

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Cuernavaca**



**Modelo de Comportamiento Afectivo para Sistemas
Tutores Inteligentes**

María Yasmín Hernández Pérez

**Sometido al programa de graduados en informática y computación en
cumplimiento parcial con los requerimientos para obtener el grado de:**

Doctora en Ciencias Computacionales

**Directores de Tesis:
Dr. Luis Enrique Sucar Succar
Dr. Gustavo Arroyo Figueroa**

Cuernavaca, Morelos, Diciembre, 2008.

Modelo de Comportamiento Afectivo para Sistemas Tutores Inteligentes

Presenta:

María Yasmín Hernández Pérez

Aprobada por:



Dr. Luis Enrique Sucar Succar

Profesor/Investigador de la Coordinación de Ciencias Computacionales del
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)
Director de tesis por parte del ITESM



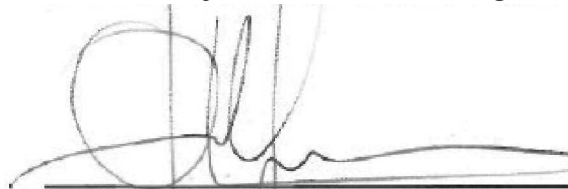
Dr. Gustavo Arroyo Figueroa

Investigador de la Gerencia de Sistemas Informáticos del
Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)
Director de tesis por parte del IIE



Dr. Jorge Adolfo Ramírez Uresti

Profesor/Investigador del Depto. de Tecnologías de Información y Computación del
ITESM Campus Edo. de México
Sinodal del jurado del examen de grado



Dr. Alfreda Sánchez Huitrón

Profesor/investigador del Depto. de Computación, Electrónica y Mecatrónica de la
Universidad de las Américas Puebla
Sinodal del jurado del examen de grado

*A Juan Isaac, Vania y Juan Emiliano,
mi hermosa familia.*

Agradecimientos

Felizmente he terminado con una empresa que inicié hace algunos años, y durante ese tiempo compartí experiencias con muchas personas.

Agradezco infinitamente a mi director de tesis Dr. Enrique Sucar, por su dedicación en la dirección de este trabajo, por el apoyo que me dio en cada una de las etapas del desarrollo del mismo, y sobretodo le agradezco su inagotable y contagioso optimismo.

Quiero agradecer a mi director de tesis por parte del Instituto de Investigaciones Eléctricas Dr. Gustavo Arroyo, por su apoyo e interés en la realización de este trabajo.

La Dra. Cristina Conati es un ejemplo para mí; estoy agradecida con ella por compartir su conocimiento conmigo y por la gran oportunidad que me brindó.

Este trabajo no hubiera sido posible sin las enseñanzas y consejos de mi amigo y profesor Dr. Rafael Morales. Su crítica, fruto de su gran corazón, me motivó a concluir este trabajo.

Sería imperdonable no mencionar a mi amigo y profesor Dr. Luis Alberto Pineda, cuya profunda crítica e inspiradoras palabras me entusiasmaron con este trabajo mucho tiempo antes de iniciarlo.

Mi agradecimiento para los profesores del ITESM que participaron en mis investigaciones. Muchas gracias a los alumnos y personal de la Escuela de la Cd. de Cuernavaca, por su apoyo para la realización de mi investigación. Doy gracias al ITESM por el apoyo para la realización y culminación de mis estudios. Agradezco a la *University of British Columbia* y al *Computer Science Department* las facilidades prestadas para la realización de mi investigación. Quiero agradecer a los revisores de mi tesis, por sus recomendaciones para mejorar este trabajo. También quiero agradecer a mis amigos y a mis compañeros de estudio por hacer más ameno todo este tiempo. Quiero hacer un reconocimiento a mis compañeros y amigos de Vancouver quienes me dieron un apoyo invaluable durante mi estancia en UBC.

No puedo dejar de mencionar a mis compañeros del IIE, especialmente de la Gerencia de Sistemas de Informáticos. Muchos de ellos participaron en mis estudios de usuario, algunos compartieron su conocimiento conmigo y muchos más mostraron su interés en mi trabajo.

Quiero agradecer a la División de Sistemas de Control del Instituto de Investigaciones Eléctricas, el haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios doctorales. Mi sincero agradecimiento para el Dr. Salvador González Castro por su apoyo e interés en mi trabajo.

No tengo palabras para agradecer a mis pequeños Vania y Juan Emiliano, las sonrisas que me alegraron el camino.

Sin duda alguna, mi más profundo agradecimiento es para Juan Isaac, cuyo inmenso amor hizo posible llegar a la meta.

Resumen

Las emociones se han reconocido como parte fundamental de la motivación, y la motivación como un componente indispensable en el aprendizaje. En este documento se propone un *modelo de comportamiento afectivo* para sistemas tutores inteligentes. Dicho modelo combina el estado afectivo y pedagógico de los estudiantes para establecer las acciones tutoriales. En el contexto de este trabajo, el comportamiento afectivo tiene dos funciones principales: 1) inferir el estado afectivo del estudiante; y 2) establecer la acción tutorial óptima considerando el estado afectivo y pedagógico del estudiante. De esta manera, el sistema tutor inteligente proporciona a los estudiantes una acción tutorial adecuada para su estado afectivo y pedagógico.

Nuestra propuesta para inferir el estado afectivo se basa en el *modelo cognitivo de emociones OCC*. De acuerdo con dicho modelo, las metas son fundamentales para establecer el estado afectivo. En este trabajo, las metas se infieren con base en el *modelo de los cinco factores de la personalidad*. Para determinar el estado afectivo del estudiante se usan los siguientes parámetros: 1) la personalidad del estudiante, 2) el estado pedagógico del estudiante, 3) las metas y 4) la situación tutorial. El *modelo afectivo del estudiante* está representado por medio de una red bayesiana dinámica. Se utilizan redes bayesianas ya que en el proceso de modelado afectivo del estudiante hay incertidumbre, y las redes bayesianas son un mecanismo robusto para tratar la incertidumbre, y además permiten modelar la naturaleza dinámica del estado afectivo del estudiante.

Una vez que se ha establecido el *modelo afectivo del estudiante*, el tutor tiene que responder acorde con el estado afectivo. Para modelar las decisiones del tutor, se usa la teoría de decisiones considerando un balance entre aprendizaje y estado afectivo. El *modelo afectivo del tutor* está representado como una red de decisión dinámica. La red bayesiana implícita en la red de decisión predice la influencia de las acciones tutoriales en el estado afectivo y pedagógico del estudiante considerando el estado afectivo y pedagógico actual. Esta predicción se usa para establecer la utilidad de cada acción tutorial en el afecto y aprendizaje del estudiante, seleccionando las acciones pedagógicas y afectivas de mayor utilidad. La utilidad de las acciones tutoriales se obtiene con base en las preferencias del tutor, que a su vez se basan en la experiencia de un grupo de profesores. Se llevaron a cabo dos investigaciones con profesores para validar nuestras suposiciones y para establecer el modelo afectivo del tutor.

El modelo se evaluó en dos dominios de prueba: un juego educativo para aprender factorización de números y un sistema tutor inteligente de robótica móvil. Los resultados de la evaluación son alentadores y muestran que el modelo de comportamiento afectivo funciona en estudiantes cuyo perfil es adecuado para el sistema tutor inteligente. El modelo se ilustra con estos dos dominios de prueba, sin embargo el modelo es genérico y puede ser aplicado en cualquier ambiente de aprendizaje.

Las principales contribuciones de esta investigación son: 1) una arquitectura general de *sistema tutor inteligente afectivo*; 2) una estructura de la *acción afectiva* que es parte de la

acción tutorial, la acción tutorial se compone de una acción afectiva y una acción pedagógica; 3) un *modelo de comportamiento afectivo* genérico que puede integrarse a cualquier sistema tutor inteligente; y 4) *conocimiento afectivo* con base en la experiencia de profesores, este conocimiento puede usarse para diseñar otros estudios y obtener conocimiento más profundo sobre como los profesores ayudan a los estudiantes a aprender.

Abstract

Emotions have been identified as important players in motivation and motivation is very important for learning. We propose an *affective behavior model* for an intelligent tutoring system, which combines the affective and pedagogical state of the student to establish tutorial actions. In the context of this work, the affective behavior has two main functions: 1) to infer the affective student state; and 2) to establish the optimal tutorial action considering the student pedagogical and affective state. In this way, the intelligent tutoring system provides students with a tutorial action according to their pedagogical and affective state.

Our proposal for inferring the affective state is based on the Cognitive Model of Emotions OCC. According to the OCC model, goals are fundamental in the affective state. We infer goals by personality with base on the Five-Factor Model. To determine the student affective state we use the following factors: 1) student personality, 2) student knowledge state, 3) goals and 4) tutorial situation. Since the process of establishing the affective state involves uncertainty, we use dynamic bayesian networks which provide strong mechanisms to manage the uncertainty, and they also enable to model the dynamic nature of the affective state.

Once the *affective student model* has been obtained, the tutor has to respond accordingly. Towards this aim, we use decision theory considering a trade-off between learning and affective state. The *affective behavior model* is represented as a dynamic decision network. The dynamic decision model is used to predict how the tutorial actions influence the affective and pedagogical state of the student, considering the current affective and pedagogical states. This prediction is used to establish the utility of each tutorial action on student's affect and learning, and the pedagogical and affective actions with maximum utility are selected. The utility of the tutorial actions is calculated given the tutor preferences, which are based on the expertise of a group of teachers. We conducted two studies with teachers to validate our assumptions and refine our model.

The model has been evaluated in two testing domains: an educational game to learn numbers factorization and a virtual laboratory for mobile robotics. The results are encouraging; they show the *affective behavior model* works in students whose profile is adequate for the intelligent tutoring system. Despite the model is illustrated with these two testing domains, it is a generic model and it can be useful in any learning environment.

The main contributions of this research are: 1) a general architecture for an *affective intelligent tutor system*; 2) A novel structure for an *affective action* that is part of a tutorial action, the tutorial actions are composed by an affective action and a pedagogical action; 3) a generic *affective behavior model* which can be integrated to any intelligent tutor system; and 4) *affective knowledge with base on teachers expertise*, which can be use to design other studies to obtain richer knowledge about how teachers help students to learn.

Contenido

Agradecimientos.....	i
Resumen	ii
Abstract.....	iv
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	xii
1. Introducción.....	1
1.1. Presentación.....	2
1.2. Motivación de la investigación.....	5
1.3. Hipótesis	8
1.4. Objetivos.....	8
1.5. Aportaciones de la investigación.....	9
1.6. Panorama de la tesis	10
1.7. Estructura del documento	15
2. Sistemas tutores inteligentes.....	16
2.1. Arquitectura de los sistemas tutores inteligentes.....	17
2.2. Modelo del estudiante.....	19
2.2.1. Representación del estudiante	19
2.3. Módulo tutor	21
2.4. Ejemplos de sistemas tutores inteligentes	23
2.4.1. Andes	23
2.4.2. Atlas.....	24
2.4.3. AutoTutor	25
2.5. Agentes pedagógicos animados.....	27
2.5.1. Steve	28
2.5.2. Cosmo.....	29
2.5.3. Agentes de presentación	30
2.5.4. Adele.....	33
2.5.5. Herman the Bug.....	34
2.5.6. PAT.....	35
2.5.7. Análisis de los agentes pedagógicos animados	36
2.6. Resumen del capítulo	38
3. Modelos Probabilísticos	39
3.1. Redes bayesianas	40
3.1.1. Inferencia en redes bayesianas	42
3.1.2. Redes bayesianas dinámicas.....	42
3.2. Redes de decisión	43
3.2.1. Redes de decisión dinámicas	45
3.3. Resumen del capítulo	45

4. Fundamentos de la computación afectiva.....	47
4.1. Afectividad	48
4.2. Computación afectiva.....	50
4.2.1. Signos fisiológicos del afecto.....	51
4.2.2. Dispositivos sensores de los estados afectivos.....	51
4.3. Modelo cognitivo de emociones OCC.....	55
4.4. Teorías de emociones	61
4.4.1. Plataforma affective reasoner	61
4.4.2. Modelo Cathexis.....	62
4.4.3. Modelo motivacional.....	66
4.4.4. Modelo pedagógico	68
4.5. Afectividad en agentes pedagógicos animados	70
4.5.1. Estados afectivos en agentes pedagógicos animados	71
4.6. Modelado afectivo del estudiante.....	71
4.6.1. Modelado afectivo del estudiante en la plataforma affective reasoner	73
4.6.2. Modelado afectivo del estudiante con el modelo OCC y redes bayesianas	74
4.7. Modelo de los cinco factores	77
4.8. Aplicaciones de la computación afectiva	77
4.8.1. Dispositivo reconocedor de emociones para un sistema de e-learning	78
4.8.2. Interfaz para un juego para resolución de problemas que detecta el estado afectivo del usuario.....	79
4.8.3. Motivación como una medida de usabilidad para aplicaciones e-learning	80
4.9. Personajes animados de microsoft.....	80
4.10. Punto de vista psicológico y pedagógico.....	83
4.10.1. Vygotsky.....	83
4.10.2. Piaget	84
4.10.3. Teorías de aprendizaje	85
4.11. Resumen del capítulo	87
5. Modelo afectivo del estudiante.....	88
5.1. Modelado afectivo del estudiante.....	89
5.2. Fundamentos teóricos del modelo afectivo del estudiante	90
5.2.1. Modelo cognitivo de emociones OCC	91
5.2.2. Modelo de los cinco factores	94
5.3. Estructura del modelo afectivo del estudiante.....	96
5.4. Parámetros del modelo afectivo del estudiante	103
5.4.1. Nodo conocimiento	103
5.4.2. Nodos rasgos de personalidad	104
5.4.3. Nodos meta.....	105
5.4.4. Nodos situación tutorial.....	106
5.4.5. Nodos metas satisfechas	107
5.4.6. Nodos estado afectivo.....	107
5.5. Resumen del capítulo	108

6. Modelo afectivo del tutor	109
6.1. Tutor afectivo	110
6.2. Modelo de comportamiento afectivo	111
6.2.1. Acciones afectivas	113
6.3. Representación del modelo afectivo del tutor	115
6.4. Parámetros del modelo afectivo del tutor	121
6.4.1. Nodo acción pedagógica.....	122
6.4.2. Nodo acción afectiva	122
6.4.3. Nodo situación tutorial	124
6.4.4. Nodos estado pedagógico	124
6.4.5. Nodos estado afectivo.....	125
6.4.6. Nodos utilidad	126
6.5. Resumen del capítulo	127
7. Estudios para incorporar la experiencia de profesores en el modelo afectivo.....	128
7.1. Descripción de los estudios	129
7.1.1. Diseño del estudio	131
7.2. Estudio con prime climb.....	132
7.2.1. Participantes en el estudio	133
7.2.2. Desarrollo y resultados del estudio.....	133
7.3. Resumen del capítulo	152
8. Dominio de prueba: un juego educativo para aprender factorización	154
8.1. <i>Prime climb</i> : un juego educativo para aprender factorización	155
8.1.1. Modelo pedagógico del estudiante	157
8.1.2. Integración del modelo de comportamiento afectivo	158
8.2. Estudios de usuario para evaluar el modelo de comportamiento afectivo	160
8.2.1. Diseño del estudio	161
8.2.2. Resultados del estudio	162
8.3. Pruebas estadísticas	167
8.3.1. Prueba <i>t de student</i>	168
8.3.2. Análisis estadístico de los resultados	169
8.4. Cuestionario.....	175
8.5. Conclusiones del capítulo.....	176
9. Dominio de prueba: un sistema tutor inteligente de robótica móvil	179
9.1. Sistema tutor inteligente de robótica móvil.....	180
9.1.1. Modelo pedagógico del estudiante	182
9.2. Integración del modelo de comportamiento afectivo	183
9.3. Estudios de usuario para evaluar el modelo de comportamiento afectivo	185
9.3.1. Diseño del estudio	188
9.3.2. Resultados del estudio	190
9.3.3. Cuestionario.....	194
9.4. Resumen del capítulo	195

10. Conclusiones.....	197
10.1. Conclusiones.....	198
10.1.1. Modelo afectivo del estudiante.....	199
10.1.2. Modelo afectivo del tutor	200
10.1.3. Evaluaciones.....	200
10.2. Aportaciones de la investigación.....	202
10.3. Trabajo futuro	204
Referencias	207
Anexo A: Cuestionario de personalidad.....	221
Anexo B: Ejemplos de exámenes en el estudio con <i>Prime Climb</i>	225
Anexo C: Respuestas de los profesores en el estudio para <i>Prime Climb</i>	228
Anexo D: Segundo estudio para incorporar la experiencia de profesores.....	235
D.1. Estudio con el sistema tutor inteligente de robótica móvil.....	236
D.1.1. Participantes en el estudio	237
D.1.2. Desarrollo y resultados del estudio.....	238
Anexo E: Modelo afectivo del tutor en un segundo dominio de prueba	260
E.1. Modelo afectivo del tutor en un STI de robótica móvil.....	261
Anexo F: Publicaciones derivadas de la investigación.....	268

Lista de figuras

Figura 1.1. Diagrama de bloques del modelo de comportamiento afectivo.....	11
Figura 1.2. Interfaz de <i>Prime Climb</i>	13
Figura 1.3. Interfaz del STI de robótica móvil.....	13
Figura 1.4. Diagrama del desarrollo de la investigación.....	14
Figura 2.1. Arquitectura básica de un STI.....	17
Figura 2.2. Modelo del estudiante tipo sobrepuesto (<i>overlay</i>).....	20
Figura 2.3. Red bayesiana representando un modelo del estudiante.....	20
Figura 2.4. Red bayesiana representando un modelo del estudiante.....	21
Figura 2.5. Interfaz de <i>Andes</i>	24
Figura 2.6. Diálogo entre <i>Atlas</i> y un estudiante.....	25
Figura 2.7. Interfaz de <i>AutoTutor</i>	26
Figura 2.8. Estudiante trabajando con <i>AutoTutor</i>	27
Figura 2.9. <i>Steve</i>	28
Figura 2.10. <i>Cosmo</i>	30
Figura 2.11. <i>PPP Persona</i>	31
Figura 2.12. <i>PPP Persona</i> con la imagen de un individuo real.....	31
Figura 2.13. Agentes animados haciendo una presentación.....	32
Figura 2.14. Usuario interactuando con el sistema de presentación.....	33
Figura 2.15. El agente <i>Adele</i> con un paciente simulado.....	33
Figura 2.16. <i>Herman the Bug</i>	34
Figura 2.17. Agente pedagógico PAT.....	35
Figura 3.1. Grafo acíclico no dirigido que representa relaciones entre eventos.....	40
Figura 3.2. Red bayesiana representando las relaciones de factorización.....	41
Figura 3.3. Red bayesiana dinámica.....	43
Figura 3.4. Red de decisión.....	44
Figura 3.5. Red de decisión dinámica.....	45
Figura 4.1. Arete con sensor de presión sanguínea.....	52
Figura 4.2. Anillos y brazaletes con sensor de conductividad de la piel.....	52
Figura 4.3. Lentes <i>Expression Glasses</i>	53
Figura 4.4. Guante <i>Galvactivator</i>	53
Figura 4.5. Persona jugando con <i>Shybot</i>	54
Figura 4.6. Persona portando <i>Self-cam</i>	55
Figura 4.7. Estructura del Modelo OCC.....	57
Figura 4.8. Arquitectura <i>Cathexis</i>	64
Figura 4.9. Sistemas de emociones.....	65
Figura 4.10. Agente Emocional <i>Simon</i>	66
Figura 4.11. Modelo motivacional.....	66
Figura 4.12. Conjunto de emociones posiblemente relevantes para el aprendizaje.....	68
Figura 4.13. Modelo de relación fases de aprendizaje-emociones.....	69
Figura 4.14. Sistema de creencias en el modelo del estudiante.....	72
Figura 4.15. RDD para modelar el estado afectivo del estudiante.....	75

Figura 4.16. Dispositivo de reconocimiento de emociones.....	78
Figura 4.17. Interfaz del juego escalera de palabras.....	79
Figura 4.18. Personajes de <i>Microsoft Agent</i>	81
Figura 5.1. Diagrama de bloques representando el modelo OCC.....	91
Figura 5.2. Estructura parcial del modelo OCC.....	92
Figura 5.3. Estructura de las emociones del estudiante.....	94
Figura 5.4. Red bayesiana de alto nivel representando el modelo afectivo del estudiante ..	97
Figura 5.5. Red bayesiana detallada representando el modelo afectivo del estudiante.....	98
Figura 5.6. Red bayesiana detallada representando el modelo afectivo del estudiante.....	99
Figura 5.7. Extracto de la red bayesiana que representa el modelo del estudiante ..	100
Figura 5.8. Diagrama de la dimensión <i>alegría-tristeza</i>	101
Figura 5.9. Red bayesiana dinámica representando la evolución del estado afectivo.....	102
Figura 6.1. Arquitectura de un STI con capacidades afectivas ..	110
Figura 6.2. Diagrama de bloques del flujo del conocimiento en el MCA.....	112
Figura 6.3. Tipos de acciones afectivas.....	114
Figura 6.4. Red de decisión dinámica de alto nivel para el modelo afectivo del tutor.....	116
Figura 6.5. Red bayesiana del modelo afectivo del estudiante en el juego educativo.....	117
Figura 6.6. Red bayesiana del estado pedagógico del estudiante en el juego educativo....	118
Figura 6.7. Red de decisión dinámica detallada para el modelo afectivo del tutor ..	119
Figura 6.8. Ciclo del modelo de comportamiento afectivo del tutor.....	121
Figura 6.9. Acciones afectivas en el MCA para el juego educativo.....	123
Figura 6.10. Valor del nodo <i>situación tutorial</i>	124
Figura 6.11. Valor del nodo <i>estado pedagógico</i>	125
Figura 6.12. Valor del nodo <i>estado afectivo</i>	126
Figura 7.1. Interfaz de <i>Prime Climb</i>	130
Figura 7.2. Interfaz del sistema tutor inteligente de robótica móvil.....	130
Figura 7.3. Interfaz del programa para visualizar las animaciones ..	134
Figura 7.4. Interfaz del programa para reproducir el video.....	137
Figura 8.1. Interfaz de usuario del juego educativo <i>Prime Climb</i>	155
Figura 8.2. Imágenes instantáneas de <i>Prime Climb</i> ..	156
Figura 8.3. Red bayesiana que representa el modelo pedagógico del estudiante.....	157
Figura 8.4. Fragmento de la red bayesiana que representa el modelo pedagógico del estudiante.....	158
Figura 8.5. Ejemplos de las acciones tutoriales.....	160
Figura 8.6. Fragmento de la tabla de la distribución <i>t de Student</i> ..	171
Figura 9.1. Interfaz del STI de robótica móvil ..	180
Figura 9.2. Ejemplo de una explicación disponible en el STI de robótica móvil.....	181
Figura 9.3. Modelo pedagógico del estudiante.....	182
Figura 9.4. Acciones afectivas en el MCA para el STI de robótica móvil.....	184
Figura 9.5. Ejemplo de acción tutorial seleccionada por el MCA.....	184
Figura 9.6. Diagrama de bloques del estudio de usuario para el STI de robótica móvil....	188

Figura 9.7. Coincidencias entre el modelo afectivo del estudiante y el estado afectivo reportado por los estudiantes	190
Figura D.1. Pantalla del STI de robótica móvil.....	236
Figura D.2. Pantalla del programa para visualizar los personajes de <i>Microsoft Agent</i>	238
Figura D.3. Personajes de <i>Microsoft Agent</i>	239
Figura D.4. Pantalla del programa para reproducir el video utilizado en el estudio	242
Figura D.5. Ejemplo de una explicación disponible en el STI de robótica móvil.....	250
Figura E.1. Red bayesiana del modelo pedagógico del estudiante.....	261
Figura E.2. Red bayesiana detallada representando el modelo afectivo del estudiante	261
Figura E.3. Red bayesiana de alto nivel que representa el modelo afectivo del estudiante.	262
Figura E.4. Red de decisión dinámica de alto nivel para el modelo afectivo del tutor.	262
Figura E.5. Acciones afectivas en el modelo de comportamiento afectivo.....	264
Figura E.6. Valores de los nodos <i>situación tutorial</i>	265
Figura E.7. Valor del nodo <i>situación tutorial</i>	265
Figura E.8. Valor del nodo <i>estado afectivo</i>	266
Figura E.9. Integración de las redes bayesianas del modelo del estudiante con la red de decisión del modelo afectivo del tutor.....	267

Lista de tablas

Tabla 2.1. Características que se pueden encontrar en los agentes pedagógicos animados.	37
Tabla 3.1. Tabla de probabilidad condicional del nodo <i>N5</i> .	41
Tabla 3.2. Tabla de probabilidad condicional del nodo <i>solución</i> .	41
Tabla 3.3. Tabla de probabilidad condicional del nodo <i>conocimiento</i> en el tiempo t_{n+1} .	43
Tabla 4.1. Tipos de emociones del Modelo <i>Affective Reasoner</i> .	63
Tabla 4.2. Variables del modelo motivacional.	67
Tabla 4.3. Dimensiones de personalidad del modelo de los cinco factores.	77
Tabla 4.4. Algunas de las animaciones disponibles en <i>Microsoft Agent</i> .	82
Tabla 5.1. Tabla de probabilidad condicional para el nodo <i>conocimiento</i> .	104
Tabla 5.2. Número de estudiantes para las medidas de las dimensiones de personalidad.	105
Tabla 5.3. Porcentajes arrojados por el estudio de personalidad.	105
Tabla 6.1. Acciones pedagógicas en el juego educativo.	122
Tabla 6.2. Acciones afectivas en el juego educativo.	123
Tabla 7.1. Profesores participantes en el estudio con el programa <i>Prime Climb</i> .	133
Tabla 7.2. Número de animaciones seleccionadas por los profesores.	135
Tabla 7.3. Animaciones seleccionadas por los profesores participantes en el estudio.	135
Tabla 7.4. Animaciones seleccionadas por los profesores participantes en el estudio.	136
Tabla 7.5. Respuestas proporcionadas por los profesores participantes en el estudio.	139
Tabla 7.6. Animaciones seleccionadas por los profesores para movimientos correctos.	139
Tabla 7.7. Resumen del análisis de las animaciones seleccionadas por los profesores.	140
Tabla 7.8. Animaciones seleccionadas por los profesores para movimientos incorrectos.	141
Tabla 7.9. Resumen del análisis de las animaciones seleccionadas por los profesores.	141
Tabla 7.10. Animaciones (acciones afectivas) seleccionadas.	141
Tabla 7.11. Promedio de las emociones para cada una de las acciones afectivas.	143
Tabla 7.12. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>alegría-tristeza</i> para una situación tutorial positiva.	143
Tabla 7.13. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>orgullo-vergüenza</i> para una situación tutorial positiva.	144
Tabla 7.14. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>admiración-reproche</i> para una situación tutorial positiva.	144
Tabla 7.15. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>alegría-tristeza</i> para una situación tutorial negativa.	145
Tabla 7.16. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>orgullo-vergüenza</i> para una situación tutorial negativa.	145
Tabla 7.17. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>admiración-reproche</i> para una situación tutorial negativa.	145
Tabla 7.18. Lista de acciones pedagógicas disponibles en <i>Prime Climb</i> .	146

Tabla 7.19. Acciones pedagógicas seleccionadas por los profesores para movimientos correctos.....	146
Tabla 7.20. Acciones pedagógicas seleccionadas por los profesores para movimientos incorrectos.	147
Tabla 7.21. Acciones pedagógicas resultantes después de integrar aquellas que aplican a situaciones similares.	148
Tabla 7.22. Promedio de las emociones para cada una de las acciones pedagógicas.	148
Tabla 7.23. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>alegría-tristeza</i> para una situación tutorial positiva.	149
Tabla 7.24. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>orgullo-vergüenza</i> para una situación tutorial positiva.	149
Tabla 7.25. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>admiración-reproche</i> para una situación tutorial positiva.	149
Tabla 7.26. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>alegría-tristeza para una situación tutorial negativa</i>	150
Tabla 7.27. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>orgullo-vergüenza</i> para una situación tutorial negativa.....	150
Tabla 7.28. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>admiración-reproche</i> para una situación tutorial negativa.	150
Tabla 7.29. Respuestas de los profesores a las preguntas 1 y 2 del cuestionario general ..	151
Tabla 8.1. Acciones afectivas en el modelo de comportamiento afectivo para el juego educativo <i>Prime Climb</i>	159
Tabla 8.2. Acciones pedagógicas en el modelo de comportamiento afectivo para el juego educativo <i>Prime Climb</i>	160
Tabla 8.3. Número de estudiantes en el estudio de usuario, por grado y por grupo.....	161
Tabla 8.4. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo de control de 6° grado de primaria.....	162
Tabla 8.5. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental de 6° grado de primaria.....	163
Tabla 8.6. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo de control de 1° grado de secundaria.	164
Tabla 8.7. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental de 1° grado de secundaria.	164
Tabla 8.8. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo de control de 2° grado de secundaria.	165
Tabla 8.9. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental de 2° grado de secundaria.	165
Tabla 8.10. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo de control de 3° grado de secundaria.	166
Tabla 8.11. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental de 3° grado de secundaria.	166
Tabla 8.12. Ganancias en aprendizaje obtenidas en cada uno de los grados.....	167
Tabla 8.13. Impacto de <i>Prime Climb</i> en el desempeño de los estudiantes.....	167
Tabla 8.14. Valores promedio de los exámenes previo, posterior y de las ganancias en el aprendizaje para cada grupo de control y experimental.	169

Tabla 8.15. Calificaciones que obtuvieron los estudiantes del grupo de control de 6° grado	170
Tabla 8.16. Calificaciones que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental de 6° grado	172
Tabla 8.17. Ganancia en aprendizaje de los grupos de control y experimental de 6° grado.	173
Tabla 8.18. Resultados de la prueba <i>t de Student</i> aplicada a los grupos de control y experimental de 1° de secundaria.	174
Tabla 8.19. Preguntas del cuestionario aplicado a los estudiantes	175
Tabla 8.20. Porcentaje de respuesta a cada una de las preguntas	176
Tabla 9.1. Ejemplo de acciones pedagógicas de un experimento.	182
Tabla 9.2. Acciones afectivas en el modelo de comportamiento afectivo	183
Tabla 9.3. Estudiantes participantes en el estudio de usuario del STI de robótica móvil. .	185
Tabla 9.4. Cuestionario presentado a los estudiantes después de cada experimento.	189
Tabla 9.5. Cuestionario general presentado a los estudiantes al finalizar el estudio.....	189
Tabla 9.6. Número de casos de coincidencias y discrepancias	190
Tabla 9.7. Coincidencias en el estado afectivo.....	191
Tabla 9.8. Impacto de las acciones tutoriales en el estado afectivo de los estudiantes.	192
Tabla 9.9. Número y porcentaje de casos del impacto de las acciones tutoriales	193
Tabla 9.10. Impacto de las acciones tutoriales en el estado afectivo de los estudiantes. ...	193
Tabla 9.11. Número y porcentajes de estudiantes del impacto de las acciones tutoriales..	194
Tabla 9.12. Respuestas de los estudiantes a las preguntas del cuestionario general.	195
Tabla A.1. Resultados del estudio de personalidad	223
Tabla C.1. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>acknowledge</i>	229
Tabla C.2. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>announce</i>	229
Tabla C.3. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>congratulate</i>	229
Tabla C.4. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>do_magic1</i>	229
Tabla C.5. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>congratulate_2</i> .	230
Tabla C.6. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>do_magic2</i>	230
Tabla C.7. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>greet</i>	230
Tabla C.8. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>hide</i>	230
Tabla C.9. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>pleased</i>	231
Tabla C.10. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>alert</i>	231
Tabla C.11. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>confused</i>	231
Tabla C.12. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>explain</i>	231
Tabla C.13. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>getAttention</i> . ..	231
Tabla C.14. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>surprised</i>	232
Tabla C.15. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP0	232
Tabla C.16. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP2	232
Tabla C.17. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP3	233
Tabla C.18. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP1	234
Tabla C.19. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP3	234

Tabla D.1. Profesores participantes en el estudio con el STI de robótica móvil.....	237
Tabla D.2. Número de animaciones seleccionadas por los profesores.....	239
Tabla D.3. Animaciones seleccionadas por los profesores participantes en el estudio.....	240
Tabla D.4. Animaciones seleccionadas por los profesores participantes en el estudio.....	241
Tabla D.5. Animaciones seleccionadas por los profesores.	243
Tabla D.6. Animaciones (acciones afectivas) seleccionadas	244
Tabla D.7. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>acknowledge</i> . ..	245
Tabla D.8. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>announce</i>	245
Tabla D.9. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>congratulate</i>	245
Tabla D.10. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>confused</i>	245
Tabla D.11. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>getAttention</i> ...	246
Tabla D.12. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>explain</i>	246
Tabla D.13. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>suggest</i>	246
Tabla D.14. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para <i>think</i>	246
Tabla D.15. Promedio de las emociones para cada una de las acciones afectivas.	247
Tabla D.16. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>alegría-tristeza</i> para una situación tutorial positiva.....	247
Tabla D.17. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>orgullo- vergüenza</i> para una situación tutorial positiva.	248
Tabla D.18. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>admiración- reproche</i> para una situación tutorial positiva.	248
Tabla D.19. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>alegría-tristeza</i> para una situación tutorial regular.	248
Tabla D.20. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>orgullo- vergüenza</i> para una situación tutorial regular.....	248
Tabla D.21. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>admiración- reproche</i> para una situación tutorial regular.....	248
Tabla D.22. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>alegría-tristeza</i> para una situación tutorial negativa.....	249
Tabla D.23. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>orgullo- vergüenza</i> para una situación tutorial negativa.....	249
Tabla D.24. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción <i>admiración- reproche</i> para una situación tutorial negativa.	249
Tabla D.25. Lecciones de un experimento disponible en el STI de robótica móvil.....	250
Tabla D.26. Acciones pedagógicas seleccionadas por los profesores para situación tutorial positiva.	251
Tabla D.27. Acciones pedagógicas seleccionadas por los profesores para situación tutorial regular.....	251
Tabla D.28. Acciones pedagógicas seleccionadas por los profesores para situación tutorial negativa.....	252
Tabla D.29. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP0	252
Tabla D.30. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP1	252
Tabla D.31. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP2	253
Tabla D.32. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP3	253
Tabla D.33. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP1.	253
Tabla D.34. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP2.	253
Tabla D.35. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP3	253

Tabla D.36. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP0	254
Tabla D.37. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP1	254
Tabla D.38. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para AP2	254
Tabla D.39. Promedio de las emociones para cada una de las acciones pedagógicas.....	254
Tabla D.40. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>alegría-tristeza</i> para una situación tutorial positiva.	255
Tabla D.41. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>orgullo-vergüenza</i> para una situación tutorial positiva.	255
Tabla D.42. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>admiración-reproche</i> para una situación tutorial positiva.	255
Tabla D.43. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>alegría-tristeza</i> para una situación tutorial regular.	256
Tabla D.44. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>orgullo-vergüenza</i> para una situación tutorial regular.....	256
Tabla D.45. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>admiración-reproche</i> para una situación tutorial regular.....	256
Tabla D.46. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>alegría-tristeza</i> para una situación tutorial negativa.	257
Tabla D.47. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>orgullo-vergüenza</i> para una situación tutorial negativa.....	257
Tabla D.48. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción <i>admiración-reproche</i> para una situación tutorial negativa.	257
Tabla D.49. Respuestas de los profesores a las preguntas 1 y 2 del cuestionario general del estudio.....	258
Tabla E.1. Tipo de acciones pedagógicas en el STI de robótica móvil.....	263
Tabla E.2. Acciones pedagógicas en el STI de robótica móvil	263
Tabla E.3. Acciones afectivas del MCA para el STI de robótica móvil.....	263

Capítulo 1

Introducción

*“Given an ability that already exists in humans, then it is a matter of time and effort before the same ability can be imitated in computers”
(Picard, 2000).*

Por mucho tiempo las emociones fueron consideradas como un aspecto sin relación alguna con el funcionamiento racional y preciso de las computadoras, y no fueron incluidas en la relación usuario-computadora. Particularmente no se incluyeron en el desarrollo de sistemas tutores inteligentes. Sin embargo, las emociones deberían ser incluidas en los sistemas tutores inteligentes ya que son ampliamente reconocidas como un factor preponderante en la motivación y la motivación es un factor clave para el aprendizaje. La importancia de las emociones en diversos aspectos de la vida humana ha sido probada en estudios científicos. En los últimos años se han desarrollado iniciativas para incluir las emociones en el diseño de programas de cómputo, y especialmente en el diseño de sistemas tutores inteligentes. La premisa principal de estas iniciativas es que al incluir tanto el estado afectivo del estudiante como respuestas afectivas por parte del tutor, elevará el nivel de motivación de los estudiantes, que a su vez tendrá un efecto positivo en el aprendizaje de los mismos.

En este capítulo se describe el estado actual del uso de las emociones dentro de los sistemas tutores inteligentes. Se plantea el problema que se aborda en esta investigación doctoral y los mecanismos que se proponen para resolverlo. Se plantea la hipótesis de la investigación. Se presentan los objetivos que se desean alcanzar, los beneficios que se obtienen con la propuesta de esta investigación, así como el alcance.

1.1. Presentación

Los sistemas tutores inteligentes (STI) representan una de las aplicaciones más exitosas de inteligencia artificial (IA) (VanLehn *et al*, 2007); sin embargo, la interacción tutor-estudiante en muchos de estos sistemas ha sido poco natural, ya que obliga al estudiante a aprender la forma de comunicación del programa, lo que de alguna manera dificulta el aprendizaje. En los últimos años se han realizado algunos trabajos importantes en la investigación de la interacción hombre-máquina para dotarla de características similares a la interacción humana. Aunque algunos estudios demuestran la importancia de la comunicación no verbal, la mayoría de estos trabajos se han enfocado en la comunicación verbal (Johnson, Rickel y Lester, 2000). La tendencia principal ha sido el uso de lenguaje escrito y hablado y la aplicación de realidad virtual, pero una de las tendencias más importantes ha sido la incorporación de agentes pedagógicos animados a los STI.

Los agentes pedagógicos animados son personajes autónomos, vivos, que interactúan cara a cara con los estudiantes para crear interacciones de aprendizaje con abundante información, con lo que se abren nuevas posibilidades de enseñanza-aprendizaje. Por ejemplo, un agente puede mostrar al estudiante cómo se realiza una tarea, guiarlo en un recorrido virtual, o ser su compañero de equipo para realizar algún proyecto (Iacobelli y Cassell, 2007; Piwek *et al* 2007; Hoekstra *et al*, 2007; Kipp *et al*, 2006; Aguilar, de Antonio e Imbert, 2006; Jaques y Viccari, 2005; Johnson, Rickel y Lester, 2000). Una característica muy importante y deseable en los programas de cómputo y particularmente de los agentes pedagógicos animados, es la capacidad de despertar la simpatía y el afecto del estudiante, lo que pedagógicamente es muy útil ya que motiva al estudiante para que pase más tiempo con el STI y de esta manera aumenta su aprovechamiento. Un agente animado con comportamiento afectivo puede tener muchas ventajas pedagógicas. Por ejemplo, puede transmitir al estudiante entusiasmo por la materia y hacer más amena la tutoría. En el ámbito de la pedagogía, las emociones son un elemento muy importante ya que influyen decididamente en el estado de motivación de los estudiantes, y a su vez, la motivación es indispensable para el aprendizaje (Zakharov, Mitrovic y Johnston, 2008; Johnson, Rickel y Lester, 2000).

Recientemente, investigadores en ciencias computacionales han puesto su interés en el procesamiento de emociones, muestra de esto son los diferentes talleres y eventos que se han organizado sobre el tema. Entre los más destacados podemos mencionar los siguientes: el taller sobre *Social and Emotional Intelligence in Learning Environments* (Mostow y Tedesco, 2004), llevado a cabo en la 7ª conferencia internacional sobre sistemas tutores inteligentes; el taller sobre *Motivation and Affect on Educational Software* (Conati *et al*, 2005) llevado a cabo en la 12ª conferencia internacional sobre inteligencia artificial en educación; el taller sobre *Adapting the Interaction Style to Affective Factors* (Carberry y de Rosis, 2005) llevado a cabo en la 10ª conferencia internacional sobre modelado del usuario; el taller sobre *Modeling and Scaffolding Affective Experiences to Impact Learning* (D'Mello *et al*, 2007) llevado a cabo en la 13ª conferencia internacional sobre inteligencia artificial en educación y el taller sobre *Emotional and Cognitive Issues in ITS* (Chaffar y Rodrigo, 2008) llevado a cabo en la 9ª conferencia internacional sobre sistemas tutores

inteligentes. En estos talleres se han expuesto trabajos que tratan de explicar la interrelación entre las emociones y el aprendizaje y se ha tratado de contestar preguntas tales como ¿Cuáles son las emociones relevantes para el aprendizaje? y ¿Cómo se reconocen estas emociones? En estos talleres se han presentado trabajos sobre como reconocer las emociones de los estudiantes y como responder a ellas. Por ejemplo en (Woolf, Burelson y Arroyo, 2007) presentan una arquitectura de un STI en desarrollo que detecta y responde al estado afectivo del estudiante. Otro trabajo interesante se presenta en (Lehman, D'Mello y Person, 2008), se describe un estudio donde los estudiantes fueron grabados en video mientras solucionaban problemas de lógica; posteriormente los estudiantes observaron los videos y evaluaron sus emociones.

Originalmente se creía que las emociones no tenían relación con el funcionamiento racional y preciso de los sistemas de cómputo; sin embargo, diversos estudios científicos han demostrado la importancia de las emociones en la comunicación humana y en la toma de decisiones (Damasio, 1996). Algunos de estos estudios se enfocan en casos de personas quienes han perdido la capacidad de expresar emociones y como esta pérdida ha afectado sus vidas. Un caso es el de un hombre joven llamado Phineas Gage que trabajaba en la construcción de las vías del ferrocarril en Estados Unidos. A sus 23 años era una persona exitosa, había logrado escalar diversos puestos en su trabajo gracias a su excelente trato y su capacidad de tratar con los trabajadores ferrocarrileros. Desafortunadamente, durante un accidente una varilla de acero le cayó en la cabeza enterrándosele; la varilla entró por la parte central del cráneo y salió por detrás de la oreja izquierda, pasándole por detrás de los ojos. En los análisis que se practicaron, de manera milagrosa la única parte que resultó con daños graves fue la glándula encargada de generar las emociones en los humanos. Tras una corta recuperación, Gage regreso a su trabajo. Parecía ser el mismo; sin embargo, su trato ya no era el mismo, había sufrido un cambio en su conducta. Su facilidad para relacionarse con las demás personas había desaparecido. Ya no era el jefe fácil de tratar y no era capaz de demostrar emoción alguna. Los médicos que lo atendieron y que estudiaron su caso llegaron a la conclusión de que debido a la falta de las emociones ya no podía comunicarse con las demás personas (Damasio, 1996).

