño se edita el código correspondiente a la funcionalidad a implementar.

Para ejemplificar la relación de traza entre la arquitectura, subsistemas y clases definidos en el flujo de trabajo *diseño* y sus correspondientes en el modelo de implementación, se exhibe en la Figura A1.12 un diagrama de componentes. En el diagrama aparecen las seis capas que componen la arquitectura del prototipo. En el lado izquierdo se muestran varios subsistemas definidos en el flujo de trabajo *diseño*. En la zona interior del símbolo que representa a los subsistemas aparecen en rectángulos las clases de diseño que los conforman. En el lado derecho del diagrama, se ilustran los correspondientes subsistemas de implementación. En el interior de los símbolos se muestran los componentes que se codifican para implementar las clases de diseño de acuerdo con la línea de traza que los asocia. Se aprecia que las clases de diseño corresponden a las mostradas en la Figura A1.7, que son derivadas de las clases de análisis. En la Figura A1.9 se exhiben los atributos y métodos de las clases de diseño.

Los componentes ilustrados en la Figura A1.12, se codifican por medio de aplicaciones Microsoft® Windows Forms®, que se programan por medio del lenguaje Microsoft® C#®. Así mismo, se utilizan los servicios Web para implementar la funcionalidad. Mediante este entorno de programación se publica el servicio que se ofrece a través de la Web y la interfaz para acceder a él. Por lo tanto, en la parte superior del símbolo que identifica el subsistema de implementación se identifica el *espacio de nombres* que encapsula una o varias clases. Más aún, la primera clase del subsistema hace referencia al nombre del programa fuente, con la extensión “*cs*”, que contiene el código de esa clase y el de aquellas que aparecen sin la extensión. A manera de ejemplo, a continuación se muestra el Código A1.1 para controlar la inferencia a nivel de mapa cognitivo perteneciente a la clase *sebw_generacion_mc.cs*.

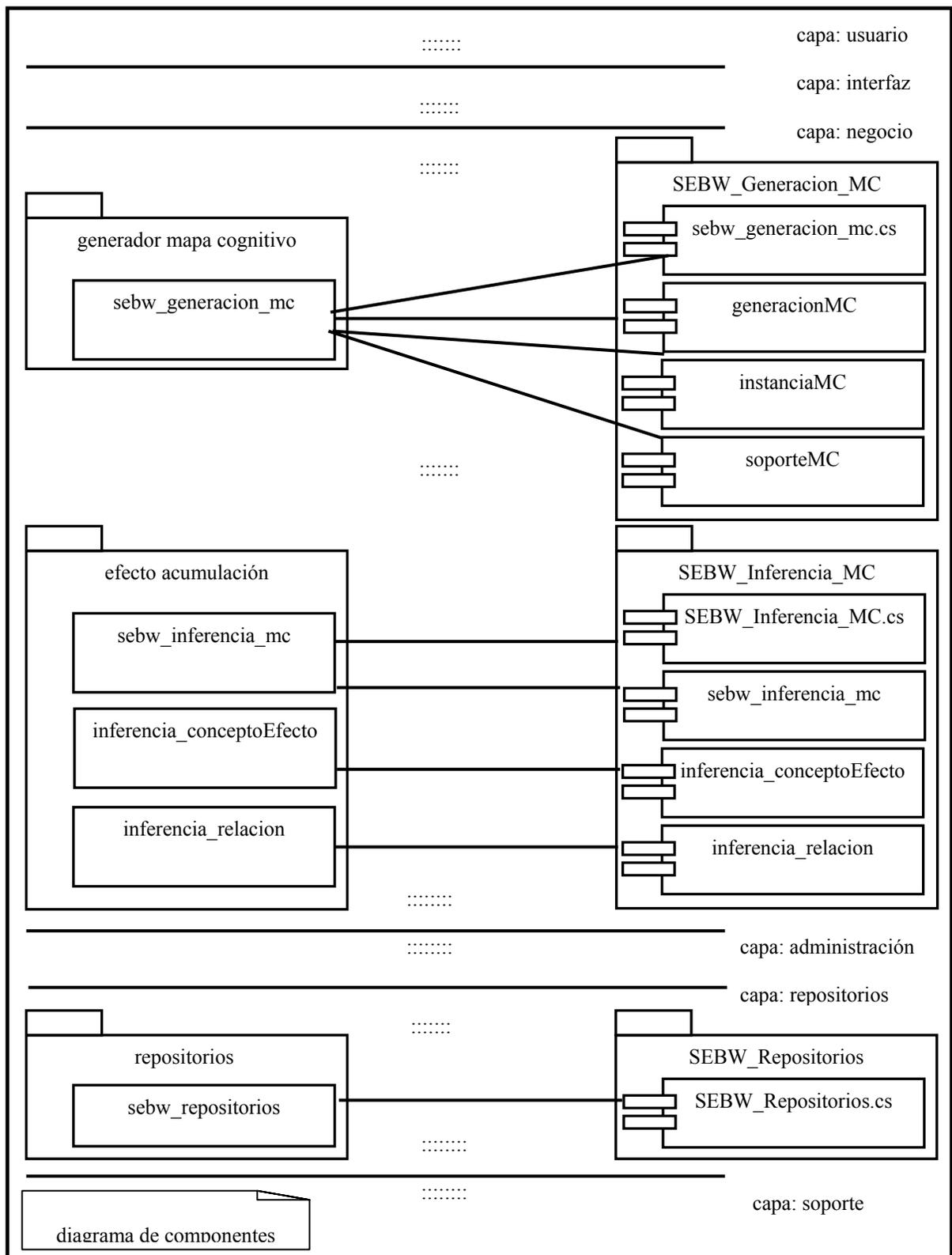


Figura A1.12 Diagrama de componentes

```

00 Código A1.1 Clase sebw_generacion_mc.cs método inferencia mapa cognitivo
01 public void control_inferencia_mc() {
02     bool estable = true;
03     ThreadStart hiloInvoca_conceptoEfecto = null;
04     Thread hiloInvocacion;
05     while (estable){
06         // Define y activa un hilo para la inferencia a nivel de concepto
07         hiloInvoca_conceptoEfecto = new ThreadStart(invoca_conceptoEfecto);
08         hiloInvocacion = new Thread(hiloInvoca_conceptoEfecto);
09         hiloInvocacion.Start();
10         ciclo++; // Incrementa el contador de "ciclos" para la Inferencia
11         // Determina si el estado del mapa cognitivo es estable
12         if (Mapa_Cognitivo_estable())
13             estable = false;
14     }
15 }

```

A1.5.2 Interfaces

Las clases codificadas durante la implementación disponen de una interfaz para indicar la forma en que son invocadas y manipuladas por otras clases. Mediante la interfaz, se establecen la naturaleza pública, privada o protegida de la clase, sus atributos y métodos. También, se determina la funcionalidad asociada a los métodos, puesto que una clase que haga referencia a la interfaz debe editar el código que ofrezca el servicio deseado. Además, se definen los parámetros que alimentan a los métodos y aquellos valores que son retornados por éstos.

De acuerdo con las especificaciones de clases e interfaces de diseño, en el flujo de trabajo *implementación* se crea el código de la clase y de la interfaz correspondiente. Por tanto, conforme a la arquitectura de implementación, la cual corresponde a la de diseño, se elaboran las interfaces para las clases que componen los subsistemas que integran las seis capas. Este procedimiento se ilustra en la Figura A1.13, en donde aparecen el subsistema de diseño *base de datos*, la clase *SEBW_BD_Manejador* y la interfaz *SEBW_BD_Interface*. Mediante una relación de traza se establecen las asociaciones con el subsistema de implementación *SEBW_Manejador*, la clase *SEBW_Manejador.cs* y la interfaz *SEBW_BD_Interfaces.cs*. Al respecto de esta última, a continuación se presenta el Código A1.2 correspondiente a la interfaz para el manejo de las operaciones clásicas de las tablas de la base de datos.

```

00 Código A1.2 Interfaz SEBW_BD_Manejador.cs, ibd_manejador
01 namespace SEBW_BD_Manejador {
02     // *** Clase que implementa la interfaz: bd_manejador
03     interface ibd_manejador
04     {
05         string bd_insert(string tabla, string valores);
06         string bd_delete(string tabla, string llave);
07         string bd_update(string tabla, string llave, string reemplazo);
08         tablaDinamica bd_select(string tabla, string llave, object re);
09         string bd_execute(string comando);
10     }
11 }

```

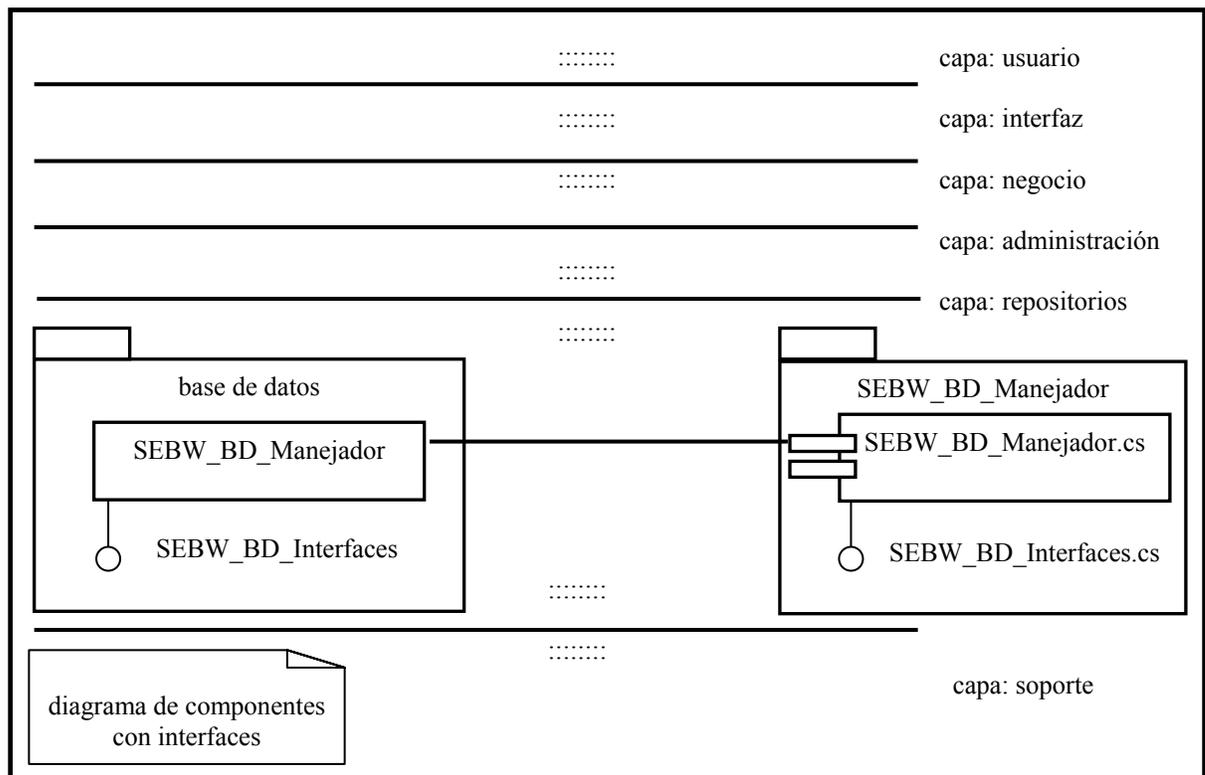


Figura A1.13 Diagrama de componentes con interfaces

Apéndice 2

Ingeniería de software

*Enseñame, oh Jehová, tu camino,
Y guíame por senda de rectitud...
(Salmos 27.11)*

En este apéndice se describe el método ISIW y se identifica la plataforma de cómputo empleada para desarrollar el prototipo y el SEBW. Así mismo, se presenta la composición del portal Web que sirve de interfaz de comunicación entre los voluntarios y el SEBW. Debido a que el dominio de la investigación es: la educación basada en Web; la interacción entre los voluntarios y el SEBW se realiza por medio de páginas Web. Las páginas se usan para exhibir información, capturar datos, disparar eventos y navegar entre contenidos. Algunas páginas son estáticas, por ello residen en el portal donde está instalado el prototipo. Otras páginas son dinámicas y se producen en respuesta a un evento determinado. Para comprender como está organizado el portal Web y su funcionamiento, en este apéndice se ofrece una descripción de los siguientes elementos: estructura del portal, mapa de navegación, contenido de las páginas, anidamiento e implementación.

A2.1 Perfil de la ISIW

ISIW tiene como columna vertebral a la ingeniería de software conformada por el “Proceso unificado para el desarrollo de software” (Jacobson et al., 2000), el paradigma orientado a objetos (OO) (Boch, 1996) y el “Lenguaje unificado de modelado” (UML) (Jacobson et al., 1999). Por lo tanto, ISIW es un método OO e iterativo, que evoluciona a lo largo de incrementos sucesivos. La columna central de ISIW se enriquece por la ingeniería Web a través de las “Extensiones de UML para el diseño de Hipermedia” (Baumeister et al., 1999), el “Diseño estructurado de Hipermedia” (Isakowitz et al., 1995), el método de “Hipermedia OO” (Gómez et al., 2001) y el “Lenguaje de modelado Web” (Ceri et al., 2000).

Con estos elementos, ISIW se orienta a desarrollar contenido de Hipermedia y sistemas para la Web. Para tal fin, ISIW presta atención especial al modelo de navegación, a la estructura de presentación y a los componentes de interacción entre el sistema y el usuario.

Otra arista que complementa a la ISIW es la inteligencia artificial por medio de la ingeniería del conocimiento (Buchanan et al., 1983) (Rich y Knight, 1991), los sistemas multiagentes (Wooldrige et al., 2000) (FIPA, 2002) y las ontologías (Guarino, 1998) (FIPA, 2001). Con base en estos elementos, ISIW incorpora métodos para la adquisición de conocimiento, modelos para el diseño de sistemas distribuidos y la definición semántica de conocimiento.

Con respecto a las especificaciones y herramientas para la Internet, ISIW observa los criterios de de arquitecturas multicapas, accesibilidad, interoperabilidad, reusabilidad y uso de prototipos (Royce, 1998) necesarios para implementar sistemas conforme a la pauta proporcionada por el consorcio que rige la Web (W3C, 2007). Así mismo, ISIW se ciñe a líneas de investigación tales como: la Web semántica (SW, 2007) (Berners-Lee et al., 2001) y la Web inteligente. Para tal fin, ISIW aplica una arquitectura integrada por capas dedicadas a ofrecer los siguientes servicios:

1. Transporte: la comunicación cliente-servidor se lleva a cabo mediante el intercambio de paquetes de datos a través de los protocolos (Kozierok, 2005) y HTTP (2007).
2. Representación: la codificación de los mensajes, el contenido de acervos y la descripción de las aplicaciones se realiza por medio del lenguaje extendido de marcas (XML, 2007) y lenguajes basados en XML para funciones tales como: la definición de esquemas de datos XML, conocidas por sus siglas en inglés XSD (2007); la manipulación del modelo de objetos de un documento XML; la codificación de páginas Web a través del lenguaje extendido hipertexto de marcas (XHTML, 2007); el diseño de hojas de estilo extendidas y la búsqueda de elementos en documentos XML.
3. Formato: en una ambiente cliente-servidor, el intercambio de mensajes entre procesos se lleva a cabo mediante el protocolo simple de acceso a objetos (SOAP, 2007).
4. Funcionalidad: mediante servicios Web se define la interfaz para invocar la ejecución de un proceso por parte de otros (WS, 2007). Para tal fin se identifican los servicios ofertados por medio del lenguaje para descripción de servicios Web.
5. Federación: a efecto de publicar, localizar y explotar la funcionalidad ofertada por los servicios Web se utiliza la descripción universal para descubrir e integrar (UDDI, 2007) como el mecanismo que administra el directorio de servicios disponibles en la Web.

A2.2 Infraestructura de cómputo

El desarrollo del prototipo se lleva a cabo en un ambiente de Intranet², mientras que la prueba del prototipo se realiza en un sitio Web que se publica en Internet³. Los ambientes disponen de los recursos necesarios para configurar la arquitectura de cinco niveles descritos y la infraestructura con las herramientas de programación que se describen a continuación:

² Dirección del sitio de Intranet: http://localhost:1116/WebFormTest_01/SEBW.aspx.

³ Dirección del sitio de Internet: <http://www.wolnm.org/curso>.

La plataforma de programación incluye los siguientes productos Microsoft^{®4}: sistema operativo Windows[®] 2003 Server Enterprise Edition, administrador de sitios Web Internet Information Services, 6.0, ambiente de desarrollo .Net[®] 2.0 (Platt, 2003), conjunto de herramientas para programación Visual Studio[®] 2005, lenguaje de programación Visual C#[®] 2005 (Sharp y Jagger, 2003), lenguaje de servidor de páginas activas ASP.Net[®] 2.0 (Esposito, 2002) y el conjunto de herramientas Office[®] 2005.

Además de la plataforma Microsoft[®] se emplean otras herramientas, tales como: el lenguaje de programación de script ECMAScript (2007) y JavaScript (2007), el lenguaje de hipertexto de marcas (HTML, 2007), las hojas de estilo en cascada (CSS, 2007), la herramienta para el diseño de ontologías Protégé (2007), el lenguaje ontológico para la Web (OWL) y el prototipo de ambiente de ejecución para SEBW “ADL run time environment” (ADL, 2007c).