Como este caso se encuentran muchos otros casos documentados en la literatura en psicología, en neurología y en neurocirugía (Damasio, 1996), que demuestran la importancia de las emociones en casi todos los aspectos de la vida humana. Algunos de los aspectos más importantes son la creatividad, la toma de decisiones y en la comunicación.

La comunicación es un aspecto importante en la tutoría y en el aprendizaje, por lo que necesitamos entender la instrucción no solamente del punto de vista del aprendizaje convencional sino como un proceso de comunicación en donde, como ya lo mencionamos, las emociones juegan un papel importante (Reeves y Nass, 1996). Para sustentar lo anterior, Reeves y Nass llevaron a cabo diversos estudios cuyos resultados presentan en su libro *The media equation: how people treat computers, television, and new media like real people and places* (Reeves y Nass, 1996). En este libro, los autores presentan una serie de estudios de los que concluyeron que las personas tienden a atribuir rasgos y cualidades humanas a las cosas, y especialmente a las computadoras, es decir, las tratan como si fueran un ser humano.

Por consiguiente, si las emociones son importantes en las relaciones interpersonales, también lo son en la interacción humano-computadora. Las interfaces multimodales que incluyen colores, lenguaje hablado, caras, cuerpos, etc. pueden ser capaces de expresar una variedad de emociones. Pero además deben ser capaces de detectar las diferentes emociones de los usuarios para responder adecuadamente. Determinar las emociones de los usuarios es un aspecto complejo ya que el proceso se debe llevar a cabo de manera que no interfiera con las emociones que se quieren detectar; es decir, el proceso debe ser casi invisible para los usuarios. Por lo tanto, es necesario entender las emociones y relacionarlas con la interacción humano-computadora. Scott Brave y Clifford Nass (Brave y Nass, 2002) hicieron una investigación sobre teoría y tecnología de emociones, y hacen una recopilación de los descubrimientos y conceptos que son relevantes para el diseño y evaluación de sistemas interactivos para proporcionar una base para diseñar interfaces emocionales y conscientes de las emociones de los usuarios.

En las futuras generaciones de STI, además de tener animación, texto y gráficos, el tutor interactuará con el estudiante por medio de un agente pedagógico animado que tenga lenguaje sintetizado, expresiones faciales y el reconocimiento del estado afectivo del estudiante, todo esto integrado en un comportamiento afectivo del tutor.

Tanto mostrar afecto como reconocer el estado afectivo del estudiante y responder de acuerdo con éste es importante. Por ejemplo, detectar cuando el estudiante entra a un estado de frustración por no poder responder bien un ejercicio, de esta manera se puede cambiar la forma del ejercicio o dar una sugerencia con palabras o con un tono de voz o con un gesto que le motiven.

En este documento se presenta una investigación doctoral sobre comportamiento afectivo en sistemas tutores inteligentes. El área de investigación principal es la de sistemas tutores inteligentes, particularmente en el módulo tutor. En un STI tradicional, el módulo tutor es el encargado de decidir cómo enseñar al estudiante, considerando solamente el estado de conocimiento del estudiante y dejando de lado el estado afectivo del estudiante. Pero este último es un elemento importante que los tutores humanos utilizan para motivar a los estudiantes, y a su vez mejorar su aprovechamiento. La idea principal de este trabajo es agregar al módulo tutor razonamiento afectivo mediante un modelo de comportamiento que considere el estado afectivo del estudiante además de su estado de conocimiento.

En este documento utilizamos el término estado afectivo para referirnos al estado emocional de un individuo. Lo anterior de acuerdo con lo expresado por Rosalind Picard (Picard, 2000), quien afirma que el término *emocional* tiene una connotación negativa, mientras que el término *afectivo* no la tiene y, por otro lado, puede confundirse con el término *efectivo* que trae consecuencias benéficas para la computación afectiva. En el capítulo 4 se presenta una descripción de los términos de afectividad.

1.2. Motivación de la investigación

En el proceso cognitivo humano son dos las partes importantes: el pensamiento y el sentimiento (Picard, 2000). Esta afirmación es compartida por diversos autores (Abbasi, 2007; Graesser, Jackson y McDaniel, 2007; Chalfoun, Chaffar y Frasson, 2006; Axelrod 2005; Brave y Nass, 2002) y también concuerda con lo establecido por teóricos de la psicología y pedagogía; por ejemplo, Piaget establece que no hay proceso cognitivo sin componente afectivo y afirma que la afectividad motiva la actividad intelectual (Piaget, 2005); por otro lado, Vygotsky considera que la motivación es la razón de la acción (Vygotsky, 1962). Las emociones son una parte muy importante en la vida del ser humano: ellas son las que permiten la interacción humana; por medio de ellas comunicamos lo que sentimos y pensamos. Se han realizado diversos estudios científicos que avalan la importancia de las emociones en las relaciones interpersonales, en la toma de decisiones (triviales o importantes), en el aprendizaje y en muchas otras áreas de la vida del ser humano (Damasio, 1996). Existe la hipótesis de que este impacto de las emociones también se da en la comunicación humano-computadora (Picard, 2000; Reeves y Nass, 1996).

En el caso particular de los STI, donde el usuario es un estudiante, la hipótesis anterior tiene más peso ya que el estado afectivo/motivacional del estudiante influye decisivamente en su desempeño y aprovechamiento. Los buenos maestros tienen la habilidad de trabajar con el estado afectivo del estudiante con el objeto de motivarlo a estudiar y así aumentar su aprovechamiento (Zakharov, Mitrovic y Johnston, 2008). Si esta misma habilidad se añade a un STI podemos tener el mismo resultado: estudiantes motivados y un mayor aprendizaje, aunado a los beneficios de una tutoría personal.

Las emociones juegan un papel muy importante en la motivación de los seres humanos y a su vez la motivación tiene un papel preponderante en el aprendizaje. Si un estudiante tiene una motivación adecuada puede lograr un aprendizaje mayor que en el caso de no estar lo suficientemente motivado. La importancia de las emociones para la motivación y por lo tanto en el aprendizaje ha sido reconocida en diversos trabajos (Graesser, Jackson y MacDaniel, 2007; Johnson, Rickel y Lester, 2000; Lester *et al*, 2000; Velásquez, 1997; de Vicente y Pain, 2002; Kort, Reilly y Picard 2001a).

Como consecuencia de lo anterior, recientemente diversas áreas de investigación en ciencias computacionales, tales como interacción humano-computadora e inteligencia artificial, entre otras, han puesto su interés en las emociones. Comúnmente la interacción humano-computadora no toma en cuenta componentes expresivos diferentes al lenguaje escrito y a las gráficas. Si a un programa de cómputo se le añaden otras dimensiones que enriquezcan la experiencia interactiva, tales como el estado afectivo de los usuarios y las respuestas consecuentemente afectivas y adaptivas del sistema, la interacción humano-computadora se vuelve más agradable y personal. El usuario se siente más involucrado en la interacción, mejorando presumiblemente su rendimiento. En el caso de un STI estas características se acentúan. Si un estudiante percibe que el tutor manifiesta una preocupación expresada por él (representada en su comportamiento) y que le da un trato personal (tomando en cuenta el estado afectivo del estudiante), opta por pasar más tiempo trabajando con el STI y por lo tanto, logra un mayor y más rápido aprendizaje.

Es importante mencionar que los resultados que se esperan al incluir comportamiento afectivo en las características de los sistemas tutores inteligentes, están dentro de los objetivos que persiguen los STI: instrucción personalizada, mayor utilización de los STI y un mayor y más rápido aprendizaje.

En la empresa de dotar de comportamiento afectivo a los sistemas tutores inteligentes, existen dos aspectos importantes. Por un lado está el reconocer el estado afectivo del estudiante y por el otro lado, está el responder adecuadamente a los estudiantes tomando en cuenta su estado afectivo. Para incorporar estos dos aspectos en el funcionamiento de los STI, es necesario contar con mecanismos y modelos formales para detectar el estado afectivo del estudiante, así como con modelos formales de comportamiento del tutor.

Una de las formas de representar el comportamiento afectivo en un STI es a través de agentes animados (Iacobelli y Cassell, 2007; Hoekstra *et al*, 2007; Kipp *et al*, 2006; Jaques y Viccari, 2005). Los agentes animados al ser más expresivos que las interfaces comunes tienen diversos beneficios entre los que se encuentran: el parecer que se preocupan por el estudiante y por su avance, así como el transmitir entusiasmo por la materia al estudiante (Elliott, 2002, Elliott, Rickel y Lester, 1999). Los agentes pedagógicos animados manifiestan de manera más aparente y con más fuerza, la preocupación por los estudiantes, ya implícita en los STI. Algunos trabajos en agentes animados se presentan en el capítulo 2.

Actualmente, existen teorías para modelar emociones (reconocimiento y síntesis), dispositivos para detectar signos biológicos indicativos de las emociones de los usuarios, e investigación en agentes animados pedagógicos, que aunque también es un área naciente, ofrece ya muchas ventajas que podrían utilizarse en las áreas de educación y capacitación. Estas investigaciones y tecnologías pueden integrarse con los sistemas tutores inteligentes en un modelo de comportamiento afectivo que tenga la fortaleza pedagógica de los STI y un comportamiento adecuado, afectivo y creíble.

Un trabajo parecido a esta propuesta es el proyecto *Affective Learning Companion* del MIT (Kort, Reilly y Picard 2001a; MIT Media Lab, 2008), pero a diferencia de lo planteado en esta propuesta, este proyecto trata de proporcionar al estudiante un compañero de estudio y no un tutor con conocimiento sobre la materia. Este proyecto se encuentra en las primeras etapas de desarrollo y sus avances hasta el momento se centran en el diseño de un modelo pedagógico de emociones para establecer el estado afectivo del estudiante. La descripción de este modelo se presenta en el capítulo 4.

Otro trabajo en la misma línea es un modelo afectivo del estudiante utilizado en un juego educativo (Conati y Maclaren, 2005; Conati y Zhou, 2002). Este proyecto significa una contribución importante hacia el comportamiento afectivo, pero aún tiene en su agenda de investigación, la integración del modelo afectivo con el modelo pedagógico para establecer las posibles acciones del tutor. Este trabajo se describe en el capítulo 4

En el área de STI se tiene un gran avance en la investigación de los diversos módulos que componen el STI, lo que ha dado como resultado sistemas muy sofisticados que permiten que el tutor se adapte al estudiante de manera muy precisa, pero se trata de STIs que se

encuentran muy especializados en el dominio de aplicación y no es muy fácil la aplicación de sus metodologías de tutoría a otro dominio. Un beneficio importante de esta propuesta radica en que el modelo que se propone se puede integrar a sistemas tutores inteligentes de diferentes dominios; y al integrar dicho modelo con un STI sencillo se alcanza el nivel de flexibilidad y de adaptación de un STI robusto.

Dotar de comportamiento afectivo a los sistemas tutores inteligentes es todavía una línea que necesita investigación y que presenta desafíos interesantes, sobre todo si consideramos que se debe presentar de manera creíble, coordinando lenguaje, gestos y movimientos, y aún más, todo esto debe ser presentado al estudiante en el momento pedagógicamente adecuado y sin obstaculizar el proceso de aprendizaje (Person *et al*, 1999).

La computación afectiva tiene muchas oportunidades en diferentes campos de aplicación, como en entretenimiento, educación, etc., por lo que existe un interés creciente tanto en el área académica como en el área comercial por incluir comportamiento afectivo en el desarrollo de las aplicaciones.

En la universidad de la Columbia Británica (*University of British Columbia*) se están desarrollando proyectos sobre interfaces adaptivas y ambientes de aprendizaje inteligentes, en donde se trata de integrar características como reacciones emocionales y rasgos de personalidad al modelado de los usuarios (UBC, 2004). Dentro de estos proyectos se desarrolló el modelo afectivo del estudiante (Conati y Maclaren, 2005; Zhou y Conati, 2003). Este modelo está siendo aplicado a juegos educativos y aunque tiene una aportación significativa, aún no satisface por completo las necesidades afectivas del estudiante, ya que aún no utiliza el estado afectivo del estudiante para seleccionar las acciones tutoriales que se le presentaran al estudiante. El presente trabajo está encaminado en esa dirección al añadir respuestas acordes al estado afectivo del estudiante en colaboración con la respuesta pedagógica del tutor.

Por el lado comercial, también ha sido resaltada la importancia de las emociones. Las grandes compañías internacionales se encuentran desarrollando tecnologías que respondan a los necesidades particulares de los usuarios. Por ejemplo, la compañía trasnacional *Phillips* está desarrollando tecnologías pensando en la casa del futuro (Bartneck, 2002a; Bartneck, 2002b) en donde una de las premisas principales es que el funcionamiento de los dispositivos domésticos estará en función de órdenes verbales del usuario a un sistema central que controlará la operación de todos los dispositivos. En el desarrollo de estos prototipos ya se están integrando las respuestas afectivas, principalmente enfocándose en mostrar personajes amigables.

Este mismo interés ha sido expresado por IBM, quien desarrolló el producto *Blue Eyes* (IBM, 2008), que a través de cámaras y micrófonos detecta las acciones del usuario y los usa como indicativos para establecer su estado emocional.

Desde el punto de vista académico tenemos una fuerte justificación, ya que la importancia de las emociones en el aprendizaje ha sido reconocida por diversos autores (Moreno, 2008; Graesser, Jackson y McDaniel 2007; Nkambou y Héritier, 2004; Johnson, Rickel y Lester, 2000; Picard, 2000; Reeves y Nass, 1996) y existen iniciativas para integrar el procesa-

miento de las emociones en los STI, pero aún no existe un modelo que considere el estado afectivo del estudiante para establecer las respuestas pedagógicas.

El presente trabajo enfoca ambos aspectos: el académico y el comercial. Por el lado ámbito académico se propone un modelo de comportamiento afectivo sustentado fuertemente en teorías aceptadas de emociones y de personalidad; y la construcción de dicho modelo está apoyada por estudios llevados a cabo con profesores así como con estudiantes. Por el ámbito comercial, el modelo que se propone puede fácilmente ser utilizado en proyectos de capacitación y educación; ya que la capacitación requiere de métodos cada vez más efectivos y rápidos para mantener a los usuarios interesados en el material, y para que el tiempo de capacitación sea más productivo. Al agregar el componente afectivo se espera obtener una capacitación más ágil y efectiva.

1.3. Hipótesis

El presente trabajo se basa en la hipótesis de que dar a los sistemas tutores inteligentes la capacidad de responder de acuerdo con el estado afectivo del estudiante, causa mayor aceptación y credibilidad hacia los sistemas tutores inteligentes por parte de los estudiantes, lo que finalmente deriva en una mayor disposición de los estudiantes hacia el aprendizaje.

1.4. Objetivos

El objetivo general de la presente propuesta de investigación es proponer un modelo de comportamiento afectivo para sistemas tutores inteligentes con el objeto de ampliar el canal de comunicación estudiante-tutor. Dicho modelo se compone de un modelo afectivo del estudiante y de un modelo de afectivo del tutor. El modelo afectivo del estudiante es una representación del estado emocional actual del estudiante y el modelo afectivo del tutor es una representación de cómo un tutor selecciona las acciones que le presentará al estudiante de acuerdo con su estado afectivo (además de su estado de conocimiento). El modelo afectivo del estudiante proporciona al modelo afectivo del tutor, conocimiento sobre el estado emocional del estudiante que el modelo afectivo del tutor utiliza para establecer las acciones afectiva y pedagógica adecuadas para situaciones particulares. En el contexto de esta propuesta, por comportamiento afectivo se entiende la habilidad de *reconocer el estado afectivo del estudiante*, así como la capacidad de *responder de acuerdo con dicho estado afectivo* del estudiante.

Para alcanzar el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Definir los mecanismos para establecer el estado afectivo del estudiante.
- Identificar cuáles son los estados afectivos relevantes para los STIs.
- Establecer las condiciones para las acciones afectivas del tutor.
- Establecer las acciones afectivas del tutor.

- Integrar el diagnóstico afectivo con el diagnóstico pedagógico.
- Integrar el modelo de comportamiento afectivo a un STI.
- Evaluar el desempeño del modelo una vez integrado a un STI.

El modelo que se propone convierte el estado afectivo del estudiante junto con el estado pedagógico del estudiante y la situación tutorial en conocimiento útil para el módulo tutor para establecer la siguiente acción, y esta acción resulta en una respuesta pedagógica y afectivamente adecuada. El conocimiento generado por el modelo propuesto también es útil para el módulo interfaz para llevar a cabo la realización física de la respuesta.

Los objetivos que se plantean en este trabajo de investigación están de acuerdo con los objetivos que persiguen los STI: mayor flexibilidad y adaptabilidad en la tutoría con respecto a las necesidades de los estudiantes (Self, 1999). A su vez, los principios de la computación afectiva (Picard, 2000) se encuentran avalados por los resultados de diversos estudios científicos (Damasio, 1996).

1.5. Aportaciones de la investigación

Aunque la importancia del estado afectivo de los usuarios ha sido reconocida en muchos trabajos de investigación, la computación afectiva es un área de investigación naciente en donde existen muchos retos, tales como los problemas que se presentan en un sistema educativo.

El modelo propuesto en este trabajo es una aportación para el área académica, ya que hasta el momento existen algunas iniciativas para incluir emociones en sistemas de educación pero aún no se ha establecido la relación del estado afectivo del estudiante con una respuesta afectiva y pedagógicamente adecuada por parte del tutor.

Entre los beneficios más importantes de esta propuesta es que no solamente es aplicable a sistemas tutores inteligentes sino que los resultados de esta investigación pueden aplicarse a otros desarrollos que necesiten el modelado del usuario. Por ejemplo, en el desarrollo de asistentes para búsquedas en el WWW, que personalicen las opciones de consulta a las necesidades, preferencias y estado afectivo del usuario.

Este trabajo también tiene aplicaciones en los sistemas de *e-learning*. En general, por sistemas de *e-learning* se entiende como cualquier tipo de contenido, material o conocimiento que se entrega por medios electrónicos (Rodríguez *et al*, 2006). En ciertas modalidades de sistemas de *e-learning*, los estudiantes interactúan solamente con el material de enseñanza, pudiera haber comunicación con los instructores o profesores y con otros estudiantes por medio de correo electrónico, charlas virtuales, etc. Este escenario de educación puede causar ciertos estados afectivos en el estudiante, que pueden usarse para hacer más efectivo el aprendizaje. Por ejemplo, en algunos estudiantes esta nueva forma de educación puede causar excitación, mientras que a otros estudiantes podría causarles temor; en ambos casos el estado de afectivo puede llevar a los estudiantes a desviarse del objetivo.

Por lo tanto, el estado afectivo debería considerarse en el diseño de *e-learning*, y así estos estados afectivos no serían tratados de la misma manera. Por otro lado, aunque los sistemas de *e-learning* tienen varios años de uso, es aún un método de educación y capacitación en vías de penetración por lo que el procesamiento afectivo puede ayudar a enganchar a los estudiantes y motivarlos a continuar con la capacitación, ayudando a la aceptación de dichos sistemas.

La aplicación de este trabajo se busca en el área de capacitación, en donde uno de los problemas principales es la falta de interés por parte de los estudiantes, por encontrar el material pedagógico tedioso y de difícil manejo, lo que deriva en poco aprovechamiento en la capacitación o en el abandono de la misma. El uso de los STI con capacidades afectivas en capacitación soluciona este problema, entre otros, al presentar al usuario un escenario similar al escenario objeto de la capacitación (llámese subestación, central eléctrica, laboratorio, etc.) con un personaje inmerso que además de enseñar al estudiante la materia, lo hace de manera personal mostrando reacciones afectivas a las acciones y emociones de los estudiantes. Al tener un modelo que represente el estado afectivo del personal, se pueden entregar acciones pedagógicas acordes con ese estado, que le permitan al usuario ir mejorando su estado afectivo, lo que finalmente deriva en un mayor aprovechamiento.

Las contribuciones más importantes de este trabajo de investigación son:

1. Una arquitectura general de *sistema tutor inteligente afectivo*.
2. Una estructura de *acción afectiva* que es parte de la acción tutorial, la acción tutorial se compone de una acción afectiva y una acción pedagógica.
3. Un *modelo de comportamiento afectivo* genérico que puede integrarse a cualquier sistema tutor inteligente (el modelo de comportamiento afectivo está compuesto por el modelo afectivo del estudiante y por el modelo afectivo del tutor).
4. Un *modelo afectivo del estudiante*, que puede utilizarse en otros programas que usen modelado del usuario (además de programas de educación y capacitación).
5. Un *modelo afectivo del tutor* que establece las acciones que se presentarán al estudiante con base en el estado afectivo del estudiante, además del estado de conocimiento del mismo. Este modelo está construido con base en estudios llevados a cabo con profesores expertos.
6. Una *metodología* para generar *conocimiento afectivo* con base en la experiencia de profesores, este conocimiento además de usarse para el diseño del modelo afectivo del tutor puede usarse para diseñar otros estudios y obtener conocimiento más profundo sobre cómo los profesores ayudan a los estudiantes a aprender considerando el estado afectivo de los estudiantes.

1.6. Panorama de la tesis

La aportación principal de este trabajo es el desarrollo de un modelo de comportamiento afectivo para sistemas tutores inteligentes que se compone de un modelo afectivo del estudiante y de un modelo afectivo del tutor. El objetivo del modelo de comportamiento

afectivo es aumentar la credibilidad de los sistemas tutores inteligentes para lograr una mayor aceptación del STI y de esta manera aumentar el aprendizaje de los estudiantes.

El STI con el que se integra el modelo propuesto proporciona como entrada al mismo modelo, el conocimiento para establecer el estado afectivo del estudiante (por ejemplo, feliz, triste, etc.), el estado pedagógico del estudiante (conocimientos actuales) y la situación tutorial (errores, número de aciertos, tiempo empleado, etc.), lo que, dado el modelo de comportamiento afectivo que se propone, se traduce en conocimiento útil para los módulos tutor e interfaz para generar la siguiente acción del STI hacia el estudiante. El modelo de comportamiento afectivo se compone del modelo afectivo del estudiante y del modelo afectivo del tutor. En la figura 1.1 se muestra un diagrama de bloques del modelo de comportamiento afectivo en un nivel abstracto.

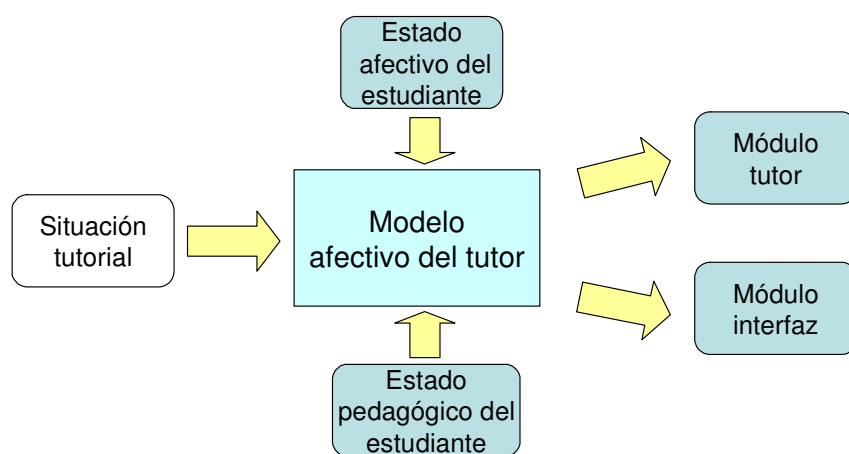


Figura 1.1. Diagrama de bloques del modelo de comportamiento afectivo. El modelo afectivo del tutor recibe el estado afectivo del estudiante, el estado actual de conocimiento, y la situación actual en el proceso de tutoría, con este conocimiento el modelo genera conocimiento útil para el módulo tutor y para el módulo interfaz para determinar la siguiente acción que se le presentará al estudiante.

La respuesta del tutor tiene tres componentes: la acción pedagógica (pregunta, ejemplo, sugerencia, etc.), el componente emocional (estado afectivo del estudiante) y la realización física (el mensaje, lo que el estudiante va a ver y lo que el estudiante va a escuchar). La respuesta del tutor es establecida por el módulo tutor del STI, quien tomará en cuenta el conocimiento proporcionado por el modelo afectivo del tutor así como el conocimiento del modelo pedagógico para establecer dicha respuesta.

En el diseño y construcción del modelo de comportamiento afectivo se utilizaron redes bayesianas y redes de decisión. El modelo afectivo del estudiante está representado mediante una red bayesiana y el modelo afectivo del tutor está representado mediante una red de decisión. Las relaciones entre las diferentes variables que intervienen en el modelo se establecieron mediante estudios llevados a cabo con maestros y estudiantes, así como con base en la literatura en pedagogía y psicología.

El modelo de comportamiento afectivo para STIs que se propone en este trabajo busca proporcionar al estudiante una respuesta adecuada tanto afectiva como pedagógicamente. El modelo toma en cuenta el modelo afectivo del estudiante, el modelo pedagógico del estudiante y la situación tutorial para establecer las acciones afectivas y pedagógicas. Para modelar afectivamente al estudiante, se propone un modelo afectivo del estudiante basado en el modelo cognitivo de emociones OCC (Ortony, Clore y Collins, 1988). El modelo OCC es ampliamente aceptado en la comunidad de inteligencia artificial para modelar y sintetizar emociones tanto en usuarios humanos como en agentes computacionales. El segundo componente del modelo de comportamiento afectivo, el modelo afectivo del tutor, es el que establece las acciones afectivas y pedagógicas que se presentarán al estudiante. Este modelo está diseñado con base de la experiencia de un grupo de profesores. Para diseñar el modelo afectivo del tutor, se llevaron a cabo dos estudios para solicitar a los profesores que establecieran que acciones llevarían a cabo de acuerdo con el estado afectivo y pedagógico de los estudiantes. En los estudios participaron 20 profesores. Es importante mencionar, que la contribución más importante de este trabajo es el modelo afectivo del tutor, ya que actualmente podemos encontrar trabajos que infieren o detectan las emociones de los estudiantes (Abbasi et al, 2007; Nkambou y Héritier, 2004), sin embargo aún no se encuentran tutores inteligentes que establezcan las acciones tutoriales con base en el estado afectivo, como se propone en este documento.

Con el fin de evaluar el modelo de comportamiento afectivo que se propone, se utilizaron dos dominios de prueba: 1) un ambiente de aprendizaje mediante juegos educativos con un sistema tutor integrado, y 2) un ambiente de aprendizaje basado en laboratorios virtuales y sistemas tutores inteligentes. El dominio de aplicación del juego educativo es factorización de números, mientras que el dominio de aplicación del laboratorio virtual es robótica móvil.

En el juego educativo, los estudiantes tienen que escalar una montaña de hexágonos donde cada hexágono tiene un número. En la figura 1.2 se muestra la interfaz de *Prime Climb*. En el juego participan dos jugadores, cuyo objetivo es trabajar juntos para llegar a la cima de la montaña, y así pasar al siguiente nivel. La regla del juego es saltar a un número (hexágono) que no comparta un factor con el número del compañero. El tutor interviene cuando el estudiante selecciona un número que tiene un factor común con el número del compañero de juego. Al integrar el modelo de comportamiento afectivo, la respuesta del tutor está basada tanto en el modelo pedagógico como en el modelo afectivo del estudiante.

Por el lado del sistema tutor inteligente de robótica móvil, los estudiantes trabajan desarrollando experimentos. En la figura 1.3 se muestra la interfaz del desarrollo del experimento sobre seguimiento de la pista. Durante el desarrollo de los experimentos, el STI observa el desempeño de los estudiantes, y al finalizar el experimento o cuando detecta que es necesario dar al estudiante alguna explicación o retroalimentación, interviene por medio de lecciones sobre los temas indicados. A estas respuestas (intervenciones) se les integró un componente afectivo con el objeto de que la respuesta sea adecuada tanto pedagógica como afectivamente.

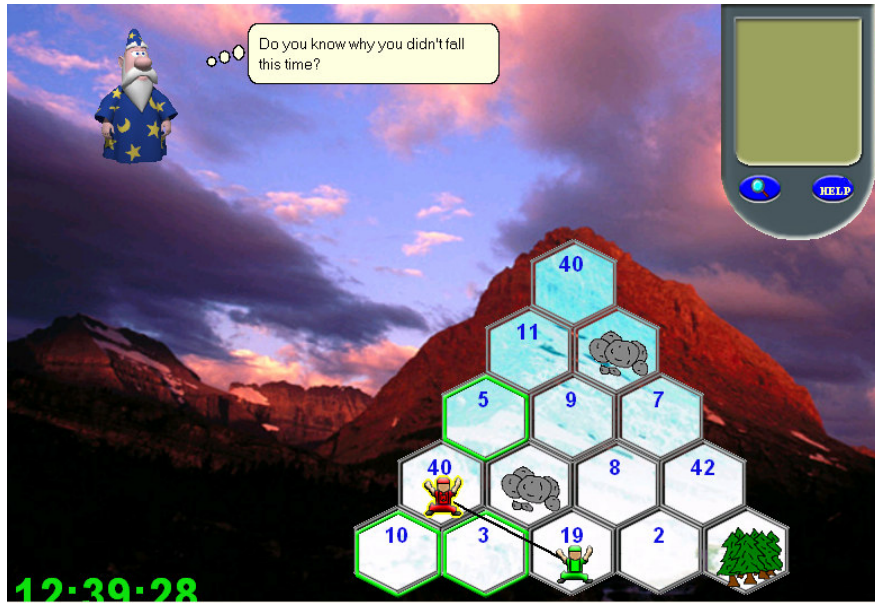


Figura 1.2. Interfaz de *Prime Climb*. El juego consiste en escalar una montaña de hexágonos marcados con números. La ayuda puede darse a petición del estudiante por medio del dispositivo PDA, o cuando el tutor tiene evidencia de que el estudiante necesita ayuda; en ambos casos la ayuda se entrega a través de un agente animado.

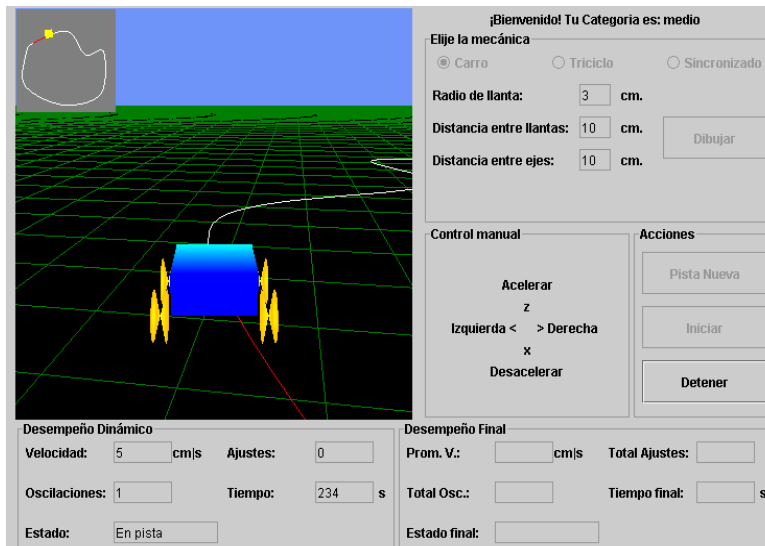


Figura 1.3. Interfaz del STI de robótica móvil. Se presenta un experimento de seguimiento de pista. La primera parte del experimento consiste en establecer la configuración del robot, después el estudiante guía al robot por la pista, por medio de la velocidad y vueltas a la izquierda y a la derecha. El sistema muestra en todo momento el desempeño del estudiante, así como el desempeño final.

En el juego educativo, el proceso de evaluación se llevó a cabo mediante dos grupos de estudiantes, un primer grupo que interactuó con el STI sin la parte afectiva, y un segundo grupo que interactuó con el STI con el componente afectivo. Se aplicaron exámenes previos

y posteriores a la interacción con el juego y se compararon las ganancias en el aprendizaje de ambos grupos. Los resultados muestran que el modelo de comportamiento afectivo mejoró el proceso de aprendizaje de estudiantes cuya edad y conocimiento son adecuados para el juego educativo.

En el caso del STI de robótica móvil, se llevó a cabo una simulación de tipo Mago de Oz (Dow y MacIntyre, 2007). En este estudio se presentó a los estudiantes un escenario simulado en donde los estudiantes interactuaron con el sistema tutor inteligente con el modelo de comportamiento afectivo integrado. Durante la simulación, el modelo de comportamiento afectivo infirió el estado afectivo del estudiante y estableció las acciones tutoriales. El proceso de evaluación se dividió en la evaluación del modelo afectivo del estudiante y la evaluación del modelo afectivo del tutor. En la primera parte de la evaluación se les preguntó a los estudiantes su estado de afectivo y se comparó con el estado afectivo establecido por el modelo. En la segunda parte de la evaluación se solicitó a los estudiantes que calificaran la utilidad de las acciones afectivas y pedagógicas en su estado afectivo y pedagógico. En la primera evaluación se obtuvo que el modelo afectivo estableciera el estado afectivo del estudiante de manera correcta en un 70%. En la segunda evaluación, el 90% de los estudiantes reportó un mejor estado pedagógico después de recibir las acciones tutoriales, mientras que el 65% de los estudiantes reportó un mejor estado afectivo después de recibir las acciones tutoriales.

La figura 1.4 muestra una representación de alto nivel del desarrollo de este trabajo. Se muestra una etapa de trabajo previo que representa el STI en donde se integra el modelo de comportamiento afectivo; el modelo es genérico por lo que se puede integrar a cualquier STI. En este documento se presenta la integración del modelo en dos sistemas tutores. Sobre estos dos tutores se construyó y se evaluó el modelo. En la primera columna de la izquierda tenemos las dos grandes etapas: la construcción del modelo y la evaluación del mismo.

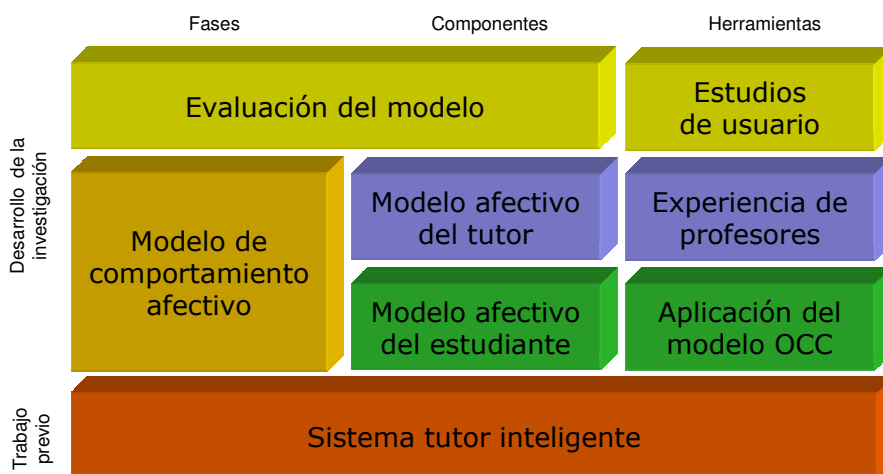


Figura 1.4. Diagrama del desarrollo de la investigación. Se describe la manera en que se construye el modelo a partir del modelo OCC y usando como dominio de prueba un STI.

En la segunda columna tenemos la construcción de los componentes del modelo de comportamiento afectivo. El primer paso natural es determinar las emociones del estudiante considerando su interacción con el STI; de esta manera, el STI se extiende para incluir un modelo afectivo del estudiante que represente el estado emocional del estudiante. Una vez que se tiene el estado emocional del estudiante, es necesario establecer qué acciones llevar a cabo de acuerdo con dicho estado. Así, el modelo de comportamiento afectivo se compone del modelo afectivo del estudiante y el modelo afectivo del tutor. El primero está basado en el modelo cognitivo de emociones OCC, mientras que el segundo está basado en la experiencia de un grupo de profesores. El modelo OCC se utiliza para establecer el estado emocional del estudiante; sin embargo, no establece que hacer con ese estado afectivo. La siguiente etapa del trabajo consistió en hacer un *mapping* de los estados afectivos del estudiante hacia acciones del tutor. Para llevar a cabo esta etapa se decidió utilizar las estrategias que los profesores humanos usan para ayudar a aprender a los estudiantes. El conocimiento obtenido de los profesores se usó para construir el modelo afectivo del tutor, este conocimiento es una función de los estados emocionales propuestos por el modelo OCC hacia acciones del tutor.

En la tercera columna (de izquierda a derecha) tenemos los instrumentos utilizados en cada etapa. Como podemos observar, el modelo se construye sobre un STI ya existente, con sus propios modelos. Sobre este tutor se acopla el modelo OCC para establecer el estado afectivo del estudiante; y sobre el modelo OCC se superpone la experiencia de los profesores para establecer las acciones adecuadas dada la información generada por el modelo OCC. Una vez construido el modelo se lleva a cabo la evaluación del mismo mediante estudios de usuario.

1.7. Estructura del documento

En el capítulo 2 se presenta un análisis de los sistemas tutores inteligentes. En el capítulo 3 se presentan una breve descripción de los modelos probabilísticos utilizados en este trabajo de investigación. En el capítulo 4 se presenta un panorama de la computación afectiva. En el capítulo 5 se presenta el modelo afectivo del estudiante desarrollado en este trabajo. En el capítulo 6 se presenta el modelo afectivo del tutor que se propone con esta investigación. En el capítulo 7 se presentan los estudios llevados a cabo para establecer el modelo afectivo del tutor para el juego educativo. En el capítulo 8 se describe la evaluación del modelo en el dominio del juego educativo. En el capítulo 9 se describe la evaluación del modelo en el dominio del laboratorio virtual. En el capítulo 10 se presentan las conclusiones derivadas de esta investigación y se proponen algunos temas para continuar con esta línea de investigación. En los anexos A y B se encuentran los cuestionarios y exámenes utilizados en los estudios conducidos; en el anexo C se presentan las respuestas de los profesores en el estudio para el juego educativo (complemento del capítulo 7); en el anexo D se describe el estudio conducido con profesores para el laboratorio virtual. Por último, en el anexo E se presentan las publicaciones derivadas de esta investigación.

Capítulo 2

Sistemas tutores inteligentes

*“Si dos corren en un círculo ¿Quién persigue a quién?”
(Vania Casbis, conversación personal, mayo, 2006).*

Los sistemas tutores inteligentes representan una de las empresas exitosas de inteligencia artificial, ya que durante las últimas cuatro décadas han sido desarrollados diversos tutores inteligentes, que dentro de sus dominios acotados han demostrado ser muy útiles en ayudar a los estudiantes a mejorar su proceso de aprendizaje. Los resultados que se han obtenido al utilizar un sistema tutor inteligente han logrado igualar y superar los resultados de tomar las clases en salón de clases o con tutores humanos principiantes, pero aún no han logrado igualar ni superar los resultados de un tutor con experiencia.

En este capítulo se presenta la arquitectura básica de los sistemas tutores inteligentes, y como están interrelacionados cada uno de sus componentes. Se presentan algunos de los sistemas tutores que representan el estado del arte, y que permiten ilustrar los componentes e interacción estudiante-tutor en un sistema tutor inteligente. Finalmente, se presenta una de las tendencias más fuertes en el diseño de STIs: los agentes pedagógicos animados.

2.1. Arquitectura de los sistemas tutores inteligentes

Un sistema tutor inteligente (STI) es un sistema educativo basado en computadora que proporciona a los estudiantes (usuarios) instrucción individualizada semejante a la que proporcionan los tutores humanos. Los STIs ofrecen flexibilidad en la presentación del material y una gran habilidad para responder a las necesidades de los estudiantes. La *inteligencia* de estos sistemas radica en el conocimiento que tienen sobre la materia, sobre cómo enseñar y sobre el estudiante. Este último conocimiento le permite al STI que cada una de sus acciones refleje las necesidades del estudiante (Beck, Stern y Haugsjaa, 1996).

Los sistemas tutores inteligentes podrían parecer sistemas monolíticos, pero para propósitos de discernimiento y diseño es más fácil concebirlos como un conjunto de varios componentes interdependientes que interactúan entre sí. Hasta el momento, en la investigación en STI se han identificado cuatro componentes principales: el modelo del estudiante, el módulo tutor, el módulo experto y el módulo interfaz. En la figura 2.1 se muestra la arquitectura básica de un STI.

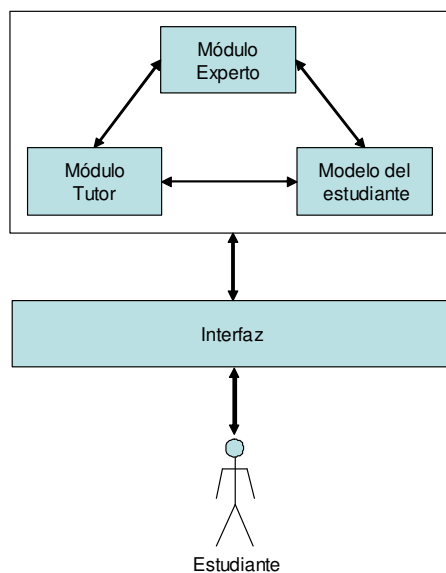


Figura 2.1. Arquitectura básica de un STI (Burns y Capps, 1988). Se identifican cuatro módulos principales en un STI: (1) el módulo experto es el encargado de almacenar el conocimiento de la materia que se está enseñando al estudiante; (2) el módulo tutor es quien se encarga de establecer el material pedagógico que se mostrará al estudiante; (3) el modelo del estudiante tiene un registro de los conocimientos del estudiante y por lo tanto de sus necesidades particulares; y (4) el módulo interfaz es quien decide la manera física más efectiva de mostrar el material al estudiante.

El modelo del estudiante es una estructura que almacena información particular de cada estudiante que interactúa con el STI. El modelo del estudiante debe contener como mínimo el desempeño del estudiante sobre el material que se le está enseñando. También podría llevar un registro de los conceptos erróneos que tiene el estudiante. El propósito del modelo

del estudiante es abastecer de datos al módulo tutor, por lo que toda la información contenida en el modelo del estudiante debe ser útil para dicho módulo (Beck, Stern y Haugsjaa, 1996).

El módulo tutor proporciona al STI un modelo del proceso de enseñanza. Este modelo contiene información acerca de cuándo hacer un repaso, cuándo presentar un nuevo tema y qué tema presentar. El modelo del estudiante se usa como entrada del módulo tutor por lo que las decisiones pedagógicas del módulo tutor reflejarán las diferentes necesidades de cada estudiante.

El módulo experto contiene la información que el tutor está enseñando al estudiante. Generalmente, para representar el conocimiento del dominio se requiere llevar a cabo un esfuerzo considerable en ingeniería del conocimiento, de tal manera que todas las partes del tutor puedan acceder a dicho conocimiento. Un problema de investigación relacionado es como representar el conocimiento para que sea fácil escalar a dominios más grandes. Otra pregunta de investigación es como representar conceptos y modelos mentales en el conocimiento del dominio además de hechos y procedimientos. El modelo del experto además de contener el material que se le está enseñando al estudiante, contiene un modelo de cómo alguien con habilidades en ese dominio en particular representa el conocimiento. Comúnmente este modelo se implementa mediante un sistema experto que es capaz de resolver problemas en el dominio. Al usar un sistema experto, el tutor puede comparar la solución del estudiante con la solución del experto.

El módulo interfaz controla las interacciones del STI con el estudiante, esto es controla los diálogos y el diseño de las pantallas que se presentan al estudiante. El objetivo de este módulo es establecer la manera más efectiva de presentar el material al estudiante. Este módulo es el componente de los STI que menos ha sido investigado.

Es importante destacar que aunque otras arquitecturas de STI mencionan algunos otros módulos, la mayoría de las funciones de dichos módulos están contenidas en los módulos de la arquitectura de la figura 2.1. Por ejemplo, en (Woolf *et al*, 2001) se habla de las habilidades que deben tener los STI: 1) generativa, generar instrucción adecuada para cada estudiante; 2) modelado del estudiante, evaluar el estado actual del conocimiento del estudiante; 3) modelado del experto; modelar el desempeño de un experto en el dominio; 4) modelado instruccional, cambiar las estrategias pedagógicas con base en el estado dinámico del estudiante; 5) Iniciativa combinada, permitir que los diálogos tutoriales puedan iniciarse en el estudiante o en el tutor; y 6) automejoramiento, evaluar y mejorar su propio desempeño en función de la experiencia. Las habilidades 1, 4 y 6 están contenidas en el módulo pedagógico, la habilidad 5 está contenida dentro del módulo interfaz (también llamado módulo de comunicaciones (Beck, Stern y Haugsjaa, 1996)), mientras que las habilidades 2 y 3 corresponden al modelo del estudiante y al módulo del experto en la arquitectura de la figura 2.1 respectivamente.

En (Corbett, Koedinger y Anderson, 1997) se presenta una arquitectura conceptualmente equivalente a la arquitectura de la figura 2.1. Esta arquitectura se compone de los módulos: ambiente de resolución de problemas, conocimiento del dominio, modelo del estudiante y módulo pedagógico.

Una arquitectura de STI trazada por las clases de conocimiento que debe tener un STI se presenta en (Ong y Ramachandran, 2000), estos autores consideran que un STI debe tener conocimiento sobre lo que se está enseñando (modelo del experto), debe conocer a quién le está enseñando (modelo del estudiante) y debe tener conocimiento sobre como enseñar (modelo del instructor).

En la siguiente sección se describe con más detalle el modelo del estudiante, para después presentar el módulo tutor y como éste se basa en el modelo del estudiante para decidir que acciones pedagógicas llevará a cabo.

2.2. Modelo del estudiante

El modelo del estudiante es uno de los componentes más importantes del STI, ya que contiene conocimiento específico acerca de cada estudiante y representa las creencias del sistema acerca del estado de conocimiento actual del estudiante. Esta estructura debe contener como mínimo el conocimiento que tiene el estudiante acerca de la materia, pero también podría contener el registro del desempeño del estudiante, el registro de los conceptos equivocados que tiene el estudiante, su historial académico, entre otros datos.

El modelo del estudiante es necesario para generar instrucción adecuada para las necesidades de aprendizaje de cada estudiante. Sin esta estructura el módulo tutor del STI no podría tomar decisiones y trataría a todos los estudiantes de la misma manera.

A continuación se describe el modelo del estudiante y algunos ejemplos de modelos del estudiante propuestos hasta el momento. Nuestra propuesta para el modelo afectivo del estudiante se describe en el capítulo 5.

2.2.1. Representación del estudiante

El propósito del modelo del estudiante es proporcionar datos al módulo tutor que sirvan para adaptar la instrucción a cada estudiante particular, por lo que toda la información registrada en esta estructura debe ser útil para este módulo. Existen varias maneras de representar el estado de conocimiento del estudiante, la más popular es el modelo sobrepuesto (*overlay*). En el modelo sobrepuesto del estudiante, el conocimiento del estudiante es un subconjunto del conocimiento total de la materia (conocimiento almacenado en el módulo experto, ver figura 2.1). En la figura 2.2 se muestra una esquematización del modelo del estudiante tipo sobrepuesto. El modelo sobrepuesto tiene el problema de que solamente representa el conocimiento correcto que tiene el estudiante acerca de la materia, y no representa los conceptos erróneos que pudiera tener. Para remediar esta situación se han propuesto extensiones al modelo sobrepuesto que abarcan los conceptos erróneos del estudiante (Beck, Stern, y Haugsjaa, 1996).

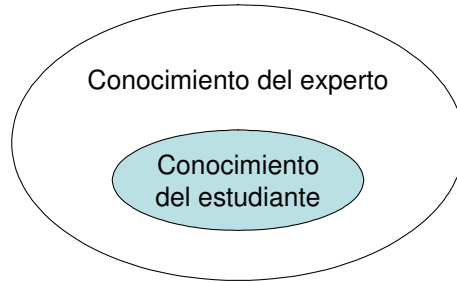


Figura 2.2. Modelo del estudiante tipo sobrepuesto (*overlay*). El conocimiento que actualmente tiene el estudiante sobre la materia se representa como un subconjunto del conocimiento total de la misma.

Se han propuesto muchas herramientas para representar el modelo del estudiante entre las que destacan los grafos Y/O (Vassileva, 1998), las redes semánticas (Carbonell, 1970; Polson y Richardson, 1988), los sistemas expertos (Clancey, 1984), y las redes bayesianas (VanLehn y Niu, 2001; Conati y Zhao, 2004) entre otras. La estructura del modelo del estudiante se genera mediante los mecanismos propios de cada una de las herramientas utilizadas para representarlo. Por ejemplo, en las redes bayesianas se usan los mecanismos de propagación de evidencia.

En los últimos tiempos, una de las herramientas más utilizadas para representar el modelo del estudiante han sido las redes bayesianas (VanLehn y Niu, 2001; Conati y Zhao, 2004). Las redes bayesianas tienen la ventaja de que proporcionan un mecanismo robusto para manejar el alto grado de incertidumbre existente en el proceso de establecer el estado actual de un estudiante (Conati y Maclaren, 2005), además que permiten utilizar cualquier evidencia disponible para establecer el estado de conocimiento del estudiante. En la figura 2.3 presentamos un modelo del estudiante representado por medio de redes bayesianas.

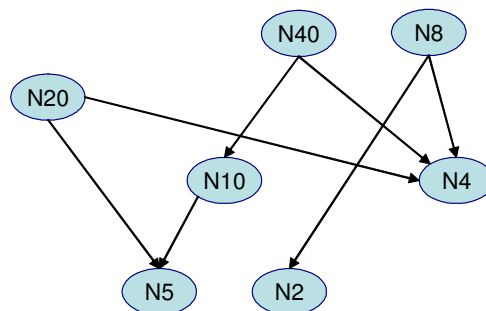


Figura 2.3. Red bayesiana representando un modelo del estudiante (Manske y Conati, 2005). Esta red bayesiana representa el conocimiento que tiene el estudiante sobre las relaciones de factorización entre un grupo de números. Las relaciones entre los nodos representan que el nodo hijo es un factor del nodo padre.

Esta red bayesiana se usa para representar el conocimiento que tiene un estudiante sobre factorización de números. En la estructura de la red se representan las relaciones de factorización entre un grupo arbitrario de números. Cada nodo representa un número y los arcos entre los nodos representan que el hijo es un factor del padre. Cada nodo tiene dos posibles valores, *sabe* y *no sabe*, que representan el conocimiento que tiene el estudiante sobre la descomposición en factores del número representado por el nodo. En las redes bayesianas, los valores de los nodos se manejan como probabilidades, es decir, no se conoce con certeza si el estudiante sabe o no sabe la factorización del número, sino que se conoce la probabilidad de que el estudiante sepa la factorización del número.

La red bayesiana de la figura 2.3 se usa para representar el conocimiento sobre factorización de números en un juego educativo (Manske y Conati, 2005) (ver capítulo 8). En este juego participan dos jugadores, donde cada jugador tiene un número, y la regla del juego es seleccionar un número que no tenga un factor común con el número del compañero. Cuando el estudiante lleva a cabo un movimiento se agrega un nuevo nodo a la red que se conecta con los nodos que representan los números de los jugadores, este nuevo nodo lleva la evidencia del movimiento (correcto o incorrecto) y ésta se propaga hacia los nodos de los números de los jugadores, de esta manera se aumenta o disminuye la probabilidad de que el estudiante conozca la factorización de dichos números (Manske y Conati, 2005). Una vez que la evidencia se propaga, se elimina de la red el nodo *movimiento*. Este proceso se ilustra en la figura 2.4.

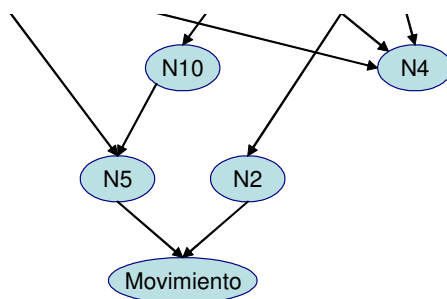


Figura 2.4. Red bayesiana representando un modelo del estudiante (Manske y Conati, 2005). Esta red bayesiana es un fragmento de la red bayesiana de la figura 2.3 en el momento que el estudiante lleva a cabo un movimiento. Se agrega el nodo *movimiento* con la evidencia acerca de si es correcto o incorrecto, esta evidencia se propaga hacia los nodos de los números para aumentar o disminuir la probabilidad de que el estudiante conozca la factorización del número.

En la siguiente sección se describe la manera en que el módulo tutor utiliza el conocimiento almacenado en el modelo del estudiante.

2.3. Módulo tutor

El módulo tutor, también llamado por algunos autores módulo pedagógico, utiliza información del modelo del estudiante para determinar qué elementos del conocimiento del

dominio deben presentarse al estudiante; lo que podría ser, nuevo material, un repaso de los temas anteriores o retroalimentación sobre el tema o ejercicio actual. Un punto importante es seleccionar la meta-estrategia de enseñanza; por ejemplo, el sistema podría decidir usar el método Socrático (Kemerling, 2001), o podría seleccionar un tema y presentar un ejemplo dentro de ese tema. Una vez que se selecciona la meta estrategia, se seleccionan los aspectos de bajo nivel, tal como el ejemplo exacto. El STI debe decidir el contenido del material que se presentará al estudiante, esta decisión incluye tema, problema y retroalimentación.

Para seleccionar el tema que presentará al estudiante, el tutor debe examinar el modelo del estudiante con el objeto de determinar los temas que el estudiante necesita aprender. Existen muchas posibilidades para el tema en el que debería trabajar un estudiante. Por ejemplo, si la meta estrategia indica que el repaso debe ser en orden, entonces el tutor seleccionará un tema que el estudiante ya haya aprendido. Por otro lado, si la meta estrategia decide seleccionar un nuevo tema, entonces el tutor seleccionará un tema que el estudiante no haya aprendido aún.

Una vez que se ha seleccionado el tema, se debe generar un problema para que el estudiante lo resuelva, la granularidad del problema lo determina el dominio. Por ejemplo en SHERLOCK (Lajoie y Lesgold, 1992), se le solicitará al estudiante que diagnostique la falla de la estación que se usa para reparar un F15; mientras que en MFD (Stern, Beck, y Wolf, 1996), se le presentará al estudiante un problema de matemáticas, tal como sumar dos fracciones. Cualquiera que sea la granularidad del problema que se presente, es importante que la dificultad sea apropiada para el conocimiento y habilidades del estudiante, que será determinada mediante el modelo del estudiante (Beck, Stern y Haugsjaa, 1996).

Cuando el estudiante tiene dificultades y necesita ayuda del tutor surgen algunos problemas, ya que el tutor debe determinar que clase de retroalimentación dar al estudiante. Decidir que tanta ayuda proporcionar al estudiante es un aspecto muy complejo, ya que poca retroalimentación puede llevar a la frustración y mucha ayuda puede interferir en el aprendizaje.

Una vez que el sistema decide cuanta ayuda/retroalimentación dar al estudiante, debe determinar el contenido de la ayuda. La retroalimentación debe contener suficiente información de tal manera que el estudiante pueda llevar a cabo el siguiente paso en la solución del problema y debe ser apropiada para su nivel de conocimiento y habilidades. Algunos sistemas usan el modelo del estudiante para seleccionar un *hint* que sea lo más cercano posible al nivel de conocimiento y habilidades del estudiante. Por ejemplo, en MFD (Stern, Beck, y Wolf, 1996), entre más conocimiento y habilidad tenga el estudiante, más sutil será el *hint*; por otro lado, si el estudiante tiene poco conocimiento y habilidad, se le presenta un *hint* más específico (Beck, Stern y Haugsjaa, 1996).

La investigación sobre como seleccionar la estrategia de alto nivel en STIs no ha recibido tanta atención como las decisiones de bajo nivel. Sin embargo, la investigación en educación ha identificado muchas estrategias de enseñanza potenciales (Beck, Stern y Haugsjaa, 1996), tales como enseñanza espiral (Bruner, 1992) y el método socrático

(Kemerling, 2001). Sin embargo la mayoría de los STIs no identifican explícitamente las estrategias que usan para enseñar e implícitamente implementan una de las estrategias más populares (Beck, Stern y Haugsjaa, 1996). Un método más adecuado sería usar el modelo del estudiante para seleccionar una estrategia apropiada; ya que, idealmente, el modelo del estudiante podría llevar un registro de cuáles estrategias instruccionales son las más efectivas para cada estudiante. Sin embargo, la mayoría de los sistemas no tienen varias estrategias de enseñanza, y el modelo del estudiante no se diseña para almacenar tal información.

Otra dificultad para representar diversas estrategias de enseñanza son las limitaciones impuestas por otros componentes de los STIs, además de lo ya mencionado para el modelo del estudiante. Particularmente, la dificultad de representar el conocimiento impide la habilidad de representar las estrategias de enseñanza. Por ejemplo, el método Socrático requiere de mucho conocimiento del “sentido común”, conocimiento que va más allá de lo almacenado en una base de conocimiento del dominio. Este problema no es exclusivo de los STIs, sino que lo comparte con otras áreas de inteligencia artificial (Beck, Stern y Haugsjaa, 1996).

2.4. Ejemplos de sistemas tutores inteligentes

Dentro de la inteligencia artificial una de las áreas de mayor investigación y de mayor éxito son los sistemas tutores inteligentes. Se han desarrollado diversos STIs que han resultado exitosos en dominios bien delimitados tales como álgebra, geometría y física, por mencionar algunos. En esta sección se presentan *Andes*, *Atlas* y *AutoTutor*. Estos STIs representan el estado del arte de dicha área, la descripción de los sistemas se enfoca principalmente en la comunicación estudiante-tutor.

2.4.1. Andes

El sistema *Andes* (Gertner y VanLehn, 2000; VanLehn y Niu, 2001) es un STI de física que ayuda a estudiantes de preparatoria y de nivel profesional a realizar sus tareas. En *Andes*, los estudiantes dibujan vectores, definen variables e ingresan ecuaciones en los lugares establecidos en el sistema. En la figura 2.5 se muestra la interfaz de *Andes*.

El problema que el estudiante está resolviendo se muestra en la ventana superior izquierda. Los estudiantes dibujan los vectores debajo del problema, definen variables en la ventana superior derecha e ingresan ecuaciones en la ventana inferior derecha. Los mensajes de *Andes* se muestran en la ventana inferior izquierda. Los principios fundamentales del diseño de *Andes* son: 1) motivar al estudiante a construir nuevo conocimiento por medio de sugerencias que permitan al estudiante desarrollar la mayor parte de la solución, 2) facilitar el uso del sistema haciendo la interfaz lo más parecido posible a una hoja de papel, 3) dar retroalimentación inmediata después de cada acción para maximizar las oportunidades de

aprendizaje y evitar la pérdida de tiempo en caminos equivocados, y 4) dar al estudiante flexibilidad en la manera en que se ejecutan las acciones (Gertner y VanLehn, 2000).

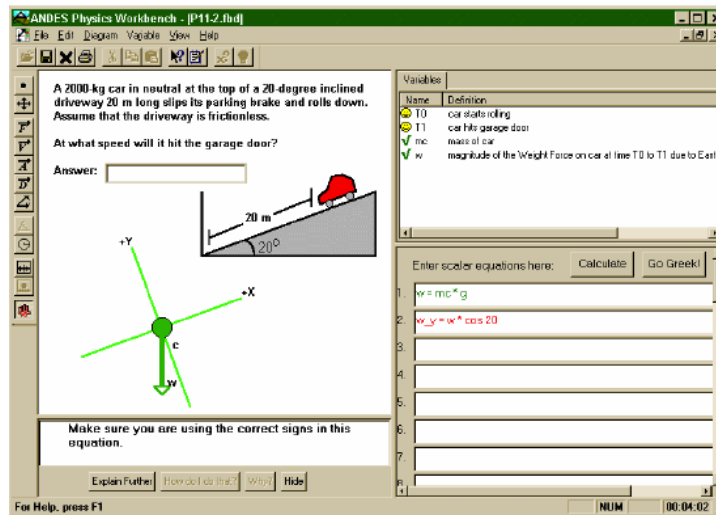


Figura 2.5. Interfaz de *Andes* (VanLehn y Niu, 2001). En la ventana principal se encuentra el enunciado del problema. En esa misma ventana el estudiante puede dibujar vectores. En otras ventanas el estudiante puede definir variables y ecuaciones. Para toda entrada del estudiante *Andes* proporciona retroalimentación que establece si la entrada es correcta (verde) o incorrecta (rojo) (Imagen usada con permiso de Paul Brna, editor actual de IJAIED).

Cuando los estudiantes realizan una interacción, *Andes* les proporciona un tipo de retroalimentación inmediata llamada *flan*; este tipo de retroalimentación cambia el color de las expresiones con base en la exactitud de las mismas. Además de esta retroalimentación inmediata, el estudiante puede preguntar a *Andes* qué hacer o preguntar por qué una determinada entrada es incorrecta. Las preguntas se hacen por medio de botones y *Andes* contesta por medio de un mensaje escrito en inglés.

Andes es un sistema tutor inteligente maduro que ha sido utilizado para ayudar a los estudiantes a hacer la tarea de materias de física por varios años. Este tutor ha sido utilizado para explorar diversos temas de investigación; un panorama de su investigación y desarrollo se encuentra en (VanLehn *et al*, 2005a). Por otro lado, también se han realizado diversas evaluaciones que demuestran que los estudiantes que han usado *Andes* han aprendido más que aquellos estudiantes que no lo han utilizado. Un compendio de las evaluaciones realizadas se presenta en (VanLehn *et al*, 2005b)

2.4.2. Atlas

Con el objetivo de hacer más efectivos los STIs y con la hipótesis de que el uso de lenguaje natural puede ayudar a mejorar la efectividad de los STIs, el grupo de investigación de *Andes* ha desarrollado un módulo de lenguaje natural que se agregó a *Andes*, y que puede

agregarse a cualquier otro STI similar, para que el estudiante y el tutor puedan llevar un diálogo en lenguaje natural. El objetivo principal del proyecto *Atlas* (VanLehn *et al*, 2007; VanLehn *et al*, 2002) es desarrollar software complementario para ser añadido a un STI de segunda generación, como *Andes*, de manera que se obtenga un STI de tercera generación que podrá sostener diálogos en lenguaje natural con los estudiantes con el objeto de construir conocimiento (VanLehn *et al*, 2007).

El papel de *Atlas* en el proceso de tutoría es muy pequeño, *Andes* lleva el control de la resolución de los problemas y cuando surge la oportunidad de promover el conocimiento profundo de la materia (hablar acerca de ella), *Atlas* toma el control para sostener un diálogo con el estudiante, una vez que *Atlas* concluye la línea de razonamiento deseada regresa el control a *Andes*. (VanLehn *et al*, 2007). En la figura 2.6 se muestra un diálogo hipotético entre *Atlas* y un estudiante.

1. **Tutor:** What does a *t* test tell you?
2. **Student:** It tests whether a mean is significant.
3. **Tutor:** Sorta.
4. **Tutor:** Can it be applied to experiments with just one group, or do you need two or more groups?
5. **Student:** More than one.
6. **Tutor:** Right. Because the *t* test compares the means of the two groups. What does it tell you about the two means?
7. **Student:** Whether they are significant.
8. **Tutor:** Almost. What you care about is whether one mean is really and truly higher than the other or whether the difference between them is just an accident of sampling. Does the *t* test tell you anything about that?
9. **Student:** Yes.
10. **Tutor:** So do you understand the *t* test now?
11. **Student:** Yes.
12. **Tutor:** Good. Let's go on.

Figura 2.6. Diálogo entre *Atlas* y un estudiante (VanLehn *et al*, 2007). A este tipo de diálogos se les llama diálogos de construcción de conocimiento porque están diseñados para que los estudiantes infieran o construyan el conocimiento (Ejemplo usado con permiso de Taylor & Francis group).

Atlas ha sido probado con diferentes STIs, en (VanLehn *et al*, 2007) se presenta un estudio de usuario llevado a cabo para evaluar la efectividad del lenguaje natural en dos sistemas tutores inteligentes. En este estudio se compara los STI con lenguaje natural contra la tutoría humana, contra tutoría por computadora (sin lenguaje natural) y contra lecturas de los temas; y se muestra las condiciones en que el aprendizaje aumentó al incluir lenguaje natural para hablar sobre la materia.

2.4.3. AutoTutor

Un STI desarrollado dentro de esta tendencia en tutores es *AutoTutor* (Graesser *et al*, 2007). *AutoTutor* es un STI completamente animado para un curso de introducción a la computación para alumnos de nivel profesional, con una cabeza parlante que hace las veces

de tutor. El objetivo del desarrollo de *AutoTutor* es el simular los patrones de diálogo de las conversaciones humanas. En la figura 2.7 se muestra la interfaz de *AutoTutor*.

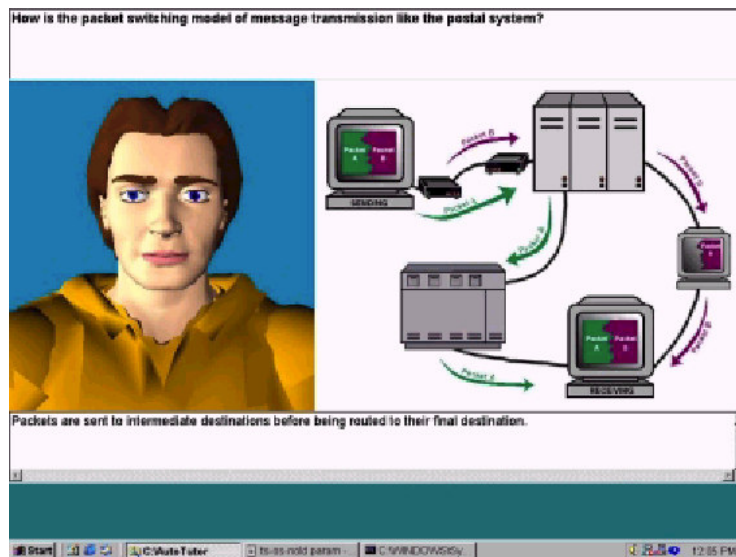


Figura 2.7. Interfaz de *AutoTutor* (Graesser *et al*, 2007). El tutor está representado por una cabeza parlante que se comunica con el estudiante mediante acciones de apuntar y lenguaje natural hablado. En sus explicaciones, el tutor hace referencia a las figuras de las lecciones. (Imagen usada con permiso de Arthur C. Graesser).

En *AutoTutor*, el sistema lleva el control de la conversación, hace preguntas al estudiante en lenguaje natural sintetizado, que además aparece escrito en una ventana. El estudiante escribe en lenguaje natural las respuestas a las preguntas del tutor, ya que este STI no tiene la capacidad de reconocimiento de lenguaje hablado. La interfaz consta de cuatro ventanas, en la ventana superior aparecen las preguntas del tutor, en la ventana inferior el estudiante escribe sus respuestas a las preguntas del tutor, y en las ventanas centrales aparece la cabeza parlante y fotografías o animaciones a las que el tutor puede hacer referencia mediante acciones de apuntar o mediante expresiones de lenguaje hablado.

La cabeza parlante actúa como un compañero de diálogo para el estudiante y le entrega movimientos de diálogo con lenguaje sintetizado, entonación, expresiones faciales, movimientos de cabeza y acciones de apuntar, todo esto de manera coordinada. Los movimientos de diálogo que *AutoTutor* puede entregar a los estudiantes son cuatro: *pumps*, que tratan de que el estudiante exprese su conocimiento, por ejemplo, *¿Qué más?*; *hints*, que le dan pistas al estudiante, por ejemplo, *¿Qué necesitas para tomar fotografías?*; *prompts*, que intentan que el estudiante termine una frase, por ejemplo, *Para tomar fotografías necesitas ...*; y finalmente, *assertions*, que le dan la respuesta al estudiante, por ejemplo: *Para tomar fotografías necesitas una cámara*. En la figura 2.8 se muestra un estudiante trabajando con *AutoTutor* y un extracto de un diálogo entre el estudiante y *AutoTutor*.



T1: *Alright, let's go on. You want to take photos and send them over the Internet. Consider this problem. What hardware do you need to take photos and send them over the internet?*

S1: *First of all you need to have access to the internet.*

T2: *What else?*

S2: *a camera*

T3: *Yeah. For what type of connection do you need a network card?*

S3: *network card*

T4: *Okay. Now, if you have access to the Internet through a network card, then your connection is...*

S4: *I don't know*

T5: *Is direct. Okay. A network card is needed if you have a direct connection to the internet. Okay, what does the user get hooked up to the internet?*

Figura 2.8. Estudiante trabajando con *AutoTutor* (Institute for Intelligent Systems y The University of Memphis, 2005) y un ejemplo de diálogo entre *AutoTutor* y el estudiante (Graesser *et al.*, 2001) (Usados con permiso de Arthur C. Graesser).

Actualmente se está realizando investigación para integrar respuestas afectivas a *AutoTutor*. En (D'Mello *et al.*, 2008) se presenta cómo se infiere el estado afectivo de los estudiantes mediante el análisis de las expresiones de lenguaje natural. También se presenta una evaluación de esta propuesta y se discuten los puntos pendientes hacia un tutor afectivo.

Con este tipo de interfaces conversacionales, la interacción estudiante-tutor se vuelve más natural, permitiendo al estudiante dedicarse a aprender la materia y despreocuparse de los detalles de la interfaz. En la siguiente sección se presentan los agentes pedagógicos animados, que representan uno de los esfuerzos de la investigación en sistemas tutores inteligentes por obtener instrucción cada vez más personal y específica para cada estudiante.

2.5. Agentes pedagógicos animados

Otro movimiento importante en el sentido de hacer más natural y personal la interacción tutor-estudiante ha sido el uso de los agentes animados. Los agentes pedagógicos animados interactúan cara a cara con los estudiantes utilizando expresiones faciales, miradas, emociones y gestos deícticos, y cohabitan con los estudiantes los ambientes de aprendizaje. Los agentes pedagógicos animados tienen un gran impacto en los sistemas de capacitación ya que dan la impresión de que existe alguien que está del otro lado (Johnson, Rickel y Lester, 2000), el estudiante percibe un comportamiento muy diferente al de un sistema tradicional y más parecido al de un humano.

La motivación principal de los agentes pedagógicos animados es que la ubicuidad de la comunicación no verbal en los diálogos humanos, tales como expresiones faciales, miradas, movimientos de cabeza, acciones de apuntar, etc., puede ser aplicable a los diálogos tutor-estudiante. Sin embargo, a pesar de que lo anterior ha sido demostrado por diversos

estudios, la mayor parte de los trabajos se han enfocado en las interacciones verbales (Johnson, Rickel y Lester, 2000).

Entre los comportamientos de un agente pedagógico animado se encuentran aquellos propios de los STIs, pero también se encuentran algunos particulares de los agentes animados, tales como hacer demostraciones de tareas complejas, observar y asistir al estudiante al realizar sus tareas, además de poder guiar a los estudiantes en espacios virtuales, entre otros.

En la siguiente sección se describen algunos de los trabajos más importantes en agentes pedagógicos animados; posteriormente se presentan las características más comunes que actualmente podemos encontrar en los agentes pedagógicos animados.

2.5.1. Steve

Steve (Soar Training Expert for Virtual Environments) (Johnson, Rickel y Lester, 2000) es un agente pedagógico animado diseñado para interactuar con estudiantes en ambientes inmersivos, y ha sido aplicado a tareas de entrenamiento naval, como operación de las máquinas a bordo de los barcos de la marina de Estados Unidos, que incluyen tareas individuales y tareas de equipo. En la figura 2.9 se muestra a *Steve* haciendo una demostración a los estudiantes sobre cómo realizar una tarea.

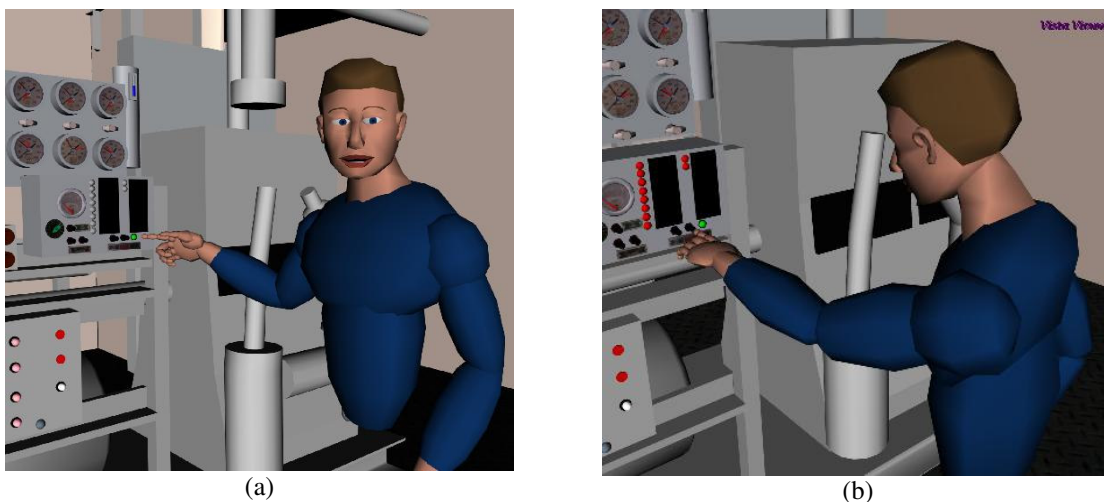


Figura 2.9. *Steve* (Johnson, Rickel y Lester, 2000). *Steve* se encuentra haciendo una demostración a los estudiantes sobre cómo llevar a cabo una tarea: (a) Describiendo un botón de encendido, (b) Presionando un botón (Imágenes usadas con permiso de Paul Brna, editor actual de IJAIED).

Los estudiantes y *Steve* cohabitan un mundo virtual que es una maqueta 3D del ambiente de trabajo del estudiante. Los estudiantes tienen la libertad de moverse por el mundo virtual y ver lo que hay en él por medio de un dispositivo *head-mounted*, y pueden interactuar con

los objetos del mundo virtual por medio de un *dataglove*. El objetivo de *Steve* es ayudar a los estudiantes a aprender a ejecutar tareas físicas operativas tales como la operación y el mantenimiento de equipo.

Entre las funcionalidades de *Steve* se encuentra que puede mostrar a los estudiantes como hacer una tarea paso a paso, e ir explicando lo que va haciendo, o bien puede observar como el estudiante ejecuta la tarea e interviene en caso necesario. Debido a que *Steve* habita un mundo virtual, puede guiar a los estudiantes en un recorrido por éste. *Steve* también puede participar en tareas de equipo, y tomar el lugar de un compañero de equipo o de un instructor. Cuando *Steve* está explicando una tarea utiliza miradas, acciones de apuntar y expresiones faciales para llamar la atención del estudiante hacia algún aspecto de la tarea y cuando observa y escucha a los estudiantes interviene en el momento adecuado dadas las expresiones verbales y las acciones del estudiante.

El entrenamiento naval no es el único dominio de *Steve*, ya que puede dar instrucción en un nuevo dominio con sólo el conocimiento declarativo del mismo, debido a que cuenta con capacidades independientes de dominio para soportar diálogos orientados a tareas en mundos virtuales tridimensionales (Rickel y Johnson, 2000). Para la implementación de *Steve* se integraron diversos componentes de software tales como software de interfaz visual, un simulador y productos comerciales de reconocimiento y sintetización de lenguaje.

Entre el trabajo futuro planeado para *Steve* se encuentra el extender su arquitectura para incluir emociones (Elliott, 2002), con el objeto de incrementar su habilidad de motivar a los estudiantes. El grupo de investigación de *Steve* está trabajando en extender su comunicación no verbal y en darle un mayor control de sus expresiones faciales (Rickel y Johnson, 2000).

2.5.2. Cosmo

Cosmo (Doswell, 2004; Johnson Rickel y Lester, 2000; Lester *et al*, 2000) es un agente que enseña a los estudiantes acerca de las topologías de red y los mecanismos de ruteo; *Cosmo* explica cómo están conectadas las computadoras, cómo se ejecuta el ruteo, etc. El mundo virtual que habita *Cosmo*, *The Internet Advisor World*, permite guiar a los estudiantes a través de un recorrido por computadoras y ruteadores. En la figura 2.10 se muestra a *Cosmo*. Su apariencia, maneras y su espacio de comportamiento de acciones y expresiones son el producto de trabajo de un grupo multidisciplinario de científicos en computación, artistas gráficos, modeladores y animadores.

Como respuesta a las acciones de los estudiantes en la solución de problemas, *Cosmo* da explicaciones que constan de expresiones de lenguaje natural, expresiones faciales y acciones de apuntar. *Cosmo* representa un trabajo importante en comportamiento afectivo en agentes animados, ya que el comportamiento de cuerpo completo de *Cosmo* incluye expresiones faciales (movimientos de ojos, cejas, y boca), y este comportamiento va de

acuerdo con las acciones ejecutadas por el estudiante. Por ejemplo, si el estudiante resuelve incorrectamente el ejercicio, *Cosmo* toma una expresión facial triste y deja caer los brazos (Johnson, Rickel y Lester, 2000), aunque no reconoce el estado afectivo del estudiante.



Figura 2.10. *Cosmo* (Johnson, Rickel y Lester, 2000). Este personaje habita un mundo virtual que le permite guiar a los estudiantes a través de un recorrido por computadoras y ruteadores (Imágenes usadas con permiso de Paul Brna, editor actual de IJAIED).

Entre los objetivos de este proyecto, está el dar credibilidad deíctica y credibilidad afectiva al agente animado, esto es, que los movimientos, los gestos y el habla del agente animado estén coordinados en tiempo y espacio. Las acciones y expresiones de *Cosmo* son el resultado de una cuidadosa selección y coordinación de lenguaje, gestos y movimientos del cuerpo. En este comportamiento coordinado, las emociones juegan un papel importante y uno de los puntos pendientes en la agenda de investigación y desarrollo de *Cosmo* es tener un modelo de emoción e integrarlo con la arquitectura de comportamiento deíctico.

2.5.3. Agentes de presentación

PPP Persona (André, Rist y Müller, 1999) es un agente animado que ha sido utilizado para presentar información multimedia a los usuarios en diferentes tipos de aplicaciones como instrucción basada en computadora, guías a través de espacios de información y publicidad en Web; sin embargo este agente animado no fue diseñado para propósitos pedagógicos. En la figura 2.11 se muestra a *Persona* describiendo un circuito.

Persona guía a los usuarios a través de materiales Web, utiliza acciones de apuntar para atraer la atención del usuario a elementos de las páginas Web y da explicaciones por medio de lenguaje sintetizado. El agente *Persona* ejecuta un plan de presentación que se adapta y modifica en tiempo real de acuerdo con las acciones del usuario que podrían ser el reposicionamiento del agente en la pantalla o preguntas del usuario.

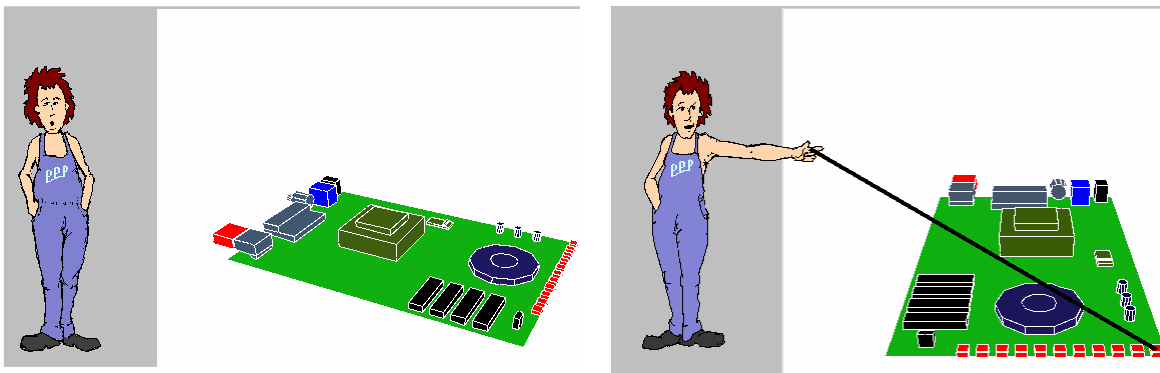


Figura 2.11. *PPP Persona* (André, Rist y Müller, 1999). Este personaje ha sido utilizado para presentar información multimedia a los usuarios en diferentes tipos de aplicaciones, en sus diálogos, *Persona* hace referencia a los objetos en la pantalla mediante acciones de apuntar (Imágenes usadas con permiso de Taylor & Francis group).

Para llevar a cabo la presentación, el sistema despliega una ventana con la información que se va a presentar al usuario, *Persona* toma una posición adecuada para llevar a cabo las acciones de apuntar, e introduce los elementos dando su nombre y señalándolos. Las expresiones de lenguaje hablado se llevan a cabo por medio de un sintetizador. Los elementos a los que *Persona* señala pueden cambiar de posición para llevarlos al campo de visión del usuario (ver figura 2.11). El agente no solamente puede señalar un objeto en la pantalla, también puede hacer referencia a dos elementos como se ve en la figura 2.12.

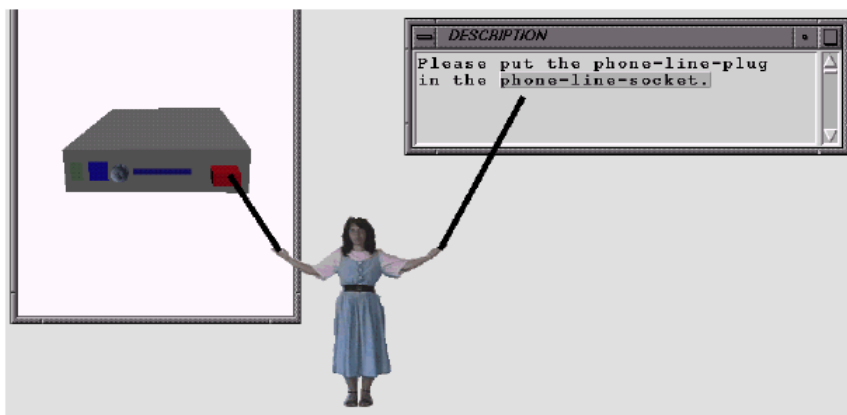


Figura 2.12. *PPP Persona* con la imagen de un individuo real (André, Rist y Müller, 1999). La imagen de *PPP Persona* puede cambiar a otros personajes de caricatura o puede ser el video de una persona real (Imagen usada con permiso de Taylor & Francis group).

Por otro lado, la imagen de *Persona* puede cambiar a otra caricatura, pero no está restringida a personajes de caricatura, también puede ser el video de una persona como se muestra en la figura 2.12. Aunque *Persona* hace las presentaciones utilizando lenguaje natural hablado, éste no interpreta lenguaje natural, las entradas del usuario se realizan mediante menús y botones.

La investigación en agentes de presentación ha continuado y ahora podemos ver agentes animados en 3D altamente realistas que presentan información y productos de manera atractiva. Entre los avances más interesantes se encuentra que adaptan el plan de la presentación al interés visual del usuario y toman en cuenta sus preferencias al establecer el material por presentarse (Hoekstra *et al*, 2007). Los agentes analizan e interpretan en tiempo real el movimiento de los ojos, y de esta manera pueden adaptar la presentación al estado de interés (visual) actual del usuario y así producir una experiencia personalizada y atenta a las necesidades del usuario.

El sistema implementa una sala de presentación donde el contenido se presenta por medio de un equipo de dos agentes animados en 3D de manera dinámica e interactiva. Las miradas se utilizan como una modalidad de entrada para reconocer y responder al interés del usuario. El sistema puede hacer un acercamiento en las áreas de interés del usuario y da explicaciones mediante lenguaje natural sintetizado.

En la figura 2.13 se muestra el sistema de presentación, éste incluye dos agentes animados que le presentan al usuario el Instituto Nacional de Informática en Tokio.

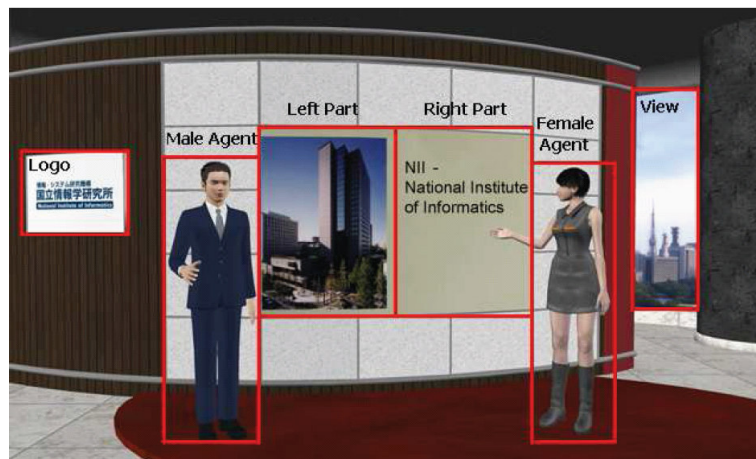


Figura 2.13. Agentes animados haciendo una presentación del Instituto Nacional de Informática en Tokio (Hoekstra *et al*, 2007). Se muestran las posibles áreas de interés del usuario (Imagen usada con permiso de Helmut Prendinger).

Los agentes son altamente expresivos para poder dar una impresión de ser parecidos a los humanos, además de que utilizan diversos gestos como saludar, contar o golpear así como gestos deícticos. En adición a los gestos del cuerpo también tienen expresiones como alegría y sorpresa.

En la figura 2.14 podemos ver a un usuario interactuando con el sistema de presentación. Estos agentes de presentación también se ha usado en aplicaciones comerciales, en donde los personajes presentan reproductores de MP3 (Eichner *et al*, 2007).



Figura 2.14. Usuario interactuando con el sistema de presentación (Hoekstra *et al*, 2007). Se muestra un acercamiento en el contenido de la presentación y hacia el agente de la izquierda (Imagen usada con permiso de Helmut Prendinger).