A2.3 Estructura del portal

La interfaz conjuga las clases de contenido que implementan los servicios provistos por el prototipo. Estas clases se organizan en una estructura con enlaces secuenciales y de hipertexto que reemplazan en forma completa o parcial el contenido de la página exhibida. Para establecer el tipo de contenido a exhibir y la forma en que se interactúa con el actor humano se diseña un diagrama de vista general (Ceri et al., 2000). En el diagrama se presentan las clases de contenido y los enlaces lógicos para asociarlas conforme a la funcionalidad.

La estructura del portal se introduce en la Figura A2.1, en donde se muestra un diagrama de vista general basado en la simbología de un mapa de navegación. En el diagrama se aprecia la clase de contenido *principal* que se asocia a la clase *ingreso*. Ésta se encarga de autenticar al usuario que accede el prototipo. Si es un estudiante, se activa la clase *estudiante*; si se trata de un desarrollado establece el vínculo con la clase *desarrollador*; de lo contrario se enlaza a la clase *intruso*. La clase *estudiante* ofrece dos enlaces con la clase *perfil* del estudiante y con *taxonomía*. A partir de esta última clase se deriva una relación jerárquica descendente con las clases: *tema*, *módulo*, *concepto*, *juicio*, *experiencia* y *evaluación*. Por parte de la clase *desarrollador*, ésta mantiene vínculos con tres clases de contenido: *perfil de la experiencia*, *ontología* y *modelo*. Ésta última representa a la funcionalidad del modelo del estudiante. Dicha clase establece una relación con las clases *mapa cognitivo* e *inferencia causal*. A su vez, la clase *inferencia causal* se asocia con las clases *evolución conceptos* y *estados finales*.

A2.4 Mapa de navegación

De acuerdo con la estructura y clases de contenido se establece el esquema de navegación que habilita al actor humano para transitar entre los contenidos que son de su competencia. Entre las facilidades de recorrido están: las hiperligas, las visitas guiadas, las formas, los mapas de imágenes, las listas, los botones, los árboles, los menús y el hipertexto; además de las propias del programa de navegación.

⁴ Se edita el nombre oficial registrado de la empresa y el de la marca de producto de software, estándar o especificación.

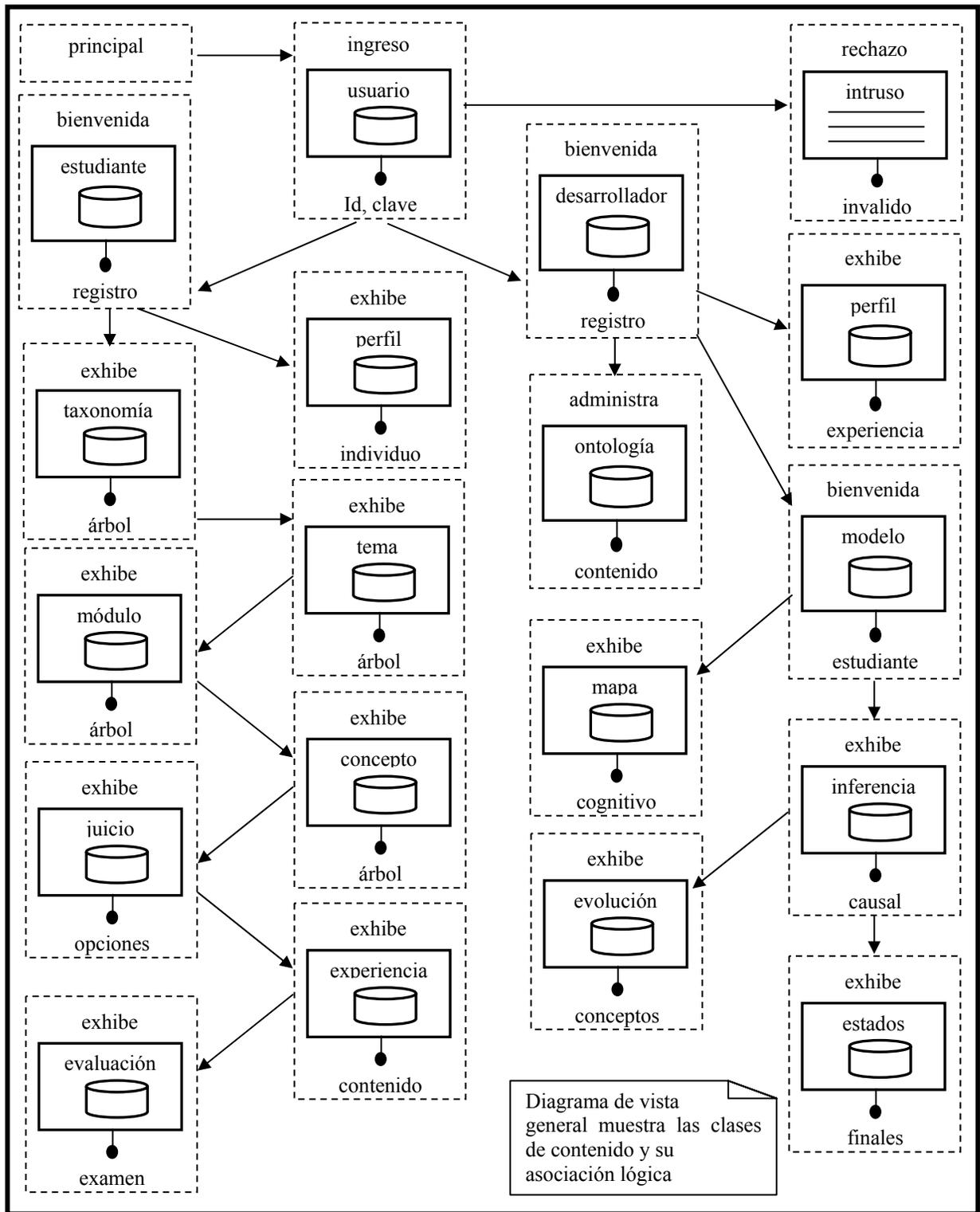


Figura A2.1 Diagrama de vista general del portal representada como mapa de navegación

A2.4.1 Construcciones de navegación

En la interfaz del prototipo se emplea preferentemente las visitas guiadas y los árboles como formas de navegación. Mediante las visitas guiadas, se ofrece al actor una secuencia para navegar por las páginas en dos sentidos con base en el orden en que se exhiben. Además de ofrecer la oportunidad de arribar al comienzo o al final de la serie. Por su parte, la construcción de árboles exhibe en forma estática o dinámica un conjunto de índices que aparecen como una estructura jerárquica compuesta por varios niveles de profundidad.

A manera de ejemplo, en la Figura A2.2 se muestra un par de construcciones de navegación basadas en la simbología del “Modelo de datos para el manejo de relaciones” (Isakowitz et al., 1995). En la Figura A2.2^a se exhibe la clase de contenido que muestra las instancias de clases ontológicas a través de una construcción de visita guiada, cuyo símbolo es la flecha. En cambio, en la Figura A2.2^b se emplea como construcción árboles, que se identifican por el símbolo de las tres líneas paralelas. Con la construcción de árbol se eligen las opciones de contenido relacionadas con los temas integrados en la taxonomía del dominio de enseñanza.

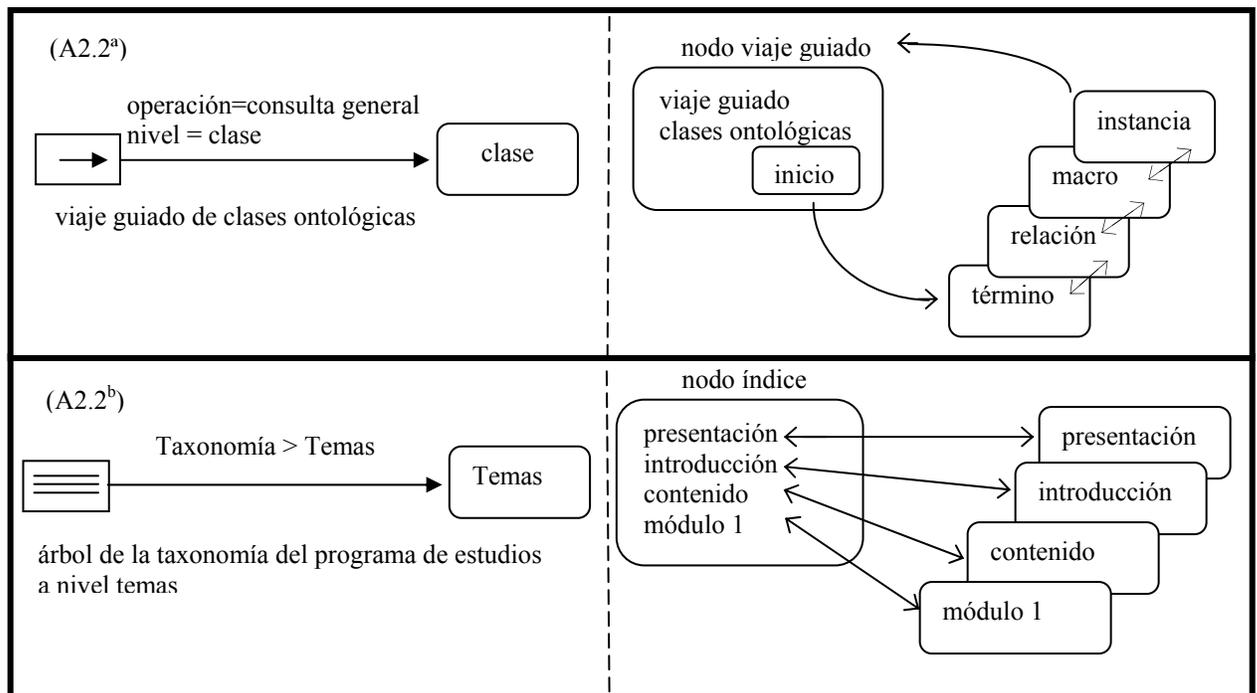


Figura A2.2 Construcciones de navegación (A2.2^a) visita guiada y (A2.2^b) árbol

A2.4.2 Esquema de navegación

Con base en la estructura del portal, las clases de contenido y las construcciones de navegación se procede a diseñar el esquema de navegación. Mediante el esquema se establece a dónde, cómo y a través de qué medios el actor transita entre los contenidos que ofrece el portal.

Como muestra del diseño de navegación realizado, en la Figura A2.3 se ilustra un esquema de navegación para exhibir los componentes de la clase de contenido *ontología*. La simbología del diagrama proviene del “Modelo de datos para el manejo de relaciones” (Isakowitz et al., 1995). El triángulo invertido indica que el diagrama ofrece una porción del esquema de navegación. Los rectángulos identifican las clases de contenido. Aquellos que tienen tres líneas paralelas representan árboles e índices, mientras que las visitas guiadas se reconocen por la flecha. Las líneas continuas revelan ligas unidireccionales; en cambio, los arcos con línea interrumpida expresan relaciones de asociación unarias, pero si tienen una cabeza de flecha revelan una relación uno a muchos.

En la estructura navegacional de la Figura A2.3 se exhibe un árbol de operaciones tales como: inserta, baja, consulta general, consulta específica y modificación. Dependiendo del tipo de operación aparece un índice con los niveles de elementos ontológicos. Éstos aparecen como clases de contenido, que cuentan con su propio árbol para mostrar sus respectivas instancias. Si el actor escoge una instancia, aparece su registro completo; o bien puede seleccionar la visita guiada para exhibir todos los registros.

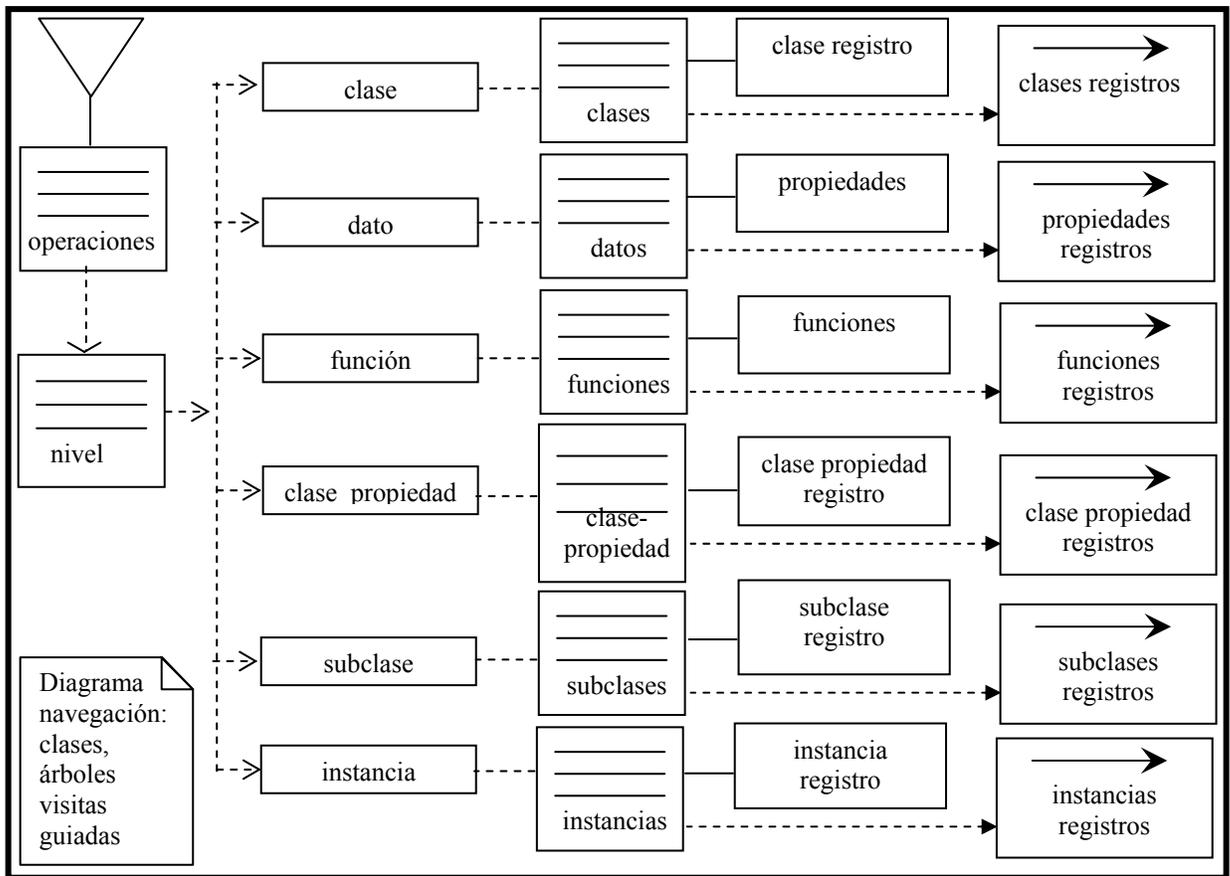


Figura A2.3 Estructura navegacional de la clase de contenido ontología

A2.5 Contenido de las páginas

La interfaz del prototipo dispone de dos tipos de páginas: estáticas y dinámicas. Las páginas estáticas se diseñan y crean antes de ponerse a disposición de los actores que acceden el portal. Los archivos de instrucciones, gráficos y estilos de presentación están almacenados en el sitio Web. Cuando se hace referencia a la página, se recupera el archivo y sus componentes para integrarlos en la ventana del programa de navegación. En cambio, en las páginas dinámicas se usan archivos con instrucciones y contenido a manera de una plantilla que se complementa con elementos que se generan cuando la página es invocada. Por tanto, esta clase de páginas se caracteriza por dos estados: activo e inactivo. El primero corresponde a la exhibición completa de la página activa y sus elementos, mientras que el segundo estado indica que la página no está siendo exhibida, o al menos no se muestran todos sus componentes.

A2.5.1 Páginas estáticas

Mediante el uso del método para el “Diseño de Hipermedia basado en UML” (Baumeister et al., 1999), se identifican los componentes de texto, gráficos, multimedia y enlace que típicamente conforman una página Web. Estos elementos se representan mediante rectángulos que contienen un texto y un icono. El texto se usa para identificar la clase de contenido u objeto. El icono representa el tipo de componente que se emplea en la página. Como muestra del tipo de página estática que conforma la interfaz del prototipo, se presenta en la Figura A2.4 la página para introducir los atributos que definen a una instancia de clase ontológica.