2.5.4. Adele

Adele (Agent for Distance Learning: Light Edition) (Adler *et al*, 2008; Johnson *et al*, 2003, Johnson, Rickel y Lester, 2000) es un agente pedagógico animado diseñado para trabajar con simulaciones en Web. El agente *Adele* está diseñado para apoyar a los estudiantes de medicina en la solución de problemas integrados en materiales instruccionales entregados a través de Web. En la figura 2.15 se muestra a *Adele* con un paciente.



Figura 2.15. El agente *Adele* con un paciente simulado (Adler *et al*, 2008). *Adele* monitorea las acciones del estudiante para dar ayuda en el momento necesario. En esta imagen *Adele* se encuentra dando una explicación al estudiante (Imagen usada con permiso de Erin Shaw).

El dominio de aplicación de *Adele* es el diagnóstico clínico basado en casos; los estudiantes reciben materiales sobre una condición médica particular y una serie de casos con los que deben trabajar. Dependiendo de la situación instruccional, *Adele* puede resaltar aspectos interesantes del caso, monitorear y dar retroalimentación al estudiante, hacer sugerencias para situaciones particulares, o hacer preguntas al estudiante para asegurarse que entendió los conceptos básicos del caso.

2.5.5. Herman the Bug

Herman the Bug es un agente pedagógico animado que habita un ambiente de aprendizaje llamado *Design-a-Plant* (Moreno 2008; Moreno 2005; Johnson, Rickel y Lester, 2000) para el dominio de anatomía y fisiología botánica para estudiantes de secundaria. *Herman the Bug* da apoyo en contexto a los estudiantes, mientras ensamblan de manera gráfica una planta, tomando raíces, tallos y hojas de una biblioteca. En la figura 2.16 se muestra a *Herman the Bug*.



Figura 2.16. *Herman the Bug* (Moreno, 2008). Este agente ayuda a los estudiantes a diseñar plantas al mismo tiempo que les enseña anatomía y fisiología botánica. En esta imagen *Herman the Bug* observa las acciones del estudiante en espera de una oportunidad de dar instrucción (Imagen usada con permiso de James C. Lester).

Herman the Bug es un insecto que navega entre las estructuras de las plantas, observa las acciones de los estudiantes y les da explicaciones y sugerencias mientras éstos construyen plantas. *Herman the Bug* ejecuta una amplia variedad de acciones tales como caminar, volar, encogerse, expandirse, nadar, pescar, saltar, teletransportarse y diversas acrobacias (Johnson, Rickel y Lester, 2000). Cada una de las acciones del estudiante recibe retroalimentación adecuada, por ejemplo, *Herman the Bug* se convierte en un carro de carreras para felicitar al estudiante cuando resuelve correctamente un problema.

El desarrollo de *Herman the Bug* se encuentra enmarcado dentro de un proyecto de investigación de ambientes de aprendizaje constructivistas con agentes pedagógicos animados, y uno de los objetivos principales de este proyecto es desarrollar una máquina de secuenciamiento de comportamiento del agente pedagógico que controle dinámicamente el comportamiento del agente pedagógico como respuesta al contexto rápidamente cambiante de los ambientes de aprendizaje constructivistas. El espacio de comportamiento de *Herman the Bug* consta de tres tipos de comportamientos: los movimientos del agente, expresiones de lenguaje natural y música de fondo (Johnson, Rickel y Lester, 2000). Las sesiones de aprendizaje están acompañadas por música sensitiva al contexto, se adapta el tiempo, modo y el número de voces instrumentales al progreso de los estudiantes.

2.5.6. PAT

El agente animado PAT (*Pedagogical and Affective Tutor*) es un personaje que interactúa con los estudiantes a través de mensajes y comportamiento emocional (Jaques y Viccari, 2005). La función de PAT es motivar, alentar al estudiante y fomentar un estado de ánimo positivo que promueva el aprendizaje. PAT reconoce las emociones de los estudiantes observando el comportamiento del estudiante (sus acciones en el sistema educativo). En la figura 2.17 se presenta al agente PAT. La imagen de PAT se diseñó mediante un estudio con psicólogos y pedagogos (Jaques y Viccari, 2005).



Figura 2.17. Agente pedagógico PAT, *Pedagogical Affective Tutor*, (Jaques y Viccari, 2005). Este agente ayuda a los estudiantes a tener un mejor estado de ánimo mediante comportamiento afectivo (Imagen usada con permiso de Rosa María Viccari).

El proceso de la inferencia de las emociones se basa en el modelo cognitivo y de emociones OCC (Ortony, Clore y Collins, 1988). El agente se compone de dos módulos: la mente y el cuerpo. La mente se encarga de hacer el diagnóstico afectivo y de seleccionar las estrategias afectivas. La mente del agente está implementada en el modelo BDI. El modelo BDI describe a los agentes como sistemas intencionales que tienen estados mentales de creencias, deseos e intenciones (*Beliefs, Desires, Intentions*) (Bratman, 1990). La mente BDI razona con el conocimiento generado por el modelo OCC que se alimenta al modelo en la forma de creencias. El cuerpo se encarga de seleccionar la actitud afectiva y el discurso que se entregarán al estudiante.

PAT se ha usado en el sistema educativo de colaboración MACES (Jaques y Viccari, 2005). Este sistema está relacionado con aprendizaje situado (*situated learning*), que establece la cognición como una práctica social basada en el uso de lenguaje, símbolos y signos. MACES es un sistema de aprendizaje a distancia inspirado en la teoría sociocultural de Vygotsky (Vygotsky 1962, 1978).

2.5.7. Análisis de los agentes pedagógicos animados

La investigación en agentes pedagógicos animados es un área naciente, sin embargo actualmente podemos encontrar desarrollos que permiten advertir su potencial. Las características que se describen a continuación y que podemos encontrar actualmente en los agentes pedagógicos animados nos dan una idea de las ventajas que podemos obtener con un agente pedagógico animado. Actualmente, ningún agente pedagógico cuenta con todas ellas y en muchas de estas funcionalidades hace falta investigación (Johnson, Rickel y Lester, 2000).

1. *Demostraciones Interactivas*. Si el agente habita un mundo virtual que representa el ambiente de aprendizaje del estudiante, el agente puede mostrar a los estudiantes cómo realizar tareas, tales como la operación de equipo.
2. *Guía en la navegación*. En ocasiones los ambientes de trabajo son grandes y complejos, para evitar que el estudiante se pierda, el agente puede guiarlo a través del mundo virtual. Además el estudiante podría conocer lugares en lo que nunca podría estar físicamente, como por ejemplo dentro de un CPU.
3. *Miradas y gestos como guías de atención*. Así como en un sistema tradicional se utilizan colores, flechas, etc. para atraer la atención de los estudiantes, un agente lo podría hacer de una manera más natural por medio de miradas y acciones de apuntar.
4. *Retroalimentación no verbal*. Además de la retroalimentación verbal el agente podría dar retroalimentación no verbal, tal como una expresión facial o un movimiento de cabeza para indicar, por ejemplo, acuerdo o desacuerdo. Este tipo de retroalimentación permite al tutor dar una indicación al estudiante sin interrumpir su concentración.

5. *Signos conversacionales.* En los diálogos humanos se utilizan signos como entonación, movimientos de manos, etc., que permiten regular la conversación y saber cuando se espera una participación en la conversación.
6. *Transmitir y extraer emociones.* Si un agente es capaz de mostrar interés en el estudiante, podría aumentar su motivación y por lo tanto mejorar su aprendizaje. Si el agente muestra entusiasmo por la materia puede transmitírselo a los estudiantes. Por otro lado, si el agente es capaz de detectar el estado afectivo del estudiante sus respuestas podrían ser más adecuadas y no tener siempre la misma actitud, y evitar, por ejemplo, que el estudiante abandone el sistema.
7. *Compañeros virtuales de equipo.* En ocasiones las tareas del estudiante requieren llevarse a cabo en equipo, el agente podría tomar ese papel y ayudar a la coordinación y colaboración entre estudiantes y agentes.
8. *Interacciones pedagógicas adaptivas.* Un agente pedagógico animado debe tener las mismas habilidades de un STI, contestar preguntas, dar explicaciones, y al mismo tiempo responder a las acciones de los estudiantes, es decir, el agente debe ser capaz de dar instrucción oportuna basada en la situación actual.

En la tabla 2.1 se resumen las funcionalidades anteriores y se muestra cuáles agentes pedagógicos cuentan con ellas. Los números de las columnas corresponden a los números de la lista anterior.

Tabla 2.1. Características que se pueden encontrar en los agentes pedagógicos animados.

Agente Pedagógico Animado	1	2	3	4	5	6	7	8
Steve								
Adele								
Herman the bug								
Cosmo								
PPP Persona								

La parte central de la investigación que se presenta en este documento está interesada en la columna 6, transmitir y extraer emociones. De esta tabla podemos observar que, aunque existen iniciativas, ésta no es una característica común en las funcionalidades de los agentes pedagógicos animados. Como se mencionó anteriormente, *Cosmo* solamente trasmite emociones, es decir, sus acciones reflejan su estado de ánimo, pero éste no refleja el estado afectivo del estudiante, se basa únicamente en las respuestas del estudiante.

Como mencionamos en el punto 8, un agente pedagógico animado debe tener las mismas habilidades de un STI, dar instrucción, contestar preguntas, dar explicaciones, y al mismo tiempo responder a las acciones de los estudiantes. Esto es, el agente debe ser capaz de dar instrucción oportuna y personalizada basada en la situación actual. Para lograr este comportamiento, un agente pedagógico animado debe contar con una arquitectura similar a

un STI; por lo menos contar con un modelo del estudiante que le permita que sus intervenciones reflejen las necesidades del estudiante.

2.6. Resumen del capítulo

En este capítulo describimos la arquitectura básica de los STIs y la interacción de sus componentes. Se describieron con más detalle dos de sus elementos: el modelo del estudiante y el módulo tutor, por ser aquellos donde se enfoca la presente investigación. Finalmente se presentó una de las tendencias más fuertes en los STIs: los agentes pedagógicos animados, que representan la necesidad de dar instrucción personal y específica para cada estudiante, al incluir comunicación no verbal.

En el siguiente capítulo se presentan las teorías probabilísticas empleadas en esta investigación para la solución del problema que se ataca: modelar afectivamente al estudiante y establecer las acciones del tutor con base en dicho modelo afectivo del estudiante. El modelo afectivo del estudiante que se propone se presenta en el capítulo 5 y el modelo de comportamiento afectivo del tutor se presenta en el capítulo 6.

Capítulo 3

Modelos probabilísticos

*Tengo miedo de verte
necesidad de verte
esperanza de verte
desazones de verte*

*tengo ganas de hallarte
preocupación de hallarte
certidumbre de hallarte
pobres dudas de hallarte*

*tengo urgencia de oírte
alegría de oírte
buena suerte de oírte
y temores de oírte*

*O sea
resumiendo
estoy jodido
y radiante
quizá más lo primero
que lo segundo
y también
viceversa.*

(Viceversa, Mario Benedetti)

En el modelado afectivo del estudiante interviene un alto nivel de incertidumbre, por lo que es necesario un mecanismo robusto que permita tratar la incertidumbre. Por otro lado, en el modelo afectivo del tutor se establecen acciones que tienen una utilidad en los estados del estudiante. Las redes bayesianas y las redes de decisión son mecanismos que nos permiten representar y solucionar dichos problemas. En este capítulo se presentan las redes bayesianas y las redes de decisión, así como sus extensiones: las redes bayesianas dinámicas y las redes de decisión dinámicas.

3.1. Redes bayesianas

En la vida cotidiana nos encontramos con situaciones en donde no se tiene certeza de los hechos, no podemos saber lo que pasó o lo que va a pasar. Por ejemplo, si queremos estar despiertos durante la clase de mañana tenemos dos posibilidades: tomar una taza de café antes de la clase o dormir bien la noche anterior. Si tomamos la taza de café la probabilidad de estar despierto es del 0.5 mientras que la probabilidad de estar despierto si dormimos bien es del 0.9, pero si hacemos ambas cosas ¿Cuál es la probabilidad de estar despiertos durante la clase?

La incertidumbre surge en situaciones en donde se tiene un conocimiento incompleto o incorrecto del mundo o por limitaciones en la representación de dicho conocimiento (Pearl, 1988). Una manera de estructurar la situación anterior para razonamiento con incertidumbre, es construir un grafo que represente las relaciones causales entre los eventos, particularmente un grafo acíclico dirigido (DAG) (Jensen, 2001). En la figura 3.1 se muestra el DAG que representa el problema de estar despierto en la clase.

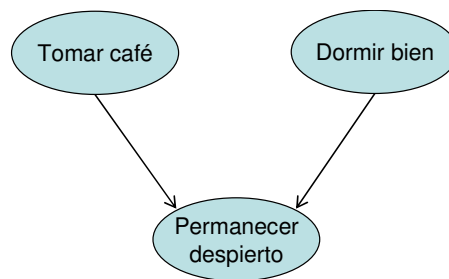


Figura 3.1. Grafo acíclico no dirigido que representa relaciones entre eventos. Este grafo representa las relaciones que existen entre tomar café y dormir bien con permanecer despierto.

El DAG de la figura 3.1 corresponde a una red bayesiana. Las redes bayesianas son una representación gráfica de las dependencias condicionales entre variables para razonamiento probabilístico (Pearl, 1988). Cada nodo en la red bayesiana corresponde a una variable que representa a una entidad en el mundo real (Pearl, 1988), y tiene un número finito de estados mutuamente exclusivos. Las aristas del grafo corresponden a relaciones entre las variables. Cada nodo tiene asignada una probabilidad, que constituye la probabilidad de que suceda el evento que representa el nodo. Los nodos padres tienen probabilidades *a priori* y los nodos hijos tienen probabilidades condicionales en función de sus padres.

En la figura 3.2 se muestra una red bayesiana que representa la solución de un problema de factorización de números. Este ejemplo está inspirado en las redes bayesianas usadas en el trabajo presentado en (Conati y Zhao, 2004; Manske y Conati, 2005). Los nodos N_{20} , N_{10} , N_5 y N_3 representan el conocimiento del estudiante acerca de la factorización de los números 20, 10, 5 y 3 respectivamente. Las aristas entre los nodos representan relaciones de factorización entre los números; por ejemplo la arista entre los nodos N_{20} y N_5

representa que 5 es un factor de 20 y el conocer la factorización de 20 tiene impacto en conocer factorización de 5.

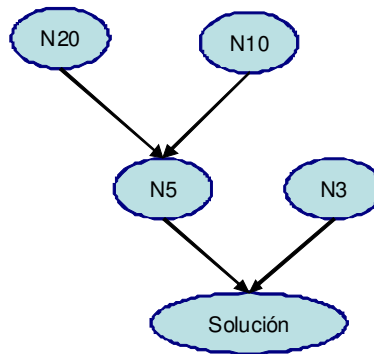


Figura 3.2. Red bayesiana representando las relaciones de factorización entre los números 20, 10, 5 y 3. Los nodos *N* representan la probabilidad de conocer la factorización de los números que representan. El nodo *solución* representa la probabilidad de que la solución sea correcta o incorrecta.

Cada uno de los cuatro nodos *N* tiene dos valores *sabe* y *no sabe*. Las probabilidades *a priori* de *N20* son (0.6, 0.4), las probabilidades *a priori* de *N10* son (0.7, 0.3) y las probabilidades *a priori* de *N3* son (0.6, 0.4). El nodo *N5* tiene una probabilidad condicional que depende de los *N20* y *N10*. La tabla de probabilidad condicional de *N5* se presenta en la tabla 3.1. El nodo *solución* representa el acierto o error en la solución del estudiante al problema. Este nodo tiene dos valores *correcto* e *incorrecto*. La tabla de probabilidad condicional del nodo *solución* se presenta en la tabla 3.2.

Tabla 3.1. Tabla de probabilidad condicional del nodo *N5*.

N5				
N20	Sabe		No sabe	
N10	Sabe	No sabe	Sabe	No sabe
Sabe	0.9	0.6	0.6	0.2
No sabe	0.1	0.4	0.4	0.8

Tabla 3.2. Tabla de probabilidad condicional del nodo *solución*.

Solución				
N5	Sabe		No sabe	
N3	Sabe	No sabe	Sabe	No sabe
Correcto	0.9	0.7	0.7	0.1
Incorrecto	0.1	0.3	0.3	0.9

Las tablas de probabilidad condicional son una manera sencilla de representar las dependencias condicionales entre las variables, sin embargo cuando intervienen muchas variables dichas tablas crecen exponencialmente. Existen algunas otras representaciones

tales como los modelos canónicos: modelo de interacción disjuntiva (*Noisy OR*), modelo de interacción conjuntiva (*Noisy AND*), compuerta Max (*Noisy Max gate*) y la compuerta Min (*Noisy Min gate*); además de los árboles de decisión y las redes neuronales (Pearl, 1988).

3.1.1. Inferencia en redes bayesianas

El razonamiento probabilístico o propagación de probabilidades consiste en propagar los efectos de la evidencia a través de la red para conocer la probabilidad *a posteriori* del resto de las variables. La propagación consiste en darle valores a ciertas variables (evidencia), y obtener la probabilidad posterior de las demás variables dadas las variables conocidas (Pearl, 1988). Se puede tener como evidencia cualquier subconjunto de las variables de la red bayesiana y estimar las probabilidades del resto de las variables

Las técnicas para calcular las probabilidades *a posteriori* de las variables son diversas. Cuando se tiene una variable y cualquier estructura, se utiliza el algoritmo de eliminación de variables. Cuando se tiene diversas variables y estructuras conectadas de manera sencilla (árboles y poliárboles) se utiliza la propagación de evidencia. Y cuando se tiene diversas variables y cualquier estructura se usa el agrupamiento, la simulación estocástica y el condicionamiento. Una descripción amplia de estas técnicas se puede encontrar en (Jensen, 2001; Pearl, 1988).

3.1.2. Redes bayesianas dinámicas

Las redes bayesianas dinámicas extienden a las redes bayesianas para presentar problemas que contienen entidades con valores que evolucionan con el tiempo (Conati, C., conversación personal, septiembre 2005). Una red bayesiana dinámica representa los estados de un proceso en un tiempo y sus relaciones con los estados del mismo proceso en otro tiempo (Pearl, 1988). Por ejemplo, la probabilidad de que un estudiante sepa resolver un problema sobre geometría analítica, está dada por la probabilidad de que el estudiante estudie ese tema en particular. Sin embargo para que el estudie llegue a dominar esta materia, debe seguir estudiando, de esta manera, su conocimiento depende no solamente de que estudie un día sino que también depende del conocimiento que ya tiene sobre la materia. Esta situación se representa en la red bayesiana de la figura 3.3.

Esta red representa la evolución a través del tiempo del conocimiento sobre geometría analítica que un estudiante tiene. La probabilidad de que el estudiante conozca sobre geometría analítica en el tiempo t_{n+1} depende de la probabilidad de que el estudiante conozca sobre geometría analítica en el tiempo t_n , además de que también depende de que el estudiante estudie. Las probabilidades condicionales se representan de la misma manera que para las redes bayesianas estáticas. La tabla de probabilidad condicional del nodo *conocimiento* en el tiempo t_{n+1} de la red bayesiana dinámica de la figura 3.3 se presenta en la tabla 3.3.

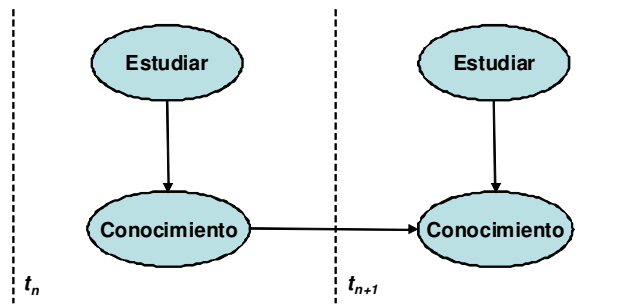


Figura 3.3. Red bayesiana dinámica. Esta red representa la evolución del conocimiento de un estudiante en el tiempo. El conocimiento esta dado por el conocimiento del estudiante en el tiempo anterior además de otras variables.

Tabla 3.3. Tabla de probabilidad condicional del nodo *conocimiento* en el tiempo t_{n+1} .

Conocimiento t_{n+1}				
Estudiar t_{n+1}	Si		No	
Conocimiento t_n	Sabe	No sabe	Sabe	No sabe
Sabe	0.9	0.7	0.8	0.1
No sabe	0.1	0.3	0.2	0.9

Básicamente, las técnicas de inferencia para las redes bayesiana dinámicas son las mismas para las redes bayesianas.

3.2. Redes de decisión

Una red bayesiana sirve como un modelo de una parte del mundo, y las relaciones en el modelo reflejan el impacto causal entre los eventos. La razón para construir estos modelos computacionales es usarlos en la toma de decisiones. En otras palabras las probabilidades que establece la red bayesiana se usan para fundamentar alguna clase de toma de decisiones (Jensen, 2001).

Las redes de decisión, también llamadas diagramas de influencia, extienden las redes bayesianas al incluir en la red nodos de decisión y nodos de utilidad además de los nodos aleatorios ya incluidos en las redes bayesianas. Los nodos de decisión representan las acciones de los agentes, y los nodos de utilidad representan las preferencias de los agentes sobre las acciones de los mismos agentes (Conati y Maclaren, 2005).

Los nodos de decisión se representan por medio de rectángulos y constituyen los puntos de decisión de los agentes, tienen un conjunto de valores que corresponden a las opciones que se tienen en ese punto de decisión. Las aristas hacia los nodos de decisión son de información e indican precedencia en el tiempo. Las aristas de los nodos de decisión hacia otros nodos aleatorios o de utilidad representan la influencia de las decisiones en los

estados y en la utilidad de la decisión. En una red de decisión puede haber más de un nodo de decisión (Jensen, 2001).

Los nodos de utilidad se representan por medio de rombos y constituyen la función de utilidad del agente. Pueden tener como padres nodos aleatorios y nodos de decisión que afectan directamente la utilidad. La utilidad se puede definir como una matriz con un valor por cada combinación de los padres o una función matemática. En los modelos básicos hay un nodo de utilidad, pero puede haber más de un nodo de utilidad en una red. Generalmente, cuando hay más de un nodo de utilidad se asume que la utilidad es la suma de los todos los nodos de utilidad (Jensen, 2001).

En la figura 3.4 se presenta un ejemplo de una red de decisión. Esta red representa el problema de decidir dónde construir una escuela. Los valores del nodo de decisión son las colonias de una ciudad que necesitan una escuela. La decisión sobre dónde construir la escuela tiene un impacto en el número de niños que asistirá a la escuela y también en el costo de construirla la escuela. A su vez el número de niños que asistirá a la escuela y el costo de construirla tienen una utilidad.

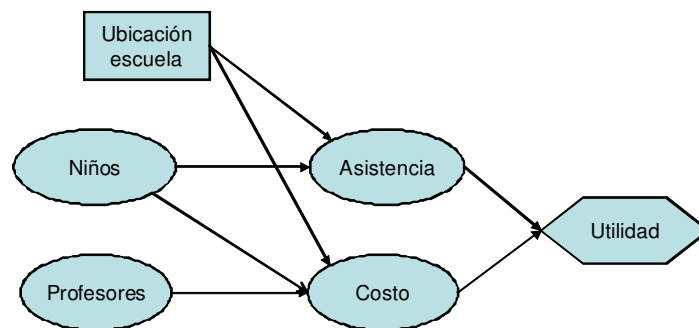


Figura 3.4. Red de decisión. Esta red representa el problema de decidir la ubicación de una escuela. La decisión tiene impacto en la asistencia de los estudiantes y en el costo de escuela, estos a su vez tienen una utilidad. La decisión que se tome será aquella que genere la máxima utilidad.

El trabajo de la red de decisión consiste en establecer la opción que tenga una mayor utilidad, esto se obtiene evaluando cada uno de los posibles valores de la red de decisión. El algoritmo para evaluar un nodo de decisión es el siguiente:

1. Se asignan valores a todos los nodos aleatorios conocidos.
2. Para cada posible decisión:
 - 2.1. Asignar dicho valor al nodo de decisión
 - 2.2. Propagar las probabilidades
 - 2.3. Calcular la utilidad
3. Seleccionar la alternativa de mayor utilidad.

3.2.1. Redes de decisión dinámicas

De la misma manera que las redes bayesianas dinámicas extienden a las redes bayesianas, las redes de decisión dinámicas extienden a las redes de decisión para representar la toma de decisiones en el tiempo. En la figura 3.5 se presenta un ejemplo de una red de decisión dinámica.

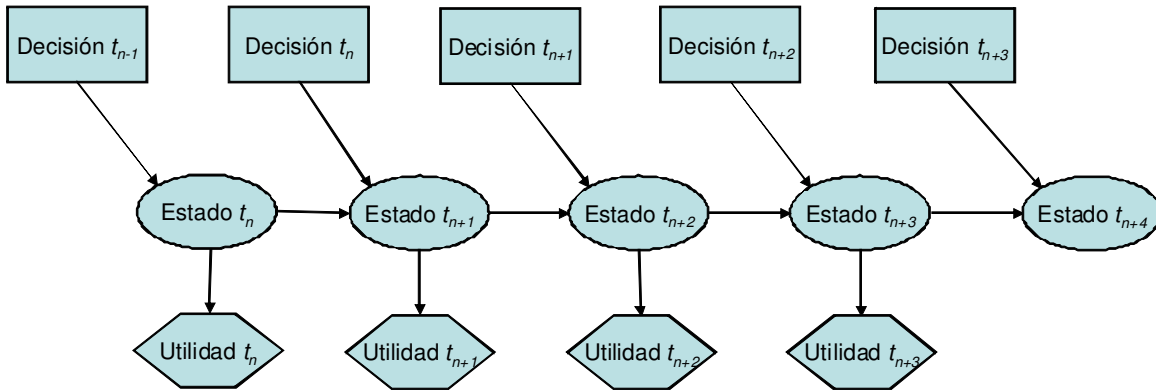


Figura 3.5. Red de decisión dinámica. Esta red representa como las decisiones en un tiempo afectan los estados del siguiente tiempo, lo cual tiene una utilidad. Las decisiones que se tomen son aquellas que produzcan la mayor utilidad esperada.

En esta red intervienen seis segmentos de tiempo, las decisiones que se tomen tienen un impacto en el estado del siguiente segmento de tiempo, los estados suponen una utilidad en ese segmento de tiempo. Las decisiones que se tomen son aquellas que produzcan un estado con la máxima utilidad. Normalmente, la utilidad total se obtiene sumando las utilidades en cada tiempo. La fórmula siguiente establece la utilidad total para red de decisión dinámica de la figura 3.5:

$$U_{total} = U_n + U_{n+1} + U_{n+2} + U_{n+3} \tag{3.1}$$

3.3. Resumen del capítulo

El problema que se aborda en esta investigación abarca el modelado afectivo del estudiante y la toma de decisiones que maximicen el aprendizaje y el afecto de los estudiantes. Las redes bayesianas así como su extensión, las redes bayesianas dinámicas tienen mecanismos robustos que permiten modelar la incertidumbre presente en el modelado afectivo del estudiante, al tiempo que se puede utilizar cualquier evidencia disponible acerca de las variables del modelo para obtener las probabilidades del resto de las variables.

Por otro lado, las redes de decisión y las redes de decisión dinámicas extienden a las redes bayesianas para modelar problemas de decisión que evolucionan en el tiempo. Las redes de decisión incluyen nodos de decisión y nodos de utilidad. El trabajo de la red de decisión consiste en establecer la opción que tenga una mayor utilidad, esto se obtiene evaluando cada uno de los posibles valores de los nodos de decisión.

En este capítulo se presentaron los fundamentos de redes bayesianas y redes de decisión, se presentan algunos ejemplos que ilustran los conceptos básicos, y se describieron de manera breve los mecanismos de inferencia para ambas.

En el siguiente capítulo se presentan fundamentos de la computación afectiva, se describen algunos de los trabajos más importantes desarrollados hasta el momento. Se describen algunos modelos de emociones, entre ellos el modelo cognitivo de emociones OCC, el cual es la base del trabajo presentado en este documento. Se presentan además, los agentes pedagógicos animados que representan uno de los principales avances hacia incluir emociones en el funcionamiento de los programas de cómputo.

Capítulo 4

Fundamentos de la computación afectiva

*“Beautiful, beautiful, beautiful
beautiful boy”*

Beautiful boy (Darling boy) (Lennon, 1980).

En el proceso cognitivo humano son dos las partes importantes: el pensamiento y el sentimiento (Piaget, 2005; Picard, 2000; Goleman, 1995; Vygotsky, 1994). Las emociones son una parte muy importante en la vida del ser humano: ellas son las que permiten la interacción humana; por medio de ellas comunicamos lo que sentimos y pensamos. Se han realizado diversos estudios científicos que avalan la importancia de las emociones en las relaciones interpersonales, en la toma de decisiones, en el aprendizaje y en muchas otras áreas de la vida del ser humano (Damasio, 1996). Existe la hipótesis de que este impacto de las emociones también se da en la comunicación humano-computadora (Brave y Nass, 2002; Picard, 2000; Reeves y Nass, 1996).

Por el lado del aprendizaje, un componente clave es la motivación, y en la motivación las emociones tienen un papel muy importante (Johnson, Rickel y Lester, 2000). La hipótesis es que un sistema tutor inteligente con comportamiento afectivo puede motivar a los estudiantes y por lo tanto puede ayudar a aumentar su aprovechamiento. Se han realizado algunos trabajos interesantes en tratar de dotar con comportamiento afectivo a los sistemas tutores inteligentes y a los programas de computación en general; sin embargo, el enfoque ha sido principalmente teórico, y aún no contamos con programas que cuenten con un comportamiento afectivo completo. En este capítulo se presentan algunos de los trabajos más relevantes en el área de computación afectiva y modelado de emociones.

4.1. Afectividad

Las emociones son una parte fundamental del ser humano ya que motivan las acciones y añaden significado y riqueza a toda experiencia humana. Tradicionalmente, las emociones han sido descartadas en la interacción humano-computadora. Sin embargo, investigaciones en psicología y tecnología sugieren un punto de vista diferente de la relación entre los humanos, las computadoras y las emociones, y establecen que las interfaces que ignoran los estados emocionales o que no manifiestan las emociones apropiadas pueden dificultar de manera importante su desempeño y corren el riesgo de ser percibidas como frías, socialmente ineptas, poco confiables e incompetentes (Brave y Nass, 2002). Antes de describir la investigación en computación afectiva, en esta sección se presentan algunos términos sobre afectividad y su relación en la interacción humano-computadora.

En la psicología clásica se establecen tres componentes de la mente: el cognitivo, el conativo y el afectivo. El cognitivo tiene que ver con el pensamiento, el conativo con la motivación y el querer hacer, y el afectivo tiene que las emociones (Mayer, 2008).

El diccionario de psicología de la asociación americana de psicología define afecto y el adjetivo afectivo como la experiencia de sentimiento o emoción. El afecto es un elemento clave del proceso de la interacción de un organismo con un estímulo. El término afecto a veces se refiere a la manifestación del afecto, que es un comportamiento facial, vocal o de gestos que son un indicador del afecto. El término afecto puede tomarse como una reacción instintiva a la estimulación que ocurre antes del proceso cognitivo necesario para la formación de una emoción más compleja. De esta manera, algunos teóricos sugieren que las reacciones afectivas pueden ocurrir sin un proceso cognitivo y perceptual extensivo, y que puede ocurrir antes y con mayor precisión que los juicios cognitivos. Por otro lado, otros teóricos consideran que el afecto surge después del proceso cognitivo (Huitt, 2003).

Aunque se han desarrollado muchas teorías sobre las emociones y la literatura ofrece muchas definiciones sobre la misma, aún no hay una definición completamente aceptada. Mucho de este desacuerdo puede derivarse de los lenguajes naturales, ya que usan las mismas palabras para referirse a diferentes estados y viceversa. Sin embargo, los investigadores coinciden en dos aspectos: 1) emoción es una reacción a eventos que se creen relevantes para las necesidades, metas e intereses de un individuo; y 2) emoción comprende componentes fisiológicos, afectivos, de conducta y cognitivos (Brave y Nass, 2002).

Cuando alguien nos pregunta como nos sentimos, nos pregunta acerca de nuestro estado afectivo. El estado afectivo se compone de muchos procesos que pudieran llamarse sentimientos, emociones o estados de ánimo (Murphy, 2006). Aunque generalmente estos términos se utilizan de manera intercambiada, es conveniente distinguirlos.

Las emociones se distinguen de los estados de ánimo en que las emociones se dirigen a un objeto o entidad. Las emociones son intencionales, implican una relación con un objeto en particular. Por ejemplo, nos espantamos por algo, nos enojamos con alguien y nos entusiasmos por algún evento. En contraste, aunque los estados de ánimo son indirectamente

causados por un objeto, éstos no son intencionales. Los estados de ánimo no están dirigidos hacia un objeto, por lo que los experimentamos de manera más difusa, global y general. Una persona puede estar triste por algo (una emoción) o deprimida (un estado de ánimo) (Brave y Nass, 2002).

Desde el punto de vista funcional, las emociones causan acción, como una reacción a una situación particular, preparan el cuerpo y la mente para respuesta inmediata, por lo que tienden a ser relativamente cortas. En cambio, los estados de ánimo tienen a causar procesamiento y estrategias cognitivas por un periodo de tiempo más largo, los estados de ánimo pueden verse como un fondo afectivo a través del cual se evalúan los eventos externos. Una persona con un buen estado de ánimo tiende a ver las cosas de manera positiva, al contrario de las personas con un mal estado de ánimo (Brave y Nass, 2002).

Al mismo tiempo, los estados de ánimo establecen una tendencia hacia cuales emociones surgirán (emociones relacionadas con el estado de ánimo); y las emociones causan o contribuyen a los estados de ánimo.

Frecuentemente, sentimiento también es confundido con emoción, sin embargo, a diferencia de las emociones y los estados de ánimo en un individuo, los sentimientos son propiedades que se le asignan a un objeto. Por ejemplo, cuando un usuario dice que le gusta una interfaz, lo que está diciendo es que asocia la interfaz con un estado emocional positivo. Este juicio se basa frecuentemente en una experiencia directa y en una subsiguiente generalización, pero también puede surgir del aprendizaje social. Otra diferencia estriba en que mientras las emociones y los estados de ánimo son fugaces, los sentimientos pueden durar indefinidamente y de esta manera son responsables de conducirnos a buscar o evitar un objeto.

Los conceptos anteriores tienen implicaciones en la interacción humano-computadora. Al tratar de evaluar las emociones de los usuarios, se debe tener en cuenta la relación de las emociones y los estados de ánimo, y tratar de detectar el estado de ánimo además de establecer las emociones. Otro elemento importante en esta evaluación es el temperamento, ya que éste causa en los individuos una tendencia hacia ciertos estados de ánimo y emociones. Por otro lado, los sentimientos también deberían ser evaluados de alguna manera o propiciados a través de la interacción, ya que ellos motivan a los usuarios a regresar a los programas o sitios de Internet.

De las definiciones anteriores podemos establecer de manera general que el afecto engloba las emociones, el estado de ánimo y los sentimientos. En este trabajo solamente se considera las emociones de los estudiantes, y establecemos como trabajo futuro el manejo de los estados de ánimo. En este contexto usamos afecto y emoción de manera indistinta para referirnos a los estados que surgen a consecuencia de eventos que son observados por el estudiante y que son relevantes para el mismo.

4.2. Computación afectiva

Aunque el incluir emociones en el funcionamiento de las computadoras se ha evitado por mucho tiempo, recientemente muchos investigadores han puesto su atención en el procesamiento de emociones. Un ejemplo de lo anterior, son los trabajos desarrollados por el Grupo de Computación Afectiva del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT Media Lab, 2008). Por otro lado, estudios científicos han demostrado la influencia de las emociones en la comunicación humana y en la toma de decisiones. Tal es el caso del libro “El error de Descartes”, donde Antonio R. Damasio presenta varios casos de personas que por diversas razones han perdido la capacidad de expresar emociones y cómo esta incapacidad ha afectado su vida, tanto en la toma de decisiones, como en las relaciones sociales y en el aprendizaje (Damasio, 1996). Lo anterior puede ser aplicable a la interacción hombre-máquina, ya que si una computadora interactúa con los usuarios sin tomar en cuenta su estado afectivo, corre el riesgo de que el usuario se canse y deje de usar ese programa. En el área de educación esto es aún más importante debido a que las emociones juegan un papel definitivo en el aprendizaje, ya que si el estudiante no tiene motivación será muy difícil que éste pueda tener disposición hacia el aprendizaje.

La computación afectiva puede tener muchas oportunidades en diferentes campos de aplicación, como por ejemplo: en entretenimiento, un programa que nos pone música de acuerdo con nuestro estado de ánimo; en actividades de oficina, un programa que no sólo convierta en texto los mensajes que le dictemos sino que reconozca el tono en que lo decimos; servicio al cliente, un programa que detecte el estado afectivo de los clientes al levantar un pedido o una queja; y en muchas otras áreas. Pero tal vez una de las aplicaciones que más rápidamente podrían desarrollarse y con una buena aceptación es la del tutor afectivo, esto es, un tutor que adapte su instrucción no solamente al desempeño del estudiante sino también a su estado afectivo, y en consecuencia le responda adecuadamente en cada situación.

El término “computación afectiva” (*Affective Computing*) fue acuñado por Rosalind Picard para representar cómputo que se relaciona con emociones, surge de emociones, o deliberadamente induce emociones (Picard, 2000). El objetivo de la computación afectiva es dar a las computadoras la habilidad de reconocer y expresar emociones, y así responder adecuadamente a las emociones humanas. En (Picard, Wexelblat y Nass, 2002) se expone que en la investigación de la computación afectiva existen dos aspectos importantes: el desarrollo de dispositivos para detectar el estado afectivo de los usuarios y el desarrollo de teorías computacionales de emoción que describan los estados emocionales con base en ciertos modelos.

En la siguiente sección se describen los signos fisiológicos que se utilizan en los *affective wearables*, después se describen algunos trabajos sobre dispositivos sensores y más adelante se presentan algunas de las teorías de emociones más conocidas.

4.2.1. Signos fisiológicos del afecto

Existen muchas señales relevantes para las respuestas afectivas que pueden medirse físicamente por medio de cámaras, micrófonos o sensores. Estos últimos pueden ser colocados en contacto físico con una persona de manera confortable y sin invasión. Actualmente las personas se encuentran en contacto con computadoras y sensores, lo que permite detectar signos fisiológicos sin requerir mucho esfuerzo por parte del usuario. Principalmente se pueden detectar cuatro señales: la actividad muscular, la presión sanguínea, la conductividad de la piel y la respiración (Picard, 2000).

Para detectar la *actividad muscular* se usan electrodos para medir un pequeño voltaje de un músculo para indicar si el músculo está contraído. Esta señal se puede detectar en la mandíbula, cuando se aprietan los dientes en un estado de angustia o con la risa. El sensor también se puede colocar en otros lados, por ejemplo en el músculo entre el hombro y el cuello, para detectar tensión.

La *presión sanguínea* es un indicador del flujo de la sangre, que se obtiene emitiendo luz infrarroja hacia la piel y midiendo cuánta luz se refleja. Se puede medir por medio de un pequeño sensor en la punta de un dedo. Con esta medida se obtiene el ritmo cardiaco que hace que la sangre fluya a través de las venas. Esta medida puede indicar si una persona se encuentra asustada, temerosa, ansiosa, y en caso de haber un incremento en el flujo de sangre hacia las extremidades, indica que la persona se encuentra relajada.

La *conductividad de la piel* se mide mediante dos electrodos pequeños de cloruro de plata. Se aplica un pequeño voltaje imperceptible para medir la conductividad entre los dos electrodos. Esta medida puede obtenerse colocando los sensores en las puntas de los dedos o en los pies. Esta medida aumenta cuando una persona se encuentra temerosa o experimenta ansiedad.

En la siguiente sección se presenta algunos *affective wearables* que utilizan los signos que se describieron.

4.2.2. Dispositivos sensores de los estados afectivos

Recientemente se ha realizado investigación considerable en la computación afectiva, principalmente en el desarrollo de los dispositivos conocidos como *affective wearables* (MIT Media Lab, 2008), que son pequeños dispositivos electrónicos colocados en prendas o accesorios de vestir con el objeto de detectar señales biológicas, como la presión de la sangre, la conductividad de la piel y la temperatura del cuerpo, que permitan determinar el estado afectivo del usuario. Dentro de los *affective wearables* desarrollados en el MIT podemos encontrar lo siguiente:

El proyecto *Affective Jewelry* (MIT Media Lab, 2008) cuyo objetivo es construir biosensores de bajo costo que sean cómodos, estéticamente aceptables y que encajen con la

ropa y accesorios comunes; por ejemplo, zapatos, relojes, aretes y anillos. Estos dispositivos detectan la conductividad de la piel y la presión sanguínea. En las figuras 4.1 y 4.2 se muestran aretes, anillos y brazaletes con sensores de la conductividad de la piel y la presión sanguínea. Como puede observarse en las imágenes, se trata de joyería convencional a la que se le han agregado los sensores.



Figura 4.1. Arete con sensor de presión sanguínea (MIT Media Lab, 2008) (Copyright 2008 Massachusetts Institute of Technology. Todos los derechos reservados. Imagen usada con permiso).

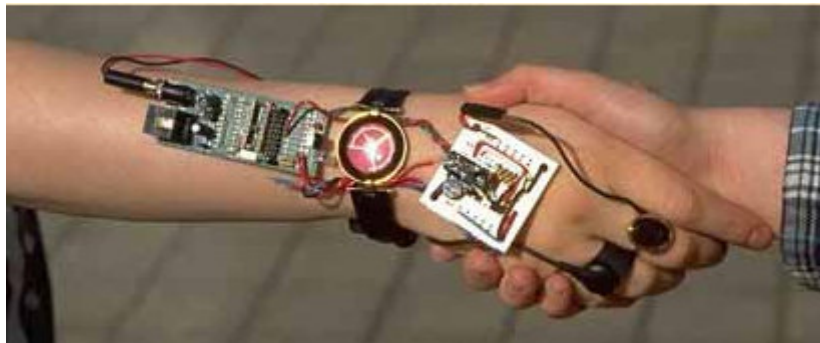


Figura 4.2. Anillos y brazaletes con sensor de conductividad de la piel (MIT Media Lab, 2008) (Copyright 2008 Massachusetts Institute of Technology. Todos los derechos reservados. Imagen usada con permiso).

Otro mecanismo interesante es el dispositivo *Expression Glasses* (Scheirer, Fernández y Picard, 1999) que permite obtener las expresiones faciales de los usuarios. Actualmente este dispositivo reconoce un subconjunto de las expresiones faciales y éstas se visualizan en un monitor gráfico, y se distinguen por medio de colores; por ejemplo, rojo representa confusión, verde representa interés, etc. En la figura 4.3 se muestra los lentes *Expression Glasses*. Para construir este dispositivo se utilizaron unos lentes convencionales y se modificaron para agregar una extensión de vinilo pegado al armazón de los lentes, en donde se colocaron los sensores.