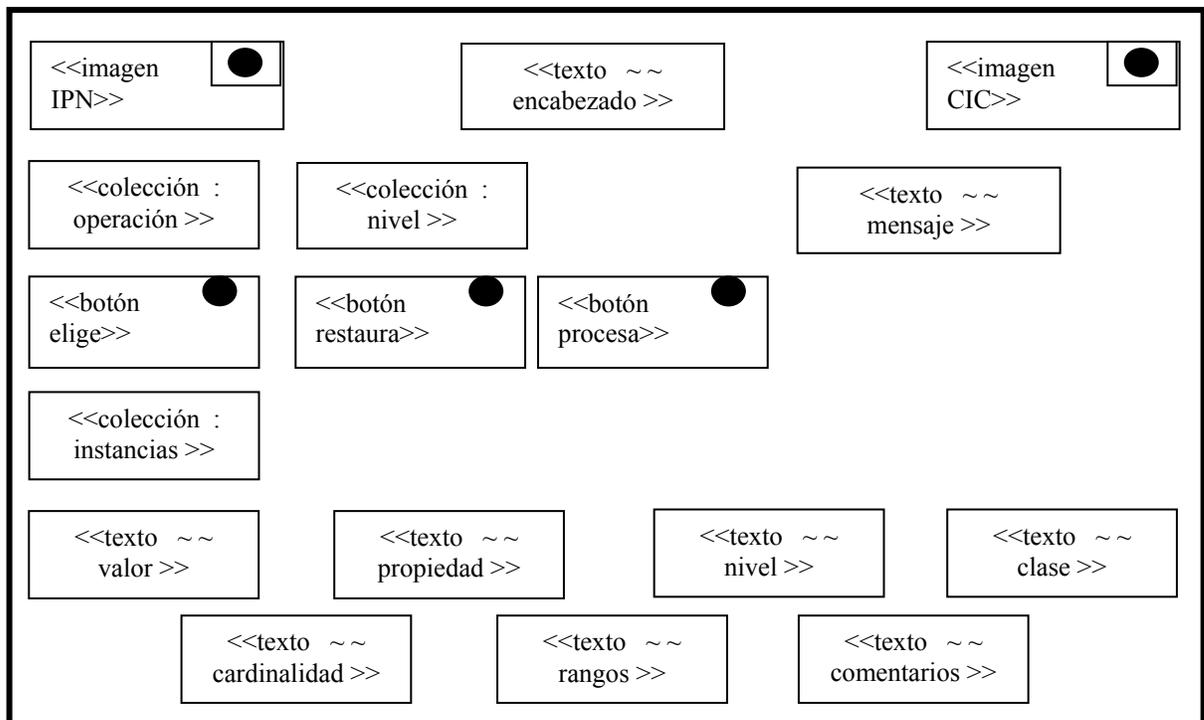


Figura A2.4 Diseño de página estática de la clase de contenido ontológica

En el diseño de la Figura A2.4 se aprecia que las imágenes se identifican por medio de un círculo con fondo negro encerrado en un cuadro. Los botones emplean el mismo círculo pero sin el cuadro. Los textos usan un par de símbolos de semejanza (~). Las colecciones, tales como listas y árboles, emplean los dos puntos (:). Se aprecia que los elementos corresponden al título que toda página debe exhibir. Los controles de la sesión *operación* y *nivel*, son botones que se usan respectivamente para remitir al portal la selección hecha por el actor y el cuerpo que corresponde a los atributos usados para definir una instancia ontológica.

A2.5.2 Páginas dinámicas

El diseño de páginas dinámicas se basa en un modelo dinámico que usa diagramas de estado de UML para definir el comportamiento de los objetos ante eventos externos del usuario. Entre los eventos se encuentran: el movimiento del apuntador, la activación del foco de atención sobre un objeto, la selección de un elemento y la presión sobre un botón. También hay eventos internos que se disparan como resultado de los tiempos de espera, activación y desactivación. Para controlar la exhibición de los objetos y su estado se usan dos variables: percepción y activación. La primera contiene la lista de los objetos mostrados actualmente, mientras que la segunda agrupa los objetos de la lista de objetos exhibidos que están activos actualmente y que pueden reaccionar ante las acciones del usuario y de los eventos.

Cuando un objeto recibe un evento puede cambiar las variables, generar nuevos eventos y enviar mensajes a otros objetos. Los objetos delegan los eventos a sus componentes, además de observar una conducta por omisión que el diseñador no requiere especificar, pero, que es necesario definir las acciones a realizar a efecto de responder a un determinado evento.

Las páginas dinámicas de la interfaz emplean el modelo dinámico para manipular el estado de sus objetos. Como por ejemplo, la colección *operación* que aparece en la Figura A2.5 controla el estado de activación de la colección *nivel*. Ésta a su vez, habilita el uso del botón *elige*. De acuerdo con la combinación de opción de operación y nivel, los objetos de botón *restaura* y *procesa*, y el de colección *instancias* transitan del estado *escondido* a *visible*. De igual forma, al elegir un elemento de dicha colección y presionar el botón *procesa* se generan y exhiben los objetos escondidos que representan los siete atributos que definen una instancia ontológica. Este procedimiento se ilustra a través del diagrama de estados que aparece en la Figura A2.5.

A2.6 Anidamiento

Una página Web puede integrar varias páginas que presentan contenidos específicos, pero que están asociados. La composición de las páginas se realiza por medio de un marco compuesto por regiones. En cada región se exhibe el contenido de una página, mientras que su activación está a cargo de aquella que tiene un constructor de navegación. Para el anidamiento de páginas se diseñan dos opciones. La primera se usa para proveer las experiencias y la segunda para la administración de los repositorios del prototipo, como la ontología. En el caso de la provisión de experiencias se ofrece al actor *estudiante* una interfaz como la mostrada en la Figura A2.6. En la parte superior se ubica la página de encabezado, en el lado izquierdo aparece el árbol de navegación y el área restante corresponde al contenido de la experiencia.

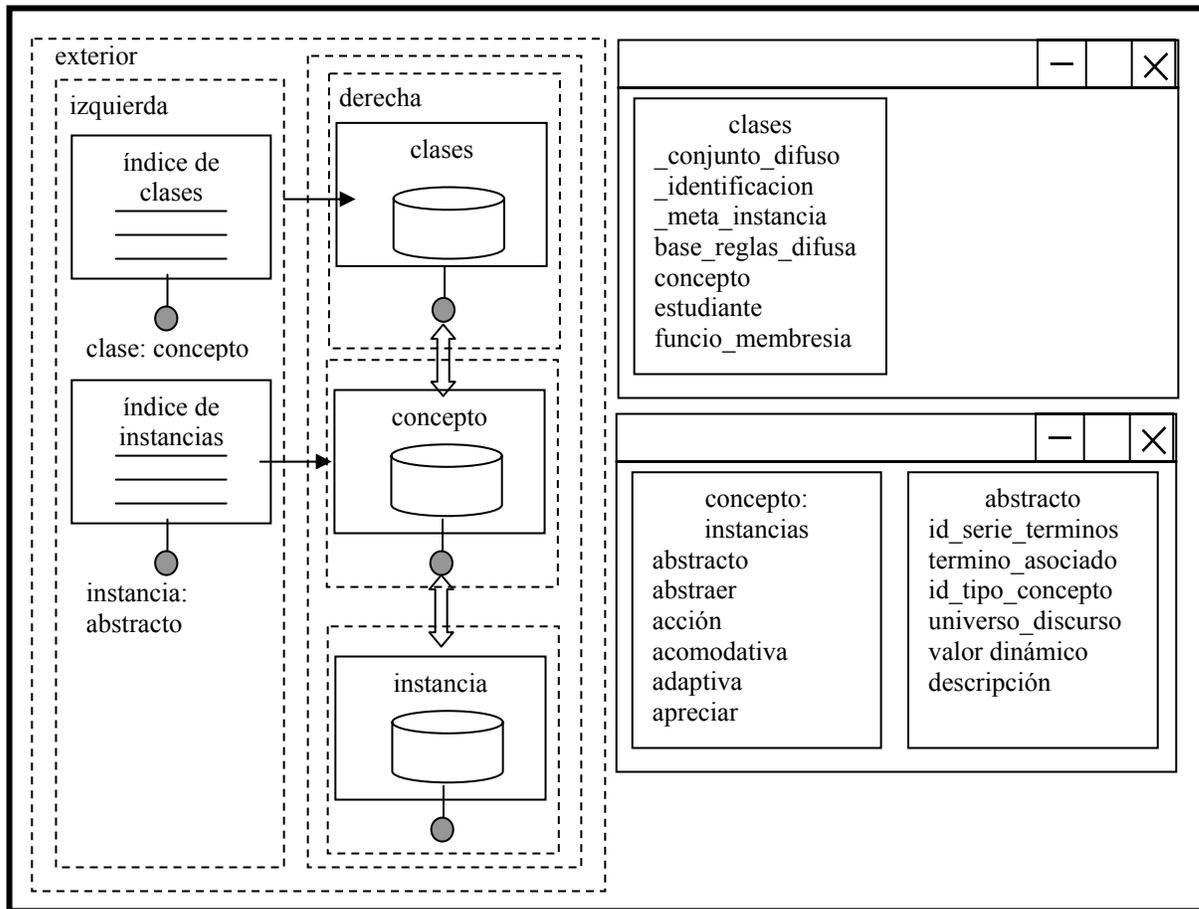


Figura A2.7 Estructura de anidamiento múltiple

A2.7 Implementación Web

En cuanto al SEBW que sirve como entorno para la operación del modelo del estudiante, éste se caracteriza por el uso de una interfaz a través de la cual se ofrece información al estudiante, una barra de navegación y la sección para exhibir el contenido de la experiencia.

La interfaz se programa como una página de servidor activo extendida que el servidor Web genera en forma automática. Para tal fin, se crea un marco con instrucciones del lenguaje HTML, acompañadas por una función Javascript. Esta función, provee un enlace con una interfaz de programación para una aplicación a través de la cual se accede a toda la funcionalidad del SEBW en lo general, y del modelo del estudiante en lo particular. El código empleado para definir el marco y la función se presenta en el Código A2.1.

Al activar el marco descrito anteriormente, se exhibe una página Web compuesta por tres páginas: la del encabezado, la barra de navegación y el cuerpo del contenido. Como resultado de la activación en el programa navegador aparece la ventana mostrada en la Figura A2.8.

```

00 Código A2.1: Marco principal del SEBW
01 <html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" >
02   <head runat="server">
03     <title>SCORM Sample Run-Time Environment V. 1.3.3 in C#</title>
04     <script language = "javascript" >
05       // define la variable y la inicializa como un objeto nulo
06       var API_1484_11 = null;
07       var mensaje = "Proporciona Identificación y Clave";
08       window.parent.mensaje
09       var fecha_hora;

10       // Función que provee la interfaz con la API del SEBW
11       function initAPI() {
12         window.moveTo(0,50);
13         window.resizeTo(670,600);
14         // declara una variable "API" igual a la API.dll
15         API_1484_11 =
16         window.encabezado.document.APIAdapterC;
17         window.open
18         ("Principal/SEBW_Bienvenida.html", "cuerpo");
19       }
20     </script>
21   </head>
22   <frameset id=marco_principal rows="130,*" onload="initAPI();" >
23     <frame id="encabezado" name="encabezado"
24       src="Principal/SEBW_Encabezado.html" scrolling="no" >
25     <frameset id=marco_trabajo cols="150,*" >
26       <frame id="menu" name="menu"
27         src="Principal/SEBW_Menu_Inicial.htm" noresize
28         scrolling="yes"
29         marginwidth="0">
30       <frame id="cuerpo" name="cuerpo">
31     </frameset>
32   </frameset>
33   <body>
34   </body>
35 </html>

```

UN MODELO DEL ESTUDIANTE BASADO EN MAPAS COGNITIVOS



Figura A2.8 Página principal de ingreso al SEBW

Apéndice 3

Agentes

*Y les dijo: Id por todo el mundo
Y predicad el evangelio a toda criatura.
(Marcos 16.15)*

El método ISIW incorpora el uso de agentes para implementar servicios especializados en un ambiente distribuido de proceso (Odell, et al., 2000) El desarrollo de un ambiente multiagente se realiza con base en el método GAIA (Wooldrige et al., 2001). GAIA concibe a los ambientes multiagentes como una organización computacional caracterizada por diversos roles que interactúan para el logro de propósitos comunes. Al aplicar el método GAIA se elaboran diversos modelos que cubren especificaciones conceptuales, funcionalidades y flujos de comunicación. Durante el flujo de trabajo de análisis se definen dos modelos: roles e interacciones. Como resultado del flujo de trabajo de diseño se establecen los modelos de agente, servicio y enlace. A manera de resumen, se exponen a continuación una parte de los cinco modelos citados y varios extractos del código elaborado para su implementación.

A3.1 Modelo de roles

El modelo de roles identifica las funciones del prototipo mediante un conjunto de atributos que caracterizan las responsabilidades, los permisos, las actividades y los protocolos. Las responsabilidades de ciclo de vida representa la funcionalidad que se activa en caso de que algo *bueno* para el prototipo ocurra. La seguridad define la funcionalidad que se pone en práctica en condiciones normales. Los permisos son los derechos que tiene el rol para el empleo de recursos. Las actividades son las tareas asociados con el rol que deben ser ejecutadas por el agente sin interactuar con otros. En cambio los protocolos son tareas cuya ejecución demanda interactuar con otros roles.

Debido a que la funcionalidad básica del prototipo descansa en una plataforma multiagente, en el flujo de trabajo de análisis se define el modelo de roles. Como parte del modelo de roles se presenta en la Tabla A3.1 la descripción de los roles dedicados a la consulta de la ontología.

Tabla A3.1 Modelo de roles para la consulta de la ontología

Rol	Consulta
Descripción	El agente responde a la consulta al proporcionar el término solicitado o nulo en caso de no haber. En el caso de una consulta de confirmación responde <i>verdadero</i> o <i>falso</i>
Actividades	ejecuta-Consulta, genera-Informe
Protocolo	codifica-Mensaje, envía-Mensaje
Permisos	lee parámetros-Consulta // accesa los parámetros de la consulta a la Ontología busca <i>ontología</i> // accesa la ontología genera informe-Consulta // como respuesta emite los términos, <i>nulo</i> , <i>verdadero</i> o <i>falso</i>
Responsabilidad ciclo de vida	Consulta = (ejecuta-Consulta . genera-Informe codifica-Mensaje . envía-Mensaje)*
Responsabilidad de seguridad	Consulta: informe (términos) o informe (nulo). Confirmación: informe (verdadero) o informe (falso)

A3.2 Modelo de interacción

El Modelo de interacción revela las dependencias y relaciones que existen entre varios roles de un sistema multiagente por medio de protocolos. Un protocolo es un patrón de interacción definido, que se abstrae de cualquier secuencia particular de ejecución. El protocolo se concentra en el propósito de la interacción, en lugar de un orden particular de intercambio de mensajes. En la definición del protocolo se emplea los siguientes atributos:

- Propósito: identificación de la naturaleza de la interacción.
- Iniciador: nombre del rol responsable para arrancar la interacción.
- Contestador: nombre del rol responsable con el que el iniciador interactúa.
- Entradas: información usada por el iniciador al emplear el protocolo.
- Salidas: información emitida por el contestador durante el curso de la interacción.
- Proceso: identificación del proceso que se realiza durante la interacción.

Continuando con el desarrollo de la plataforma multiagente, en la Tabla A3.2 se exhibe la descripción de las interacciones para la consulta. La descripción del protocolo sigue un orden descendente. En el renglón superior se presenta el propósito. En el renglón intermedio aparece el rol iniciador y dos roles contestadores. En el renglón inferior se describe el proceso. En la parte exterior se muestran los parámetros de entrada y debajo de ellos los parámetros de salida.

A3.3 Modelo de agente

El modelo de agente establece la forma en que los diferentes tipos de agentes agrupan los roles definidos en el flujo de trabajo de análisis. En este modelo se asocian los roles a cada agente con base en su naturaleza y afinidad.

Tabla A3.2 Modelo de interacción para la consulta de la ontología

Consulta a componentes de la ontología	
consulta ontología	acuerdo informe consulta
consulta y recupera la existencia de clases y subclases en una ontología	informe-Consulta

El modelo de agente se representa gráficamente como un árbol de tipos de la raíz del árbol identifica el tipo de agente, mientras que las hojas representan los roles asociados a él. El modelo de agente estima el número de instancias que pueden ocurrir entre los agentes. Los agentes se ocupan de tareas específicas, tales como: asistencia al estudiante, provisión de experiencias, razonamiento causal y administración de la ontología. Las tareas se descomponen en varios roles que precisan las funciones específicas a realizar. Es decir, en cierto modo las tareas son casos de uso, en tanto que sus roles corresponden a los pasos establecidos en su descripción. Por lo tanto, al asociar una tarea, o caso de uso, a un tipo de agente se le está confiando una serie de roles a desempeñar.

A manera de ejemplo, en la Figura A3.1 se presenta el modelo de agente para tres tipos de agentes: ontológico, estudiante y efecto acumulativo. En la parte inferior del modelo se aprecia el nombre de los roles asociados a cada tipo de agente. Para el agente ontológico se definen cuatro roles de administrador de repositorios. El agente del estudiante se asocia con tres roles que representan tres etapas de la interacción con el prototipo. Al agente encargado del efecto acumulativo se le asocian tres roles, que son necesarios para la estimación del efecto de acumulación descrito en la Sección 3.4.5.

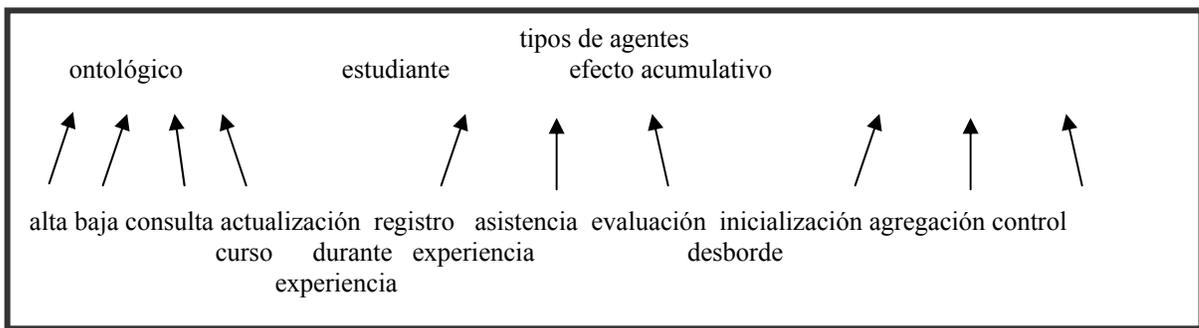


Figura A3.1 Modelo de agente que asocia roles a tres tipos de agentes

A3.4 Modelo de servicio

El modelo de servicio revela las funciones asociadas a cada rol de agente por medio de cuatro atributos: entradas, salidas, precondiciones y poscondiciones. Las entradas y salidas son los recursos citados en el atributo *permisos* del modelo de roles.