Figura 4.3. Lentes *Expression Glasses* (MIT Media Lab, 2008) (Copyright 2008 Massachusetts Institute of Technology. Todos los derechos reservados. Imagen usada con permiso).

Un proyecto muy parecido a los *Expression Glasses*, pero basado en la conductividad de la piel es el dispositivo *Galvactivator* (Scheirer y Picard, 2003), que es una especie de guante que detecta la conductividad de la piel y la traduce a una luz luminosa en el mismo guante. La base del funcionamiento de este dispositivo es el incremento/decremento en la conductividad de la piel en la palma de la mano, lo que tiene potenciales aplicaciones para el manejo del stress y para la comunicación afectiva. En la figura 4.4 se muestran dos imágenes del dispositivo *Galvactivator*.

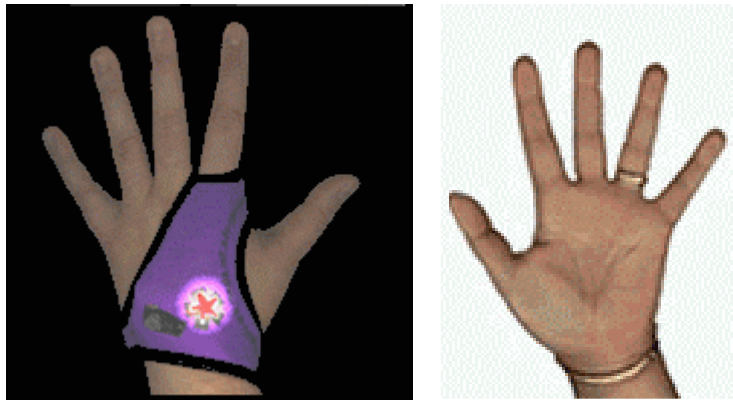


Figura 4.4. Guante *Galvactivator* (Scheirer y Picard, 2003) (Copyright 2008 Massachusetts Institute of Technology. Todos los derechos reservados. Imagen usada con permiso).

Los dispositivos *Affective Wearables* se basan principalmente en cuatro señales biológicas: la actividad muscular, la presión sanguínea, la conductividad de la piel y la respiración. Además de los *Affective Wearables* también existe creciente investigación en las áreas de visión y escucha computacional para la detección de las emociones (Picard, 2000).

La investigación en detección de señales indicativas del estado afectivo ha permitido el desarrollo de dispositivos más sofisticados; actualmente en el grupo *Affective Computing* del *MIT Media Lab* se está desarrollando una plataforma que permite la fácil integración de biosensores con diferentes productos comerciales, tales como *iPod* o teléfonos celulares. Esta plataforma tiene varias aplicaciones: el monitoreo de salud de pacientes fuera del hospital, en cuidado de ancianos, en productos de salud y en dispositivos de contenido interactivo (MP3, video) que responden a la salud o estado de ánimo del usuario quien escucha. Las aplicaciones iniciales de esta plataforma son: 1) mensajes personalizados de prevención de recaídas de adictos a las drogas que se encuentran en recuperación, disparados por señales fisiológicas de deseo; 2) selección de música disparada por el estado de ánimo y 3) monitor personal para el entendimiento de la influencia de la autonomía en autismo (MIT Media Lab, 2008).

Entre las aplicaciones de esta plataforma se encuentra *Shybot*, un robot móvil diseñado para fomentar la reflexión sobre la timidez. *Shybot* está diseñado para detectar la presencia humana y clasificar a las personas como amigos o extraños e interactuar con ellos. *Shybot* también puede detectar el estado de ansiedad de su compañero humano. Esta forma simple de interacción social fue diseñada para abrir una nueva dirección en la ayuda de niños con autismo. En la figura 4.5 podemos ver a una persona jugando a las escondidas (*hide-and-sike*) con *Shybot* (Lee *et al*, 2008).

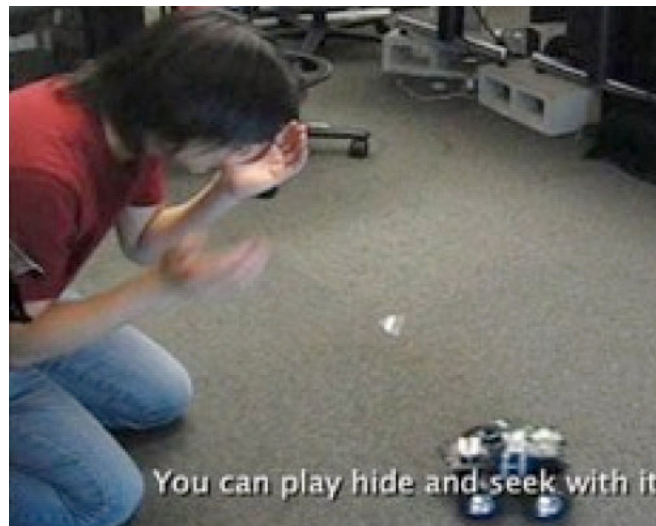


Figura 4.5. Persona jugando con *Shybot* (Lee *et al*, 2008) (Copyright 2008 Massachusetts Institute of Technology. Todos los derechos reservados. Imagen usada con permiso).

Otro dispositivo es *Self-Cam* (MIT Media Lab, 2008), un dispositivo que consiste de una cámara colocada a la altura del pecho apuntando hacia la cara del usuario, una computadora colocada en un cinturón y software para establecer el estado del usuario en tiempo real, por medio del análisis de la expresión facial y los movimientos de cabeza del usuario. Este dispositivo infiere seis estados afectivo/cognitivos: acuerdo, desacuerdo, interesado, confundido, concentrado y pensativo. Este dispositivo permite la exploración de lo que ven los

compañeros sociales durante la interacción social (Teeters, El Kaliouby y Picard, 2006). En la figura 4.6 se presenta a una persona portando *Self-cam* y a la derecha se muestra una imagen captada por *Self-cam*.

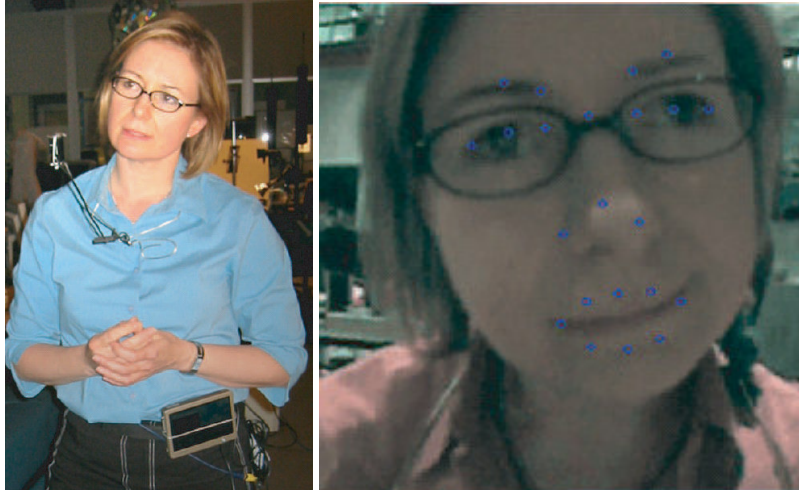


Figura 4.6. Persona portando *Self-cam* (Teeters, El Kaliouby y Picard, 2006) y a la derecha se muestra una imagen captada por *Self-cam* (Copyright 2008 Massachusetts Institute of Technology. Todos los derechos reservados. Imágenes usadas con permiso).

La computación afectiva es un área de investigación de reciente creación por lo que aún existe mucho trabajo por hacer, uno de los puntos pendientes es el desarrollo de modelos y teorías de emociones que permitan el desarrollo de aplicaciones de computación afectiva con un apoyo teórico y formal. En la siguiente sección presentamos el modelo cognitivo de emociones OCC que es reconocido y aceptado en la comunidad de inteligencia artificial y es una de las bases de la investigación que se presenta en este documento. Más adelante presentamos otros trabajos realizados en esta misma línea

4.3. Modelo cognitivo de emociones OCC

El primer modelo de emociones que se propuso para inteligencia artificial fue el Modelo Cognitivo de Emociones OCC (Ortony, Clore y Collins, 1988). Este modelo recibe su nombre de los apellidos de sus autores Andrew Ortony, Gerald L. Clore y Allan Collins, y fue presentado en su libro *The Cognitive Structure of Emotions* (Ortony, Clore y Collins, 1988). Los autores de este modelo pensaron que una computadora no necesitaba tener emociones, pero que los programas de inteligencia artificial si necesitaban razonar acerca de las emociones de los usuarios de manera que pudieran tomar buenas decisiones, especialmente aquellos programas de entendimiento de lenguaje natural, solución cooperativa de problemas y planeación (Ortony, Clore y Collins, 1988).

El modelo cognitivo de emociones OCC, al que nos referiremos solamente como modelo OCC, se basa en un supuesto acerca de las maneras como la gente puede percibir el mundo. El supuesto es que hay tres aspectos principales del mundo, o de cambios en el mundo, que uno puede tomar en consideración: acontecimientos, agentes y objetos. Cuando nos concentramos en los acontecimientos, lo hacemos porque estamos interesados en sus consecuencias, cuando nos concentramos en los agentes, lo hacemos a razón de sus acciones y cuando nos concentramos en los objetos, estamos interesados en ciertos aspectos de ellos, o propiedades que se les atribuyen. La posición de esta teoría establece la idea de que las emociones son reacciones con valencia y de que cualquier reacción concreta con valencia es siempre una reacción a alguna de las perspectivas del mundo.

Los acontecimientos son elaboraciones de la gente acerca de las cosas que suceden, consideradas independientemente de cualquier creencia que puedan tener acerca de las causas reales o posibles. La consideración de los objetos es muy simple, los objetos son entidades que son considerados como cosas tangibles (físicas). Los agentes son las cosas consideradas a la luz de su real o presunta instrumentalidad o intervención causando los acontecimientos o contribuyendo a ellos. Los agentes no se limitan a las personas, aunque ellas sean la manifestación más habitual; los agentes pueden ser seres animados no humanos, objetos inanimados o abstracciones, tal como las instituciones, e incluso las situaciones siempre que sean elaboradas como causalmente eficaces en ese contexto.

La estructura global que proponen los autores se presenta en la figura 4.7. Esta estructura tiene tres ramas principales que corresponden a las tres maneras de reaccionar ante el mundo. Esta estructura está diseñada para interpretarse como una descripción lógica, no temporal. Es decir, cada una de las tres clases de cosas ante las cuales se pueden tener reacciones con valencia está asociada con una clase amplia de reacciones afectivas. El que estas reacciones se experimenten o no como emociones depende de lo intensas que sean, lo cual es una de las razones por las que es importante saber que factores afectan a la intensidad de las emociones.

La primera clase abarca todos los tipos de emoción indicados en la rama de la izquierda de la figura 4.7. Hemos presentado esta clase general de reacciones afectivas como estar *contento* o *disgustado*. Los autores establecen que la elección de estas palabras (y la de palabras comparables, indicadas en minúsculas, en otros lugares de la estructura) no es crítica; se presentan únicamente como recordatorios convenientes para las posiciones correspondientes de la estructura. Las palabras *contento* o *disgustado* representan las mejores palabras relativamente neutrales en cuanto a la intensidad, que se refieren a las reacciones afectivas indiferenciadas que uno puede tener ante los acontecimientos y sus consecuencias. Estas reacciones afectivas surgen cuando una persona elabora las consecuencias de un acontecimiento como deseables o indeseables; así pues, esa deseabilidad estimada (incluyendo la indeseabilidad) es la variable más importante, o la central de las que afectan a la intensidad de todas estas emociones basadas en acontecimientos. Esto significa que la deseabilidad es el criterio principal de valoración.

En la rama del centro de la estructura se muestra la segunda clase general de reacciones afectivas denominadas de *aprobación* y *desaprobación*. Cuando estas reacciones son lo bastante intensas llevan a un tipo de emociones que los autores llaman emociones de

atribución. Éstas son causadas por reacciones ante las acciones de los agentes cuando se consideran como merecedores de alabanza o reproche, haciendo de la plausibilidad (y la censurabilidad) la base principal de la valoración.

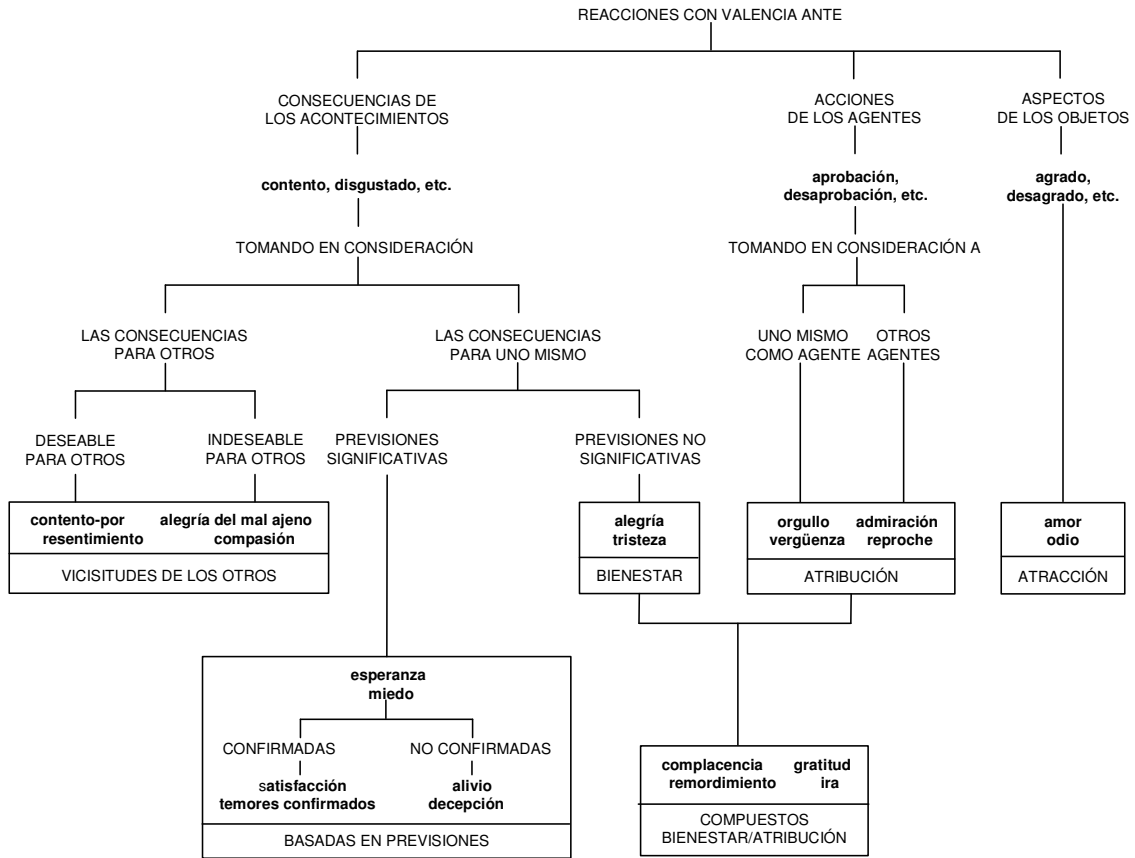


Figura 4.7. Estructura del modelo OCC (Ortony, Clore y Collins, 1988). Este modelo establece que las emociones surgen de una evaluación cognitiva y representan una reacción positiva o negativa ante: 1) consecuencias de eventos, 2) acciones de los agentes y 3) aspectos de los objetos. Las emociones que pueden surgir dependen de la relevancia de lo anterior en el agente. Por ejemplo, una acción del agente que coincide con sus principios producirá un estado de orgullo, mientras que si no coincide con sus principios producirá un estado de vergüenza; si la acción observada es llevada a cabo por otro agente, las emociones que se producen son admiración y reproche (Figura usada con permiso de Andrew Ortony).

La tercera clase general abarca las reacciones afectivas esencialmente no estructuradas de agrado y desagrado. Aquí las emociones asociadas son las emociones de atracción, que son causadas por reacciones ante objetos o aspectos de objetos en función de su *capacidad de atraer*.

Para ejemplificar cómo la consideración de los acontecimientos, de los agentes y de los objetos lleva a clases diferentes de reacciones emocionales veamos el siguiente escenario: una persona sabe que su vecino golpea a sus niños. Si la persona considera únicamente el papel del vecino como *agente* de la tunda, juzgándolo censurable a causa de su violación de

ciertas normas, su reacción con valencia hacia su vecino podría ser entendida como un emoción de atribución, como reproche o desprecio. La persona puede también considerar uno o más aspectos del *acontecimiento* tunda. Si considera solamente su indeseabilidad, le puede producir tristeza. Podría también centrarse en la situación de apuro de los hijos de su vecino y experimentar compasión. Finalmente, la persona podría tomar en consideración a su vecino como *objeto*, dando lugar a una emoción de atracción como el aborrecimiento.

Regresando a la figura 4.7, algunos de los rótulos están en mayúsculas y otros en minúsculas. Los rótulos en mayúsculas representan elementos estructurales, mientras que los rótulos en minúsculas representan estados emocionales o potencialmente emocionales. Los grupos individuales de emociones están encerrados en recuadros en cuya parte inferior está indicado el nombre de cada grupo. Los nombres que representan los tipos de emociones están en letras minúsculas. En todos los casos en que hemos indicado los tipos de emoción, las palabras concretas sugieren los elementos de esa posición de la estructura. De esta manera, las descripciones estructurales que representan no se proponen como definiciones de esos elementos.

Una característica importante del esquema del modelo OCC es que algunos factores que afectan a la intensidad de las emociones son específicos de grupos particulares de emociones. En general, el avance hacia abajo en la estructura que se muestra en la figura 4.7 tiene la tendencia a introducir variables que afectan a todas las emociones que se encuentran debajo. Al presentar las tres ramas principales de la estructura, se han introducido tres variables de intensidad, esto es, cuando decimos que los acontecimientos se valoran en función de su *deseabilidad*, las acciones de los agentes en función de su *plausibilidad* y los aspectos de los objetos en función de su *capacidad de atraer*. La deseabilidad, la plausibilidad y la capacidad de atraer son variables que influyen en la intensidad de todas las emociones debajo del punto en que se introducen. De esta forma, aunque cada una de ellas es central para una clase diferente de emociones, sus efectos son locales para colecciones de emociones. Al mismo tiempo, el modelo OCC tiene variables que tienen efectos globales en la intensidad. Por ejemplo, la variable *sentido de la realidad* que se refiere al grado en que el acontecimiento, agente u objeto que subyace a la reacción afectiva parece real a la persona que experimenta la emoción. Otra variable de intensidad es *proximidad* que representa la proximidad psicológica del acontecimiento, agente u objeto que induce la emoción. Otras variables de intensidad globales son: *cualidad de inesperado* y *excitación*. Las variables sentido de la realidad, proximidad y cualidad de inesperado son de naturaleza cognitiva, mientras que la variable excitación es de naturaleza fisiológica.

Otro aspecto de la estructura global del modelo OCC es la tendencia de las reacciones emocionales a desarrollarse de izquierda a derecha con respecto a la estructura que se muestra en la figura 4.7. Los autores exponen que esto podría deberse a que la experiencia inicial más sobresaliente es que algún acontecimiento ocurra; esto reduciría las reacciones emocionales a las reacciones basadas en acontecimientos. Sin embargo, uno puede buscar entender los orígenes causales del acontecimiento y entonces la emoción de atribución se convierte en una posibilidad. Finalmente, puesto que las deducciones acerca de las propiedades de los objetos (animados) se hacen con base en sus acciones, las emociones de atribución pueden dar lugar a reacciones momentáneas de agrado y desagrado sobre los agentes como objetos.

En resumen, el modelo OCC representa las emociones agrupándolas de acuerdo con las condiciones que las producen, y asume que las emociones surgen como reacciones positivas o negativas a situaciones que constan de eventos, agentes y objetos, de acuerdo con los principios, metas y preferencias del agente. La evaluación de la situación (emoción del agente) depende de cómo la situación encaja con las metas y preferencias del agente. Por ejemplo, si el agente observa un objeto que no encaja con sus preferencias, esto es un objeto que no le gusta, entonces, según el modelo OCC, el agente tendrá una emoción de odio hacia ese objeto. En el caso de eventos, si el agente desea que suceda un evento para sí, por ejemplo que le acepten una propuesta de proyecto, el agente tendrá la emoción de esperanza de que esto suceda; una vez confirmada o no confirmada su esperanza, tendrá una emoción de satisfacción o desilusión. En la estructura presentada en la figura 4.7, el primer ejemplo cae dentro de la categoría *aspectos de los objetos*, mientras que el segundo está en la categoría *consecuencias de los acontecimientos*.

Una de las metas de los autores del modelo OCC es proponer un modelo de emoción, o los cimientos de un modelo de emoción que sea tratable computacionalmente, por lo tanto proponen un sistema de reglas como un formalismo que podría derivarse de las caracterizaciones de las emociones hechas en el modelo OCC. De acuerdo con los autores, la regla más simple es la regla de las emociones de bienestar. Para cada emoción se asocian dos reglas principales. Por ejemplo, para las emociones de alegría, una de estas dos reglas podría ser algo parecido a la siguiente regla:

SI $DESEO(p,a,t) > 0$

ENTONCES *fijar* POTENCIAL DE ALEGRÍA(p,a,t) = $f_a[|DESEO(p,a,t)|, I_g(p,a,t)]$

Donde:

$|DESEO(p,a,t)|$ es el valor absoluto de una función que regresa el grado de deseabilidad que la persona p , asigna a un acontecimiento percibido a , en el tiempo t , bajo condiciones normales, y donde I_g es una función que refleja los valores combinados de las variables de intensidad.

El lado izquierdo de esta regla es una afirmación de las condiciones que desencadenan las emociones de alegría. Lo que hace es especificar las condiciones para que un acontecimiento sea deseable. De manera concreta, esta regla afirma que si la deseabilidad del acontecimiento a , en la memoria de trabajo tiene un valor positivo entonces el valor de la función llamada POTENCIAL DE ALEGRÍA debe fijarse en el valor que resulta de la función $f_a[|DESEO(p,a,t)|, I_g(p,a,t)]$, que representa los efectos combinados de las variables que se han postulado como elementos que influyen en la intensidad de las emociones de alegría. El primer argumento de la función f_a , que es la función específica para las emociones de alegría (de ahí el subíndice a) es el valor absoluto de la deseabilidad del acontecimiento a , para la persona que experimenta la emoción p , en el tiempo t . El segundo argumento, $I_g(p,a,t)$, representa la contribución de las variables globales a la intensidad en respuesta al acontecimiento. La función DESEO es una función que calcula la deseabilidad en el sentido técnico; no se refiere al grado en el que la persona desea el acontecimiento sino a las consecuencias beneficiosas acumuladas del acontecimiento cuando resulta un

valor positivo y a las consecuencias perjudiciales acumuladas del acontecimiento cuando resulta un valor negativo.

Para que se experimente una emoción, la intensidad de la reacción tiene que estar por encima de cierto valor umbral. El propósito principal de las funciones de potencial de emoción es permitir el cálculo de la magnitud de la reacción sin prejuzgar si se sigue o no se sigue de ahí una emoción. La regla anterior formaliza el desencadenamiento de un potencial de emoción. Con el objeto de determinar si se sigue una emoción, y en caso afirmativo determinar qué intensidad tiene, se usará una regla como:

SI POTENCIAL DE EMOCIÓN(p,a,t) > UMBRAL DE ALEGRÍA(p,t)
 ENTONCES *fijar* INTENSIDAD DE ALEGRÍA(p,a,t) =
 POTENCIAL DE EMOCIÓN(p,a,t) – UMBRAL DE ALEGRÍA (p,t)
 DE OTRO MODO *fijar* INTENSIDAD DE ALEGRÍA(p,a,t) = 0

Esta regla comprueba si el valor actual del POTENCIAL DE ALEGRÍA sobrepasa el umbral (el umbral de alegría) requerido para que surja una emoción de alegría. Si existe la posibilidad de una emoción de alegría y las variables que hipotéticamente afectan a la intensidad de las emociones de alegría dan lugar a un valor que sobrepasa el umbral actual (el umbral para la persona p en el tiempo t), activa la emoción de alegría, fijando la INTENSIDAD DE ALEGRÍA para p , con respecto al acontecimiento a y a partir del tiempo t en la diferencia a partir del umbral. Si no es así, el valor de INTENSIDAD DE ALEGRÍA vuelve a ponerse en cero, indicando que p no experimenta alegría en respuesta al acontecimiento a en el tiempo t .

Poner la intensidad en cero no tiene como resultado que desaparezcan todas las huellas del acontecimiento potencialmente inductor de la emoción, puesto que se conserva el valor actual del POTENCIAL DE ALEGRÍA. Los autores exponen que cuando el valor de la INTENSIDAD DE ALEGRÍA sobrepasa su valor por defecto, cero, esto equivale a afirmar la verdad de un predicado, ALEGRÍA, lo cual significa que el sistema postula la existencia de un sentimiento de alegría en p por el acontecimiento a iniciado en el tiempo t .

Esta regla activa la emoción de alegría, dándole una intensidad mayor que cero cuando se rebasa el umbral. La intensidad resultante puede ser traducida a un término de emoción de la familia *alegría*, tal como *complacido* para un valor moderado, o *eufórico* para un valor alto.

El objetivo del modelo OCC es dar a los programas de inteligencia artificial la capacidad de reaccionar ante las emociones de los usuarios, y su aportación principal hacia este objetivo se encuentra en establecer el estado afectivo del usuario. El modelo OCC establece de manera clara los diferentes estados afectivos de los agentes y debido a esta claridad, su implementación computacional es de relativa facilidad. Sin embargo, este modelo no establece las posibles respuestas del programa dado el estado afectivo, ya que éstas se encuentran en función de la aplicación particular, y por lo tanto es necesario establecer un modelo que permite relacionar estados afectivos del usuario con acciones del programa.

Por otro lado, para establecer el estado emocional del agente, el modelo OCC solamente toma en cuenta los eventos que suceden durante el tiempo de evaluación, y no toma en cuenta eventos anteriores a dicho evento que se ven reflejados en el estado de ánimo y que afectan el estado afectivo del estudiante. Es decir, no toma en cuenta el estado afectivo anterior para evaluar el estado afectivo actual.

En el área de STI, el modelo OCC puede aplicarse para establecer el estado afectivo del estudiante y por lo tanto se puede utilizar en el modelado afectivo del estudiante. Los tres componentes de la situación con base en la que se evalúa la emoción, eventos, principios y preferencias, son elementos que pueden encontrarse en las sesiones tutoriales.

El modelo cognitivo de emociones OCC ha sido ampliamente usado en aplicaciones de inteligencia artificial y ha llegado a considerarse casi como un estándar para el reconocimiento y síntesis de emociones. Entre las aplicaciones recientes del modelo OCC se encuentra un modelo de personalidad y emoción para un agente compañero de aprendizaje (*learning companion*) (Li *et al*, 2007), un agente pedagógico animado afectivo (Jaques y Viccari, 2005) en un sistema educativo de colaboración (Ver capítulo 2), un agente que predice la reacción emocional del estudiante en un sistema de aprendizaje a distancia (Chalfoun, Chaffar y Frasson, 2006).

Más adelante se describe una aplicación de este modelo hacia las relaciones sociales, así también se presenta una aplicación del modelo OCC en el modelado afectivo del estudiante.

4.4. Teorías de emociones

En la sección anterior se describió el modelo cognitivo de emociones OCC (Ortony, Clore y Collins, 1988). Este modelo, aunque es el más reconocido en la comunidad de inteligencia artificial para la generación y reconocimiento de emociones, no es el único esfuerzo hacia el objetivo de contar con modelos teóricos para el procesamiento de emociones. En esta sección se presentan otros trabajos en el desarrollo de modelos de emociones.

4.4.1. Plataforma *affective reasoner*

Uno de los trabajos más importantes en modelos de emociones es la plataforma *Affective Reasoner* (Elliott, 1992), que propone un modelo de emociones para sistemas multiagentes y las interrelaciones sociales entre estos agentes. Este trabajo consiste en una implementación y una extensión del modelo OCC. La plataforma *Affective Reasoner* muestra como modelar las personalidades de los agentes y sus relaciones sociales. La personalidad de los agentes se modela en dos partes. La primera parte establece como interpretar los eventos, acciones y objetos con respecto a las metas, principios y preferencias de cada agente, y la segunda parte establece como un agente actúa o se siente en respuesta a un estado emocio-

nal (Picard, 2000). Los agentes modelan tres tipos de relaciones sociales y cómo el tipo de relación con los otros agentes influye en las emociones. Las relaciones sociales que pueden tener los agentes en el *Affective Reasoner* son: amistad, animosidad, y empatía. Para que un agente pueda tener este tipo de relaciones basadas en otros agentes (y usuarios) tiene una representación interna de las maneras en que el agente cree que el otro agente ve el mundo.

El modelo *Affective Reasoner* consta de emociones básicas y acciones inducidas por las emociones básicas. Los agentes cuentan con un componente interpretativo y un componente expresivo que dan a cada agente su propia personalidad y su percepción de los otros agentes. Este modelo extiende el modelo *OCC* de veintidós a veintiséis tipos de emociones basadas en principios, preferencias y estados de ánimo. En la tabla 4.1 se listan los tipos de emociones y las condiciones que harían que surgiera el tipo de emoción.

El modelo *Affective Reasoner* está implementado en un sistema de reglas, donde los agentes son capaces de responder emocionalmente tanto a otros agentes como a usuarios interactivos.

Dos aspectos muy importantes de este modelo son: (1) su razonamiento hacia adelante basado en casos de evaluaciones y eventos hacia diagnósticos acerca de las emociones de otros, y (2) su razonamiento hacia atrás basado en casos de los hechos acerca de la situación y las expresiones de otros agentes hacia las emociones de otros agentes y por lo tanto hacia las evaluaciones de otros agentes. Estos aspectos son importantes para dar a las computadoras la habilidad para reconocer emociones basándose en un razonamiento de alto nivel de cómo las circunstancias dan origen a las emociones (Picard, 2000).

La plataforma *Affective Reasoner* es un ejemplo de la aplicabilidad del modelo *OCC* a diversos dominios donde las emociones son importantes. En un contexto de relaciones sociales, establece las emociones de un agente dada la relación que tiene con otro agente y las emociones de éste último, lo que permite establecer acciones inducidas por emociones. Esto último es una habilidad que no se encuentra en otros modelos de emociones.

La plataforma *Affective Reasoner* ha sido probada en relaciones de agentes computacionales con otros agentes computacionales, así como relaciones con usuarios humanos con los que tiene interacción; y el estado afectivo de ambos es inferido mediante la aplicación del modelo *OCC*. En el caso de agentes computacionales este tipo de razonamiento es adecuado, pero en el caso de usuarios humanos es conveniente que el razonamiento se lleve a cabo en combinación con otro conocimiento, por ejemplo la expresión facial.

4.4.2. Modelo Cathexis

Un trabajo importante en modelos de emoción es la arquitectura *Cathexis* (Velásquez, 1997), que está dirigida a modelar la generación de emociones y su influencia en el comportamiento de agentes autónomos animados; este trabajo está fuertemente apoyado en trabajos de psicología, etología y neurobiología. Aunque el principal objetivo de *Cathexis*

es proponer un modelo de los diversos aspectos de la generación de emociones, también da modelos simples de estados de ánimo y temperamentos, así como un algoritmo para la selección de las acciones. En la figura 4.8 se muestra la Arquitectura *Cathexis*.

Tabla 4.1. Tipos de emociones del Modelo *Affective Reasoner* (Elliott, 1992) (Tabla usada con permiso de Andrew Ortony y Clark Elliott).

Grupo	Especificación	Nombre y tipo de emoción
Bienestar	Evaluación de una situación como un evento	Alegría: Complacido por un evento.
		Angustia: Disgustado por un evento.
Suerte de otros	Valor supuesto de una situación como un evento que afecta a otros	Felicidad por otros: Complacido por un evento deseable para otros.
		Regodeo: Complacido por un evento no deseable para otros.
		Resentimiento: Disgustado por un evento deseable para otros.
		Celos: Resentimiento sobre una meta deseada mutuamente exclusiva.
		Envidia: Resentimiento sobre una meta no mutuamente exclusiva.
		Pesar por otro: Disgustado por un evento no deseable para otros.
Basado en esperanzas	Evaluación de una situación como un evento probable	Esperanza: Complacido por un evento probable deseable
		Miedo: Disgustado por un evento probable no deseable
Confirmación	Evaluación de una situación que confirma o no una expectativa.	Satisfacción: Complacido por un evento deseable confirmado.
		Alivio: Complacido por un evento no deseable no confirmado
		Temor confirmado: Disgustado por un evento no deseable confirmado.
		Desilusión: Disgustado por un evento deseable no confirmado.
Atribución	Evaluación de una situación como una acción responsabilidad de algún agente	Orgullo: Aprobación de los actos propios.
		Admiración: Aprobación de los actos de otro.
		Vergüenza: Desaprobación de los actos propios.
		Reproche: Desaprobación de los actos de otros.
Atracción	Evaluación de una situación que contiene un objeto atractivo o no atractivo	Agrado: Encontrar atractivo un objeto.
		Desagrado: Encontrar no atractivo un objeto.
Bienestar/Atribución	Emociones compuestas	Gratitud: Admiración + alegría.
		Enojo: Reproche + Angustia.
		Gratificación: Orgullo + Alegría.
		Remordimiento: Vergüenza + Angustia.
Atracción/Atribución	Extensiones de emociones compuestas	Amor: Admiración + Agrado.
		Odio: Reproche + Desagrado.

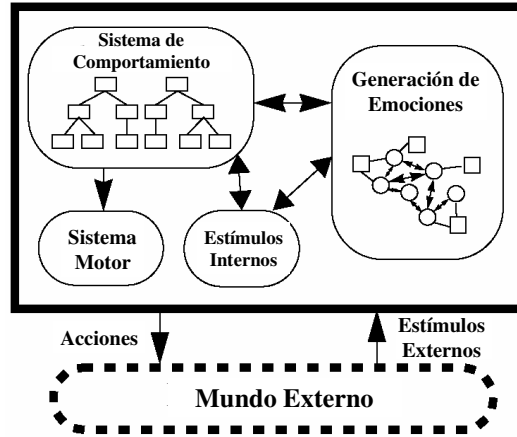


Figura 4.8. Arquitectura *Cathexis* (Velásquez, 1997).

Aunque en la mayoría de los trabajos, los términos emoción, temperamento y estado de ánimo se utilizan de manera indistinta, en este trabajo se hace una diferencia entre ellos. La emoción se define como un estado momentáneo, tiene un umbral bajo para dispararse y es de corta duración. Por estado de ánimo se entiende un estado de larga duración, cuyo umbral para dispararse es alto, esto es, una emoción que cambia muy lentamente. Mientras que temperamento se usa para representar las características de un agente que hacen que surjan las emociones y los estados de ánimo, es decir la predisposición de los agentes a ciertas emociones.

Las emociones, temperamentos y estados de ánimo están modelados por medio de una red de sistemas emocionales (módulo generación de emociones), cada uno de estos *proto-specialist* (Minsky, 1986) representa una familia de emoción específica tal como *miedo* o *disgusto*. Dentro de cada uno de los *proto-specialist* se encuentran diferentes sensores que monitorean los estímulos externos e internos buscando las condiciones apropiadas para generar el tipo de emoción representada por el *proto-specialist*.

Los sensores se dividen en cuatro grupos: neuronales, sensomotores, motivacionales y cognitivos, que representan diferentes clases de sistemas cognitivos y no cognitivos de activación de emociones. La entrada de cada uno de estos sensores incrementa o decrementa la intensidad de la emoción del *proto-specialist* al que pertenece. Cada *proto-specialist* cuenta con dos umbrales. El primero, el umbral α , controla la activación de la emoción y el segundo, el umbral ω , representa el nivel de saturación de la emoción. También para cada *proto-specialist* existe una función *decay*, $\psi()$, que controla la duración del episodio de emoción.

Los *proto-specialist* están interconectados entre sí, todos ellos corren en paralelo y están constantemente actualizando sus intensidades. Ningún *proto-specialist* tiene el control del sistema, y más de uno puede estar activo a la vez. No obstante, la intensidad de un *proto-specialist* puede inhibir o estimular otros sistemas de emoción. Estas ideas se presentan en la figura 4.9.

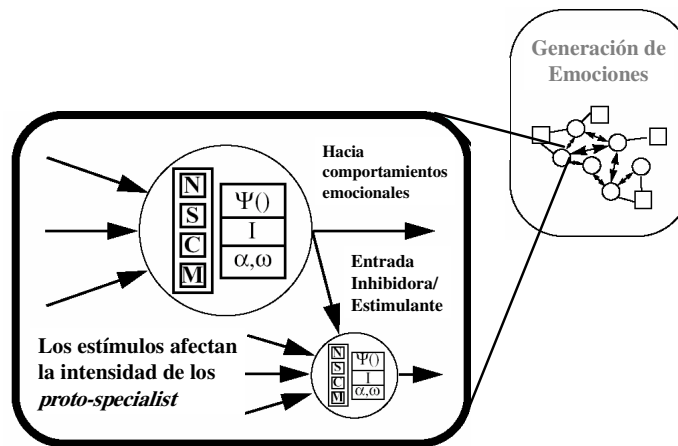


Figura 4.9. Sistemas de emociones (*proto-specialist*) (Velásquez, 1997).

En *Cathexis* cada emoción básica no es sólo un estado afectivo, sino que es una familia de estados afectivos relacionados. Cada miembro de la familia comparte ciertas características, y estas características difieren entre cada familia de emociones. *Cathexis* cuenta con sistemas de emoción para cada una de las siguientes emociones básicas: *enojo*, *miedo*, *angustia/tristeza*, *disgusto* y *sorpresa*. Algunos estados afectivos que se consideran emociones no se encuentran en la lista, sin embargo *Cathexis* modela emociones mezcladas debido a que más de un sistema de emoción puede estar activo al mismo tiempo, lo que permite que más de una emoción ocurran al mismo tiempo.

Estos cambios en el estado afectivo se modelan en el sistema de comportamiento, que decide qué comportamiento debe desplegar el agente dado su estado emocional. El sistema de comportamiento es una red de comportamientos tales como luchar, besar o sonreír.

El modelo *Cathexis* está implementado completamente en un ambiente de pruebas que permite a desarrolladores crear agentes emocionales. En la figura 4.10 se muestra a *Simon*, un agente emocional cuyas reacciones afectivas son producto del modelo *Cathexis*, en la figura podemos ver una expresión de disgusto después de haber comido algo con sabor desagradable.

Entre los modelos de emociones revisados para este trabajo de investigación, *Cathexis* es el más completo en el aspecto teórico, ya que está basado fuertemente en conocimiento de psicología. Toma en cuenta factores que otros modelos dejan de lado, como por ejemplo, la intensidad de una emoción, el decrecimiento de la emoción, el umbral de disparo y las emociones mezcladas.

Aunque el modelo establece detalladamente las relaciones entre las familias de emociones, las condiciones para generar las emociones y los estímulos internos; éste no especifica cuáles son los estímulos externos que recibe el modelo para establecer sus comportamientos, ni tampoco especifica si en el estado afectivo del agente pudiera intervenir el estado afectivo de otros agentes con los que pudiera tener alguna relación.

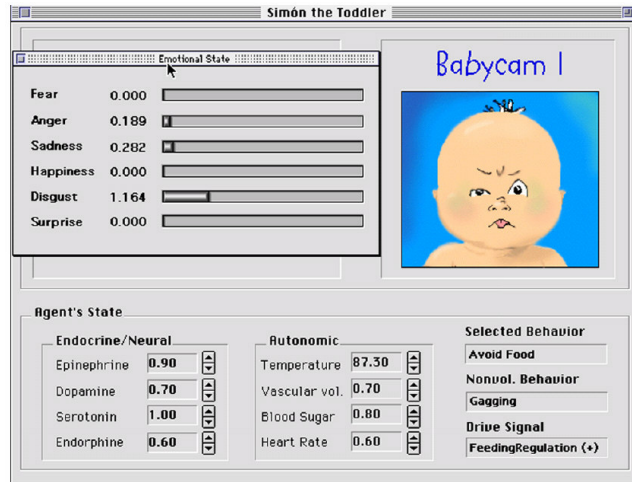


Figura 4.10. Agente emocional *Simon*. El comportamiento de este agente se genera mediante el modelo *Cathexis* (Velásquez, 1997).

4.4.3. Modelo motivacional

Por el lado de la pedagogía, existen algunas propuestas importantes que plantean la importancia del estado afectivo en el aprendizaje. Por ejemplo, en (de Vicente, 2003) se propone un modelo motivacional basado en las características del estudiante (expresadas por el mismo estudiante), y en la interacción y desempeño del estudiante en el STI. El modelo motivacional se presenta en la figura 4.11.

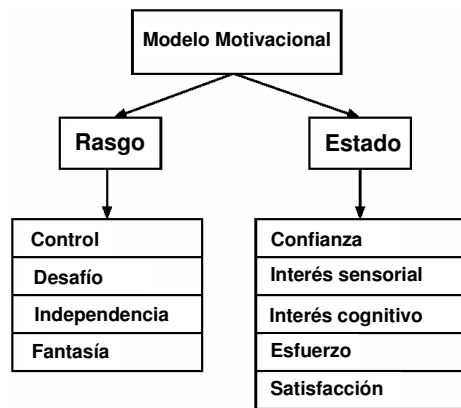


Figura 4.11. Modelo motivacional (de Vicente y Pain, 2002) (Figura usada con permiso de Springer Science+Business Media).

El modelo motivacional se divide en dos clases de variables: las variables permanentes, que son las características personales del estudiante; y las variables temporales, que representan el estado actual del estudiante. La definición de cada una de estas variables se presenta en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Variables del modelo motivacional (de Vicente y Pain, 2002) (Tabla usada con permiso de Springer Science+Business Media).

Variable	Definición
Control	Se refiere al grado de control que al estudiante le gusta tener sobre la situación de aprendizaje (Por ejemplo, ¿Le gusta seleccionar qué ejercicios hacer, en qué orden, etc. y no que el instructor lo decida?).
Desafío	Se refiere al grado en que el estudiante disfruta las situaciones desafiantes durante la instrucción (Por ejemplo, ¿Le gusta intentar ejercicios difíciles que representen un desafío para él?).
Independencia	Se refiere al grado en que el estudiante prefiere trabajar de manera independiente, sin pedir ayuda a otros (Por ejemplo, ¿Prefiere trabajar solo, aun si tiene dificultades, y tratar de resolverlos más que pedir ayuda a otros?).
Fantasía	Se refiere al grado en que el estudiante aprecia los ambientes que evocan imágenes mentales de situaciones físicas o sociales que realmente no están presentes (Por ejemplo, ¿Le gustan los materiales de aprendizaje que están embebidos en un contexto imaginario?).
Confianza	Se refiere a la creencia del estudiante de ser capaz de ejecutar la tarea correctamente.
Interés sensorial	Se refiere a la cantidad de curiosidad que la interfaz de presentación despierta en el estudiante (por ejemplo, el atractivo de los gráficos, sonidos, etc.).
Interés cognitivo	Se refiere a la curiosidad que surge a través de las características cognitivas o epistémicos de la tarea (Por ejemplo, sin considerar el aspecto de presentación, ¿El estudiante le parece que la tarea es cognitivamente atractiva?).
Esfuerzo	Se refiere al grado en que el estudiante se está esforzando para aprender la tarea.
Satisfacción	Se refiere al sentimiento general de conseguir la tarea (Por ejemplo, ¿El estudiante piensa que la instrucción es satisfactoria y que lo acerca a sus metas?).

Este modelo ha sido probado en un prototipo de STI llamado MOODS, que cuenta con un módulo en donde los estudiantes reportan sus características personales, esto es, las variables permanentes. Las variables temporales, que están en función de los materiales de aprendizaje y de los materiales de presentación, se obtienen de la interacción del estudiante con el sistema en combinación con sus características permanentes. Las calificaciones para las variables temporales se obtienen de la combinación de los siguientes tres factores: los movimientos que el estudiante hace con el *mouse*, la rapidez y la confianza con que contesta.

Las reglas de inferencia del estado motivacional del estudiante se obtuvieron de un estudio, en donde los maestros participantes calificaron el estado motivacional del estudiante. El punto restante de este modelo es la formalización de dichas reglas de inferencia.

La importancia de este modelo radica en la sencillez de sus métodos de inferencia: la personalidad del estudiante y su estilo de interacción con el programa. Pero, éste último pudiera no ser un indicativo del estado motivacional, por ejemplo, hay estudiantes que les gusta meditar las preguntas y las respuestas, y hay otros estudiantes que les gusta contestar rápido, y esto no significa que el primer estudiante tenga la autoconfianza más baja que el segundo estudiante.

Cabe destacar que este modelo solamente se enfoca en el estado de motivación del estudiante, lo cual es una parte del estado afectivo, y por otro lado no contempla las razones externas del estado motivacional, las cuales pueden ser importantes para establecer las

posibles acciones de los programas. Otro punto faltante de este modelo es establecer las acciones que debe llevar a cabo el tutor con base en el estado motivacional.

4.4.4. Modelo pedagógico

En el MIT Media Lab se está desarrollando el proyecto *Affective Learning Companion* (Kort, Reilly y Picard, 2001a; Kort, Reilly y Picard 2001b), cuyo objetivo es construir un compañero computacional que ayude a los estudiantes a aprender. El compañero de aprendizaje hace preguntas ocasionales al estudiante y observa su desempeño, buscando signos que ayuden a determinar su estado afectivo, como frustración, aburrimiento, curiosidad o diversión. La idea principal de este trabajo no es presentar un tutor que conteste correctamente todas las preguntas del estudiante sino que se trata de un compañero que le ayude durante el viaje de aprendizaje, que reconozca su estado afectivo y que sus acciones tomen en cuenta este estado afectivo para ayudar al estudiante a aprender (Kort, Reilly y Picard, 2001a).

El primer paso de de este proyecto es proponer un modelo computacional que represente el papel que juegan las emociones en los procesos cognitivos del aprendizaje. La hipótesis de este trabajo es que existe una interrelación entre el aprendizaje y las emociones, que va más allá de lo propuesto en las teorías actuales (Kort, Reilly y Picard, 2001a). Ellos exponen que ninguna de las teorías propuestas está encaminada hacia el aprendizaje. En este trabajo los autores, proponen un conjunto de emociones básicas posiblemente relevantes para el aprendizaje, cada una con diferentes grados de la emoción, por ejemplo, de la ansiedad hasta la confianza, pasando por la preocupación y la esperanza. Este conjunto de emociones básicas se muestra en la figura 4.12.

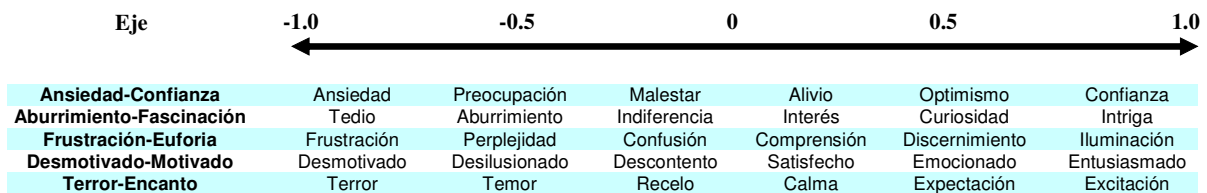


Figura 4.12. Conjunto de emociones posiblemente relevantes para el aprendizaje (Kort, Reilly y Picard, 2001a).

Este conjunto de emociones puede variar por razones culturales o con la edad de los estudiantes, ya que no en todos los grupos culturales o de edad tienen lugar las mismas emociones, por ejemplo, algunos investigadores establecen que los bebés tienen solamente tres tipos de emociones al nacer: interés, enojo/angustia, y placer.

Las interrelaciones de las emociones y el proceso de aprendizaje se presentan en la figura 4.13. El eje horizontal es el eje de emoción y podría ser uno de los ejes de la figura 4.12. La valencia positiva está en el lado derecho del eje mientras que la valencia negativa está

en el lado izquierdo del eje. El eje vertical es el eje de aprendizaje y simboliza la construcción de conocimiento hacia arriba y el desechar conceptos erróneos en el sentido hacia abajo (Kort, Reilly y Picard, 2001a).

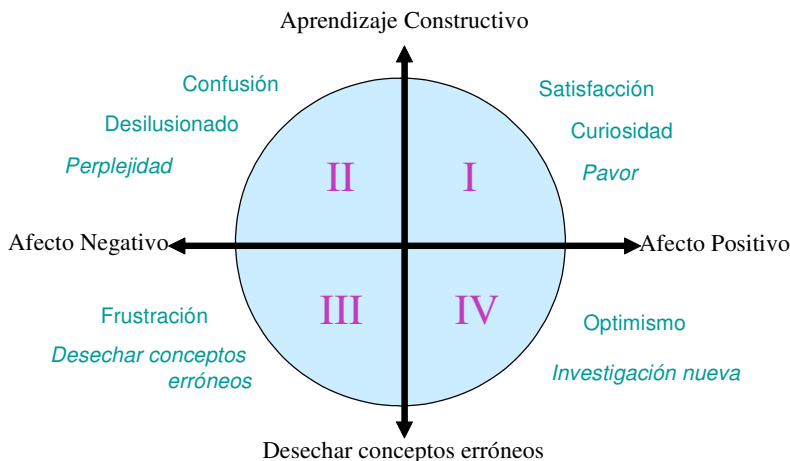


Figura 4.13. Modelo de relación fases de aprendizaje-emociones (Kort, Reilly y Picard, 2001a).

De acuerdo con los autores, un estudiante inicia en el cuadrante I ó II con un sentimiento de curiosidad y fascinación hacia un nuevo tópicos de aprendizaje, y conforme va avanzando en el aprendizaje llegará a tener sentimientos de frustración, que es típico y normal en el proceso de aprendizaje, y una vez que se recupera, el ciclo inicia nuevamente. Si se visualiza el ciclo de la figura 4.13 con cada uno de los ejes de la figura 4.12, tendríamos que un estudiante podría estar en diferentes cuadrantes con respecto a diferentes ejes. Lo cual es válido en los estudiantes, ya que pueden experimentar un conjunto de emociones al mismo tiempo.

Como ya se mencionó, el proyecto se encuentra en desarrollo, por lo que este modelo no ha sido diseñado y probado completamente. Aunque se establece que el modelo está dirigido al área de enseñanza y que los estudiantes normalmente recorren un ciclo de estados emocionales; pero el proceso de las emociones de los estudiantes no siempre podría seguir el ciclo establecido ni esa dirección, ya que dependen las características de los estudiantes así como las acciones del modelo para ayudar al estudiante a recuperarse de estados emocionales negativos hacia el aprendizaje. Por otro lado, el modelo pedagógico parece ser complejo de implementar computacionalmente, aunque en este aspecto no está establecido aún cuales serán las posibles entradas para establecer el estado emocional del estudiante, ni cuáles serían las acciones del modelo.

Hasta aquí se ha descrito brevemente un área de investigación novedosa: la computación afectiva, que trata del desarrollo de sistemas computacionales que detecten y respondan inteligentemente a los diferentes estados afectivos de los diferentes usuarios, además de que expresen sus estados afectivos de manera creíble. En la siguiente sección se presentan algunos trabajos que proponen la integración de los agentes pedagógicos animados con estas capacidades afectivas.

4.5. Afectividad en agentes pedagógicos animados

Por el lado de los agentes pedagógicos animados, el tema de reconocer el estado afectivo de los estudiantes y de expresar emociones no ha sido dejado de lado. Existen algunas iniciativas para integrar la arquitectura del modelo *Affective Reasoner* (presentado en la sección 4.4.1) con agentes pedagógicos como *Steve* y *Herman the Bug* (presentados en el capítulo 2).

En (Elliott, 2002), el autor establece que la investigación se ha dado de manera paralela en ambos aspectos, en los agentes pedagógicos animados y en los modelos cognitivos de emoción. En ambas líneas los conceptos están lo suficientemente maduros para que puedan integrarse; y así obtener un agente pedagógico que sea sensible a los estados afectivos del estudiante y pueda razonar acerca de los aspectos afectivos en el contexto de la solución de problemas (Elliott, 2002). Con esta integración se podrían obtener diversas ventajas pedagógicas debido al papel tan importante de las emociones en la motivación y a su vez, de la motivación en el aprendizaje. Algunos de los beneficios que se podrían obtener con un agente pedagógico afectivo son los siguientes:

- Un agente pedagógico afectivo podría parecer que se preocupa por los estudiantes y por su progreso.
- Un agente pedagógico afectivo podría ser sensible a las emociones de los estudiantes.
- Un agente pedagógico afectivo podría transmitir entusiasmo por la materia, de manera de fomentar un entusiasmo similar en el estudiante.
- Un agente pedagógico afectivo con una personalidad rica e interesante podría simplemente hacer el aprendizaje más divertido.

Con estas características lo que el estudiante recibe es una instrucción personalizada considerando no solamente su avance en la materia que estudia, sino también recibe una instrucción personalizada de acuerdo a sus características generales y su estado afectivo actual; lo que le da al estudiante la *sensación* de que hay alguien que se preocupa porque aprenda y que le ayuda a hacerlo.

Existen dos puntos importantes en el comportamiento afectivo en agentes pedagógicos animados, la capacidad de tener estados afectivos y la capacidad de detectar el estado afectivo de los estudiantes con el objeto de responderles adecuadamente. Estas dos funcionalidades son complementarias y es deseable que un agente con comportamiento afectivo cumpla con ambas. A continuación se muestra como se podrían integrar el modelo *Affective Reasoner* con los agentes pedagógicos animados de manera de conseguir estas funcionalidades.

4.5.1. Estados afectivos en agentes pedagógicos animados

En el modelo *Affective Reasoner* las emociones surgen como un resultado de cómo el agente ve el mundo y cómo le afectan las situaciones (que se componen de eventos, agentes y objetos) dadas sus metas, principios y preferencias. Por ejemplo:

- Las emociones basadas en metas, tales como felicidad y tristeza/angustia, se generan cuando sucede un evento que coincide o no coincide con los intereses del agente.
- Las emociones basadas en principios, tales como admiración o reprobación, se generan cuando una acción de algún agente coincide con las creencias de ese agente o de otro agente sobre lo que está bien o está mal.
- Las emociones basadas en preferencias, tales como gustar y disgustar, se generan cuando hay una coincidencia entre los objetos atractivos o no atractivos que observa el agente y sus preferencias.

Dado el contexto en que habita *Steve*, un ambiente de simulación, estas situaciones surgen y están formalmente representadas, lo que permite probar las posibles evaluaciones del mundo con respecto a su personalidad. Un agente *Steve emocionalmente inteligente* podría tener o no tener respuestas a ciertas situaciones dependiendo de sus intereses.

Por ejemplo, *Steve* tiene un conjunto de metas que definen su personalidad, estas metas pueden coincidir con las situaciones que surgen, ya sea como una meta que se consiguió o como una meta que no se consiguió. De esta manera las metas de *Steve* combinadas con el estado actual determinan como se siente *Steve*. Por ejemplo, si *Steve* tiene como meta motivar a los estudiantes, y si el estudiante parece estar aburrido, *Steve* se sentirá ansioso, triste o enojado, y en caso contrario se sentirá feliz.

Al igual que *Steve* tiene un conjunto de metas, también tiene un conjunto de principios y de preferencias, que cuando coinciden con la situación actual da paso a que se genere un estado afectivo. De manera similar, *Steve* podría tener emociones basándose en el estado afectivo que él cree que tiene el estudiante, generando los estados de animosidad y compasión; o podría tener emociones acerca de eventos pasados y futuros (Elliott, 2002), por ejemplo tener miedo o esperanza que algo suceda.

En la siguiente sección presentamos cómo las teorías y modelos presentados hasta el momento pueden utilizarse para modelar afectivamente al estudiante.

4.6. Modelado afectivo del estudiante

Antes de hablar del modelado afectivo del estudiante, definiremos el término “modelo del estudiante” o por lo menos se establecerá lo que se entiende por este término en la mayoría de los casos. El modelo del estudiante es una estructura que representa el estado actual del estudiante, es decir, contiene conocimiento acerca de un estudiante. El sistema utiliza el

modelo del estudiante para generar las acciones adecuadas para cada estudiante (Self, 1994).

El modelo del estudiante puede verse como un conjunto de creencias que tiene el sistema acerca del estudiante (Self, 1994). El sistema tiene creencias acerca de lo que el estudiante sabe y no sabe. Esta estructura de razonamiento se compone de un conjunto B_s de creencias del estudiante, un conjunto B_c de creencias del sistema y un subconjunto LM de las creencias del sistema que son creencias acerca del estudiante. Esta estructura se presenta en la figura 4.14

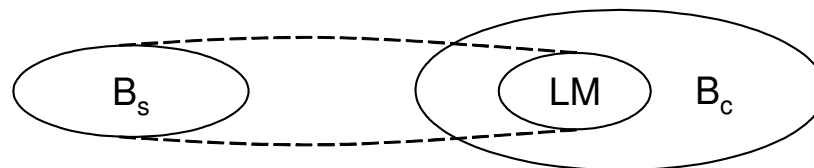


Figura 4.14. Sistema de creencias en el modelo del estudiante. B_s es el conjunto de las creencias del estudiante, B_c es el conjunto de las creencias del sistema y LM es un subconjunto de las creencias del sistema que son creencias acerca del estudiante (Self, 1994).

Estos fundamentos son generales y abstractos, por lo tanto pueden utilizarse en la construcción de cualquier modelo del estudiante (Self, 1994). Algunas consideraciones acerca de los sistemas de creencias en el modelado del estudiante son las siguientes:

- 1) Se puede distinguir entre la creencia y el objeto de la creencia. Así, cuando decimos “La creencia del estudiante de que el momento depende solamente de la velocidad es razonable debido a los ejemplos que ha visto”, el comentario es sobre la creencia y sobre el enunciado “el momento depende solo de la velocidad”.
- 2) Una creencia puede calificarse como verdadera o falsa, de acuerdo con los hechos.
- 3) Las creencias se sustentan en razones, y frecuentemente los cambios en las creencias son una función de las razones que las sustentan.
- 4) Las creencias están relacionadas con el comportamiento: si un agente cree p entonces está dispuesto a actuar como si p fuera cierto.
- 5) No importa si las creencias tienen alguna existencia real en la mente, es suficiente que los agentes encuentren útil atribuir las creencias a otros para entender o predecir lo que hacen.

La estructura del modelo del estudiante contiene como mínimo creencias acerca del conocimiento del estudiante. Los sistemas tutores inteligentes generan esta estructura y la utilizan para adaptar la instrucción a las necesidades particulares de cada estudiante. Sin embargo, uno de los factores que los tutores humanos toman en cuenta al momento de la instrucción es el estado emocional del estudiante, por lo que es necesario que el modelo del estudiante contenga conocimiento acerca del estado afectivo del estudiante, es decir, las creencias del sistema acerca del estado afectivo del estudiante.

Agregar el estado afectivo del estudiante al modelo del estudiante, permite generar la instrucción de manera más precisa para cada estudiante. No importa la evolución de tecnología ni los cambios en la percepción de los sistemas tutores, existe una característica que los define, cuidan al estudiante, se adaptan a las necesidades a sus necesidades (Self, 1999)

La investigación en computación afectiva es un área de reciente nacimiento y la aplicación de la computación afectiva al área de STI es aún más incipiente. Por lo tanto, en la investigación sobre modelado afectivo del estudiante todavía no se tiene trabajo considerable. En esta sección se presentan dos propuestas interesantes para modelar afectivamente al estudiante; estas propuestas toman como base el modelo OCC (Ortony, Clore y Collins, 1988).

4.6.1. Modelado afectivo del estudiante en la plataforma *affective reasoner*

Dentro del comportamiento afectivo existen dos habilidades importantes: evaluar el estado afectivo del estudiante, para responder adecuadamente, y expresar reacciones afectivas. La idea general de la plataforma *Affective Reasoner* es que los agentes tienen estructuras para su evaluación del mundo, y estas estructuras pueden reutilizarse para que el agente tenga su evaluación de cómo los estudiantes ven el mundo, esto es, cómo cree el agente que el estudiante se siente con respecto a las situaciones que se presentan, dadas las creencias que el agente tiene sobre los metas, principios y preferencias del estudiante. Por ejemplo, si el agente cree que el estudiante tiene la meta de hacer bien todos los ejercicios que se le presentan, y el estudiante ha tenido errores en la solución de los problemas, entonces el agente pensaría que el estudiante se siente frustrado y su respuesta sería alguna acción que trate de motivar al estudiante y vencer el estado de frustración. Otro aspecto es cómo hacer inferencias acerca del estado afectivo del estudiante y cómo actualizar dicho modelo. Esto se puede llevar a cabo utilizando diversos mecanismos de inferencia, Elliott (Elliott, 2002) establece cinco maneras de obtener el modelo afectivo del estudiante:

- Preguntar. Preguntar al usuario como se siente.
- Estereotipos. Usar la información disponible para hacer suposiciones acerca de los tipos de usuario.
- Contexto. Usar la información del contexto.
- Estereotipos afectivos. Inferir como se sentirían la mayoría de los usuarios.
- Introspección. Si las inferencias anteriores no se pueden dar, inferir como se sentiría el agente en caso de estar en la misma situación.

La hipótesis de los autores es que el modelo del afecto del usuario debe permitir traducir los eventos del sistema junto con las respuestas del usuario a preguntas sobre el estado afectivo del estudiante de manera efectiva. El tomar información del contexto para establecer el estado emocional es el principio del modelo OCC (Ortony, Clore y Collins, 1988), que establece que la generación de emociones está dada por la evaluación cognitiva que hace un

agente (humano o computacional) sobre la situación actual; Es decir, como encajan las metas, los principios y las preferencias de los agentes con la situación:

- Las emociones como felicidad y tristeza, que son emociones basadas en metas, se generan cuando ocurre un evento que coincide o no coincide con los intereses del agente.
- Las emociones como admiración o reprobación, que son emociones basadas en principios, se generan cuando una acción de algún agente coincide con las creencias del mismo, o de otro agente sobre lo que está bien o está mal.
- Las emociones como amor y odio (o gustar y no gustar), que son emociones basadas en preferencias se generan cuando en la situación actual existen objetos atractivos o no atractivos para el agente, esto es que coinciden con sus preferencias.

Al igual que en el caso del agente, las emociones del estudiante están basadas en metas, principios y preferencias. Además de sentirse feliz o triste debido a que la meta se consiguió o no, existen algunas variables de intensidad:

- Importancia para el estudiante.
- Esfuerzo. Se incrementa conforme el estudiante pasa más tiempo tratando de resolver un conjunto de tareas.
- Ansiedad/Invencibilidad. Si el estudiante lleva cierto número de éxitos recientes, la invencibilidad aumenta, pero si lleva un cierto número de fracasos, la ansiedad se incrementa.
- Umbral. Si el estudiante tiene un desempeño por arriba del promedio, el umbral aumenta, pero si su desempeño está por debajo del normal, el umbral disminuye.

Estas variables de intensidad determinan el estado afectivo del estudiante considerando la situación actual.

Este trabajo para modelar afectivamente al estudiante aún se encuentra en desarrollo, y los siguientes puntos en la agenda de investigación son: 1) crear técnicas para comparar las metas y principios de los agentes con los eventos de simulación y las acciones del estudiante para obtener las condiciones de disparo de las emociones, 2) crear mecanismos para convertir estas condiciones en los estados afectivos apropiados y 3) crear mecanismos para expresar estos estados afectivos al usuario (Elliott, 2002).

En la siguiente sección se presenta otro trabajo sobre modelado afectivo del estudiante que se basa en el modelo OCC y que utiliza redes probabilísticas.

4.6.2. Modelado afectivo del estudiante con el modelo OCC y redes bayesianas

En el área de modelado afectivo del estudiante aún no se tiene mucho desarrollo, sin embargo una propuesta interesante es el modelo afectivo del estudiante propuesto por Conati (Conati y Maclaren, 2005; Zhou y Conati, 2003). Este modelo combina la

evaluación cognitiva de la situación con respecto a las metas del estudiante (modelo OCC), con las redes bayesianas y las redes de decisión dinámicas (RDD). Este modelo ha sido probado en un juego educativo que enseña a niños de alrededor de 12 años sobre factorización de números.

Para representar el alto grado de incertidumbre en la tarea de modelado del estudiante, este modelo afectivo utiliza las redes de decisión dinámicas para representar de manera explícita las relaciones probabilísticas entre los estados afectivos y sus causas y sus efectos (Zhou y Conati, 2003). Al utilizar redes bayesianas y RDD se tiene la ventaja de que cualquier evidencia disponible sobre las variables relacionadas con el estado afectivo, se puede utilizar para hacer predicciones acerca de otras variables del modelo (Conati y Maclaren, 2005; Conati y Zhou, 2002).

En la figura 4.15 se muestra la RDD del modelo afectivo del estudiante. El estado afectivo y las características del estudiante pueden evaluarse a partir de las expresiones corporales, que son los efectos de las emociones (ver evaluación de diagnóstico). Las expresiones corporales se obtienen por medio de sensores que detectan la conductividad de la piel y el ritmo cardíaco, así como por una cámara que monitorea la posición de las cejas.

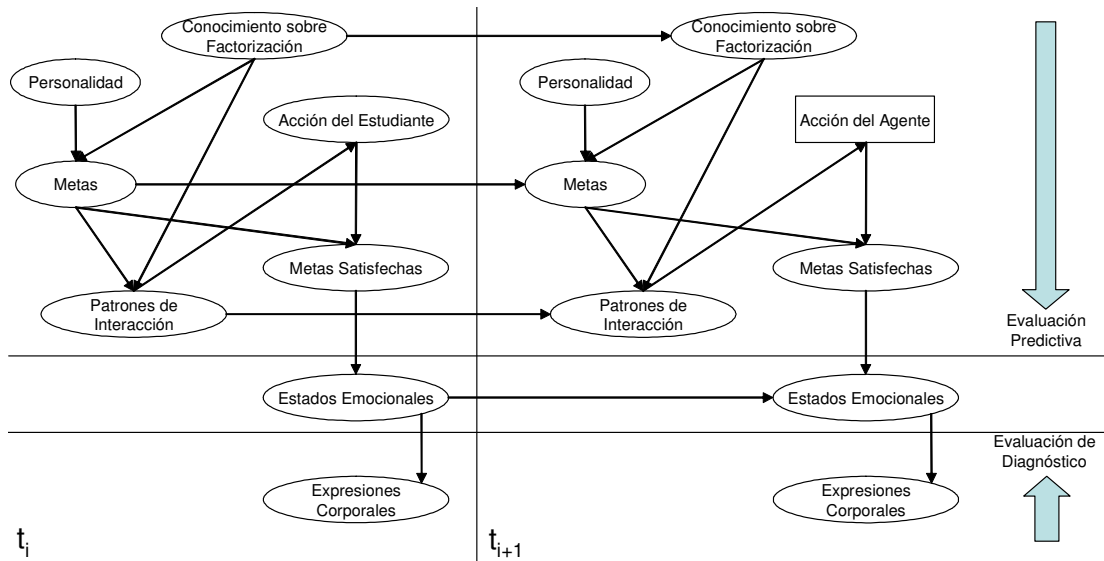


Figura 4.15. RDD para modelar el estado afectivo del estudiante (Conati y Zhou, 2002). Los estados emocionales se obtienen por medio de una evaluación predictiva y una evaluación de diagnóstico. En la evaluación predictiva intervienen las características del estudiante y la situación actual, que son las causas de las emociones. En la evaluación de diagnóstico intervienen las expresiones corporales, tales como conductividad de la piel y ritmo cardíaco, que representan los efectos de las emociones (Figura usada con permiso de Cristina Conati).

El estado afectivo también puede evaluarse utilizando la información disponible acerca de las características del estudiante y de la situación, que son las causas de las emociones, (ver evaluación predictiva). Los nodos de la red arriba del nodo *estados emocionales* de la red

representan las relaciones entre las posibles causas y los estados emocionales como lo establece el modelo OCC (emociones basadas en metas).

Con el objeto de aplicar el modelo OCC, la red incluye variables para las metas del estudiante (nodos *meta*), pero el modelo no representa de manera explícita las preferencias y los principios de los estudiantes que forman parte del modelo OCC. El objeto de la evaluación del estudiante es cualquier evento causado por una acción del estudiante o por una acción del agente. La deseabilidad de un evento con respecto a las metas del estudiante se representa por medio de los nodos *metas satisfechas*, que a su vez influye en el estado afectivo del estudiante.

Para establecer las metas del estudiante, lo cual es un elemento fundamental del modelo OCC, el modelo afectivo del estudiante se basa en la personalidad y en el conocimiento que tiene el estudiante sobre la materia (factorización de números). Esto se debe a que en el juego educativo que sirve como plataforma de prueba del modelo, no se pregunta, de manera directa, las metas del estudiante. El juego educativo se describe con más detalle en el capítulo 8.

En la figura 4.15 se muestran dos puntos en el tiempo, t_i y t_{i+1} . Las ligas entre los nodos de un tiempo a otro, indican que los valores de las variables evolucionan en el tiempo y que su valor en un tiempo influye en su valor en el siguiente tiempo.

Un aspecto muy importante de este modelo es que combina las situaciones (consecuencias de eventos) que pueden ser causas de las emociones, con las expresiones corporales del estudiante. Esta integración permite establecer el estado afectivo de manera más precisa al tomar evidencia de ambas partes. Además de que representa de manera explícita la influencia del estado afectivo en el tiempo anterior en el estado afectivo en el tiempo actual.

Este modelo afectivo del estudiante, por estar basado en el modelo OCC, establece el estado emocional del estudiante solamente tomando en cuenta los eventos que suceden durante la tutoría, y no toma en cuenta eventos externos a la tutoría que se ven reflejados en el estado de ánimo y que afectan el estado afectivo del estudiante.

Como se ha mencionado a lo largo de este capítulo, el modelo OCC es uno de los pilares de la computación afectiva. El modelo OCC es ampliamente reconocido y ha sido usado en diversas aplicaciones por su sencillo método de inferencia; principalmente se ha demostrado su aplicabilidad en el modelado afectivo del estudiante. También hemos mencionado que las metas son una parte fundamental para establecer el estado afectivo del estudiante. Una de las maneras de establecer las metas del estudiante es preguntarlas directamente al estudiante, sin embargo preguntar las metas al estudiante no es una buena opción ya que se corre el riesgo de no obtener una respuesta genuina; esto de acuerdo con los estudios realizados por Reeves y Nass (Reeves y Nass, 1996).

Por lo anterior, es necesario contar con mecanismos para establecer las metas de los estudiantes. Una manera es por medio de la personalidad del estudiante. En la siguiente sección se presenta un modelo de personalidad muy reconocido entre la comunidad científica de psicología y pedagogía.

4.7. Modelo de los cinco factores

En esta sección se presenta una teoría de personalidad. El presentar dicha teoría se debe a que nuestro trabajo está basado en el modelo OCC, donde un elemento fundamental son las metas de los agentes. En nuestro trabajo establecemos las metas de los estudiantes por medio de los rasgos de personalidad; aunque existen algunas otras propuestas para establecer las metas de los estudiantes, tal como preguntarlas al mismo estudiante.

El modelo de los cinco factores es uno de los modelos más prominentes en la psicología contemporánea. Este modelo también es conocido como el modelo OCEAN por las siglas de los nombres de sus dimensiones (factores). Esta teoría incorpora cinco variables en un modelo conceptual para describir la personalidad. Algunos autores se refieren a estas cinco variables o factores como *los cinco grandes de la personalidad*. Las variables de personalidad son: apertura, escrupulosidad, extraversión, agradabilidad, neuroticismo (*openness, conscientiousness, extraversion, agreeableness, neuroticism*).

En la tabla 4.3 se presentan las cinco dimensiones de la personalidad acorde con el modelo de los cinco factores, así como algunos adjetivos que definen cada una de las dimensiones. Para establecer las características de personalidad se utilizan pruebas que preguntan acerca de la aplicabilidad de ciertos adjetivos a cada persona. En este trabajo utilizamos el *big five mini test* de Boeree (Boeree, 2005), en el anexo A se encuentra el formato de esta prueba. Sin embargo existen diversas pruebas de personalidad para el modelo de los cinco factores, tales como la prueba de los cinco grandes (Atof Inc. y John, 2005).

Tabla 4.3. Dimensiones de personalidad del modelo de los cinco factores (Boeree, 2006a).

Apertura	Diligencia Escrupulosidad	Extraversión	Simpatía Agradabilidad	Neuroticismo
<i>Openness</i>	<i>Conscientiousness</i>	<i>Extraversion</i>	<i>Agreeableness</i>	<i>Neuroticism</i>
Culto	Competente	Aventurero	Altruista	Enfadado
Estético	Obediente	Asertivo	Gentil	Ansioso
Imaginativo	Metódico	Franco	Amable	Deprimido
Intelectual	Responsable	Sociable	Simpático	
Abierto	Minucioso, cabal	Hablador	Cálido	

El modelo de los cinco factores es una de las teorías más nuevas para la descripción de la personalidad, además de estar entre los modelos más prácticos y aplicables en el campo de la psicología de la personalidad (Popkins, 1998).

4.8. Aplicaciones de la computación afectiva

La computación afectiva tiene aplicaciones en muchas áreas, en interacción humano-computadora, en robótica, en visión computacional, en razonamiento en inteligencia artificial, etc. Se han desarrollado diversos programas con capacidades afectivas, por

ejemplo, aplicaciones de medicina, alertas afectivas que ayuden a los usuarios a vencer sus estados emocionales negativos, programas de reconocimiento de lenguaje natural, y programas de educación, como la aplicación en sistemas tutores inteligentes que se propone en este documento. En esta sección presentamos algunas propuestas dentro del área de *e-learning* y en interacción humano-computadora.

4.8.1. Dispositivo reconocedor de emociones para un sistema de e-learning

Una aplicación de la computación afectiva en el área de educación se presenta en (Kaiser y Oertel, 2006); los autores proponen la integración de un dispositivo detector de emociones (*affective wearable*), a un sistema administrador del aprendizaje (*learning management system*), con el objeto de obtener un mayor aprendizaje y una mayor satisfacción en el usuario. El dispositivo consiste de un guante sensor, un cinturón y una unidad de recolección de datos como se muestra en la figura 4.16. Este dispositivo contiene sensores de la conductividad y los transmite de manera inalámbrica a una computadora personal.



Figura 4.16. Dispositivo de reconocimiento de emociones. Este dispositivo está siendo aplicado a sistemas de *e-learning* (Kaiser y Oertel, 2006).

Este sistema detecta las emociones negativas como frustración, enojo, aburrimiento y somnolencia, por ejemplo. Para ayudar al estudiante a vencer estas emociones, el sistema afectivo tiene un catálogo de acciones que puede llevar a cabo. Estas acciones se encuentran clasificadas como acciones independientes de la aplicación y acciones dependientes de la aplicación. Las acciones independientes de la aplicación son expresiones motivacionales, tales como sugerir tomar un descanso; y las acciones dependientes de la aplicación (sistema de *e-learning*) son cambios en las lecciones o en la manera de presentar

el contenido de la materia. Este dispositivo está siendo integrado en el sistema administrador del aprendizaje SmartBLU (SmartBLU, 2006).

4.8.2. Interfaz para un juego para resolución de problemas que detecta el estado afectivo del usuario

La computación afectiva también tiene aplicación en juegos. En (Axelrod y Hone, 2005) se presenta un estudio de usabilidad para evaluar si el incluir respuestas afectivas en las acciones de un juego tendría impacto en el desempeño de los jugadores. El juego se trata de una escalera de palabras en donde el sistema propone una palabra inicial y el jugador tiene que convertirla en otra palabra cambiando solamente una letra en cada paso hasta llegar a una palabra meta. El juego original da pistas al jugador acerca de la siguiente palabra solamente cuando el estudiante la solicita, y el juego con el componente afectivo da pistas al jugador de manera espontánea de acuerdo con el estado emocional del jugador. Las pistas se proporcionan con texto o con imágenes como se muestra en la figura 4.17.

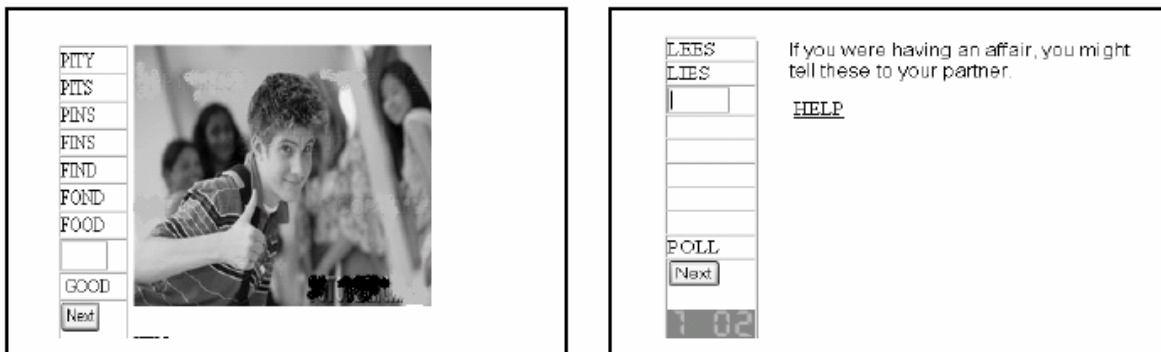


Figura 4.17. Interfaz del juego escalera de palabras. En este juego se está integrando un componente afectivo para retroalimentar a los jugadores (Axelrod y Hone, 2005).

En el estudio participaron 60 jugadores, hombres y mujeres con edades entre 18 y 25 años. El diseño del estudio consistió en dividir el grupo de participantes en grupos con condiciones diferentes: jugando con el juego original o jugando con el juego afectivo. Las versiones del juego fueron presentadas por medio de un mecanismo Mago de Oz. Como parte del diseño del estudio, al final del juego se les preguntó a los estudiantes su estado afectivo para conocer su estado de satisfacción con el juego.

Las pruebas estadísticas aplicadas a los datos de este estudio demuestran que los participantes avanzaron más con la versión afectiva del juego, es decir, llegaron a la palabra meta o quedaron a menos palabras de la meta. Por el lado de la satisfacción, los participantes que interactuaron con el juego afectivo reportaron en promedio un estado significativamente más feliz que los que interactuaron con el juego original.

Este trabajo demuestra empíricamente que la usabilidad de los programas se beneficia de reconocer y responder a las emociones del usuario hacia la interfaz.

4.8.3. Motivación como una medida de usabilidad para aplicaciones e-learning

Los estudios de usabilidad se llevan a cabo para detectar posibles errores o para identificar aspectos susceptibles de mejora en los sistemas de cómputo. La idea de estos estudios es observar usuarios reales usando el producto que se desea evaluar. En (Zaharias, 2006), los autores exponen que las medidas de usabilidad tradicionales: efectividad, eficiencia y satisfacción no son adecuadas para los nuevos contextos de uso, tales como tecnologías de aprendizaje. Al mismo tiempo afirman que es crítico que los diseñadores de sistemas evalúen el rango de posibles estados afectivos que los posibles usuarios pueden experimentar cuando interactúan con una aplicación de software. En este trabajo se argumenta que es necesario establecer nuevas técnicas y medidas de usabilidad.

Los autores exponen que en el área de *e-learning* se ha argumentado que el afecto es el incentivo que lleva a los estudiantes al ambiente de aprendizaje y los nuevos desarrollos resaltan la necesidad de incluir la motivación para aprender. Los autores proponen la motivación intrínseca como el punto clave para el desarrollo de una nueva medida de usabilidad para diseños de *e-learning*.

El propósito de este trabajo es desarrollar y probar empíricamente un método de evaluación de usabilidad basado en cuestionarios para aplicaciones *e-learning*. El método considera al usuario como un estudiante e integra aspectos cognitivos (percepción del usuario sobre la usabilidad) y afectivos (motivación de los usuarios para aprender). El desarrollo del método se basa en una metodología conocida en la investigación y práctica de la interacción humano-computadora. Los autores llevaron a cabo dos estudios empíricos para examinar la usabilidad de las aplicaciones de *e-learning* en ambientes con usuarios reales, en escenarios corporativos. El objetivo de los estudios es evaluar de manera empírica la confiabilidad del método. Los estudios mostraron que el cuestionario con este nuevo tipo de medida de usabilidad tiene una alta confiabilidad y una consistencia interna general también alta. Los diseñadores de *e-learning* y los practicantes de la usabilidad pueden usar este método como un método de evaluación para propósitos de comparación (*benchmarking*).

4.9. Personajes animados de microsoft

El programa *Microsoft Agent* (Microsoft, 2005) fue desarrollado con el objeto de hacer más fácil el aprendizaje y el uso del sistema operativo *Windows*. *Microsoft Agent* puede considerarse como una extensión de la interfaz de *Windows*. En la figura 4.18 se presentan cuatro personajes de *Microsoft Agent*.

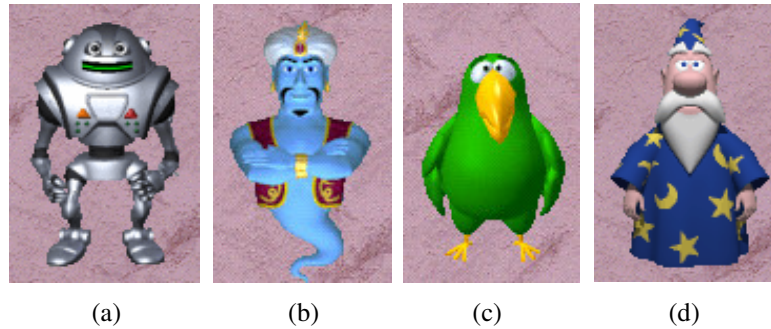


Figura 4.18. Personajes de *Microsoft Agent*: a) Roby, b) Genio, c) Lorito y d) Merlín. Los personajes cuentan con un grupo de animaciones que pueden utilizarse en diferentes situaciones en la interacción usuario-computadora; su objetivo es hacer más fácil el uso y el aprendizaje de los programas (Copyright Microsoft Corporation, todos los derechos reservados).

Microsoft Agent permite crear interfaces conversacionales con capacidades de animación e interacción para diferentes aplicaciones y páginas web. *Microsoft Agent* tiene la capacidad de desplegar animaciones, a la vez que puede hablar o mostrar un mensaje escrito. En la figura 4.19 se muestran imágenes de algunas de las animaciones presentadas por el personaje Merlín, mientras que en la tabla 4.4 se muestra una lista con algunas de las animaciones de Merlín (la lista completa se presenta en el capítulo 7).

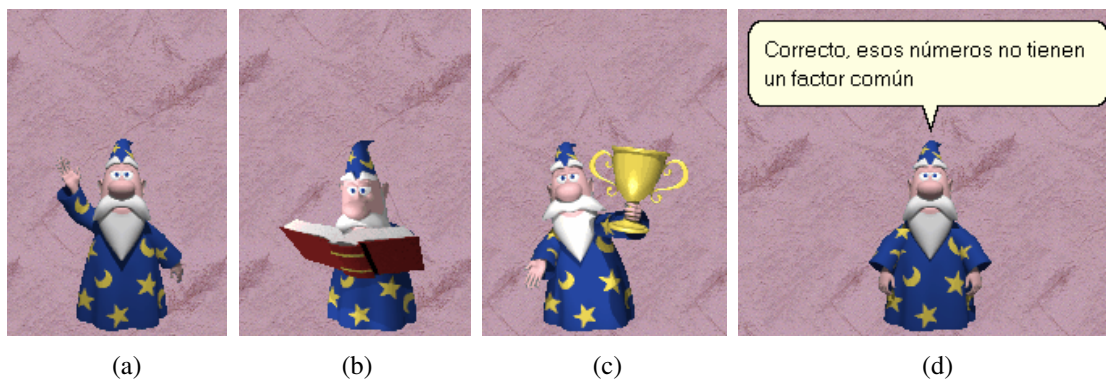


Figura 4.19. Cuatro animaciones del personaje Merlín de *Microsoft Agent*: a) saludando, b) ocupado, leyendo un libro, c) felicitando, mostrando un trofeo y d) dando retroalimentación mediante un mensaje escrito (Copyright Microsoft Corporation, todos los derechos reservados).

Microsoft Agent puede ser utilizado en diferentes aplicaciones. Una de éstas podría ser un sistema tutor inteligente, donde el personaje animado haga las veces del tutor. De esta manera, el tutor cuenta con una cara que se le presenta al estudiante, lo que hace la comunicación más parecida a un tutor humano, al incorporar animaciones y lenguaje natural hablado y escrito.

Microsoft Agent también permite a los desarrolladores utilizar las capacidades de *Microsoft Agent* para desarrollar nuevos personajes animados. El nuevo personaje tiene las mismas animaciones y capacidades de *Microsoft Agent*. Esto permite crear personajes más

adecuados a las aplicaciones en donde se está utilizando *Microsoft Agent*. Por ejemplo, en el caso de un sistema tutor inteligente se podría utilizar un personaje parecido a un profesor, o en el caso de un compañero de estudio (*learning companion*), se podría utilizar un personaje parecido a un estudiante. También se podría dar a los estudiantes la capacidad de configurar sus propios personajes.

Tabla 4.4. Algunas de las animaciones disponibles en *Microsoft Agent* (Microsoft, 2005).