Las precondiciones son requisitos a satisfacer antes de ejercer la funcionalidad; en tanto que las poscondiciones representan los atributos *responsabilidades de seguridad* definidos en el modelo de roles. En suma, cada rol se asocia con al menos un servicio. A partir de los modelos de roles y agentes se deriva el modelo de servicios para los roles asociados a cada tipo de agente. Como resultado de esta clase de modelación, en la Tabla A3.3 se muestra el modelo de servicio para los cuatro roles del agente ontológico. En cada renglón se establecen las entradas, salidas, precondiciones y poscondiciones que definen a un servicio.

Tabla A3.3 Base de reglas difusas

Servicio	Entradas	Salidas	Precondición	Poscondición
alta	parámetros-Alta	informe-Alta	no existe el registro a dar de alta	informe (hecho) o informe (rechazado)
baja	parámetros-Baja	informe-Baja	existe el registro a dar de baja	informe (hecho) o informe (rechazado)
consulta	parámetros-Consulta	informe-Consulta	existe el registro a consultar	informe (términos) o informe (nulo) o informe (verdadero) o informe (falso)
actualiza	parámetros-Actualización	informe-Actualiza	existe el registro actualizar no existe el nuevo registro	informe (hecho) o informe (rechazado)

A3.5 Modelo de enlace

A través del modelo de enlace se precisa el flujo de comunicación que existe entre los distintos tipos de agentes. En este modelo no se define cuales mensajes son enviados, sino más bien se indica las vías de enlace disponibles. El propósito que se persigue al diseñar el modelo de enlace es identificar potenciales cuellos de botella que pueden degradar el rendimiento del prototipo en tiempo de ejecución. Por esta razón, se diseña una red en la que los nodos corresponden a los tipos de agentes y los arcos representan los enlaces de comunicación.

El modelo de enlace que revela la comunicación entre los agentes integrantes del prototipo se muestra en la Figura A3.2. En la gráfica se aprecian doce tipos de agentes que interactúan a través del envío, recepción, interpretación, ejecución y respuesta de mensajes. El agente que aparece al inicio del arco corresponde al emisor del mensaje. La cabeza del arco apunta al agente receptor del mensaje, el cual se encarga de generar una respuesta que no se gráfica.

A3.6 Ambiente multiagente

Parte de la funcionalidad establecida en los algoritmos y en el modelo de implementación se encuentra habilitada por medio de agentes. Los agentes ofrecen servicios especializados como la asistencia al desarrollador, el manejo de mensajes y la administración de la ontología. De acuerdo con los modelos de roles, interacción, agente, servicio y enlace se recrea un ambiente multiagente como parte del prototipo.

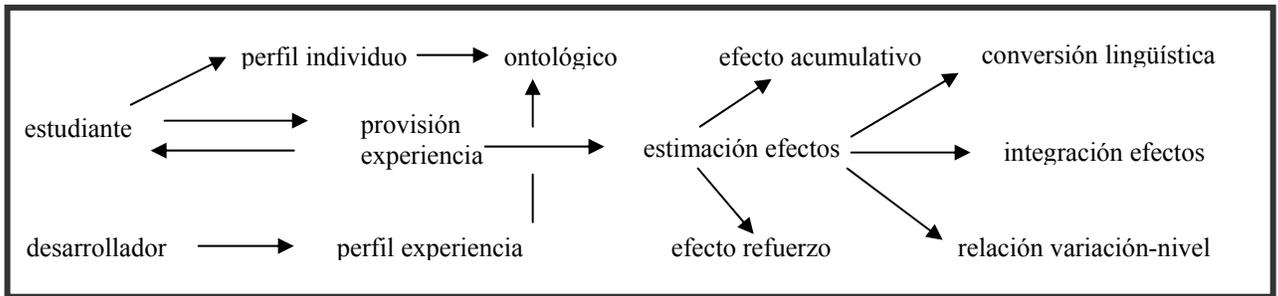


Figura A3.2 Modelo de agente que asocia roles a tres tipos de agentes

De acuerdo con este escenario, el actor desarrollador tiene una interfaz para interactuar con el prototipo. Esta interfaz cuenta con el respaldo de un agente denominado *usuario*. Este agente se encarga de interactuar con otros, como el agente ontológico, mediante la codificación, envío y decodificación de mensajes.

En cuanto a la programación de agentes, ésta se realiza mediante el empleo de servicios Web. Para tal fin, se requiere incorporar algunas instrucciones básicas para declarar y usar los servicios Web. Adicionalmente, se procede a definir el formato de los mensajes y el medio para su manejo. Para ilustrar la forma en que se realizan estas funcionalidades, a continuación se presenta una muestra del código necesario.

A3.6.1 Declaración de un agente

La definición de los servicios Web para implementar agentes requiere un par de conjuntos de instrucciones (Short, 2002). El primer conjunto corresponde a la declaración de la clase como un servicio Web. El segundo conjunto se orienta a establecer un método público como un método Web, al cual se le asocian parámetros de entrada y de salida. Por ejemplo, en el Código A3.1, *wsInterfaceAgent* es la clase que se declara como servicio Web, e *interfaceAgent* es el método que se establece como método Web:

```

00 Código A3.1, declaración de um servicio Web y de um método Web
01 // Declaración de servicio Web
02 namespace wsInterfaceAgent {
03     public class wsInterfaceAgent : System.Web.Services.WebService{
04     ::
05     11 // Declaración de método Web
06     12 [WebMethod]
07     13 public int interfaceAgent(parameters-Entrada, out parameters-Salida)
08     14     { code..... return value }
  
```

A3.6.2 Acceso al agente

Los componentes usuarios hacen referencia al servicio Web registrado por medio de un objeto de la clase que se declara como servicio Web. En torno al caso que se está desarrollando, la referencia al servicio Web se aprecia en el Código A3.2, en donde el objeto se llama *interfaz* y se deriva de la clase *wsInterfaceAgent*, la cual está declarada en la línea 03 del Código A3.1.

```
00 Código A3.2: Referencia al servicio Web
01 namespace waInterface { public class WebForm1 : System.Web.UI.Page {
02     host.wsInterfaceAgent interfaz = new host.wsInterfaceAgent();
```

Posteriormente, en el código del componente usuario se invoca al método Web que está declarado en la clase Web. Por lo tanto, en el ejemplo en desarrollo, el objeto *interfaz* tiene acceso al método *wsInterfaceAgent*, por ello simplemente se asocian los parámetros de entrada y salida para invocar al servicio Web en la forma que se muestra en el Código A3.3:

```
00 Código A3.3: Invoca al método interfaceAgent del servicio Web
    wsInterfaceAgent
01 interfaz.InterfaceAgent(parameteros-Entrada, out parameteros-Salida);
```

A3.6.3 Definición de mensajes

La comunicación entre agentes se realiza mediante el intercambio de mensajes. Los mensajes usan un formato con una estructura compuesta por varios elementos. Estos elementos contienen atributos y otros elementos o valores. A manera de ejemplo, el tipo de mensaje que se emplea para solicitar un esquema se define a través de las instrucciones del Código A3.4:

```
00 Código A3.4: mensaje para solicitar el nombre de las clases ontológicas
01 <?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
02 <messageMAS xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
03     <request>
04         <Header_Message>
05             <Sender_Agent>interfazAgent</Sender_Agent>
06             <Receiver_Agent>ManagerOntology</Receiver_Agent>
07         </Header_Message>
08         <Body_Message>
09             <Command>Query_if</Command>
10             <Head_elemento>Class</Head_elemento>
11         </Body_Message>
12         <Body_Note>
13             <Note>Request</Note>
14         </Body_Note>
15     </request>
16 </messageMAS>
```

Una vez que se envía el mensaje, el agente que interpreta su contenido, busca los elementos *request* y *command*. Después, evalúa el contenido para identificar el tipo de instrucción que se demanda. De acuerdo con el Código A3.4, la operación es *Query_if*. Después de identificar la instrucción, se invoca al método *pQuery_if* en la forma presentada en el Código A3.5:

```
00 Código A3.5: interpretación del mensaje
01 void processMessage(){
02     if (rDecodeAgent.RMessage.Equals("request")) processRequest(); }
::
11 void processRequest() {
12     if (rDecodeAgent.RCommand.Equals ("Insert")) pInsert();
13     else if (rDecodeAgent.RCommand.Equals ("Query_if")) pQuery_if();
14     else if (rDecodeAgent.RCommand.Equals ("Delete")) pDelete(); }
```

Apéndice 4

Ontologías

*...Porque la tierra será llena del conocimiento de Jehová,
como las aguas cubren el mar.
(Isaías 11.9)*

Desde un punto de vista práctico, una ontología es una teoría lógica dedicada a establecer el significado intentado de un vocabulario formal. Es decir, la ontología formula un compromiso ontológico para una conceptualización del mundo. Por tal motivo, los modelos derivados de un lenguaje lógico usando un vocabulario específico son condicionados por sus compromisos ontológicos. En consecuencia, una ontología revela indirectamente su compromiso buscando aproximarse a los modelos intentados (FIPA, 2001). En este apéndice se presenta el marco formal de la ontología que se integra al prototipo. También, se describe la metadefinición de la ontología, la representación de conocimiento en el SEBW y la estructura del modelo ontológico empleado.

A4.1 Marco formal

En esta sección se introduce el marco formal que fundamenta la concepción de ontologías. También, se presentan un método para el diseño de ontologías y un lenguaje para la codificación de ontologías. El marco sirve de sustento a la ontología del prototipo, mientras que el método establece las actividades desarrolladas para crear dicha ontología.

La marco formal que sustenta la formulación de una ontología parte de la definición del término *conceptualización* hecho por Genesereth y Nilsson (1987), quienes definen: “La estructura $\langle D, R \rangle$; en donde D es el dominio de la aplicación y R es un conjunto de relaciones relevantes en D .” Con base en este referente, Gruber (1995) define a la ontología como: “Una especificación de una conceptualización”.

Otra definición más precisa para la conceptualización es la propuesta por Guarino y Giaretta (1995), y posteriormente refinada por Guarino (1998), quienes definen una conceptualización C como: “La estructura $C = \langle D, W, R \rangle$, en donde D es un dominio, W es el conjunto de todos los estados relevantes del dominio y R es el conjunto de relaciones conceptuales en $\langle D, W \rangle$. Por lo tanto, una conceptualización es: “Un conjunto de relaciones conceptuales definidas en un espacio de dominio” (FIPA, 2001).

A partir de la última estructura definida para C , se establece un compromiso ontológico $K = \langle C, \xi \rangle$ para un lenguaje lógico L con vocabulario V y una función de asignación ξ de elementos de D a símbolos constantes de V , tal que $\xi: V \rightarrow D \cup R$. Luego entonces, se dice que: L cumple C por medio de K , mientras que C es la conceptualización base de K .

Con base en estos fundamentos, FIPA (2001) define el rol de una ontología como: “Un conjunto de axiomas lógicos establecidos para expresar el significado de un vocabulario.” Dado un lenguaje L con un compromiso ontológico K , una ontología O para L es un conjunto de axiomas definidos en forma tal que el conjunto de sus modelos se aproxima al conjunto de modelos de L de acuerdo con K . Dicho de otra manera, una ontología O para el lenguaje L aproxima a la conceptualización C , si existe un compromiso ontológico $K = \langle C, \xi \rangle$, tal que los modelos intentados de L de acuerdo con K están incluidos en los modelos de O . Para ilustrar esta definición, se presentan gráficamente los elementos aludidos en la Figura A4.1.

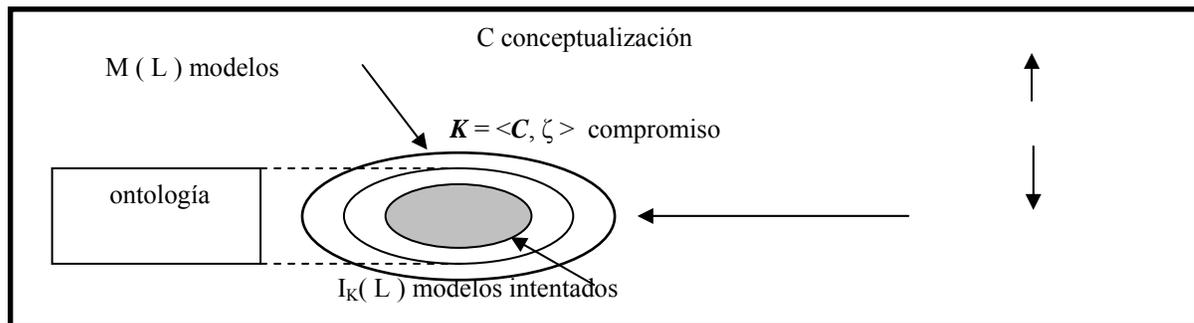


Figura A4.1 Modelo formal para la definición de una ontología (FIPA, 2001)

En relación con el diseño de la ontología, ISIW integra las propuestas: “Desarrollo de ontologías 101” (Noy y McGuinness, 2001) y “Guías para definir una nueva ontología” (FIPA, 2001). Como resultado, ISIW usa las tres etapas propuestas por FIPA y agrega las actividades recomendadas por Noy y McGuinness (2001) de la siguiente forma (Peña, 2004):

- Administración. Conjuga la planeación, la dirección y el control para crear una ontología. Precisa, además, el dominio de la ontología y recomienda buscar ontologías del dominio de la aplicación que puedan ser rehusadas.
- Creación. Representa el ciclo de construcción de la ontología a través de una serie de tareas tales como: requisitos, conceptualización, formalización, definición de los términos base, selección de clases, descripción de atributos, declaración de condiciones, integración de elementos, generación de la primera versión y refinamiento.

- Soporte. Integra las actividades de respaldo, documentación, evaluación y mantenimiento.

Para representar la ontología diseñada para el prototipo se emplea el lenguaje ontológico para la Web, conocido por sus siglas en inglés OWL (2007). OWL es un lenguaje dedicado a las aplicaciones que requieren procesar el contenido de la información. OWL describe el significado de los términos contenidos en los vocabularios, así como las relaciones entre los términos. OWL se basa en los elementos y funcionalidades que ofrecen los lenguajes XML (2007), RDF (2007) y el lenguaje de agentes de marcas (DAML, 2007). OWL aporta un nuevo vocabulario para definir propiedades y clases, además de establecer nuevas categorías de relaciones.

En lo que respecta a la herramienta para el diseño de ontologías se emplea Protégé (2007). La herramienta ofrece una interfaz para definir los componentes básicos de una ontología, tales como clases, propiedades y relaciones. Así mismo, la herramienta cuenta con medios para definir las condiciones que restringen el tipo de valor permisible para las propiedades. Una vez declarados los metadatos, se procede a introducir las instancias de las clases y a realizar consultas basadas en la búsqueda y en la inherencia de las clases. Como resultado de la definición y alimentación de información, Protégé procede a generar el código de la ontología por medio de instrucciones de OWL.

A4.2 Representación de conocimiento

La representación de conocimiento, información y datos que manipula el prototipo se realiza esencialmente por medio de tres clases de repositorios: una ontología, acervos y base de datos. En este marco de trabajo, cobra particular atención el diseño de ontologías por tratarse de un paradigma de investigación de la inteligencia artificial. Adicionalmente, entre los objetivos, aportaciones y publicaciones derivadas de la tesis, se encuentran el de ontologías y la creación de agentes ontológicos para representar mapas cognitivos y el modelo del estudiante.

A4.2.1 Ontología

Mediante el método para el desarrollo de una ontología, presentado en la sección A4.1, se genera un modelo ontológico para caracterizar el dominio de conocimiento del prototipo. El modelo ontológico se compone de: el establecimiento de relaciones entre las clases, el diseño de la estructura de clases, la definición de relaciones de propiedades de datos, la formulación de las clases y la descripción de las instancias que se derivan de las clases. Una muestra de las clases que identifican entidades, eventos y relaciones de los mapas cognitivos que sirven de sustento para la conformación del modelo del estudiante se presenta en la Tabla A4.1. En la relación aparecen el nombre, la descripción de su naturaleza y el nombre de las superclases a las que está asociada.

El diseño de la estructura de clases se traduce en un diagrama de clases típico de UML, en el que aparece el nombre de la clase y el tipo de relación de asociación o jerarquía entre las clases. La estructura de clases del modelo ontológico se presenta en la Figura A4.2.

A manera de ejemplo, una muestra de las propiedades de datos establecidas para describir las clases se presenta en la Tabla A4.2. En la lista se aprecia el nombre de la propiedad, su naturaleza, el tipo de valor que se asocia, p. ej., *t*, *e*, *r* corresponden respectivamente a texto, entero y real; y la cardinalidad, p. ej., *s*, *m* para sencilla y múltiple respectivamente.