No.	Animación	Descripción
1	Acknowledge	Muestra reconocimiento
2	Alert	Se pone en alerta
3	Announce	Anuncia el siguiente evento
4	Confused	Se muestra confuso
5	Congratulate	Felicita
6	Decline	Se da por vencido
7	DontRecognize	Muestra que no entendió
8	Explain	Explica
9	GestureLeft	Señala hacia la izquierda
10	GetAttention	Desea llamar la atención
11	Greet	Saluda con una reverencia
12	Hearing	Se pone listo para escuchar
13	Hide	Se esconde
14	Idle	Se muestra ocioso
15	LookRight	Mira hacia la derecha
16	MoveLeft	Se mueve hacia la izquierda
17	Pleased	Se muestra complacido
18	Process	Se muestra ocupado
19	Read	Lee un libro
20	RestPose	Se pone en posición de descanso
21	Sad	Se muestra triste
22	Search	Busca
23	Show	Aparece
24	StartListening	Empieza a escuchar
25	Suggest	Desea dar una sugerencia
26	Surprised	Se muestra sorprendido
27	Think	Posición de pensar
28	Uncertain	Muestra que no está seguro
29	Wave	Saluda ondeando la mano
30	Write	Escribe en un cuaderno

Aunque *Microsoft Agent* no tiene capacidades afectivas por sí mismo, las animaciones pueden utilizarse en función del estado afectivo del estudiante o del usuario para motivarlo en sus tareas y así obtener un mayor aprovechamiento.

4.10. Punto de vista psicológico y pedagógico

La importancia de la motivación y de la afectividad en el aprendizaje ha sido resaltada por psicólogos y pedagogos que expresan la manera en que las emociones afectan el aprendizaje (Goleman, 1995; Piaget, 2005; Vygotsky, 1994). Piaget expresa que es innegable que la afectividad tiene un papel acelerador o perturbador en el aprendizaje y expone que la mayoría de los estudiantes que tienen problemas con las materias de matemáticas fallan debido a un bloqueo afectivo (Piaget, 2005). Coles sostiene que las emociones negativas pueden menoscabar el aprendizaje y las emociones positivas pueden contribuir al aprendizaje (Coles, 1998). De esta manera, algunos sistemas educativos han puesto su atención en generar emociones en ambientes pedagógicos (Neji y Ben Ammar, 2007) y a reconocer emociones (Woolf, Burelson y Arroyo, 2007; Zhang, Barnden y Hendley, 2007), resaltando la riqueza en la interacción afectiva entre el estudiante y tutor. En las siguientes secciones se expone de manera breve algunas de las ideas de teóricos importantes de la pedagogía y psicología, así como una definición abreviada de algunas teorías de aprendizaje.

4.10.1. Vygotsky

Un factor básico para el aprendizaje es la motivación; para Vygotsky (Vygotsky, 1962) la motivación es la razón de la acción. Vygotsky expone que el pensamiento tiene su origen en la esfera de la consciencia, una esfera que incluye nuestras inclinaciones y necesidades, nuestros intereses e impulsos, y nuestro afecto y emociones. La tendencia afectiva y volitiva está detrás del pensamiento y solamente ahí encontramos la respuesta final en el análisis del pensamiento (Vygotsky, 1962). Por el lado del papel de afectividad en el aprendizaje, Vygotsky considera que hay unidad entre los procesos intelectuales, evolutivos y afectivos. Vygotsky considera que el afecto no puede ser separado de la cognición (Jaques y Viccari, 2005).

Cuando nos adentramos en el problema de la interacción entre el pensamiento y el lenguaje, y otros aspectos de la mente, la primera pregunta que surge es la del intelecto y el afecto. Su separación como materias de estudio es una debilidad mayor de la psicología tradicional, ya que hace al proceso del pensamiento parecer un flujo autónomo de pensamientos que piensan por sí mismos segregados de la plenitud de la vida, de las necesidades e intereses personales, las inclinaciones e impulsos del pensante (Vygotsky, 1962; Jaques y Viccari, 2005).

Tal vez el trabajo más conocido de Vygotsky es la zona de desarrollo próximo (ZPD, *zone of proximal development*). La ZPD (Vygotsky, 1978) se crea cuando dos o más personas de un grupo de aprendizaje colaborativo en donde los miembros más capaces ayudan a los miembros menos capaces a conseguir su meta. Para que un colaborador sea exitoso en el papel de compañero más capaz, debe construir una definición compartida de la situación, donde todos los miembros tienen conocimiento común acerca del problema actual. Esta intersubjetividad puede conseguirse solamente si el maestro/colaborador tiene una repre-

sentación dinámica del conocimiento y entendimiento actual del estudiante/colaborador. La ZPD también tiene una analogía espacial que califica el potencial del estudiante; es el área productiva entre el área de lo que puede conseguir de manera independiente y lo que puede conseguir con la ayuda de otro. En esencia, la ZPD requiere colaboración o ayuda para un estudiante de otro estudiante más capaz. Las actividades que forman parte de la educación efectiva del niño deben estar justo adelante del rango de su habilidad independiente. El compañero de aprendizaje debe dar de manera apropiada actividades desafiantes y la cantidad y calidad correcta de ayuda (du Boulay y Luckin, 2001).

Vygotsky presentó un importante concepto al introducir la afectividad en el aprendizaje: *perezhivanie*. “La experiencia emocional (*perezhivanie*) que surge de cualquier situación o de cualquier aspecto del ambiente del niño, determina qué clase de influencia tendrá en el niño esta situación o este ambiente. Por lo tanto, no es ninguno de los factores por si solos (si son tomados sin la referencia del niño) lo que determina como influyen en el curso futuro de su desarrollo, sino los mismos factores modificados a través del prisma de la experiencia emocional del niño” (Vygotsky, 1994).

Mahn y John-Steiner (Mahn y John-Steiner, 2002) indican que la *perezhivanie* describe las maneras en que los participantes perciben, experimentan y procesan los aspectos emocionales de la interacción social. Hay una fuerte relación entre la ZPD y la *perezhivanie* (afectividad), en una cierta etapa en el desarrollo de los niños, los niños pueden resolver un cierto rango de problemas solamente cuando están interactuando con gente y en cooperación con compañeros. En este caso, la interacción es fundamental y la manera en que el estudiante percibe los aspectos emocionales de esta interacción (*perezhivanie*) interferirá en su aprendizaje. Mahn también señala que hay una gran relación entre la ZPD y la experiencia del estudiante de su interacción (*perezhivanie*), y cuando hay un rompimiento en esta relación debido a que las demandas cognitivas están más allá de la habilidad del estudiante o debido a que están presentes factores afectivos negativos tales como miedo o ansiedad, la ZPD en que la enseñanza/aprendizaje ocurre es disminuida. De esta manera, los factores afectivos juegan un papel sustancial en la construcción de la ZPD (Mahn y John-Steiner, 2002).

4.10.2. Piaget

Piaget (Piaget, 2005) expone que no hay mecanismo cognitivo sin elemento afectivo y que la afectividad motiva la actividad intelectual. El interés y el placer en la acción son considerados los elementos que influyen fuertemente en el desarrollo de la afectividad en el estudiante. De acuerdo con Piaget (Piaget, 2005), los sentimientos asociados a las acciones o actividades se recuerdan siempre; los niños se sienten atraídos por las actividades exitosas y placenteras. Podemos utilizar esta premisa en el uso de ambientes computacionales; aunque algunas fallas pueden convertirse en desafíos y activar el interés y persistencia de los estudiantes, generalmente nos mantenemos interesados en actividades en donde obtuvimos éxito.

Piaget diferenció cuatro etapas en el desarrollo cognitivo del niño, que están relacionadas con actividades del conocimiento como pensar, reconocer, percibir, recordar y otras. El énfasis del trabajo de Piaget está en comprender el desarrollo intelectual del ser humano. Realizó sus estudios observando cómo los niños iban desarrollando etapas y adquiriendo diversas habilidades mentales.

Piaget notó que los bebés tienen ciertas habilidades de acuerdo con los objetos de su ambiente. Estas habilidades sensomotoras son simples pero dirigen la manera en que el bebé explora su ambiente, de esta manera obtienen conocimiento acerca del mundo y habilidades de exploración más sofisticadas. A estas habilidades les llamo *esquemas*. Por ejemplo, un bebé sabe como sostener su sonaja favorita y como meterla en su boca, el bebé domina este esquema. Cuando el bebé observa otro objeto, un reloj de pulsera, por ejemplo, fácilmente transfiere este esquema al nuevo objeto. Piaget llamó a esta etapa *asimilación*, asimilar un nuevo objeto en un esquema viejo. Cuando el bebé observa otro nuevo objeto, digamos una pelota, el bebé trata de usar su viejo esquema, sin embargo éste no funciona muy bien, así que adapta el esquema al nuevo objeto, por ejemplo apretar y babear la pelota. Ésta es la etapa de *acomodación*, acomodar un esquema viejo a un nuevo objeto (Boeree, 2006b).

La asimilación y la acomodación son los dos lados de la *adaptación*, el término que usó Piaget para aprendizaje. De acuerdo con Piaget, la asimilación y la acomodación están dirigidas hacia obtener un balance entre la estructura de la mente y el ambiente. Piaget llamó a este estado ideal *equilibrio*. En sus investigaciones Piaget descubrió que había periodos donde la asimilación dominaba y periodos de equilibrio. De esta manera Piaget desarrollo la teoría de las etapas del desarrollo cognitivo (Boeree, 2006b).

4.10.3. Teorías de aprendizaje

Durante mucho tiempo se han propuestas diversas y contrastantes teorías de aprendizaje, todas defendiendo diferentes puntos de vista; por ejemplo, el debate entre las propuestas centradas en el estudiante y las propuestas centradas en el maestro, tiene una larga historia. El constructivismo se relaciona frecuentemente con la filosofía de Dewey y Rousseau e inspirado por Piaget y Vygotsky. El instructivismo se relaciona con psicología, conductivismo y a los programas basados en investigación conocidos como pedagogía proceso-producto, tal como el trabajo de Bereiter y Rosenshine (Marsh, McFadden y Price, 2008).

Constructivismo. El constructivismo es una filosofía de aprendizaje con base en la premisa de que construimos nuestro entendimiento del mundo en que vivimos reflexionando sobre nuestra experiencia. Cada uno genera sus propias reglas y modelos mentales que usamos para entender nuestra experiencia. Por lo tanto, el aprendizaje es simplemente un proceso de ajustar los modelos mentales para acomodar nuevas experiencias.

Los principios del constructivismo establecen que el aprendizaje es una búsqueda de significado, y por lo tanto debe empezar con los aspectos alrededor de los cuales los

estudiantes están tratando de construir significado. El significado requiere entender el todo y sus partes, y las partes deben ser entendidas en el contexto del todo. Por lo tanto, el proceso de aprendizaje se basa en conceptos primarios, no en hechos aislados (Funderstanding, 2008).

Conductivismo. El conductivismo es una teoría de aprendizaje animal que solamente se enfoca en comportamientos objetivamente observables y no considera las actividades mentales. Los teóricos del comportamiento definen aprendizaje como la adquisición de nuevo comportamiento. Existen dos tipos de condicionamiento cada uno produciendo diferentes patrones de comportamiento: el condicionamiento clásico, la teoría de Pavlov, y el condicionamiento operante, la teoría de Skinner (Funderstanding, 2008).

Estilos de aprendizaje. Esta propuesta enfatiza el hecho de que los individuos perciben y procesan la información de maneras muy diferentes. La teoría de estilos de aprendizaje expone que cuánto aprenden los individuos tiene que ver más con que la experiencia educativa esté orientada hacia su estilo de aprendizaje y no tiene que ver con que los individuos sean inteligentes.

El concepto de estilos de aprendizaje tiene sus fundamentos en la clasificación de los tipos psicológicos. La teoría de estilos de aprendizaje se basa en investigaciones que demuestran que los individuos tienen una tendencia a percibir y procesar la información de manera diferente como resultado de la herencia, la crianza y las demandas actuales del medio ambiente (Funderstanding, 2008).

Inteligencias múltiples. Esta teoría de inteligencia humana, desarrollada por el psicólogo Howard Gardner, sugiere que al menos hay siete maneras en que la gente percibe y entiende el mundo. Gardner etiqueta cada una de estas maneras como una inteligencia distinta, en otras palabras, un conjunto de habilidades que permiten a los individuos encontrar y resolver los problemas que enfrentan. Gardner define inteligencia como un conjunto de habilidades que son autónomas de otras capacidades humanas, tiene un núcleo de operaciones de procesamiento de información. Tiene una historia distinta en las etapas del desarrollo que atravesamos y tiene raíces en la historia evolutiva (Funderstanding, 2008).

Teoría del control. Esta teoría de motivación propuesta por William Glasser argumenta que el comportamiento nunca es causado por una respuesta a un estímulo externo. En contraste, la teoría del control expone que el comportamiento está inspirado en lo que una persona más desea en un tiempo dado: supervivencia, amor, poder, libertad o cualquier otra necesidad humana.

Glasser responde a las quejas de que los estudiantes de hoy en día están desmotivados, aseverando que todas las criaturas vivientes controlan su comportamiento para maximizar sus necesidades de satisfacción. De acuerdo con Glasser, si los estudiantes no están motivados para hacer su trabajo escolar es porque ven el trabajo escolar irrelevante para sus necesidades humanas básicas (Funderstanding, 2008).

4.11. Resumen del capítulo

Recientemente, diversas áreas de investigación en ciencias computacionales han puesto su interés en las emociones, un aspecto que se creía no tenía relación con el comportamiento preciso y racional de las computadoras. Comúnmente la interacción hombre-máquina no toma en cuenta componentes expresivos diferentes al lenguaje escrito y a las gráficas. Sin embargo, si a un programa de cómputo se le añaden otras dimensiones que enriquezcan la experiencia interactiva, tales como el estado afectivo de los usuarios y las respuestas consecuentemente afectivas y adaptivas del sistema, la interacción humano-computadora se vuelve más agradable y personal, el usuario se siente más involucrado en la interacción, mejorando presumiblemente su rendimiento.

Con el fin de dotar de comportamiento afectivo a los sistemas de cómputo, han sido desarrollados diversos mecanismos y teorías computacionales de emociones, sin embargo aún queda mucho trabajo por realizar, por ejemplo establecer una clasificación de las emociones, así como una definición del término emoción. En este capítulo se presentaron dos tendencias principales en la computación afectiva: los modelos teóricos y los signos físicos y fisiológicos. También se presenta una propuesta para el modelado del estudiante que incluye ambas tendencias. Finalmente se presenta un modelo de personalidad, ya que la personalidad es un punto importante para establecer las emociones particulares de los individuos.

En el siguiente capítulo, presentamos nuestra propuesta para el modelo afectivo del estudiante, la cual se basa en el modelo OCC y su representación es por medio de redes bayesianas, que se encuentran entre las tendencias principales para el modelado afectivo del estudiante.

Capítulo 5

Modelo afectivo del estudiante

“La vida se le iba en bordar el sudario. Se hubiera dicho que bordaba durante el día y desbordaba en la noche, y no con la esperanza de derrotar en esa forma la soledad, sino todo lo contrario, para sustentarla”.

Cien años de soledad (García Márquez, 1967).

La premisa más importante en los sistemas tutores inteligentes es dar a cada estudiante instrucción personalizada de la misma manera en que lo haría un tutor humano. Los tutores humanos trabajan con el estado afectivo del estudiante para motivar al estudiante y de esta manera obtener un mayor aprovechamiento en el estudiante. Uno de los aspectos importantes en la empresa de dotar de comportamiento afectivo a los sistemas tutores inteligentes, es reconocer el estado afectivo del estudiante con el propósito de responder adecuadamente a los estudiantes tomando en cuenta su estado afectivo. Por lo que es necesario contar dentro del modelo del estudiante con conocimiento acerca del estado afectivo del estudiante. Se han propuesto diversos métodos de establecer el estado afectivo del estudiante, algunos se basan en la expresión facial, otros se basan en la detección de signos biológicos, mientras que otros se basan en modelos de emociones.

En este capítulo se presenta el modelo afectivo del estudiante desarrollado en este trabajo. Este modelo afectivo del estudiante se basa en el modelo cognitivo de emociones OCC. Dicho modelo considera las metas como un elemento importante para establecer las emociones, por lo que el modelo afectivo del estudiante establece las metas por medio del modelo de personalidad de los cinco factores. El modelo afectivo del estudiante está representado por mediante una red bayesiana, por los mecanismos robustos que provee para manejar la incertidumbre implícita en el modelado del estudiante.

5.1. Modelado afectivo del estudiante

Una de las habilidades dentro del comportamiento afectivo es poder establecer el estado afectivo del estudiante; extendiendo de esta manera el modelo del estudiante para contener conocimiento acerca del estado afectivo del estudiante. La idea general es que los sistemas tutores tengan estructuras para evaluar cómo los estudiantes ven el mundo, esto es, como cree el sistema tutor que el estudiante se siente con respecto a los situaciones que se presentan, dadas las creencias que el sistema tutor tiene sobre los metas, principios y preferencias del estudiante. Por ejemplo, si el sistema tutor cree que el estudiante tiene la meta de hacer bien todos los ejercicios que se le presentan, y el estudiante ha tenido errores en la solución de los problemas, entonces el sistema tutor pensaría que el estudiante se siente frustrado, y esta situación de frustración debería representarse dentro del modelo del estudiante, para que las respuestas del tutor la tomen en cuenta, y de esta manera generar acciones que traten de motivar al estudiante, y así, vencer el estado de frustración.

De aquí en adelante utilizaremos el término *modelo pedagógico del estudiante* para referirnos al modelo que representa el estado de conocimiento del estudiante (tales como los ejemplos presentados en el capítulo 2) y el término *modelo afectivo del estudiante* para referirnos al modelo que representa el estado emocional o estado afectivo del estudiante. Mientras que el término *modelo del estudiante* lo utilizaremos para referirnos al modelo que representa ambos estados.

El punto más importante es cómo hacer inferencias acerca del estado afectivo del estudiante y cómo actualizar el modelo afectivo del estudiante. Para establecer el estado afectivo del estudiante se han propuesto diversos mecanismos de inferencia, entre los que se encuentran los siguientes.

- Preguntar. Preguntar al estudiante como se siente ante la situación.
- Estereotipos. Contar con información acerca de los tipos de estudiantes y usarla para hacer suposiciones acerca de un estudiante de cierto tipo en particular.
- Contexto. Usar la información del contexto.
- Estereotipos afectivos. Contar con información acerca de cómo se sentirían la mayoría de los usuarios ante ciertas circunstancias.
- Introspección. Inferir como se sentiría el agente (sistema tutor) en caso de estar en la misma situación.
- Modelos teóricos de emociones. Contar con un modelo de emociones que establezca el estado emocional bajo ciertas circunstancias. Estos modelos deben estar fuertemente sustentados en psicología.
- Signos físicos. Las emociones tienen una reacción en las expresiones faciales así como en otros signos biológicos, tales como ritmo cardiaco, conductividad de la piel y actividad muscular.

Dado el método para establecer las emociones del estudiante, el modelado del afecto del estudiante debe permitir traducir los eventos dentro del sistema así como las respuestas del estudiante al estado afectivo del estudiante de manera efectiva.

Las emociones están basadas en eventos, objetos, metas, principios y preferencias, ya que las emociones surgen a partir de lo que rodea al estudiante; por ejemplo, si el usuario tiene como meta realizar bien cada una de sus tareas y realiza éstas de manera exitosa, entonces estará feliz, y si al estudiante no le gustan las preguntas de respuesta múltiples, y se presentan un examen con preguntas con respuestas múltiples, entonces estará triste.

Sin embargo, en los ejemplos anteriores además de que el estudiante se siente feliz o triste de acuerdo con la consecución o no consecución de la meta, existen las variables de intensidad que determinan qué tan triste o qué tan feliz se encuentra el estudiante. Algunas de las variables de intensidad propuestas en la literatura son:

- **Importancia para el estudiante.** Es la importancia que el estudiante le da a conseguir o no las metas.
- **Esfuerzo.** Se incrementa conforme el estudiante pasa más tiempo tratando de resolver un conjunto de tareas.
- **Ansiedad/Invencibilidad.** Si el estudiante lleva cierto número de éxitos recientes, la invencibilidad aumenta, pero si lleva un cierto número de fracasos, la ansiedad se incrementa.
- **Umbral.** Si el estudiante tiene un desempeño por arriba del promedio, el umbral aumenta, pero si su desempeño está por debajo del normal, el umbral disminuye.

Estas variables de intensidad así como la situación actual determinan el estado afectivo del estudiante. El modelo del estudiante debe contener conocimiento acerca del estado afectivo del estudiante además del conocimiento acerca de su estado pedagógico, de tal manera que el sistema tutor inteligente proporcione al estudiante una respuesta afectiva y pedagógicamente adecuada.

En la siguiente sección se presentan los fundamentos teóricos del modelo afectivo del estudiante que proponemos en este trabajo.

5.2. Fundamentos teóricos del modelo afectivo del estudiante

Se han propuesto diversas maneras para evaluar el estado afectivo del estudiante, algunas se basan en la detección de signos físicos y biológicos (Nkambou y Héritier, 2004), otras se basan en el uso de modelos de emociones y modelos de personalidad (Conati y Maclaren, 2005), mientras que otras se basan en la interacción con el estudiante (de Vicente y Pain, 2002). En este trabajo, consideramos que una manera de establecer el estado afectivo del estudiante es utilizar modelos teóricos de emociones que estén fuertemente sustentados en psicología. Por otro lado, consideramos que establecer el estado afectivo del estudiante, solamente con su expresión facial, no es una manera muy confiable ya que no existe una traducción de expresiones faciales a estados afectivos y por otro lado, algunas personas tienen la particularidad de ser muy poco expresivas o de ser muy expresivas.

En este trabajo usamos el modelo cognitivo de emociones OCC (Ortony, Clore y Collins, 1988) para determinar el estado afectivo del estudiante. Uno de los parámetros del modelo OCC son las metas del estudiante, por lo que necesitamos conocerlas. Para determinar las metas utilizamos el modelo de los cinco factores. En las siguientes secciones describimos ambos modelos.

5.2.1. Modelo cognitivo de emociones OCC

El modelo cognitivo de emociones OCC es uno de los modelos de emociones más conocidos. Diversos autores lo usan para establecer el estado emocional (Chalfoun, Chaffar y Frasson, 2006) o para expresar emociones en personajes animados (Jaques y Viccari, 2005). El modelo OCC establece el estado emocional como el resultado de una evaluación cognitiva en donde el agente compara sus metas con la situación actual, esto es, razona acerca de qué tanto la situación actual cumple con sus metas. De esta manera, nuestra evaluación del estado afectivo del estudiante es una evaluación predictiva, es decir, establecemos cual es el estado afectivo del estudiante bajo la situación actual. En la figura 5.1 mostramos un diagrama de bloques de cómo el modelo OCC evalúa las emociones. Una descripción más detallada del modelo OCC se presenta en el capítulo 4.

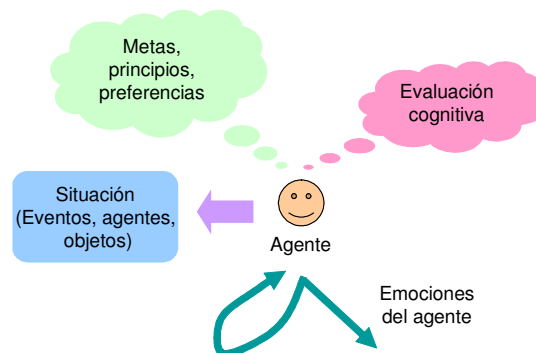


Figura 5.1. Diagrama de bloques representando como surgen las emociones en el modelo cognitivo de emociones OCC.

En el modelo OCC el agente observa la situación actual que consta de eventos, otros agentes y objetos, y a su vez el agente tiene una serie de metas, principios y preferencias. El agente realiza una evaluación cognitiva de ambos, es decir, los compara para ver de que manera ajustan unos con otros (las metas con la situación actual), y de esta comparación surgen las emociones hacia los diferentes factores involucrados en la situación.

En la figura 5.2 se muestra una estructura parcial del modelo OCC, la estructura utilizada en este trabajo se encuentra encerrada con la línea azul. La estructura completa del modelo OCC se presenta en el capítulo 4. El modelo OCC establece tres situaciones principales por las que pueden surgir emociones: 1) consecuencias de los acontecimientos, 2) acciones de los agentes y 3) aspectos de los objetos.

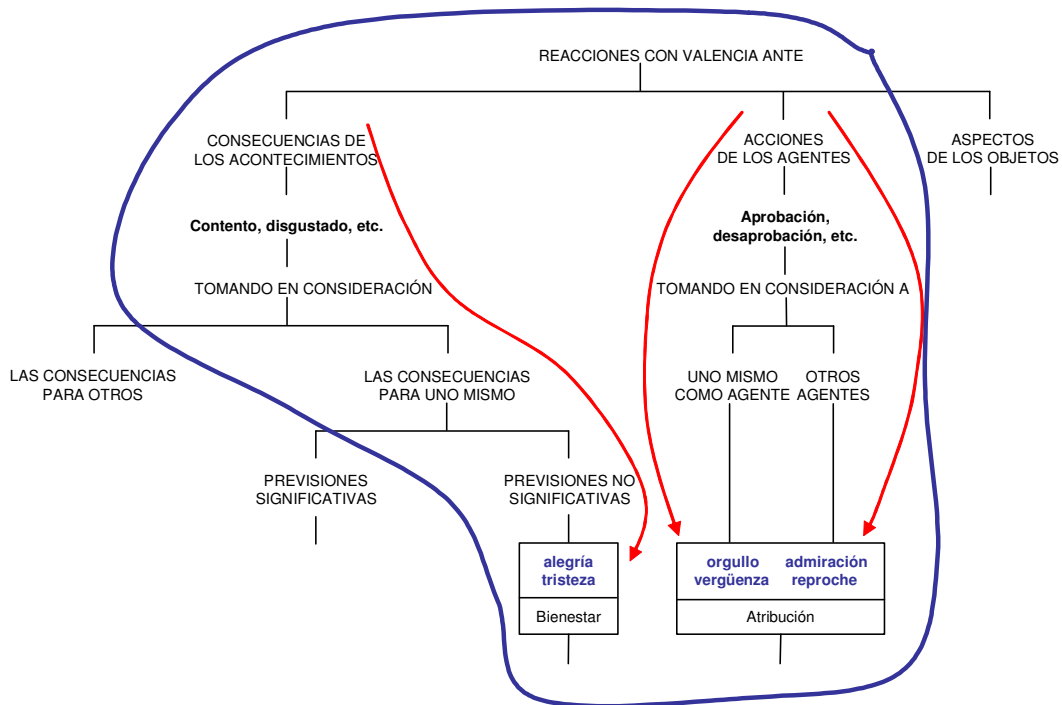


Figura 5.2. Estructura parcial del modelo OCC utilizada para establecer las emociones del estudiante. Del conjunto completo de emociones del modelo OCC, se utilizan solamente seis emociones: alegría, tristeza, orgullo, vergüenza, admiración y reproche. Estas emociones surgen a partir de las consecuencias de los acontecimientos y de las acciones de los agentes. Las flechas indican el camino de la evaluación cognitiva para establecer las emociones (Figura usada con permiso de Andrew Ortony).

La primera situación considera que las emociones pueden surgir a partir de eventos cuyas consecuencias pudieran tener algún impacto en el agente o en otros agentes conocidos por el agente. La segunda considera que las emociones surgen por las acciones del mismo agente o de otros agentes que pueden tener algún impacto en el agente. La tercera situación considera que las emociones pueden surgir como el resultado del aspecto que tienen los objetos que intervienen en las tareas del agente. En este trabajo se consideran solamente las dos primeras situaciones: consecuencias de los acontecimientos y acciones de los agentes.

El modelo OCC establece 22 tipos de emociones básicas, y éstas se encuentran agrupadas de acuerdo con las causas que las producen. Del grupo completo de emociones, en este trabajo utilizamos seis emociones: alegría, tristeza, orgullo, vergüenza, admiración y reproche. Las emociones de alegría y tristeza surgen a partir de las consecuencias de los acontecimientos. Las emociones de orgullo y vergüenza surgen a partir de las acciones del propio agente. Y las emociones de admiración y reproche surgen a partir de las acciones de los otros agentes con quienes interactúa el propio agente.

Consideramos que la primera situación, *consecuencias de los acontecimientos*, es relevante para nuestro dominio ya que en la sesión de tutoría ocurren eventos tales como las acciones del tutor y las acciones del estudiante que producen resultados que causan en el estudiante los estados que queremos evaluar. Esta rama de la estructura OCC (seguir la primera flecha

de la izquierda en la figura 5.2) se divide en *consecuencias para otros* y *consecuencias para uno mismo*, en este caso, las relevantes para el dominio son las consecuencias para el agente mismo. De esta rama se derivan otras dos ramas: *previsiones significativas* y *previsiones no significativas*. De estas dos ramas, la relevante para el dominio es la rama *previsiones no significativas*, ya que estas emociones se basan en el bienestar del agente; mientras que las emociones derivadas de las *previsiones significativas* se basan en las previsiones que hace el agente para el futuro. De este seguimiento de la estructura OCC, las emociones relevantes para nuestro dominio son: *alegría* y *tristeza*.

También consideramos que la segunda situación, *acciones de los agentes*, es relevante para el dominio ya que el sistema tutor (ya sea con un agente animado o no contando con él), así como el estudiante llevan a cabo acciones durante la sesión de tutoría, cuyos resultados producen ciertos estados en el estudiante que son relevantes para el desempeño del sistema tutor. En este caso consideramos ambas ramas: la atribución hacia *uno mismo como agente*, las emociones que sentiría el agente hacia si mismo como producto de sus acciones (segunda flecha) y la atribución hacia *otros agentes*, las emociones que sentiría el agente hacia el tutor como producto de las acciones del tutor (tercera flecha). De este seguimiento de la estructura OCC, las emociones relevantes para nuestro dominio son: *orgullo*, *vergüenza*, *admiración* y *reproche*.

Finalmente, consideramos que la tercera situación, *aspectos de los objetos*, no es relevante para nuestro dominio, ya que la sesión tutorial no incluye objetos cuyo impacto en los estudiantes quisiéramos evaluar.

De lo anterior tenemos tres tipos de emociones que queremos evaluar: 1) la emoción del estudiante hacia la sesión de tutoría, *alegría* y *tristeza*; 2) la emoción del estudiante hacia si mismo, *orgullo* y *vergüenza*; y 3) la emoción del estudiante hacia el sistema tutor, *admiración* y *reproche*. En la figura 5.3 mostramos en un diagrama de bloques que esquematiza como surgen las emociones que consideramos relevantes para nuestro dominio en el modelo cognitivo de emociones OCC.

En la figura 5.3 (a) se muestra que el agente tutor realiza una acción cuyo resultado es observado por el agente estudiante, dependiendo del resultado (situación) y de las metas, principios y preferencias del estudiante, el estudiante tendrá una emoción de alegría o de tristeza por el resultado (hacia la sesión de tutoría); y al mismo tiempo tendrá una emoción de admiración o de reproche hacia el agente tutor (sistema tutor inteligente). En la figura 5.3 (b) se muestra que el agente estudiante lleva a cabo una acción dentro de la sesión de tutoría, tal como resolver un ejercicio, el estudiante observa el resultado de dicha acción, y dependiendo de este resultado y de sus metas, principios y preferencias, el estudiante tendrá una emoción (hacia la sesión de tutoría) de alegría o de tristeza por el resultado; y al mismo tiempo tendrá una emoción de orgullo o de vergüenza hacia si mismo.

En esta tesis utilizamos el modelo OCC para inferir el estado emocional de los estudiantes ya que a pesar de ser un modelo relativamente sencillo abarca los elementos de las teorías de la psicología sobre emociones. Otro de los aspectos por lo cual se usa el modelo OCC es porque no requiere dispositivos para detectar señales biológicas o físicas indicativas de las emociones, sino que solamente requiere información sobre el contexto.

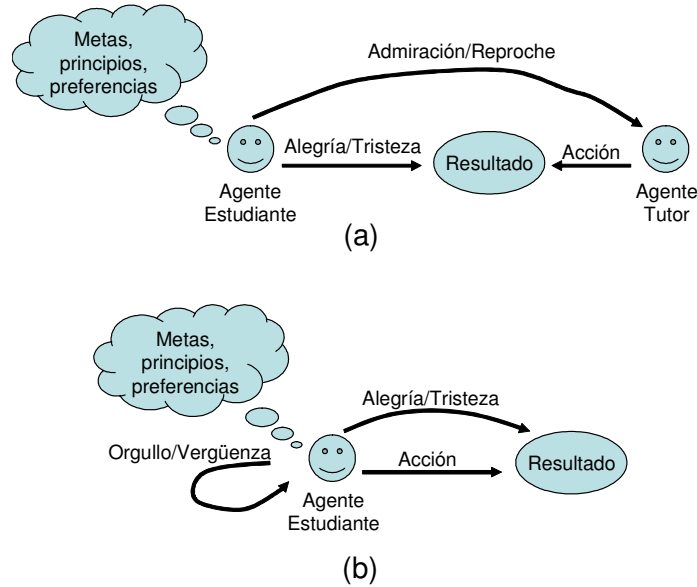


Figura 5.3. Estructura de las emociones del estudiante con base en el modelo OCC. En (a) se representa las emociones del agente estudiante hacia la sesión de tutoría (alegría/tristeza) y hacia el agente tutor (admiración/reproche), estas emociones se generan cuando el estudiante observa el resultado de las acciones del tutor y lo compara con sus metas, principios y preferencias. En (b) se representa las emociones del estudiante hacia la sesión de tutoría (alegría/tristeza) y hacia sí mismo (orgullo/vergüenza), estas emociones se generan cuando el estudiante observa el resultado de sus acciones y lo compara con sus metas, principios y preferencias.

A pesar que el modelo cognitivo de emociones OCC fue propuesto por sus autores hace dos décadas, sigue siendo un referente para los investigadores en ciencias computacionales para el reconocimiento y síntesis por los resultados que se han obtenido.

De acuerdo con el modelo OCC, las metas son un elemento muy importante en la determinación del estado afectivo del estudiante, por lo que necesitamos una manera de establecer las metas del estudiante dentro de la sesión de tutoría. En la siguiente sección describimos el método que usamos en este trabajo para establecer las metas del estudiante.

5.2.2. Modelo de los cinco factores

Una manera de conocer las metas del estudiante es preguntándolas directamente al estudiante, pero de acuerdo con los estudios realizados por Clifford Reeves y Byron Nass, presentados en su reconocido libro *The Media Equation: How people treat computers, television and new media like real people and places* (Reeves y Nass, 1996), preguntar no es una buena opción ya que las respuestas podrían no ser auténticas; por lo que decidimos buscar una manera de inferirlas.

Para determinar las metas de los estudiantes hicimos una investigación en la literatura en psicología. En esta investigación encontramos, entre otros modelos de personalidad, el

modelo de los cinco factores (Costa y McCrae, 1992), conocido por su nombre en inglés como *the five factor model*. El modelo de los cinco factores también es como conocido como el modelo de los cinco grandes (*The big five model*) o como el modelo OCEAN, por las iniciales en inglés de las características de la personalidad que maneja: *openness*, *conscientiousness*, *extraversion*, *agreeableness*, y *neuroticism*.

El modelo de los cinco factores establece cinco dimensiones de la personalidad: apertura, minuciosidad, extroversión, afabilidad y neuroticismo (*openness*, *conscientiousness*, *extraversion*, *agreeableness*, *neuroticism*). El modelo de los cinco factores hace una descripción extensa de cada dimensión de la personalidad y establece las características de personalidad para cada una de estas dimensiones. Por ejemplo, una persona que se encuentra en la parte de mayor puntuación en la dimensión *apertura*, es una persona que se encuentra dispuesta a experimentar con nuevas cosas, siempre dispuesta al diálogo, y con una capacidad de invención alta; mientras que si se encuentra en la parte de menor puntuación en la dimensión *apertura*, es una persona con poca disposición hacia conocer nuevas cosas. En el capítulo 4 se presenta una descripción más amplia del modelo de los cinco factores.

Un punto importante en esta investigación, es determinar si estas cinco dimensiones del modelo de los cinco factores son relevantes para nuestro dominio. Hicimos una investigación bibliográfica para determinar cuáles de estas cinco dimensiones son relevantes para nuestro caso. Uno de los estudios más reconocidos es el realizado por Jannica Heinström (Heinström, 2000). En su estudio, Heinström expresa las dimensiones de la personalidad en términos de estilos de aprendizaje que se reflejan en estrategias de aprendizaje y que finalmente producen los resultados en el aprendizaje; y establece que los rasgos de personalidad actúan como guías para la motivación y las estrategias de aprendizaje.

Las conclusiones de este estudio establecen que las dimensiones relevantes para el aprendizaje son: *neuroticismo* y *minuciosidad*, también establece una relación del aprendizaje con la dimensión *apertura*, pero esta relación aún no se ha comprobado por completo.

La relación más importante del aprendizaje es con la dimensión *minuciosidad*, ya que esta personalidad está relacionada con la disciplina en el trabajo, interés en la materia, concentración y la consideración de que estudiar es fácil; los estudiantes con esta personalidad tienen una motivación intrínseca y una actitud positiva hacia el estudio. La dimensión *neuroticismo* está relacionada con la falta de concentración, el miedo al fracaso y a experimentar el estudio como estresante. El neuroticismo está ligado con la falta de habilidad crítica y problemas para entender como las cosas se relacionan con otras. Los estudiantes con esta personalidad se concentran en memorizar, sin interés de encontrar el significado o entender el material, en estos casos la motivación de los estudiantes es extrínseca. La dimensión *apertura* está relacionada con cuestionar y analizar argumentos, con la evaluación crítica, búsqueda en literatura y hacer relaciones. Los estudiantes con esta personalidad son críticos, lógicos y relacionan lo que aprenden con su conocimiento previo, su motivación es intrínseca y buscan una comprensión personal e independiente (Heinström, 2000).

Con base en los fundamentos expuestos hasta este momento en este capítulo, en la siguiente sección presentamos el modelo afectivo del estudiante que se propone en este trabajo.

5.3. Estructura del modelo afectivo del estudiante

Como ya mencionamos, existen varias propuestas para establecer el estado afectivo del estudiante; en este trabajo nos basamos en el modelo cognitivo de emociones OCC que constituye una teoría de emociones reconocida tanto por la comunidad de psicología, así como por la comunidad de inteligencia artificial. Los autores del modelo OCC proponen un conjunto de reglas para la implementación computacional del modelo cognitivo de emociones OCC; sin embargo, en este trabajo la implementación de éste se hace mediante un modelo probabilístico. Se utilizan redes bayesianas (Pearl, 1988) para representar el modelo afectivo del estudiante ya que el proceso de determinar el estado afectivo del estudiante contiene un alto grado de incertidumbre y las redes bayesianas nos proveen de mecanismos robustos para manejar la incertidumbre y al mismo tiempo nos permite utilizar cualquier evidencia disponible, por mínima que sea, para establecer el estado afectivo del estudiante.

El modelo afectivo del estudiante desarrollado en este trabajo se basa en el modelo de Conati (Conati y Maclaren, 2005; Zhou y Conati, 2003), el cual propone el modelo OCC y las redes bayesianas dinámicas como un mecanismo robusto para establecer las emociones del estudiante. En ambas propuestas, se usa el modelo de los cinco factores de la personalidad para establecer. La diferencia entre ambas propuestas radica en cómo se plasma el modelo de los cinco factores para obtener la personalidad del estudiante.

En la propuesta de Conati (Conati y Maclaren, 2005; Conati y Zhou, 2002; Zhou y Conati, 2003) las metas se infieren por medio de un proceso de diagnóstico. El diagnóstico se hace a través de los patrones de interacción de los estudiantes, que a su vez diagnostican la personalidad del estudiante. Por ejemplo, un estudiante que evita tener errores, ya sea solicitando ayuda o viendo ejemplos, es un estudiante que tiene una alta probabilidad de tener presente la meta *evitar caer de la montaña*; y dada esta meta, la probabilidad de tener presente el valor alto de la dimensión de personalidad *neuroticismo* es muy alta. Esta estructura es el resultado de un estudio de usuario, en donde hicieron un análisis de correlación entre los patrones de interacción con las metas. En este modelo se utilizan cuatro de las cinco dimensiones de la personalidad ya que el análisis de correlación mostró que estas cuatro dimensiones tienen influencia en las metas y en los patrones de interacción.

En nuestra propuesta las metas se infieren a través de un proceso causal: la personalidad del estudiante causa la presencia o ausencia de las metas. Por ejemplo, si un estudiante tiene la dimensión de personalidad *minuciosidad* en un nivel alto, este estudiante tiene una probabilidad muy alta de tener presente la meta *aprender factorización de números*. Esta estructura es el resultado de plasmar las características establecidas por el modelo de los cinco factores para cada una de las dimensiones de la personalidad. En este modelo utilizamos solo dos de las dimensiones de la personalidad, ya que el estudio de Heinström (Heinström, 2000) dio como resultado que solamente estas dos dimensiones tienen relación con el aprendizaje. Para determinar la personalidad se utiliza un cuestionario de personalidad (Anexo A) que el estudiante puede contestar antes de interactuar con el tutor inteligente. Además, se llevó a cabo una investigación en donde 58 estudiantes contestaron el cuestio-

nario de personalidad, y los resultados se usaron para establecer las probabilidades iniciales y condicionales.

Para determinar el estado afectivo del estudiante usamos los siguientes factores: 1) rasgos de la personalidad, 2) estado de conocimiento sobre la materia, 3) metas y 4) situación tutorial. En la figura 5.4 presentamos la red bayesiana que representa el modelo afectivo del estudiante. Esta red bayesiana es una red de alto nivel ya que cada uno de los nodos es en realidad un conjunto de nodos. La estructura detallada del modelo afectivo del estudiante se describe más adelante. Las relaciones de dependencia se establecieron con base en la literatura (Ortony, Clore y Collins, 1988; Boeree, 2006a; y Heinström, 2000).

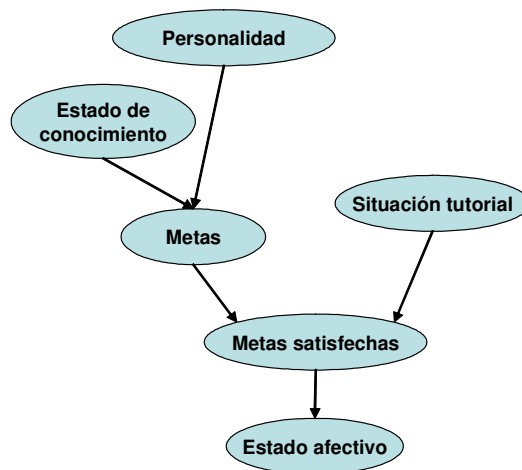


Figura 5.4. Red bayesiana de alto nivel representando el modelo afectivo del estudiante. Los nodos *metas* y *situación tutorial* incidiendo en el nodo *metas satisfechas* representan la comparación de la situación actual contra las metas del estudiante para establecer el estado afectivo de acuerdo con el modelo OCC. Las metas del estudiante se establecen mediante las características de la personalidad del mismo, así como con el estado de conocimiento.