Tabla A4.2 Relación de propiedades de datos ontológicas

#	Propiedad	Descripción	tipo	ocurre
1	area	Representa el Área del Conjunto Difuso	r	s
2	base_exterior	Representa al tamaño del intervalo entre el punto de mayor (menor) soporte de A y el mayor (menor) punto del máximo grado de pertenencia	r	s
3	ciclo_disparo	Identifica el ciclo en que se dispara por 1era vez el efecto de la relación	e	s
4	ciclo_multiple	Identifica el # de ciclos que debe transcurrir para disparar el efecto de la relación	e	s
5	ciclo_retraso	Identifica el # de ciclos que debe transcurrir para que se aprecie el efecto de la relación	e	s
10	coordenada_grado_pertenencia	Identifica el conjunto de Coordenadas en el eje del grado de pertenencia	r	m
11	coordenada_universo_discurso	Identifica el conjunto de Coordenadas en el universo de discurso	r	m

En lo concerniente a la definición de las clases, éstas se caracterizan por medio de las propiedades de datos que se asocian a ellas. Para mostrar la descripción de clases, en la Tabla A4.3 se exhibe un par de ejemplos para las clases concepto y relación.

Tabla A4.3 Descripción de clases ontológicas

#	clase: concepto	#	clase: relación
1	descripcion	1	ciclo_disparo
2	id_serie_terminos_linguisticos	2	ciclo_multiple
3	id_termino_asociado	3	ciclo_retraso
4	id_tipo_concepto	4	descripcion
5	universo_discurso	5	factor_alternativa
6	valor_dinamico	6	factor_influencia
		7	factor_probabilidad
		8	id_base_reglas_difusas
		9	id_concepto_origen
		10	id_concepto_destino
		11	id_macro

En relación con la creación de instancias derivadas de las clases, éstas se definen mediante la asignación de valores a los atributos de las propiedades asociadas a las clases. A manera de ejemplo, se presenta en la Tabla A4.4 una instancia derivada de las clases *concepto* y *relación*.

Tabla A4.4 Descripción de instancias de clases ontológicas

#	clase: concepto	instancia: juzgar	#	clase: relación	instancia: complejo intrapersonal
1	descripcion	eficacia para aceptar o rechazar el concepto	1	ciclo_disparo	1
2	id_serie_terminos_linguisticos	trapezio_n_06_01	2	ciclo_multiple	1
3	id_termino_asociado	evaluacion_propiedad	3	ciclo_retraso	1
4	id_tipo_concepto	nivel	4	descripcion	relación causal-macro ente capacidad_Concentracion e imaginacion
5	universo_discurso	[-100, 100]	5	factor_alternativa	1
6	valor_dinamico	no	6	factor_influencia	1
			7	factor_probabilidad	1
			8	base_reglas_difusas	n_v_t_11_01
			9	id_concepto_origen	intrapersonal
			10	id_concepto_destino	Complejo
			11	id_macro	v_v+_s_s_1

A4.2.2 Acervos del perfil del individuo y de la experiencia

En el entorno de la investigación se establecen contextos que caracterizan conceptualmente tres entidades experiencia, estudiante y conocimiento adquirido. Cada uno de estos contextos agrupa uno o más dominios. El contexto *experiencia* incluye los dominios: secuencia (Brusilovsky y Vassileva, 2003), contenido (Guttormsen y Krueger, 2000) y evaluación (Bloom, 1984). El contexto *estudiante* se expresa por medio de tres dominios: personalidad (Hathaway y McKinley, 2000), preferencias de aprendizaje (Gardner, 1983) y capacidad cognitiva Wechsler (2000). El contexto conocimiento adquirido sólo incluye un dominio con el mismo nombre.

Para representar los contextos del modelo del estudiante se crea un acervo de documentos XML, cuya definición se norma mediante esquemas XSD. Debido a que la ontología se codifica en OWL existe plena compatibilidad entre los contenidos. Por ello los elementos definidos para los acervos se describen en la ontología a nivel de instancia de clase. Por consiguiente, a continuación se identifican los acervos, se explica como son estructurados, se definen los metadatos que caracterizan los componentes de los acervos y se procede a integrar los acervos con la ontología.

A4.2.2.1 Identificación de los acervos

De acuerdo con la definición de contextos para representar el objeto de estudio y los dominios que componen a cada contexto, se diseña un documento XML con su respectivo esquema XSD. De esta manera se recrea un acervo compuesto por los siguientes archivos XML:

- Meta-taxonomía. Contiene los metadatos que describen una experiencia mediante los criterios y conceptos que revelan el tipo de la experiencia, la secuencia, el contenido y la evaluación que se disponen como opciones para proveer las experiencias.
- Taxonomía. Caracteriza las experiencias mediante la asignación de valores específicos a los conceptos. La descripción de la experiencia se basa en las definiciones de la meta-taxonomía, que se usa como un “molde” para editar los elementos y atributos pertinentes.
- Perfil. Almacena los valores de los conceptos de personalidad, preferencias de aprendizaje y capacidades cognitivas del estudiante con los que se recrea un perfil del individuo.
- Conocimiento-adquirido. En este documento se registran las estimaciones de nivel y de variación para la adquisición de conocimiento derivada de la experiencia provista al estudiante.

A4.2.2.2 Estructura de los acervos

En los acervos se emplea una estructura común de elementos y aspectos a evaluar para un contexto y dominio en particular. De acuerdo con la estructura jerárquica de los acervos se procede a definir su contenido en la forma ilustrada en la Figura A4.3. La estructura corresponde a la meta-taxonomía, en donde la descripción de un juicio se hace mediante cinco elementos. Cada uno de ellos se descompone en uno o más criterios, cuyo número aparece entre paréntesis. Los criterios a su vez se componen de varias instancias. Cada instancia se integra por cinco términos que pueden aparecer hasta dos veces.

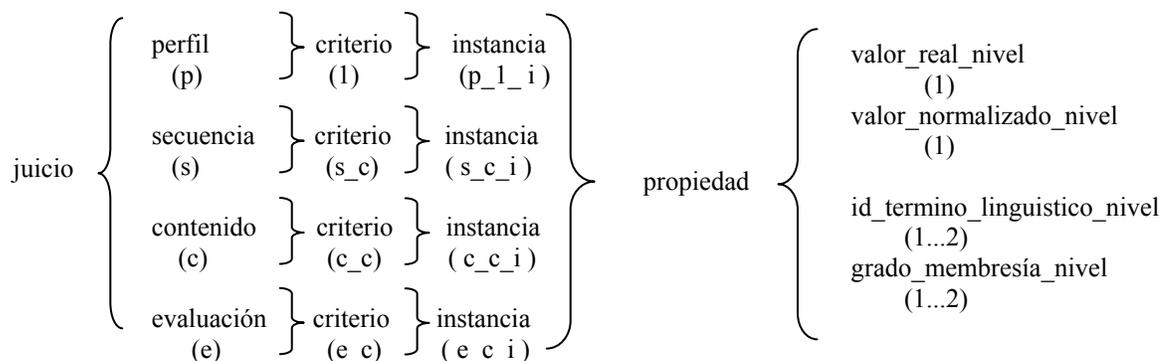


Figura A4.3 Estructura del contexto meta-taxonomía

Con base en la estructura de la meta-taxonomía se diseña la estructura de la taxonomía como se muestra en la Figura A4.4. La taxonomía representa el programa del curso, el cual se compone por m módulos. Cada módulo se integra por t temas. Un tema aglutina c conceptos. Un concepto se imparte a través de j juicios. El juicio se describe conforme a los dominios, criterios e instancias expresados en la Figura A4.3.

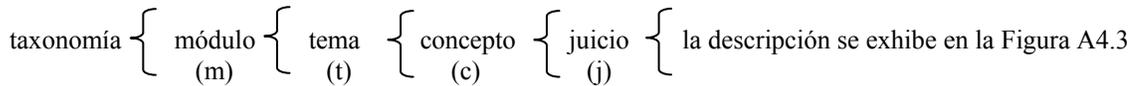


Figura A4.4 Estructura de la taxonomía del programa de estudios

En cuanto al contexto *perfil*, su estructura se utiliza para revelar la evaluación aplicada al estudiante en relación con un conjunto de conceptos que describen su capacidad cognitiva, personalidad y preferencias de aprendizaje. Para cubrir este propósito se usa la estructura mostrada en la Figura A4.5. En la ilustración se aprecia que la *propiedad* es dual. Es decir que el estado asociado al concepto puede ser expresado por valores que revelen nivel o variación. Por ese motivo, se define la propiedad como *dual* y se establecen dos opciones de rango de ocurrencias de: 1 o (1, 2) para cada término.

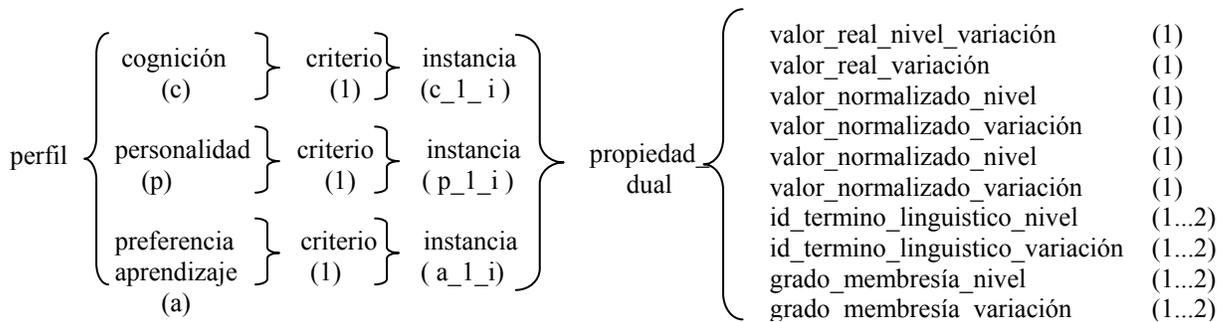


Figura A4.5 Estructura del contexto perfil

En relación con el contexto *conocimiento adquirido*, su estructura es idéntica a la propia de la taxonomía. Pero, en vez de aplicar la misma descripción para la instancia, emplea la versión de la instancia dual definida para el contexto perfil. Con base en este par de referentes, la estructura resultante se exhibe en la Figura A4.6.

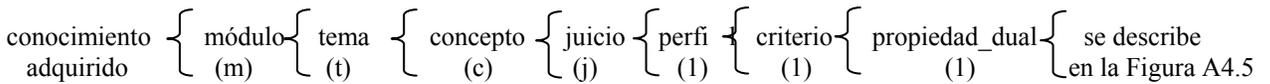


Figura A4.6 Estructura del contexto adquisición de conocimiento

A4.2.2.3 Especificación de metadatos

Todos los elementos y atributos declarados en los documentos XML(2007) están definidos en el esquema asociado. Así mismo, la estructura que revela el orden y ocurrencia de los elementos también esta declarada en el esquema XSD. Con base en los metadatos, se determina si está bien formado el documento y su validez. Por esta razón, se diseñan los siguientes esquemas:

- Meta-taxonomía. Define los metadatos que describen una experiencia.

- Taxonomía. Establece las normas para describir las experiencias conforme a las especificaciones declaradas en el esquema de la meta-taxonomía.
- Perfil. Proporciona las especificaciones para describir el acervo que revela el perfil del individuo.
- Conocimiento-adquirido. Determina los criterios que deben cubrir los elementos y atributos empleados para revelar la adquisición de conocimiento lograda por el estudiante.

En el contenido de un esquema destacan tres tipos de elementos esquema, complejo y simple. El elemento *esquema* identifica los nombres de espacio que se emplean en la definición del esquema. Este elemento hace referencia al identificador universal del recurso que corresponde al nombre de espacio a emplear. Los elementos *complejos*, se usan para propósitos diversos, como: definir secuencias de elementos que hacen referencia a otros elementos complejos o simples; identificar los atributos que se asocian al elemento y declarar contenidos simples que identifican el tipo de valor que se asocia al elemento. En relación con los elementos *simples*, estos precisan el tipo de valor que puede ser almacenado en el elemento, como texto o entero.

A4.2.2.4 Integración acervos – ontología

El contenido de los acervos está normalizado en su parte sintáctica y semántica. Gracias al empleo de esquemas, se garantiza que la estructura, contenido y valores satisfagan las especificaciones sintácticas del documento. Así mismo, al exigir que los nombres de elementos y atributos estén declarados en la ontología se mantiene la consistencia semántica. De igual forma, aquellos valores que hacen referencia a una instancia de clase ontológica también están definidos en la ontología. Para garantizar la consistencia a nivel semántico se estratifican los nombres de los elementos, atributos y valores de los acervos de acuerdo con las clases ontológicas que se identifican en la Figura A4.7.

En la Figura A4.7 se representan los cuatro acervos como clases, con fondo gris, que se asocian con las clases ontológicas. Los nombres empleados para identificar los elementos, atributos y valores normalizados son declarados como instancias de alguna de las clases ontológicas, con base en los criterios que se explican en el siguiente párrafo.

Los términos esenciales del objeto de estudio se definen en la clase *término*, p. ej., Juicio, criterio, contenido, personalidad y concepto. En el caso del documento meta-taxonomía, los términos son referenciados como valores de atributo en los elementos *raíz* y *juicio*. A partir de las palabras definidas en la clase *términos* se definen términos asociados, los cuales son palabras compuestas por dos términos esenciales, p. ej., *juicio_criterio*, *contenido_criterio* y *personalidad_propiedad*.

Las palabras compuestas son reemplazadas por versiones o conceptos específicos. Por ejemplo el *juicio_criterio* se representa por una instancia de la clase *versión* denominada *atributos*; el *contenido_criterio* se ejemplifica por instancias de la clase *versión* tales como *conductista* y *objetivista*; la *personalidad_propiedad* se define en la clase conceptos como *persistente* u *objetivo*.

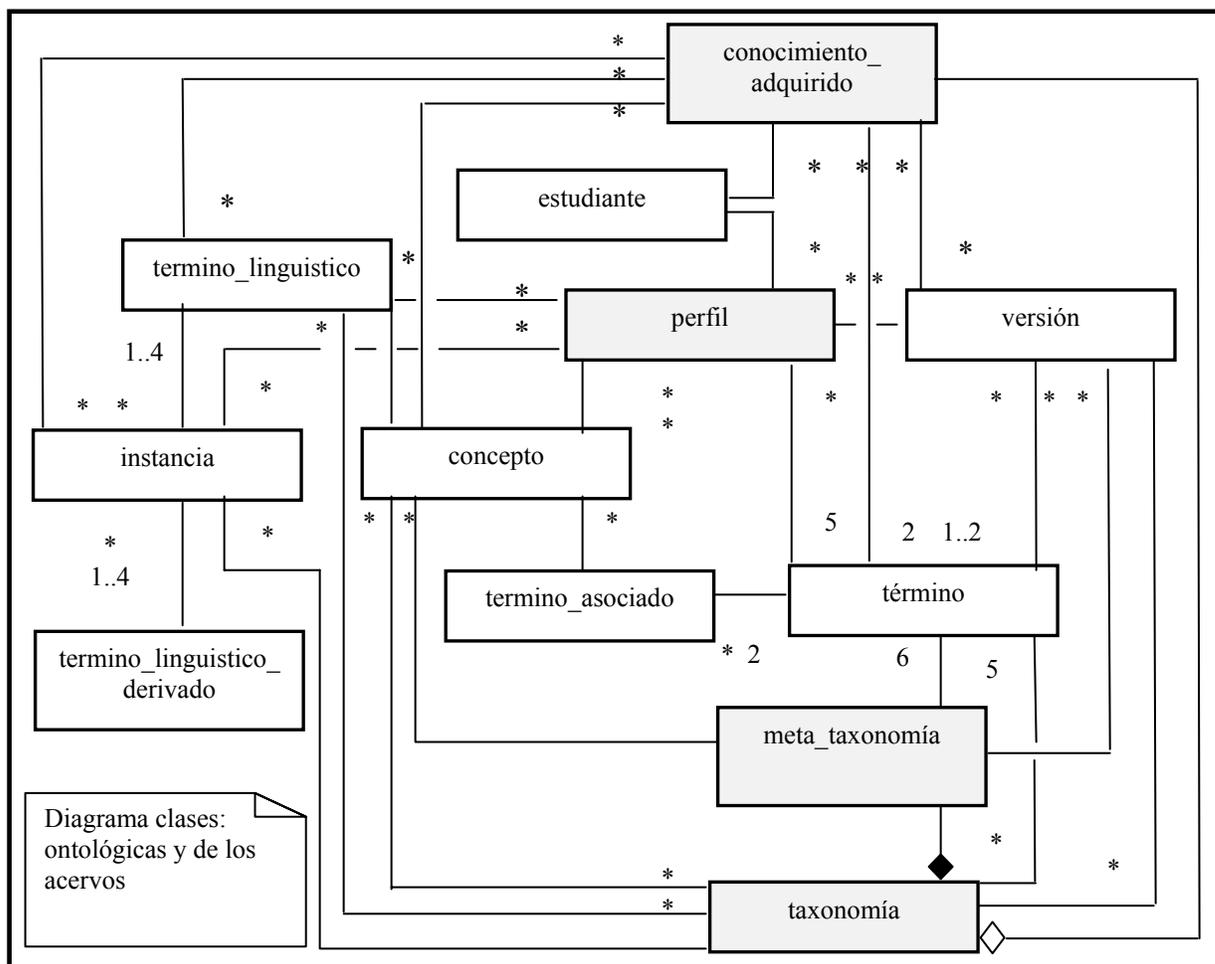


Figura A4.7 Diagrama de integración de acervos con clases ontológicas

Los términos asociados no son declarados en los acervos, sino más bien son enunciados los conceptos y versiones correspondientes que representan las palabras compuestas que corresponden al elemento y al atributo. Es decir, las instancias de la clase *versión* son referenciadas en los valores de los atributos de los elementos: *módulo*, *tema*, *concepto*, *juicio* y *criterio* de la clase *taxonomía*. De igual forma, las instancias de la clase *concepto* son citadas en los valores de los atributos del elemento *propiedad* de las cuatro clases de acervos. Así mismo, todas ellas hacen referencia a instancias de la clase *término_lingüístico* para expresar el valor que se asocia al término lingüístico de *nivel* y *variación* que forma parte de las propiedades.

En cuanto a la clase *instancia*, ésta representa el valor de las propiedades que se calcula para las propiedades de las clases *taxonomía*, *perfil* y *conocimiento_adquirido* durante la simulación de los mapas cognitivos. Por lo tanto, a lo largo de la simulación se genera instancias de la clase *término_lingüístico_derivado*. De igual forma, se crea instancias de las clases *perfil* y *conocimiento_adquirido* para cada estudiante que recibe el programa de estudios provisto por el SEBW.

A4.3 Metadefinición

Con base en marco formal establecido en la sección A4.1, la aplicación del método para el desarrollo de la ontología y las características del lenguaje OWL, se procede en esta sección a recrear el modelo ontológico por medio de tres elementos estructura, asociación e inferencia.

En lo que relación con la estructura, la ontología se compone por cuatro elementos: espacios de nombres, clases, propiedades de datos e instancias.

Los espacios de nombres son la propuesta de la comunidad de usuarios de XML para identificar unívocamente los nombres de elementos y atributos de un documento XML que son definidos en diversos esquemas (Eito, 2001). En el encabezado del archivo que contiene la ontología se establecen los identificadores universales de recursos correspondientes a los espacios de nombres que corresponden a los esquemas y vocabularios definidos por RDF (2007), DAML (2007) y OWL (2007).

Las clases representan los objetos ontológicos que caracterizan los términos del vocabulario a representar. Los términos revelan entidades, eventos y relaciones del dominio del objeto de estudio. Es decir, las clases ontológicas definen términos tales como: base de reglas difusas, concepto, conjunto difuso, estudiante, función de membresía, identificación, instancia, macro, meta instancia, relación, serie de términos lingüísticos, término, término asociado, término lingüístico, término lingüístico asociado, tipo de concepto, tipo de relación y versión. En la definición de las clases se establece su nombre, un comentario y el nombre de las clases de las cuales hereda propiedades.

Las propiedades de datos son objetos ontológicos que representan los atributos que caracterizan las clases. Las propiedades precisan ciertos rasgos físicos y conceptuales de las clases tales como: área, base exterior, base interior, centro de masa, ciclo, contexto, coordenada, declive exterior, declive interior, descripción, factor, grado de membresía, identificador, intensidad, longitud núcleo, longitud de soporte, nombre, núcleo, sentido, signo, soporte, universo de discurso, valor del centro de masa, valor normalizado y valor real. Al definir las propiedades se identifican su nombre, su cardinalidad, p. ej., sencilla o múltiple, un comentario, su rango, p. ej., texto, entero, real, y el nombre de las clases a las que describe.

Las instancias son los objetos que se derivan de las clases a efecto de representar una entidad, evento o relación específica que se distingue del resto de objetos homólogos que se generan de la misma clase. La diferencia entre instancias afines depende del valor asociado a las propiedades de datos que definen la clase. Por ejemplo, la clase *concepto* deriva instancias como las siguientes: abstracto, acción, acomodativa, adaptiva, apreciar, aprendizaje alcanzado, asimilativa, auditiva, auto suficiente, cambiar, combinar, complejo y conceptos. Para distinguir las instancias homólogas se asocia un valor diferente al atributo *rdf:ID* que aparece como en el elemento que identifica a la instancia, p. ej., `<concepto rdf:ID="area" ...>`.

En relación con el aspecto de la asociación, éste se orienta a establecer compromisos en la definición y conformación de las clases. Es decir, en el diseño de la ontología se precisan dos tipos de asociación *clase-propiedad* y *clase-superclase*.

La asociación clase-propiedad indica que una propiedad se asocia a una clase como parte de su definición. Es decir, en la descripción de la clase, y de las instancias que deriva, se toma en cuenta a cierta propiedad. Esta declaración aparece en la definición de la propiedad en la que se identifica el nombre de las clases a las que describe, tal como se muestra en el Código A4.1:

```
00 Código A4.1, declaración de clase
01 owl:FunctionalProperty rdf:ID="id_concepto_destino...>...
02 <owl:Class rdf:about= "#relacion" />...
03 </owl:FunctionalProperty>
```

La asociación clase-superclase permite la conformación de un modelo ontológico orientado a objetos con capacidad para heredar propiedades entre las clases. Es por ello que algunas clases se convierten en superclases de aquellas a quienes heredan sus propiedades. Esta relación jerárquica se expresa en la definición de las clases que heredan propiedades de una o varias superclases debido a que se permite la herencia múltiple. Para este propósito, en la definición de la clase se codifica el nombre de las superclases como se indica en el Código A4.2:

```
00 Código A4.2, declaración de superclases
01 <owl:Class rdf:ID= "termino_linguistico">...
02 <rdfs:subClassOf xmlns:rdfs="rdfs">
03 <owl:Class rdf:about = "#_conjunto_difuso" />
04 </rdfs:subClassOf>...</owl:Class>
```

El modelo ontológico facilita las inferencias basadas en la herencia de propiedades. Para ese fin, se establece una estructura jerárquica orientada a objetos en la que se definen superclases y clases en diversos niveles de profundidad. Así mismo, se permite que una clase herede propiedades de uno o más ancestros directos. De igual forma, una clase hereda propiedades de una o varias líneas ancestrales, es decir que si las superclases asociadas a la clase, tienen a su vez referencia a otras superclases, éstas últimas también heredan propiedades a la clase. Para que una clase herede las propiedades de otra, basta con que en su definición haga referencia al nombre de las superclases que corresponden al nivel inmediato superior.

A4.4 Contenido ontológico

La ontología se codifica mediante instrucciones del lenguaje OWL que son organizadas en un esquema que consta de cuatro tipos de instrucciones: referencias a espacios de nombres, definición de clases, declaración de propiedades y edición de instancias. Las declaraciones de espacios de nombres hacen referencia a los esquemas públicos mediante identificadores universales de recursos. La declaración de clases se hace por medio de elementos y atributos, cuyos prefijos corresponden a los nombres de espacio identificados. La definición de las propiedades se basa en la declaración de un conjunto de elementos y atributos. En la declaración de instancias se hace referencia a la definición de la clase de la cual se deriva. Dicha definición proviene de las superclases a las que está asociada y de las propiedades que se le asignaron directamente. Por ejemplo, en el Código A4.3 se muestra un extracto de la ontología en el que aparecen los cuatro tipos de instrucciones:

```

00 Código A4.3, extracto de la ontología
01 <!-- Referencias a espacios de nombres -->
02 <rdf:RDF xmlns:rss="//purl.org/rss/1.0/" xmlns="http://a.com/ontology#"
03 xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
04 xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
05 xmlns:daml="http://www.daml.org/2001/03/daml+oil#"
06 xml:base="http://a.com/ontology">
07 ::
08 <!-- Declaración de la clase: _conjunto_difuso -->
09 <owl:Class rdf:ID="_conjunto_difuso" xmlns:rdf="rdf" xmlns:owl="owl">
10   <rdfs:comment rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
11     xmlns:rdfs="rdfs">
12     Meta clase que define los parametros del Conjunto Difuso
13   </rdfs:comment>
14   <rdfs:subClassOf xmlns:rdfs="rdfs">
15     <owl:Class rdf:about="#_identificacion" />
16   </rdfs:subClassOf>
17 </owl:Class>
18 ::
19 <!-- Declaración de la propiedad: grado_membresia_variacion -->
20 <owl:DatatypeProperty rdf:ID="grado_membresia_variacion"
21   rdf:Cardinality="#multiple" xmlns:rdf="rdf" xmlns:owl="owl">
22   <rdfs:comment xmlns:rdfs="rdfs">
23     Valor del Grado de Membresia de Variación del concepto
24   </rdfs:comment>
25   <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
26     xmlns:rdfs="rdfs" />
27   <rdfs:domain xmlns:rdfs="rdfs">
28     <owl:Class>
29       <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
30         <owl:Class rdf:about="#instancia" />
31       </owl:unionOf>
32     </owl:Class>
33   </rdfs:domain>
34   <rdf:type rdf:resource="//www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
35 </owl:DatatypeProperty>
36 ::
37 <!-- Declaración de la instancia; organizar; de la clase: concepto -->
38 <concepto rdf:ID="organizar" xmlns:rdf="rdf" xmlns="">
39   <descripcion rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
40     rdf:level="1" rdf:class="#_identificacion">
41     Eficacia para estructurar las partes del concepto
42   </descripcion>
43   <id_serie_terminos_linguisticos rdf:level="0"rdf:class="propia">
44     trapecio_n_06_01
45   </id_serie_terminos_linguisticos>
46   <id_termino_asociado rdf:level="0" rdf:class="propia">
47     evaluacion_propiedad
48   </id_termino_asociado>
49   <id_tipo_concepto rdf:level="0" rdf:class="propia" >nivel
50   </id_tipo_concepto>
51   <universo_discurso rdf:level="0" rdf:class="propia">[-100, 100]
52   </universo_discurso>
53   <valor_dinamico rdf:level="0" rdf:class="propia"> no
54   </valor_dinamico>
55 </concepto>

```

A4.5 Repositorios del perfil del individuo y de la experiencia

Los repositorios que describen la taxonomía de la experiencia, el perfil del estudiante y su conocimiento adquirido se editan por medio del lenguaje XML con el respaldo de su respectivo esquema XSD (Wyke, et al., 2002). La estructura y contenido de estos repositorios se muestran en las siguientes secciones, en donde aparece un extracto del código empleado para la definición de los metadatos y del acervo mismo.

A4.5.1 Meta-taxonomía de la experiencia

La definición de los metadatos para describir la experiencia se compone de un par de archivos: El esquema XSD y el documento XML. A manera de ejemplo, en los códigos A4.4 y A4.5 se presentan una parte del esquema y un extracto del documento:

```

00 Código A4.4, extracto del esquema de la meta-taxonomia
01 <xs:complexType name="ct_meta_taxonomia">
02   <xs:sequence>
03     <xs:element name="juicio" type="ct_juicio" minOccurs="1" />
04   </xs:sequence>
05   <xs:attribute name="id_termino" type="st_id_termino" />
06   <xs:attribute name="id_estudiante" type="st_id_estudiante" />
07   <xs:attribute name="id_version" type="st_id_version" />
08   <xs:attribute name="id_mapa_cognitivo" type="st_id_mapa_cognitivo" />
09   <xs:attribute name="ciclo" type="st_ciclo" />
10 </xs:complexType>

```

```

00 Código A4.5, extracto del documento de la meta-taxonomia
01 <meta_taxonomia xmlns="http://tempuri.org/meta_taxonomia.xsd"
02 id_termino="meta_taxonomia" id_estudiante="U" id_version="U"
03 id_mapa_cognitivo="U" ciclo="U">
04   <juicio id_version="juicio">
05     <perfil id_termino="atributos">
06       <criterio id_version="atributos">
07         <instancia id_concepto="abstracto">
08           <valor_real_nivel>abstracto.valor_real
09           </valor_real_nivel>
10           <valor_normalizado_nivel>0.1
11           </valor_normalizado_nivel>
12           <id_termino_nivel>
13             abstracto.valor</id_termino_nivel>
14           <grado_membresia_nivel>1.0
15           </grado_membresia_nivel>
16         </instancia>

```

A4.5.2 Taxonomía de la experiencia y del conocimiento adquirido

La descripción de las experiencias se basa en la definición hecha en la meta-taxonomía. Es por ello que el esquema y el documento de las experiencias y el conocimiento adquirido son idénticos, tal como se muestra en los códigos A4.6 y A4.7:

```

00 Código A4.6, extracto del esquema de la taxonomía
01 <xs:complexType name="ct_taxonomia">
02   <xs:sequence>
03     <xs:element name="modulo" type="ct_modulo" minOccurs="1" />
04   </xs:sequence>
05   <xs:attribute name="id_termino" type="st_id_termino" />
06   <xs:attribute name="id_estudiante" type="st_id_estudiante" />
07   <xs:attribute name="id_version" type="st_id_version" />
08   <xs:attribute name="id_mapa_cognitivo" type="st_id_mapa_cognitivo" />
09   <xs:attribute name="ciclo" type="st_ciclo" />
10 </xs:complexType>
11 <xs:element name="taxonomia" type="ct_taxonomia" />

00 Código A4.7, extracto del documento de la taxonomía
01 <taxonomia xmlns="//tempuri.org/taxonomia.xsd" ciclo="U" id_termino=
02 "taxonomia" id_estudiante="U" id_version="I" id_mapa_cognitivo="U" >
03   <modulo id_version="discipulado">
04     <tema id_version="introduccion">
05       <concepto id_version="raiz">
06         <juicio id_version="sufijo">
07           <perfil id_termino="atributos">
08             <criterio id_version="descripcion">
09               <instancia id_concepto="abstracto">
10                 <valor_real_nivel>abstracto</valor_real_nivel>
11                 <valor_normalizado_nivel>1.0
12                 </valor_normalizado_nivel>
13                 <valor_normalizado_variacion>1
14                 </valor_normalizado_variacion>
15                 <id_termino_linguistico_nivel>alto
16                 </id_termino_linguistico_nivel>

```

A4.5.3 Perfil del individuo

El perfil del individuo se almacena en un documento XML específico para cada estudiante. Dicho documento está normalizado por un esquema XSD, tal como se muestra en los códigos A4.8 y A4.9:

```

00 Código A4.8, extracto del esquema del perfil
01 <xs:element name="perfil" type="ct_perfil" />
02 <xs:complexType name="ct_perfil">
03   <xs:sequence>
04     <xs:element name="capacidad_cognitiva"
05       type="ct_capacidad_cognitiva"/>
06     <xs:element name="personalidad" type="personalidad" />
07     <xs:element name="preferencia" type="ct_aprendizaje" />
08   </xs:sequence>
09   <xs:attribute name="id_termino" type="st_id_termino" />
10   <xs:attribute name="id_estudiante" type="st_id_estudiante" />
11   <xs:attribute name="id_version" type="st_id_version" />
12   <xs:attribute name="id_mapa_cognitivo" type="st_id_mapa_cognitivo" />
13   <xs:attribute name="ciclo" type="st_ciclo" />
14 </xs:complexType>

```

UN MODELO DEL ESTUDIANTE BASADO EN MAPAS COGNITIVOS

```
00 Código A4.9, extracto del documento del perfil
01 <perfil xmlns="http://tempuri.org/perfil.xsd" id_termino="perfil"
02 id_estudiante="I" id_version="U" id_mapa_cognitivo="U" ciclo="I">
03   <capacidad_cognitiva id_termino="capacidad_cognitiva">
04     <criterio id_version="atributos">
05       <instancia id_concepto="auditivo">
06         <valor_real_nivel>auditivo</valor_real_nivel>
07         <valor_real_variacion>auditivo
08         </valor_real_variacion>
09         <valor_normalizado_nivel>0.0
10         </valor_normalizado_nivel>
11         <valor_normalizado_variacion>0.6
12         </valor_normalizado_variacion>
13         <id_termino_linguistico_nivel>medio
14         </id_termino_linguistico_nivel>
15         <termino_linguistico_variacion>aumenta
16         </termino_linguistico_variacion>
17         <grado_membresia_nivel>1.0
18         </grado_membresia_nivel>
19         <grado_membresia_variacion>1.0
20         </grado_membresia_variacion>
21       </instancia>
```

Apéndice 5

Experimento

*Por sus frutos los conoceréis,
¿Acaso se recogen uvas de los espinos, o higos de los abrojos?
(Mateo 7.16)*

En este apéndice se ofrece una crónica del experimento realizado para validar la hipótesis y una secuencia de las secciones que complementan los temas abordados en el Capítulo 5. Por ello, se presenta a continuación un reporte cronológico del desarrollo de las etapas, un ejemplo de los medios de promoción del experimento, el registro de la población participante como voluntario, un perfil del tipo de los instrumentos de medición aplicados, un ejemplo de las estadísticas de los grupos de comparación, una instancia del contenido provisto en las experiencias, un extracto de la posprueba sobre los conocimientos finales adquiridos por los sujetos y un resumen de los comentarios vertidos por los voluntarios.

A5.1 Crónica del experimento

La realización del experimento se llevó a cabo durante el período comprendido entre los meses de mayo a diciembre de 2008. A lo largo de ocho meses, se realizaron las actividades correspondientes a las seis etapas del proceso de verificación, descrito en la Sección 5.2.3. Como muestra de ello, se presenta en la Tabla A5.1 una relación cronológica de las principales actividades realizadas, los resultados obtenidos y el período invertido.

De acuerdo con la cronología exhibida en la Tabla A5.1, se aprecia que el período desarrollo invertido para de las primeras tres etapas del experimento requirió de cinco meses de trabajo. La razón obedece a que independientemente del esfuerzo personal para la preparación de la verificación, se realizaron diversas acciones, se emplearon distintos medios y se ocupó bastante tiempo para lograr conjuntar el universo de voluntarios, y a partir de él: la muestra.

Tabla A5.1 Cronología de las actividades realizadas durante la verificación

#	Actividad	Producto	Lapso
1	Etapa: Promoción del experimento		
1.1	Promoción directa en escuelas del IPN, ITESM	Invitación a participar en el experimento con autoridades, profesores y estudiantes.	mayo-agosto
1.2	Promoción indirecta a través de anuncios que se colocaron en escuelas del IPN, CONACYT	Anuncios colocados en sitios estratégicos para llamar la atención de voluntarios potenciales.	junio-agosto
1.3	Promoción a través de correo electrónico directo e institucional del IPN, INEGI, CONACYT, Asociación de Estadística	Envío de mensajes electrónicos a voluntarios potenciales. Publicación en sitio Web de la convocatoria	junio-septiembre
2	Etapa: Inscripción en el experimento		
2.1	Desarrollo del módulo de registro	Módulo para el registro de voluntarios	mayo
2.2	Asistencia al voluntario potencial Registro de solicitud de participación	Atención al interesado Base de datos del expediente de sujetos	junio-septiembre
3	Etapa: Aplicación de una preprueba		
3.1	Desarrollo de los módulos para la aplicación, evaluación e interpretación de los cuatro exámenes	Módulo para medir preferencias de aprendizaje, personalidad, capacidades cognitivas y conocimientos preliminares	junio-agosto
3.2	Aplicación autoadministrada de los cuatro exámenes a cargo del voluntario	Base de datos con las respuestas de los cuatro exámenes	julio-septiembre
4	Etapa: Selección de muestra y asignación de grupos de comparación		
4.1	Evaluación e interpretación mecanizada y manual de los cuatro exámenes	Base de datos con la evaluación e interpretación de los cuatro instrumentos	septiembre-octubre
4.2	Selección de voluntarios para integrar la muestra	Muestra de voluntarios	octubre
4.3	Asignación de sujetos a los grupos de control y experimental	Relación de los grupos de comparación	octubre
5	Etapa: Provisión de las experiencias		
5.1	Actualización del perfil personal y académico del sujeto	Base de datos para los grupos de comparación	octubre
5.2	Registro del proyecto de investigación	Perfil del proyecto que el sujeto realizará	octubre
5.3	Desarrollo del prototipo de SEBW	Prototipo de SEBW	octubre-noviembre
5.4	Desarrollo del contenido	Contenido del curso	noviembre
5.5	Provisión de las experiencias	Aprendizaje del voluntario	noviembre
6	Etapa: Posprueba		
6.1	Evaluación del aprendizaje alcanzado	Estimaciones del aprendizaje del sujeto	noviembre
6.2	Proceso estadístico de los datos empíricos	Análisis estadístico	diciembre

A5.2 Medios de promoción de la verificación

Con el objeto de reclutar voluntarios para integrar la población del experimento, se aplicaron tres estrategias de promoción: directa, indirecta y por medio de la Internet. A manera de ejemplo, en la Figura A5.1 se muestra el anuncio publicado en puntos estratégicos de escuelas y enviado por correo electrónico institucional a comunidades potenciales de participantes al experimento.



Proyecto experimental de Educación Centrada en el Estudiante

En consonancia con la concepción de **modelos educativos** se busca explorar el desarrollo de nuevas modalidades de enseñanza como la “educación centrada en el estudiante”. Mediante este paradigma se pretende **adaptar** la enseñanza-aprendizaje al individuo de manera **inteligente**.

Para lograr tal propósito, se desarrolla un proyecto experimental, emanado de una **tesis doctoral**, en el que se recrea un acervo de conocimientos psicológicos del estudiante y se explora la modalidad de la educación adaptativa a distancia a través de la Internet.

Para tal fin, se invita a **estudiantes, pasantes, candidatos, profesores e investigadores** a participación en el proyecto experimental para la modelación mental de la persona y la provisión de un curso de “**metodología científica de la investigación**” basado en Web, a través del cual podrás definir protocolos de tesis e investigación.

A los voluntarios que participen en el proyecto, al final del mismo se les entregará:

- 1] Constancia de participación en el curso de metodología de la investigación
- 2] Diagnóstico del perfil: Preferencias de aprendizaje, personalidad y capacidades cognitivas.

Para registrarse en el proyecto o adquirir mayor información

Visitar: www.wolnm.org/curso o enviar un mensaje a: wolnm@wolnm.org



Figura A5.1 Ejemplo del anuncio empleado para convocar a participar en el experimento

A5.3 Registro de la población

La exposición de los objetivos del experimento, los términos de participación como voluntario y el formato electrónico para registrar los datos personales y académicos se realizó a través del portal del experimento. Como resultado de la inscripción de solicitantes, se creó una base de datos con las características que se exhiben y ejemplifican en la Tabla A5.2. Al final del período para el registro de voluntarios se integraron 200 solicitudes provenientes de 26 estados de la república y de cuatro entados ubicadas en el extranjero (Nicaragua, Perú, Francia) que aparecen con el término *otras*, cuya distribución de frecuencias se muestra en la Tabla A5.3.

En la distribución de frecuencias se aprecia que el *rango* es de 57 voluntarios, cuyo *límite mínimo* es un sujeto y límite máximo es 58 participantes. La *moda* corresponde al Distrito Federal con 58 voluntarios, seguido del estado de México, Aguascalientes, San Luís Potosí y Veracruz con 37, 28, 13 y 10 sujetos respectivamente. La *mediana* está representada por Baja California Sur que divide a la distribución en dos partes con 13 casos por encima y por debajo. En tanto que la *media* es de 7.41 voluntarios promedio para las 27 entidades reportadas. La *desviación estándar* es 4.74 y su *varianza* corresponde a: 22.49.

Tabla A5.2 Registro de los datos personales y académicos de los voluntarios

#	Columna	Valor	#	Columna	Valor
1	folio_estudiante	134	23	mae_programa	Administración (a)
2	id_estudiante	fgurt24522	24	mae_programa_otro	
3	clave_estudiante	2304rgdchj	25	mae_estatus	Graduado
4	activo	5.1 1	26	mae_periodo	9.8
5	rol	verde	27	mae_promedio	
6	grupo	1	28	calle_numero	Pasaje a-1 # 205
7	nombre	Emilio Armando	29	colonia	Industrial aviacion
8	apellidos	Flores Hurtado	30	cp	58624
9	edad	63	31	delegacion_municipio	Naucalpan
10	sexo	hombre	32	estado	México (17)
11	estado_civil	casado	33	pais	México (19)
12	ocupación	profesor	34	pais_otro	
13	nivel estudios	maestría	35	telefono	56891247
14	lic escuela	utslp	36	celular	5556982314
15	lic escuela otra		37	www	
16	lic programa	Informática (ci)	38	comentario	Intersante
17	lic programa otro		39	propuesta	Hacer un foro
18	lic estatus	titulado	40	pregunta	Cuándo empieza
19	lic periodo		41	mensaje	Difundirlo más
20	lic promedio	9.5	42	fecha hoy	20070924
21	mae escuela	uanl	43	tiempo	18:33:41
22	mae escuela otra				

Tabla A5.3 Frecuencias del estado de residencia de los sujetos de la población

#	Estado	Sujetos	#	Estado	Sujetos	#	Estado	Sujetos
1	Distrito Federal	58	10	Jalisco	4	19	Baja California	1
2	México	37	11	Chiapas	3	20	Campeche	1
3	Aguascalientes	28	12	Quintana Roo	3	21	Coahuila	1
4	San Luís Potosí	13	13	otro	3	22	Guerrero	1
5	Veracruz	10	14	Baja California Sur	2	23	Hidalgo	1
6	Guanajuato	6	15	Nuevo León	2	24	Morelos	1
7	Tamaulipas	6	16	Oaxaca	2	25	Nayarit	1
8	Durango	5	17	Sonora	2	26	Sinaloa	1
9	Puebla	5	18	Yucatán	2	27	Tlaxcala	1

A5.4 Instrumentos aplicados

En esta sección se presentan los principales atributos de los cuatro instrumentos de medición aplicados en la tercera etapa dedicada a la preprueba. Por ello, se realiza una descripción general del recurso, se explica a grandes rasgos el procedimiento de aplicación, evaluación e interpretación. A partir de los resultados de la medición, acordes con su modelo, se identifican los términos lingüísticos que se asocian al nivel del estado de los conceptos empleados en el modelo del estudiante. También se ilustra un ejemplo de los reactivos que se aplicaron y se presenta una estadística del número de mediciones hechas a los voluntarios de la población.

A5.4.1 Instrumento para medir las preferencias de aprendizaje

Con base en el modelo de Gardner sobre las “Inteligencias Múltiples”, mostrado en la Tabla 5.7, se empleó un recurso compuesto por 80 reactivos cuya respuesta está limitada a dos opciones: 0 y 1, de la manera ilustrada en la Figura A5.2. El sujeto elige 0 si la forma de aprendizaje expresada en la pregunta le resulta poco atractiva; pero escoge 1 en caso contrario. El voluntario dispone de 15 minutos para responder a todas las preguntas, sino se anula el examen. Con base en una relación entre el número del reactivo y el tipo de inteligencia, se contabiliza la cantidad de respuestas con valor igual a 1 que corresponden a los ocho tipos de inteligencia. Por ello, el puntaje oscila entre el rango [0, 10]. Una vez que se calcula el total para cada tipo de inteligencia, se obtiene el término lingüístico que le corresponde con base en la Tabla 5.10.

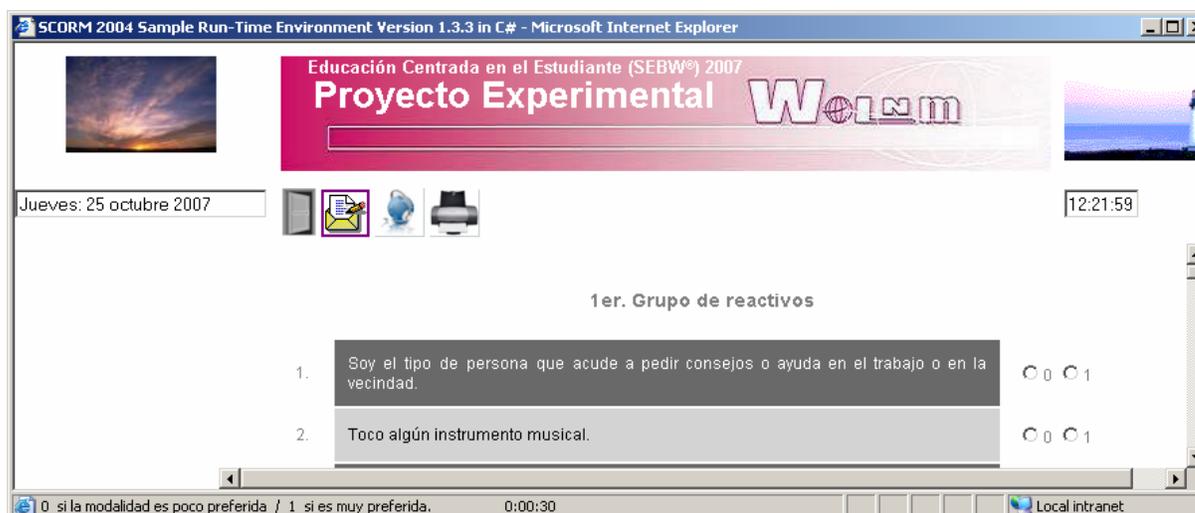


Figura A5.2 Extracto del instrumento para medir las preferencias de aprendizaje

A5.4.2 Instrumento para medir la personalidad

De acuerdo con el modelo de MMPI-2, se estiman más de 35 escalas de la personalidad del ser humano. Como instrumento, se aplica un cuestionario compuesto por 567 reactivos, como los mostrados en la Figura A5.3, que se contestan como *falso* o *verdadero* conforme al punto de vista del sujeto. Para responder al instrumento, el voluntario dispone de un máximo de 75 minutos, de lo contrario se cancela su aplicación. Una vez que se contesta el instrumento completo, se evalúan las respuestas conforme al siguiente orden:

1) Acumulación del número de respuestas ciertas y falsas que coinciden con un patrón de respuestas asociado a cada escala: como resultado se obtiene un *valor crudo*; 2) asignación de un *valor T* al valor crudo de cada escala conforme a una tabla de equivalencias asociada al género del sujeto. Con el valor T, se logra un puntaje normalizado entre las escalas, el cual generalmente oscila entre el rango de [30, 90]; 3) identificación del nivel de la escala que se observa para el sujeto de acuerdo con el valor T.

Es pertinente señalar que cada escala tiene una tabla que define distintos niveles de intensidad en el voluntario de acuerdo con un conjunto de rangos, p. ej., [30, 40] muy bajo, [41-50], bajo,... Una vez que se identifica el nivel, se asocia un término lingüístico y un conjunto de hipótesis que tratan de explicar cómo se manifiesta dicha escala en tal intensidad; 4) integración de las escalas afines a conceptos que aglutinan el atributo esencial de acuerdo con la Tabla 5.8, en la que se obtiene un valor ponderado entre el número de escalas que se integran para cada concepto; 5) asignación del término lingüístico que corresponde al valor ponderado de cada concepto de acuerdo con la Tabla 5. 10.

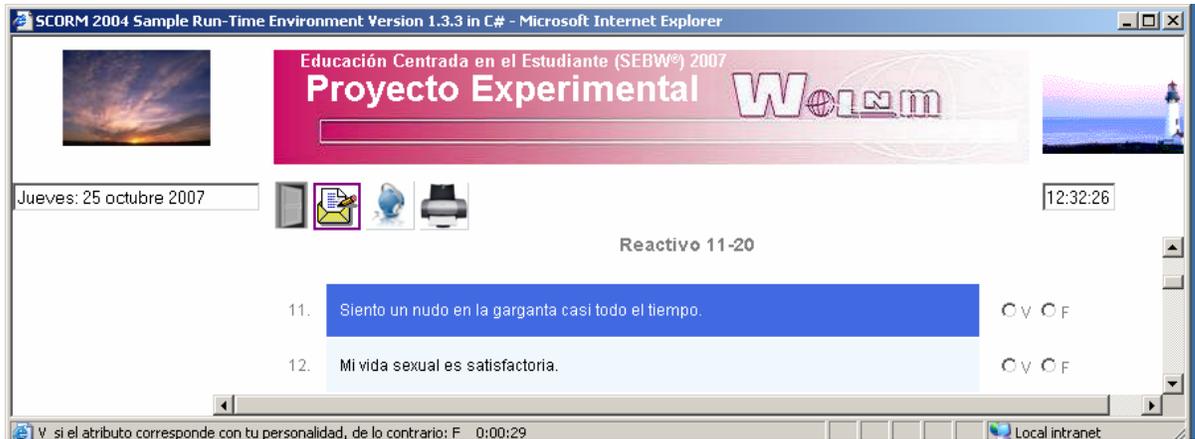


Figura A5.3 Extracto del instrumento para medir la personalidad

A5.4.3 Instrumento para medir capacidades cognitivas

Mediante el modelo WAIS se estiman diversas capacidades verbales y de ejecución del sujeto, además de su coeficiente intelectual. Para ello se emplea un cuestionario compuesto por once tipos de reactivos, como los mostrados en la Figura A5.3, en donde se formulan preguntas, se plantean ejercicios aritméticos, se activan grabaciones para memorizar secuencias de números, se despliegan símbolos para sustituir por letras, se presentan figuras para componer historias, armar objetos o detectar detalles que están ausentes. Todos los reactivos están acotados por el tiempo y hay algunos que premian las respuestas rápidas y correctas del voluntario.

Cada tipo de reactivo tiene su propio patrón de evaluación con base en el valor total de respuestas correctas, denominado *puntuación natural*; se obtiene una *puntuación normalizada* al buscar el valor equivalente en la matriz que corresponda con la edad del voluntario. Después se suman los puntos normalizados de las habilidades verbales y las de ejecución. Con base en sus totales y en el rango de edad en que se inscriba la edad del sujeto se busca el coeficiente intelectual que le corresponde al voluntario para el puntaje total de las habilidades verbales, de ejecución y del total de las dos clases de habilidades. Finalmente, con base en los puntos normalizados y en los coeficientes de inteligencia, se busca el correspondiente término lingüístico para cada concepto de acuerdo con las asociaciones expresadas en la Tabla 5.10.

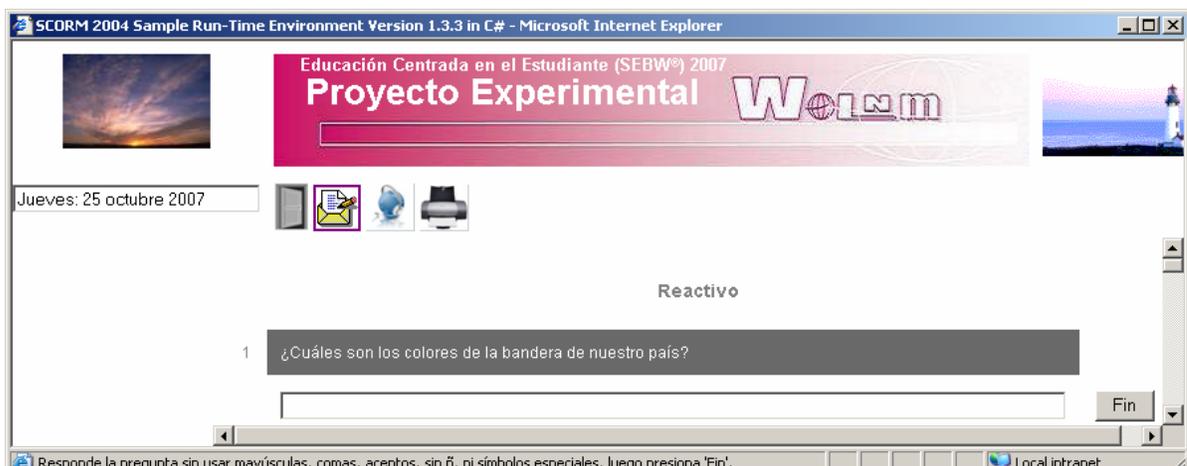


Figura A5.4 Extracto del instrumento para medir capacidades cognitivas

A5.4.4 Instrumento para medir conocimientos sobre el dominio de enseñanza

La medición de los conocimientos relacionados con el dominio de enseñanza provista por el SEBW son evaluados a través de un instrumento que se aplica en las etapas de preprueba y posprueba. El recurso es un cuestionario compuesto de 60 preguntas abiertas como la ilustrada en la Figura A5.5. Para responder a cada reactivo el voluntario dispone de 60 segundos. Con base en la *muestra clave de conceptos*, presentada en la Tabla 5.5, se aplican diez series de reactivos. Cada serie consta de seis preguntas relacionadas con el mismo concepto. Cada pregunta de una serie busca medir un nivel específico de conocimiento del sujeto de acuerdo con la taxonomía de Bloom. Por tanto, la primera pregunta de la serie se formula para evidenciar alguna de las competencias del voluntario que son propias del nivel *conocimiento* como las mostradas en la primera columna de la Tabla 5.3. En cambio, la segunda pregunta de la serie, mide si el sujeto ostenta el nivel de *aplicación*, por lo que busca medir alguna de las competencias que se encuentran en la segunda columna de la Tabla 5.3. De igual forma sucede con las preguntas restantes, pues conforme al orden de cada una de ellas, se establece la correspondencia con un nivel superior de la taxonomía de Bloom.

Una vez que el voluntario responde al instrumento, se evalúan manualmente los 60 reactivos, y para cada serie se acredita el nivel de la taxonomía de Bloom que corresponde al número consecutivo de respuestas correctas de la serie a partir de la primera. Es decir, si para la serie uno que representa al concepto *ciencia*, el sujeto contestó correctamente las preguntas 1, 2, 4; se le adjudica el nivel 2, *aplicación*.

Una vez determinado el nivel de la taxonomía de Bloom para los diez conceptos de la serie clave se asigna el nivel inicial para el estado de cada concepto que integra la serie clave. Por ello, con base en el universo de discurso exhibido en la Tabla 5.4, se procede asignar el término lingüístico que mejor representa el nivel de dominio que el sujeto exhibe para el nivel asignado. Esto significa que en el caso del ejemplo anterior, se le pudo otorgar al voluntario el nivel *alto* para el nivel de la taxonomía de Bloom *aplicación* del concepto *ciencia*.

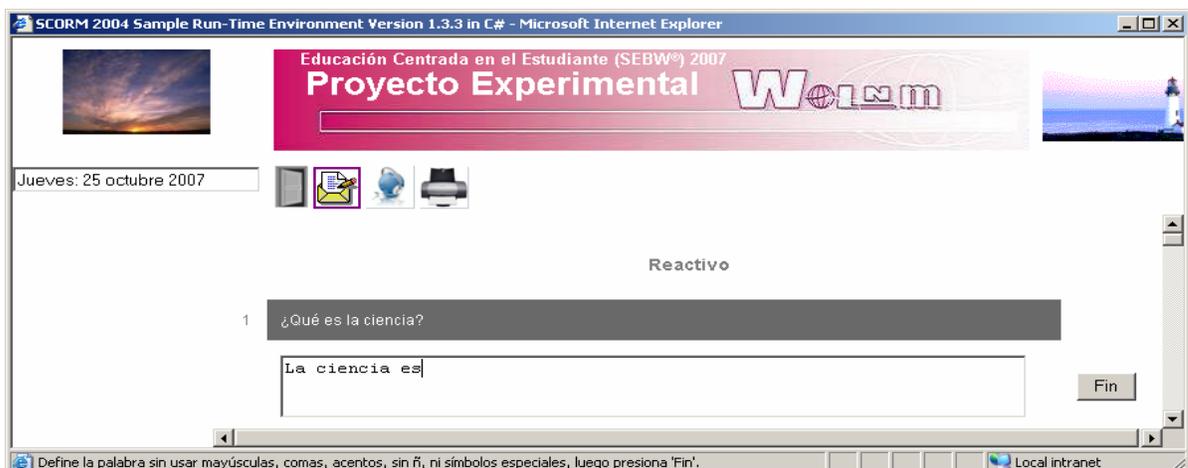


Figura A5.5 Extracto del instrumento para medir conocimientos sobre el dominio de enseñanza

A5.4.5 Aplicación de las medidas de preprueba

Durante la aplicación de las primeras tres etapas del experimento desertaron el 75% de los voluntarios que conformaron la población. Dicho comportamiento se grafica en términos de porcentajes en la Figura A5.4 con el objeto de ilustrar los comentarios vertidos en la Sección 5.3.3.2 acerca de la deserción paulatina que se apreció durante estas etapas.

Tabla A5.4 Frecuencias de actividades y exámenes realizados por los sujetos de la población

#	Acción o aplicación de examen	#	%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	Registro de solicitud	200	100	[Bar chart showing 100% completion]									
2	Preferencias de aprendizaje	113	56	[Bar chart showing 56% completion]									
3	Personalidad	102	51	[Bar chart showing 51% completion]									
4	Cognición	71	36	[Bar chart showing 36% completion]									
5	Preliminar de conocimientos	62	31	[Bar chart showing 31% completion]									
6	Confirma su participación	50	25	[Bar chart showing 25% completion]									

A5.5 Selección de la muestra y organización de grupos de comparación

En la selección de la muestra de voluntarios el principal criterio fue que el sujeto resultara vencedor en la estrategia de *selección natural*. Con base en esta evidencia, se invitó a los 62 voluntarios que cumplieron las actividades y mediciones de las tres etapas iniciales de la verificación. En consecuencia, se solicitó al voluntario confirmar su interés de continuar en el experimento, y en caso afirmativo actualizar su registro. Como resultado de la petición, 50 sujetos confirmaron su decisión de seguir adelante. A la postre, la muestra se conformó por 20 mujeres y 30 varones. En relación con las categorías rango de edad, máximo grado de estudios, ocupación-nivel de estudios, áreas de ciencias, disciplinas de ingeniería, disciplinas sociales y administrativas, disciplinas médico biológicas, y el estado de residencia de los sujetos de la muestra, se presentan en las Tablas A5.5 a A5.12 sus respectivas frecuencias.

Tabla A5.5 Distribución de frecuencias por rango de edad de los sujetos de la muestra

18-19	20-24	25-34	35-44	45-54	55-64
1	10	18	12	8	1

Tabla A5.6 Distribución de frecuencias del máximo grado de estudios de los sujetos de la muestra

#	Estado	Estudiante	Pasante-candidato	Titulado-graduado	Total
1	Licenciatura	5	8	7	20
2	Maestría	13	5	8	26
3	Doctorado	3	0	1	4
4	Total	21	13	16	50

Tabla A5.7 Frecuencias de la ocupación-nivel de estudios de los sujetos de la muestra

#	Estado	Profesor	Profesionista	Estudiante-pasante	Total
1	Licenciatura	1	7	19	27
2	Maestría	7	1	11	19
3	Doctorado	1	0	3	4
4	Total	9	8	33	50

Tabla A5.8 Distribución de frecuencias por áreas de ciencias de los sujetos de la población

#	Acción o aplicación de examen	#	%	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
1	Ciencias exactas e ingeniería	30	60										
2	Ciencias sociales y administrativas	17	34										
3	Ciencias médico-biológicas	3	6										

Tabla A5.9 Frecuencias por disciplinas de ciencias exactas e ingeniería de la muestra

#	Disciplina	Licenciatura	Maestría	Doctorado	Total
1	Informática	3	4		7
2	Ingeniería industrial	3	3		6
3	Ciencias de la computación		1	2	3
4	Ingeniería en comunicaciones electrónica	2	1		3
5	Ingeniería en sistemas computacionales	2			2
6	Ciencias de la tierra		2		2
7	Biotecnología			2	2
8	Ingeniería en computación		1		1
9	Ingeniería en informática	1			1
10	Ingeniería eléctrica		1		1
11	Ingeniería mecánica		1		1
12	Estadística		1		1
	Total	11	15	4	30

Tabla A5.10 Frecuencias por disciplinas de ciencias sociales y administrativas de la muestra

#	Disciplina	Licenciatura	Maestría	Doctorado	Total
1	Administración de empresas	4	3		7
2	Administración industrial	2	1		3
3	Administración		2		2
4	Comercialización	2			2
5	Dirección estratégica		1		1
6	Economía	1			1
7	Tecnología educativa		1		1
	Total	9	8		17

Tabla A5.11 Frecuencias por disciplinas de ciencias médico-biológicas de la muestra

#	Disciplina	Licenciatura	Maestría	Doctorado	Total
1	Ciencias marinas		1		1
2	Recursos naturales y desarrollo rural		1		1
3	Producción animal		1		1
	Total		3		3

Tabla A5.12 Distribución de frecuencias del estado de residencia de los sujetos de la muestra

#	Estado	Sujetos	#	Estado	Sujetos	#	Estado	Sujetos
1	Distrito Federal	15	6	Guanajuato	2	10	Oaxaca	1
2	México	15	7	Quintana Roo	2	11	Puebla	1
3	Aguascalientes	6	8	San Luis Potosí	2	12	Tamaulipas	1
4	Veracruz	3	9	Coahuila	1	13	Yucatán	1
5	Durango	2						

Por lo que respecta a la organización de los grupos de comparación, se aplicó como primer criterio el máximo nivel académico que ostentan los voluntarios. En consecuencia, los grupos experimental y de control quedaron distribuidos en la forma presentada en las Tablas A5.13 y A5.14 respectivamente.

Tabla A5.13 Frecuencias del máximo grado de estudios de los sujetos del grupo experimental

#	Estado	Estudiante	Pasante-candidato	Titulado-graduado	Total
1	Licenciatura	3	4	4	11
2	Maestría	6	2	4	12
3	Doctorado	2	0	0	2
4	Total	11	6	8	25

Tabla A5.14 Frecuencias del máximo grado de estudios de los sujetos del grupo de control

#	Estado	Estudiante	Pasante-candidato	Titulado-graduado	Total
1	Licenciatura	2	4	3	9
2	Maestría	7	3	4	14
3	Doctorado	1	0	1	2
4	Total	10	7	8	25

A5.6 Provisión de las experiencias

A efecto de estimular la participación del voluntario y para agregar valor a las experiencias, como primera actividad preparatoria del ciclo de experiencias se invita al sujeto a registrar su proyecto de investigación o de tesis. Como resultado de esta medida, el voluntario cobra una motivación adicional, pues además de adquirir conocimiento sobre investigación científica y obtener experiencia de la verificación, encausa su esfuerzo para definir su proyecto o bien para enriquecerlo. En consecuencia, los sujetos registraron los tipos de proyectos que muestran en la Tabla A5.15.

Tabla A5.15 Frecuencias del tipo de proyecto a cargo de los sujetos de la muestra

Pendiente	Tesis maestría	Investigación personal	Tesis licenciatura	Tesis doctoral	Investigación pública	Investigación académica	Total
13	13	11	6	4	1	1	50

A5.7 Posprueba

Esta etapa se realiza como parte del ciclo de provisión de experiencias, puesto que una vez que el voluntario recibe el conjunto de experiencias necesarias para fijar un concepto, se le somete a la evaluación del aprendizaje alcanzado. Por tanto, el instrumento es el mismo que se presentó en la Sección A5.4.4, por lo que en esta sección se presentan algunos indicadores estadísticos relevantes como son los siguientes.

A5.8 Opinión de los voluntarios

Una vez concluido el experimento se solicitó a los sujetos emitir sus opiniones con respecto a la experiencia adquirida. Por ello, los voluntarios registraron sus puntos de vista ante reactivos de opción múltiple y preguntas de respuesta abierta. Como resultado del análisis estadístico de las medidas recabadas, se obtuvieron los siguientes indicadores.

Anexo 1

Simbología

*No te harás imagen, ni ninguna semejanza de lo que esté arriba o en el cielo,...
...Porque Yo soy Jehová tu Dios...
(Éxodo 20.3-4)*

Tabla n1.1 Simbología del mapa cognitivo

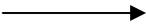
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Nodo del mapa cognitivo		Relación causa

Tabla n1.2 Simbología de los conjuntos difusos

Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Conjunto difuso		Conjunto difuso

Tabla n1.3 Simbología de los casos de uso

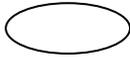
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Actor humano		Caso de uso
	Actor de cómputo		Participación
			Comentario

Tabla n1.4 Simbología del diagrama de actividades

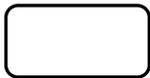
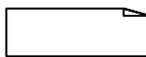
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Actividad		Fin
	Inicio		Flujo
			Comentario

Tabla n1.5 Simbología del diagrama de colaboración

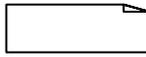
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Clase		Secuencia de envío de mensaje
			Comentario

Tabla n1.6 Simbología del modelo de objetos ideal

Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Actor		Clase de control
	Caso de uso		Clase de entidad
	Clase de interfaz		Comentario

Tabla n1.7 Simbología del modelo arquitectura de diseño

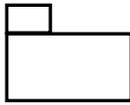
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Subsistema		Envío de mensaje
			Capa

Tabla n1.8 Simbología del diagrama de secuencia

Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Estado activo de la clase		Creación del objeto
	Envío de mensaje		Activación del objeto
	Destrucción del objeto		Comentario

Tabla n1.9 Simbología del diagrama de clases

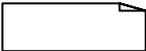
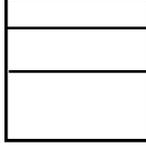
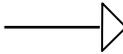
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Clase		Comentario
	Nombre de la clase Atributos de la clase Métodos de la clase		Asociación entre clases
			Relación de inherencia

Tabla n1.10 Simbología del diagrama de estados

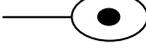
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Estado del objeto de la clase		Fin
			Envío de mensajes
	Inicio		Comentario

Tabla n1.11 Simbología del diagrama de despliegue

Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Actor		Relación entre nodos
	Inicio		Comentario

Tabla n1.12 Simbología del diagrama de componentes

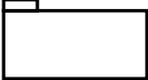
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Clase de diseño		Asociación
	Componente		Comentario

Tabla n1.13 Simbología del diagrama de componentes con interfaces

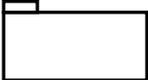
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Clase de diseño		Comentario
	Componente		Asociación Interfaz

Tabla n1.14 Simbología del mapa de navegación

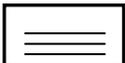
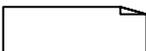
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Página		Flujo de navegación
	Índice		Interfaz
	Clase de contenido		Comentario

Tabla n1.15 Simbología de la construcción de la navegación

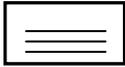
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Entidad		Índice condicional
	Guía condicional		Envío de mensajes
			Liga bidireccional

Tabla n1.16 Simbología de la estructura de la navegación

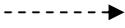
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Entidad		Inicio
	Guía condicional		Relación de asociación
			Liga unidireccional
	Índice condicional		Comentario

Tabla n1.17 Simbología de la página estática

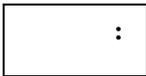
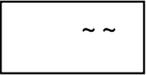
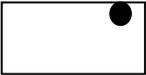
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Imagen		Colección
	Texto		Botón

Tabla n1.18 Simbología de la página dinámica

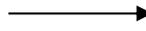
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Clase		Inicio
	Flujo de activación		Fin

Tabla n1.19 Simbología para la estructuración de anidamiento común

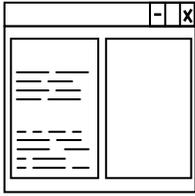
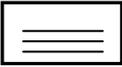
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Página		Ventana de navegación
	Índice		Flujo de navegación
	Clase contenido		Interfaz

Tabla n1.20 Simbología para la estructuración de anidamiento múltiple

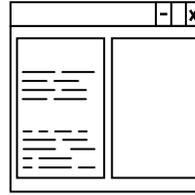
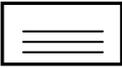
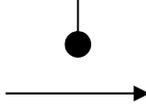
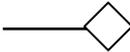
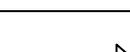
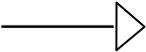
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Página		Ventana de navegación
	Índice		Enlace lógico
	Clase contenido		Interfaz Flujo de navegación

Tabla n1.21 Simbología del diagrama de clases ontológicas

Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Clase		Relación de agregación parcial
	Comentario		Asociación entre clases
			Relación de inherencia