El modelo OCC establece el estado afectivo como el resultado de una evaluación cognitiva entre las metas y la situación actual. Nosotros representamos esta evaluación con los nodos *metas* y *situación tutorial* incidiendo en el nodo *metas satisfechas*. Para el modelo OCC, las metas son un elemento importante para determinar el estado afectivo, así que necesitamos algún mecanismo para establecer las metas del estudiante. Como ya mencionamos, en este trabajo utilizamos el modelo de personalidad de los cinco factores así como el conocimiento del estudiante sobre la materia para establecer las metas. Representamos el modelo de los cinco factores con el nodo *personalidad*, y el conocimiento sobre la materia con el nodo *estado de conocimiento*. El nodo *situación tutorial* representa el estado actual en la sesión de tutoría, mientras que el nodo *estado afectivo* representa las emociones del estudiante.

Aunque algunas veces los términos estado afectivo y estado de ánimo se usan de manera indistinta, nosotros hacemos una distinción entre ellos; consideramos que estado de ánimo representa un estado emocional de mayor tiempo mientras que al estado afectivo lo consideramos como un estado instantáneo. El estado de ánimo tiene un umbral de cambio

más alto que el estado afectivo, es decir, el estado de ánimo cambia más lentamente que el estado afectivo (Velásquez, 1997). Sin embargo, nosotros pensamos que ambos, el estado afectivo y el estado de ánimo tienen un efecto el uno en el otro.

En la figura 5.5 presentamos la red bayesiana detallada que representa el modelo afectivo del estudiante. En esta red bayesiana tenemos seis grupos de nodos: conocimiento, rasgos de personalidad, metas, situación tutorial, metas satisfechas y estado afectivo, que corresponden a cada uno de los nodos de la red de la figura 5.4.

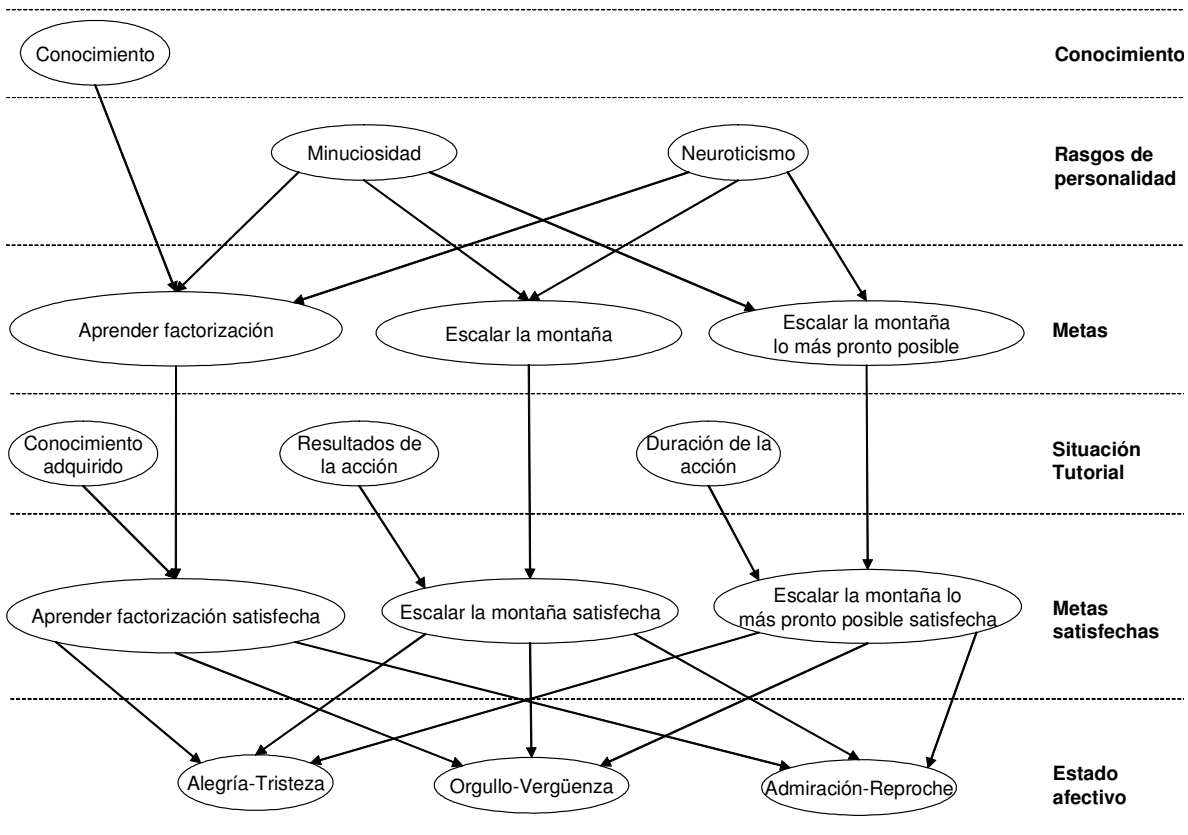


Figura 5.5. Red bayesiana detallada representando el modelo afectivo del estudiante para el juego educativo de factorización. En esta red cada grupo de nodos corresponde a uno de los nodos de la red bayesiana de la figura 5.4 de acuerdo con las metas y variables del dominio del juego educativo.

El modelo afectivo del estudiante se probó en dos dominios: un juego educativo para aprender factorización y un tutor inteligente de robótica móvil; ambos sistemas, así como sus modelos pedagógicos del estudiante se describen en los capítulos 8 y 9 respectivamente. La red bayesiana de la figura 5.5 representa el afectivo del estudiante en el juego educativo para factorización, mientras que el modelo afectivo del estudiante para el STI de robótica móvil se presenta en la figura 5.6. La diferencia entre estas dos redes bayesianas radica en las metas y las variables que se usan para establecer si las metas fueron o no alcanzadas.

En ambas redes tenemos solamente el nodo *conocimiento* en el grupo conocimiento, este nodo se conecta con los nodos de la red bayesiana que representa el modelo pedagógico del estudiante. Con este nodo esquematizamos si el estudiante tiene conocimiento acerca del tema actual, esto es, si sabe la factorización de los números contenidos en el último movimiento en el juego o si sabe los tópicos del experimento desarrollado.

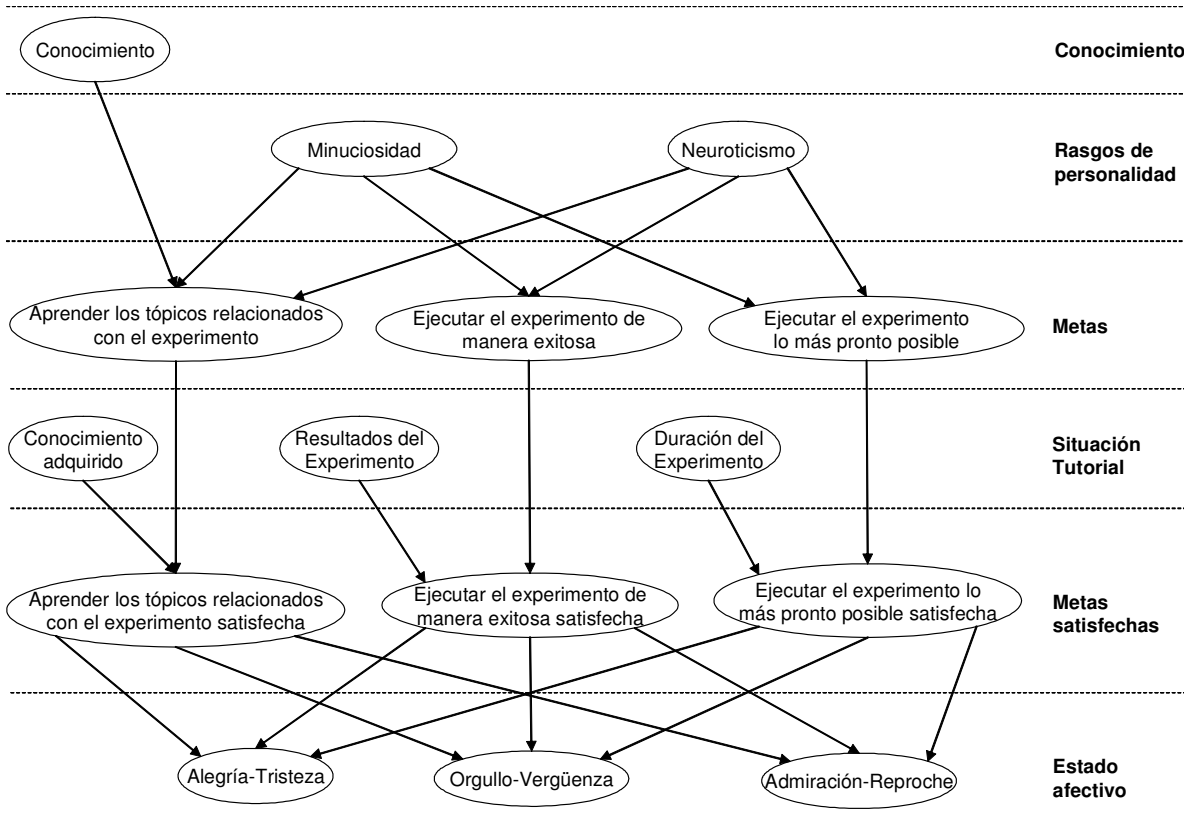


Figura 5.6. Red bayesiana detallada representando el modelo afectivo del estudiante en el STI de robótica móvil. En esta red cada grupo de nodos corresponde a uno de los nodos de la red bayesiana de la figura 5.4 de acuerdo con las metas y variables del dominio del STI.

En la figura 5.7 mostramos como la red bayesiana del modelo afectivo del estudiante se conecta con la red bayesiana del modelo pedagógico del estudiante en el juego educativo, formándose de esta manera el modelo del estudiante.

En el juego educativo participan dos jugadores que deben escalar una montaña de números, y la regla del juego es saltar a un número que no comparta un factor con el número del compañero. Cada vez que el estudiante salta a un número, los números involucrados en ese movimiento (ejercicio) son: el número al que brincó el estudiante y el número en el que se encuentra el compañero. En el caso presentado en la figura 5.7 el estudiante brincó al número 5 mientras que su compañero se encontraba en el número 2, por lo que estos dos nodos se conectan con el nodo *conocimiento* para propagar el conocimiento del estudiante acerca de la factorización de los números actuales.

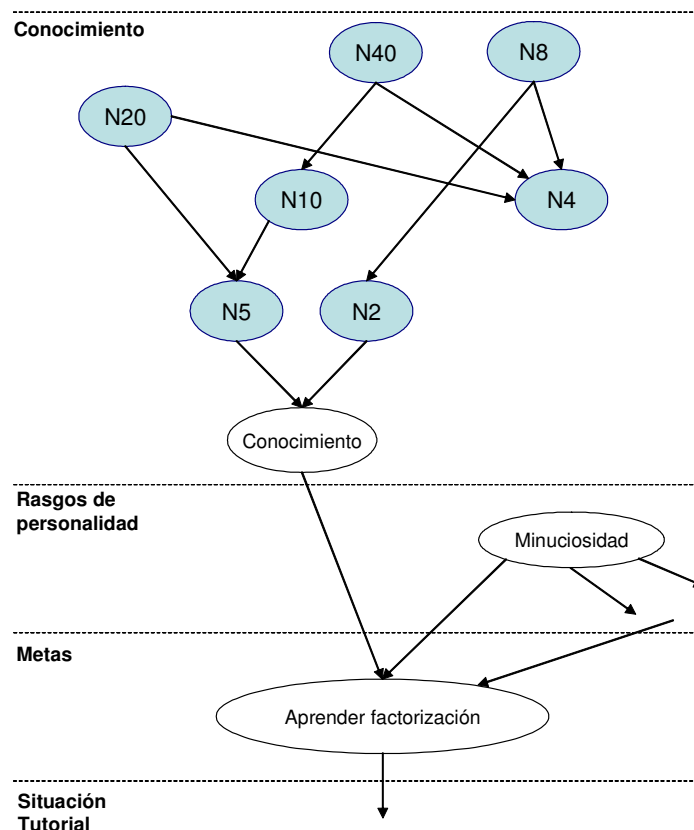


Figura 5.7. Extracto de la red bayesiana que representa el modelo del estudiante en el juego educativo. Los nodos sombreados corresponden al modelo pedagógico del estudiante. Los nodos de los números (5 y 2) contenidos en el movimiento del estudiante inciden el nodo *conocimiento* para propagar la evidencia de que el estudiante conoce la factorización de dichos números.

En el caso del STI de robótica móvil, el nodo *conocimiento* se conecta con los nodos que corresponden a los temas comprendidos en el experimento que el estudiante está llevando a cabo.

De acuerdo con el modelo OCC, las metas son fundamentales para determinar el estado afectivo. Para establecer las metas del estudiante, tenemos dos opciones: preguntarlas al estudiante o inferirlas. Nosotros pensamos que preguntar las metas al estudiante no es una opción conveniente debido a que la gente tiende a no ser completamente franca y tiende a dar respuestas amables y no responder lo que piensa, aun cuando quién le pregunta es una computadora, esto ha sido comprobado por los estudios realizados por Reeves y Nass (Reeves y Nass, 1996). Por lo tanto preferimos inferir las metas por medio de las características de la personalidad del estudiante.

Para modelar la personalidad de los estudiantes tomamos como base el modelo de los cinco factores (Costa y McCrae, 1992). Este modelo es el más aceptado por los estudiosos de esta área. El modelo de los cinco factores considera que la personalidad se establece alrededor

de cinco dimensiones de la personalidad: apertura, minuciosidad, extroversión, afabilidad y neuroticismo (*openness, conscientiousness, extraversion, agreeableness, neuroticism*). Actualmente, en el modelo afectivo del estudiante solamente utilizamos dos de estas dimensiones: *minuciosidad* y *neuroticismo*, para establecer las metas del estudiante, debido a que ha sido establecida una fuerte relación entre estas dos dimensiones de la personalidad con el aprendizaje (Heinström, 2000). Los nodos de personalidad son: *minuciosidad* y *neuroticismo* (figuras 5.5 y 5.6).

Para cada dominio, hemos establecido tres metas. Para el juego educativo de factorización (figura 5.5), las metas son: 1) aprender factorización, 2) escalar la montaña de manera exitosa y 3) escalar la montaña lo más rápido posible. Mientras que para el STI de robótica móvil (figura 5.6), establecimos las tres metas como: 1) aprender los tópicos relacionados con el experimento, 2) ejecutar el experimento de manera exitosa y 3) ejecutar el experimento lo más rápido posible.

Para representar si una meta ha sido satisfecha o no, incluimos los nodos *metas satisfechas*, uno para cada una de las metas, estos nodos se encuentran relacionados con los nodos *meta* y *situación tutorial*. Los nodos *situación tutorial* son variables que toman sus valores (evidencia) de los resultados de las acciones del estudiante dentro del sistema. Estos tres nodos y sus relaciones representan la comparación cognitiva entre las metas y la situación, tal como lo establece el modelo OCC.

Del conjunto de emociones establecidas por el modelo OCC, utilizamos seis emociones: alegría, tristeza, orgullo, vergüenza, admiración y reproche (*joy, distress, pride, shame, admiration, reproach*). Utilizamos este subconjunto de emociones debido a que solamente éstas son relevantes para nuestro dominio. Asimismo, concluimos que los pares de emociones *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche* son complementarias con respecto a un mismo evento; por ejemplo, entre más alegría sienta una persona hacia el evento A, menos tristeza siente hacia ese mismo evento A. Esto es cierto cuando se evalúan las emociones *alegría* y *tristeza* hacia un mismo evento; sin embargo no es cierto cuando se evalúan estas emociones para diferentes eventos, ya que puede sentir tristeza hacia el evento A y al mismo tiempo sentir alegría por el evento B. En la figura 5.8 se presenta un diagrama de la dimensión *alegría-tristeza*.

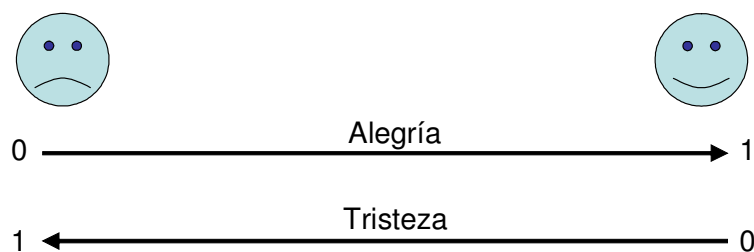


Figura 5.8. Diagrama de la dimensión *alegría-tristeza* en el modelo afectivo del estudiante.

Con este diagrama esquematizamos que en la dimensión *alegría-tristeza*, mientras crece la alegría (1), disminuye la tristeza (0) y viceversa, pero puede existir el punto medio en que la alegría y la tristeza se encuentran en el mismo punto (0.5).

Por lo mencionado en los párrafos anteriores, en nuestro modelo las emociones se establecieron como dimensiones (figura 5.5 y 5.6): 1) alegría-tristeza, la emoción del estudiante hacia la sesión de tutoría, representada con el nodo *alegría-tristeza*; 2) orgullo-vergüenza, la emoción del estudiante hacia si mismo, representada con el nodo *orgullo-vergüenza* y 3) admiración-reproche, la emoción del estudiante hacia el sistema tutor, representada con el nodo *admiración-reproche*.

Hasta este momento, hemos descrito como se utilizan los diferentes parámetros del modelo afectivo del estudiante para establecer el estado afectivo. Para propósitos de claridad esta descripción se llevo a cabo con una red bayesiana estática, es decir se describió el proceso de inferencia del estado afectivo del estudiante en un punto determinado de tiempo. Sin embargo, el estado afectivo del estudiante evoluciona en el tiempo, y el estado afectivo actual tiene impacto en el estado afectivo en el siguiente tiempo.

En la figura 5.9 se muestra la red de decisión dinámica del modelo afectivo del estudiante. En este modelo intervienen dos segmentos de tiempo, el tiempo t_n y el tiempo t_{n+1} . Como se aprecia, el estado afectivo del estudiante en el tiempo t_n está relacionado con el estado afectivo en el tiempo t_{n+1} , de esta manera se modela la naturaleza dinámica del afecto y el cambio paulatino en el mismo. Sin embargo, los cambios más extremos en el afecto son modelados por medio de la relación entre las metas, la situación tutorial y las metas satisfechas.

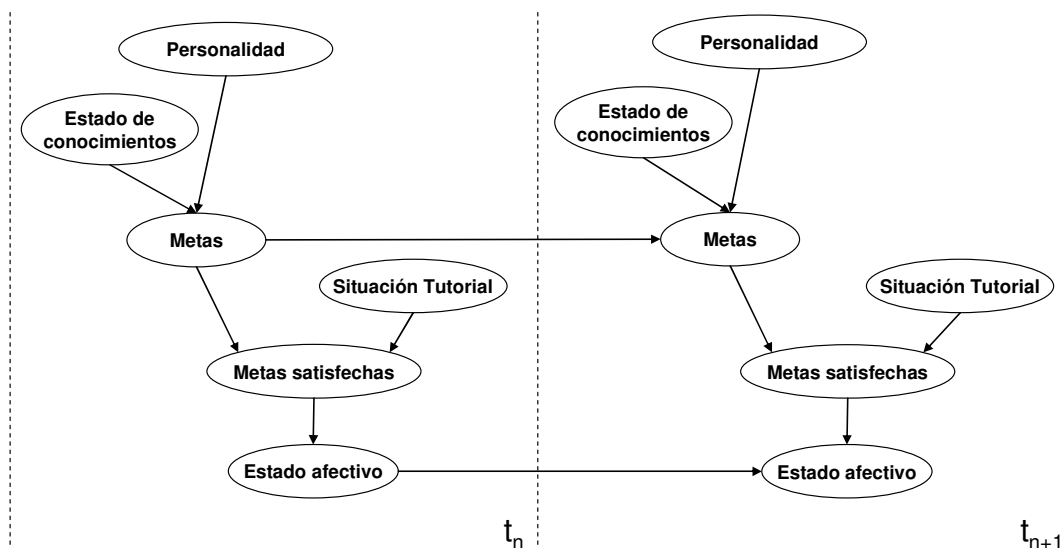


Figura 5.9. Red bayesiana dinámica representando la evolución del estado afectivo del estudiante en el tiempo. Esta evolución se representa mediante la liga entre los nodos *estado afectivo* y la liga entre los nodos *metas*. En el modelado del dinamismo en el afecto intervienen dos segmentos de tiempo t_n y t_{n+1} .

Las metas del estudiante también pueden cambiar a lo largo de la interacción del estudiante con el tutor, por lo que también se tiene una liga entre las metas en el tiempo t_n y las metas en el tiempo t_{n+1} . En nuestro caso específico la única meta que puede cambiar en el tiempo es la meta *aprender factorización de números* ya que esta meta está influenciada por el estado de conocimiento del estudiante, que a su vez evoluciona durante la interacción. Las otras dos metas no cambian ya que solamente tienen influencia de la personalidad del estudiante, la cual no cambia durante la interacción.

Por otro lado, el estado de conocimiento del estudiante también tiene impacto en el estado de conocimiento en el siguiente tiempo. Esta relación no se encuentra incluida en el modelo afectivo del estudiante, ya que ésta se modela en el modelo pedagógico del estudiante.

En este modelo en cualquier punto de la interacción, se tiene solamente dos segmentos de tiempo, cada vez que se agrega un nuevo segmento de tiempo se elimina el segmento de tiempo más antiguo.

En esta sección hemos descrito la estructura de la red bayesiana del modelo afectivo del estudiante, así como los fundamentos de dicha estructura, en la siguiente sección se describe como se definieron los parámetros del modelo afectivo del estudiante.

5.4. Parámetros del modelo afectivo del estudiante

La mayor parte de las probabilidades para el modelo afectivo del estudiante se establecieron con base en la literatura en psicología (Boeree, 2006a; Heinström, 2000). Sin embargo también se llevaron a cabo estudios con estudiantes en donde se les aplicó el cuestionario de personalidad *the big five minitest*, que está basado en el modelo de personalidad de los cinco factores. Este cuestionario se aplicó a 58 estudiantes de licenciatura y maestría. De este estudio obtuvimos las probabilidades de que un estudiante se encuentre dentro de cierto grupo de personalidad.

Para presentar las probabilidades iniciales y condicionales utilizaremos el dominio del juego educativo de factorización (figura 5.5). Empezaremos la descripción de la red en la dirección que lo hemos venido haciendo, de arriba hacia abajo.

5.4.1. Nodo conocimiento

El primer nodo en la estructura de la red es el nodo *conocimiento*. Como ya mencionamos el nodo *conocimiento* se liga con el modelo pedagógico del estudiante, por lo que la estructura de la tabla de probabilidad condicional dependerá de los nodos del modelo pedagógico del estudiante. El nodo *conocimiento* tiene dos valores: *adquirido* y *no adquirido*. En la tabla 5.1 presentamos la tabla de probabilidad condicional del nodo

conocimiento para el dominio del juego educativo de factorización, esto es, para el modelo del estudiante presentado en la figura 5.7.

Tabla 5.1. Tabla de probabilidad condicional para el nodo *conocimiento*.

	Nodo Conocimiento			
Nodo N5	Sabe		No sabe	
Nodo N2	Sabe	No sabe	Sabe	No sabe
Adquirido	0.9	0.5	0.5	0.1
No adquirido	0.1	0.5	0.5	0.9

En esta tabla las probabilidades se establecieron de una manera sencilla, si el estudiante conoce la factorización del número 5 y del número 2 (números incluidos en el último movimiento del estudiante) representados por los nodos *N5* y *N2*, entonces la probabilidad de que el nodo *conocimiento* tenga el valor *adquirido* es 0.9, es decir la probabilidad de que tenga conocimiento acerca de la materia (factorización) es muy alta.

Por otro lado, si solamente conoce la factorización de uno de los dos números, la probabilidad de que el nodo *conocimiento* tenga el valor *adquirido* es 0.5, es decir no hay manera de saber si el estudiante sabe o no sabe acerca de la materia factorización.

En el caso de que el estudiante no conozca la factorización de ninguno de los dos números, la probabilidad de que el nodo *conocimiento* tenga el valor *adquirido* es 0.1, es decir es muy poco probable que el estudiante sepa acerca de la materia factorización.

5.4.2. Nodos rasgos de personalidad

El siguiente grupo de nodos corresponde a los rasgos de personalidad. Para establecer las probabilidades iniciales de los nodos *personalidad* se aplicó un cuestionario de personalidad basado en el modelo de los cinco factores, *the big five minitest* (Boeree, 2005). El cuestionario de personalidad así como la explicación del mismo se presenta en el anexo A. Debido a que el modelo de los cinco factores es un modelo ampliamente aceptado por la comunidad de psicología existen diversos cuestionarios de personalidad que se basan en dicho modelo, de entre todos ellos escogimos *the big five minitest* (Boeree, 2005) por ser un cuestionario fácil de contestar ya que contiene solamente 50 adjetivos. En el cuestionario los estudiantes tienen que establecer si les aplica o no cada uno de los adjetivos. El cuestionario arroja como resultado para cada estudiante en que medida le aplican cada una de las cinco dimensiones de personalidad, las posibles medidas son *bajo*, *medio* y *alto*. Los resultados de este estudio se presentan en las tablas 5.2 y 5.3.

En la tabla 5.2 se presenta el número de estudiantes que hay en cada medida de cada dimensión de personalidad, mientras que en la tabla 5.3 se presentan los porcentajes para cada medida de cada dimensión de personalidad

Tabla 5.2. Número de estudiantes para las medidas de las dimensiones de personalidad.

Valores	Personalidad				
	Extraversión	Afabilidad	Minuciosidad	Neuroticismo (Estabilidad)	Apertura
Bajo	1	1	0	0	4
Medio	54	41	45	45	46
Alto	3	16	13	13	8
	58	58	58	58	58

Tabla 5.3. Porcentajes arrojados por el estudio de personalidad para cada medida de las dimensiones de personalidad

Valores	Personalidad				
	Extraversión	Afabilidad	Minuciosidad	Neuroticismo (Estabilidad)	Apertura
Bajo	2%	2%	0%	0%	7%
Medio	93%	71%	78%	78%	79%
Alto	5%	28%	22%	22%	14%
	100%	100%	100%	100%	100%

Como resultado del estudio de personalidad se obtuvo para cada una de las dimensiones de personalidad que muy pocos estudiantes están en la medida *bajo*; la mayoría de los estudiantes están en la medida *medio* y un grupo regular están en la medida *alto*. En ambas tablas, en la columna *neuroticismo* se encuentra entre paréntesis el término *estabilidad*, esto se debe a que el autor del cuestionario *the big five minitest* (Boeree, 2005), invierte esta dimensión y la llama *estabilidad*, que es el otro extremo del *neuroticismo*, esto lo hace por la connotación negativa que pudiera tener el término *neuroticismo*.

Los resultados de este estudio de personalidad fueron utilizados para establecer las probabilidades iniciales de cada nodo *personalidad*. Los porcentajes arrojados por el estudio de personalidad fueron normalizados y de esta manera utilizados para establecer las probabilidades iniciales. Como ya lo hemos mencionado, en este momento solamente usamos dos dimensiones de la personalidad: *minuciosidad* y *neuroticismo*, esto se debe a la relación de estas dimensiones con el aprendizaje (Heinström, 2000).

No obstante que utilizamos probabilidades iniciales para los nodos *personalidad*, dentro de las aplicaciones se encuentra un cuestionario de personalidad para que cada estudiante lo conteste y de esta manera, tener su perfil de personalidad particular.

5.4.3 Nodos meta

El siguiente grupo de nodos son las metas del estudiante. Para el dominio del juego educativo establecimos tres posibles metas de los estudiantes: 1) aprender factorización, 2) escalar la montaña de manera exitosa y 3) escalar la montaña lo más rápido posible. Como podemos ver en la figura 5.5 para establecer las metas del estudiante intervienen los

conocimientos y la personalidad del estudiante. Para establecer las probabilidades condicionales de los nodos *meta*, se tomó en cuenta las características de cada dimensión de personalidad tal como lo establece el modelo de los cinco factores. Cada nodo meta tiene dos posibles valores: *presente* y *ausente*.

Cuando el estudiante ya conoce la factorización de los números incluidos en el movimiento actual (*conocimiento = adquirido*) la probabilidad de que la meta *aprender factorización* esté presente (*Aprender factorización = presente*) es más baja que en el caso cuando el estudiante desconoce la factorización de los números incluidos en el movimiento actual (*conocimiento = no adquirido*). Sin embargo, la probabilidad de que la meta esté presente aumenta con el grado de cada una de las dos dimensiones de la personalidad del estudiante; ya que de acuerdo con lo establecido por el modelo de los cinco factores, cuando una persona tiene la dimensión *minuciosidad* en grado alto, se trata de una persona responsable y organizada con sus deberes, por lo que aún cuando ya conoce el tema, la probabilidad de que la meta este presente es más alta. Para el caso de la dimensión *neuroticismo*, las personas que presentan esta dimensión de personalidad en grado alto, son personas empecinadas con los resultados inmediatos de las acciones, y no están interesadas en el proceso, es decir, un estudiante con la *neuroticismo* en grado alto querrá siempre sacar buenas calificaciones pero sin querer aprender, o se aprenderá de memoria los conceptos pero no razonará acerca de su significado. Por lo tanto, si un estudiante presenta esta dimensión en grado alto, es muy probable que la meta *aprender factorización* esté presente.

Por el lado de la meta *escalar la montaña de manera exitosa*, este nodo tiene solamente dos padres el nodo *minuciosidad* y el nodo *neuroticismo*. En este caso las probabilidades se establecieron de la manera en que se explico para la meta anterior: la probabilidad de que la meta esté presente aumenta conforme aumenta el grado de cada dimensión de personalidad. Por ejemplo, cuando el estudiante tiene ambas dimensiones de personalidad en grado alto es muy probable que la meta esté presente ($p = 0.98$), mientras que si el estudiante tiene ambas dimensiones en grado bajo, la probabilidad de que la meta esté presente es más baja ($p = 0.71$).

En el caso del nodo meta *escalar la montaña lo más rápido posible*, las probabilidades condicionales son muy parecidas al nodo meta *aprender factorización*, por las razones que ya explicamos acerca de las características de las dimensiones de la personalidad. Sin embargo, en este caso las probabilidades son ligeramente más altas que en el caso anterior, ya que el tiempo es un factor muy importante en el desarrollo de los juegos y aún más para las personas con la dimensión *neuroticismo* en grado alto.

5.4.4. Nodos situación tutorial

El grupo de nodos siguiente en la red bayesiana del modelo afectivo del estudiante es el grupo de nodos referentes a la situación tutorial (ver figura 5.5). Los nodos para representar la situación tutorial son tres: *conocimiento adquirido*, *resultados de la acción* y *duración de la acción*. El primero se refiere a lo que el estudiante aprendió durante el desarrollo de la

acción; el segundo nodo representa el éxito o fracaso de la acción que el estudiante llevó a cabo; mientras que el nodo *duración de la acción* se refiere al tiempo que le tomó al estudiante llevar a cabo la acción, si éste fue aceptable o no. Cada uno de estos tres nodos tiene dos valores: *positivo* y *negativo*. Cada uno de estos nodos toma su valor de los resultados de la acción y estos valores serán utilizados como evidencia. Cada valor de cada nodo tiene probabilidad 0.5 porque inicialmente no conocemos nada acerca de la situación tutorial al término de la acción del estudiante.

5.4.5. Nodos metas satisfechas

El siguiente grupo de nodos en la estructura de la red bayesiana contiene los nodos *metas satisfechas*. La red bayesiana del modelo del estudiante tiene tres nodos *metas satisfechas*, uno por cada una de las tres metas establecidas para el dominio del juego educativo. Estos nodos representan qué tanto el estudiante alcanzó las metas dentro del desarrollo de las acciones, y representan la parte medular de la evaluación del modelo OCC para establecer el estado afectivo del estudiante.

Los nodos *metas satisfechas* tienen dos valores posibles: *si* y *no*, que representan si la meta fue satisfecha o no. Cada nodo tiene dos padres, un nodo *meta* y un nodo *situación tutorial* que proporciona evidencia para establecer si la meta se satisfizo o no.

Las probabilidades condicionales para cada uno de los nodos *metas satisfechas* son iguales, y se establecieron de la siguiente manera, podemos ver que cuando la meta está presente (*meta = presente*) y el estudiante aprendió del juego (*conocimiento adquirido = positivo*), la probabilidad de que la meta haya sido satisfecha es muy alta, 0.99, y la probabilidad de que la meta no haya sido satisfecha es muy baja, 0.01.

Se puede dar el caso de que las metas no estén presente (*meta = ausente*), esto es, el estudiante, no quiere aprender (meta 1), o el estudiante no quiere escalar la montaña de manera exitosa (meta 2), o cuando el estudiante no quiere escalar la montaña en un tiempo aceptable (meta 3). En este caso consideramos que si la meta no está presente y el estudiante lleva a cabo acciones exitosas (*conocimiento adquirido = positivo*, o *resultados de la acción = positivo* o *duración de la acción = positivo*) entonces la probabilidad de que la meta este satisfecha es relativamente baja, 0.6, pero es más alta que la probabilidad de que la meta no esté satisfecha, 0.4.

5.4.6. Nodos estado afectivo

El siguiente y último grupo de nodos corresponde a los nodos que representan el estado afectivo. Como hemos comentado, en nuestro modelo afectivo del estudiante manejamos seis diferentes emociones del grupo de emociones establecido por el modelo OCC, y estas seis emociones las manejamos a manera de dimensiones por considerarlas complementarias

entre pares de emociones. Los nodos que representan el estado afectivo del estudiante son: 1) *alegría-tristeza*, que representa la emoción que siente el estudiante hacia la sesión de tutoría; 2) *orgullo-vergüenza*, que representa la emoción que siente el estudiante hacia sí mismo; y 3) *admiración-reproche*, que representa la emoción que siente el estudiante hacia el tutor.

En el caso de que las tres metas estén satisfechas, la probabilidad de que el valor del nodo *alegría-tristeza* sea *alegría* es muy alto, 0.99, mientras que si ninguna de las metas han sido satisfechas, la probabilidad de que el valor del nodo *alegría-tristeza* sea *alegría* es muy bajo, 0.01. Las probabilidades para los nodos estado afectivo *orgullo-vergüenza* y estado afectivo *admiración-reproche* se establecieron de la misma manera en que fueron establecidas las probabilidades del nodo *alegría-tristeza*.

Con esto terminamos la descripción de la estructura y las relaciones probabilísticas de la red bayesiana que representa el modelo afectivo del estudiante.

5.5. Resumen del capítulo

En este capítulo se presentó el modelo afectivo del estudiante. La construcción de este modelo está fundamentada en el modelo OCC, por su claridad para establecer las emociones. El modelo afectivo del estudiante también se encuentra fundamentado en el modelo de los cinco factores ya que proporciona conocimiento acerca de la personalidad de los estudiantes que es útil para establecer las metas de los mismos. Las metas son un elemento importante en el modelo OCC. El modelo afectivo del estudiante está representado por medio de una red bayesiana, por los mecanismos que proporcionan las redes bayesianas para utilizar cualquier evidencia posible para establecer el estado afectivo del estudiante.

Con el modelo afectivo del estudiante se cumple con el primero de los aspectos en el comportamiento afectivo: detectar el estado afectivo de los estudiantes con el objeto de proporcionar a los estudiantes respuestas que sean pedagógica y afectivamente adecuadas, lo que ayuda en el proceso de aprendizaje de los estudiantes y redundando en ganancias en el aprovechamiento de los mismos. En el siguiente capítulo se presenta el *modelo afectivo del tutor*.

Capítulo 6

Modelo afectivo del tutor

"I don't know enough," replied the Scarecrow cheerfully. "My head is stuffed with straw, you know, and that is why I am going to Oz to ask him for some brains."

"Oh, I see," said the Tin Woodman. "But, after all, brains are not the best things in the world."

"Have you any?" inquired the Scarecrow.

"No, my head is quite empty," answered the Woodman. "But once I had brains, and a heart also; so, having tried them both, I should much rather have a heart."

The Wonderful Wizard of Oz (Baum, 1900).

Tradicionalmente, los sistemas tutores inteligentes llevan a cabo las acciones tutoriales tomando en cuenta solamente el estado pedagógico de los estudiantes. En este trabajo se propone proporcionar a los estudiantes acciones tutoriales que sean afectivamente apropiadas, además de ser adecuadas para el estado pedagógico del estudiante. En este capítulo se presenta el segundo componente del modelo de comportamiento afectivo: el modelo afectivo del tutor. Una vez que se tiene el estado afectivo del estudiante, el modelo afectivo del tutor se encarga de establecer las acciones pedagógicas y afectivas acordes con el estado pedagógico y afectivo del estudiante. El diseño del modelo afectivo del tutor que se propone en este documento se basa en la experiencia de profesores. El modelo afectivo del tutor está representado por medio de una red de decisión dinámica que considera las utilidades de las acciones tanto en el aprendizaje como en el afecto. En este capítulo se describe el modelo afectivo del tutor y las bases de su construcción.

6.1. Tutor afectivo

La inteligencia de un sistema tutor inteligente radica en el conocimiento que éste tiene sobre el estudiante, en el conocimiento que tiene sobre la materia y sobre cómo enseñar, y en el razonamiento que hace sobre este conocimiento. Sin embargo, si la arquitectura básica de un STI trata de simular los patrones de comportamiento de un tutor humano, y es sabido que un tutor humano trabaja con el estado afectivo de los estudiantes para aumentar su motivación; entonces es conveniente agregar a la arquitectura básica de los sistemas tutores inteligentes un nuevo módulo: el módulo afectivo. Este nuevo modulo se encarga de procesar y razonar con el estado afectivo del estudiante para generar acciones acordes con el estado emocional y de conocimiento del estudiante. La arquitectura de un sistema tutor inteligente con capacidades afectivas se muestra en la figura 6.1. Esta arquitectura tiene sus fundamentos en la arquitectura básica de sistemas tutores inteligentes propuesta en (Burns y Capps, 1988).

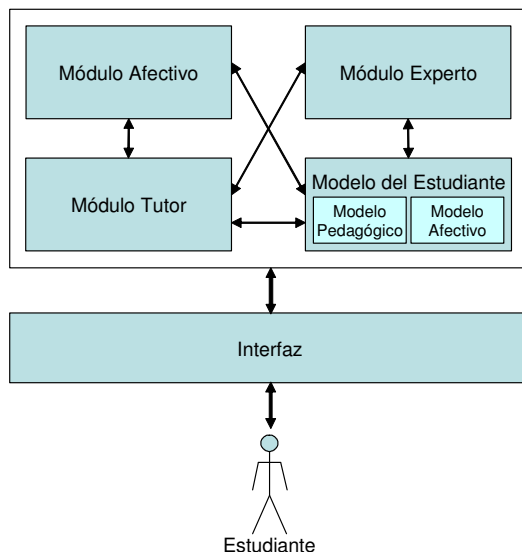


Figura 6.1. Arquitectura de un STI con capacidades afectivas. Se identifica el módulo afectivo que contiene conocimiento para procesar el estado afectivo del estudiante, para proveer al módulo tutor elementos para establecer las acciones tutoriales acordes con el estado afectivo y pedagógico de los estudiantes. El modelo del estudiante contiene información sobre el estado afectivo del estudiante además de su estado pedagógico.

Decidimos usar esta arquitectura básica, o clásica, como la llaman en (Corbett, Koedinger y Anderson, 1997) ya que esquematiza las diversas habilidades y los varios componentes de los tutores inteligentes en pocos módulos, y de esta manera se presentan de manera clara y sintética las funciones de los módulos y las relaciones entre ellos (ver capítulo 2).

En esta nueva arquitectura, el módulo afectivo es el encargado de razonar con el estado afectivo del estudiante y trabaja junto con el módulo tutor para ofrecer al estudiante una

respuesta adecuada tanto para el estado de conocimiento del estudiante como para su estado afectivo. Este nuevo módulo debe contener conocimiento suficiente sobre modelos de emociones, especialmente sobre aquellos que se encuentran encaminados hacia la educación o que tengan bases pedagógicas. El modelo del estudiante además de contener el estado de conocimiento del estudiante, contiene el estado afectivo del mismo; esto es, tiene conocimiento sobre el conocimiento que el estudiante tiene sobre la materia de estudio y conocimiento sobre su estado afectivo.

Cada implementación específica de esta arquitectura establece los posibles estados afectivos de los estudiantes de acuerdo con los modelos de emociones en que se encuentre basada. En nuestro caso, la arquitectura del STI afectivo se encuentra basada en el modelo OCC (ver capítulo 4) y por lo tanto los posibles estados afectivos de los estudiantes es un subconjunto del conjunto completo de emociones propuesto por el modelo OCC. El modelo afectivo del estudiante se describe en el capítulo 5.

Un componente importante de esta arquitectura es el modelo de comportamiento afectivo quien proporciona al módulo tutor elementos que le permitan establecer su respuesta de manera acorde con el estado afectivo del estudiante. El modelo de comportamiento afectivo se presenta en la siguiente sección.

6.2. Modelo de comportamiento afectivo

Un componente fundamental de la arquitectura de un sistema tutor inteligentes con capacidades afectivas es el modelo de comportamiento afectivo del tutor (MCA), que traduce los estados afectivo y pedagógico del estudiante en conocimiento útil para los módulos tutor e interfaz para generar respuestas adecuadas para dichos estados. El modelo de comportamiento afectivo tiene dos componentes: el modelo afectivo del estudiante (se describe en el capítulo 5) y el modelo afectivo del tutor (se describe en este capítulo). En la figura 6.2 se presenta un diagrama de bloques que esquematiza el flujo del conocimiento en torno al modelo de comportamiento afectivo.

El tutor tiene que responder de acuerdo con el estado afectivo del estudiante y para hacer esto, el tutor necesita un modelo de comportamiento afectivo que establezca parámetros que habiliten un mapeo del estado del estudiante a acciones del tutor. El modelo de comportamiento afectivo recibe información de tres componentes: el modelo afectivo del estudiante, el modelo pedagógico del estudiante y la situación tutorial; y traduce estos tres componentes en acciones afectivas hacia el módulo tutor y el módulo interfaz. La acción afectiva contiene conocimiento acerca de la situación general que ayuda al módulo tutor a determinar la siguiente respuesta hacia el estudiante, y también ayuda al módulo interfaz a expresar la respuesta en una manera adecuada. Por el lado del modelo pedagógico, el conocimiento generado por el MCA ayuda al módulo tutor a generar la siguiente acción pedagógica (explicación, ejercicio, ejemplo, etc.). El conocimiento afectivo le da elementos al modelo pedagógico para buscar la mejor acción pedagógica. El módulo tutor evalúa el conocimiento que tiene sobre el estudiante (modelo pedagógico del estudiante) y en

combinación con el conocimiento afectivo (modelo afectivo del estudiante) determina la respuesta del tutor. Así, el módulo tutor puede decidir si es necesario presentar al estudiante otro ejercicio o cambiar el tema actual. Por ejemplo, si la respuesta del estudiante es incorrecta y su estado afectivo es feliz, el tutor puede motivar al estudiante con otro ejercicio más adecuado a la situación de manera de mantener la motivación alta, al mismo tiempo que le da instrucción adecuada para el grado de conocimiento del estudiante.

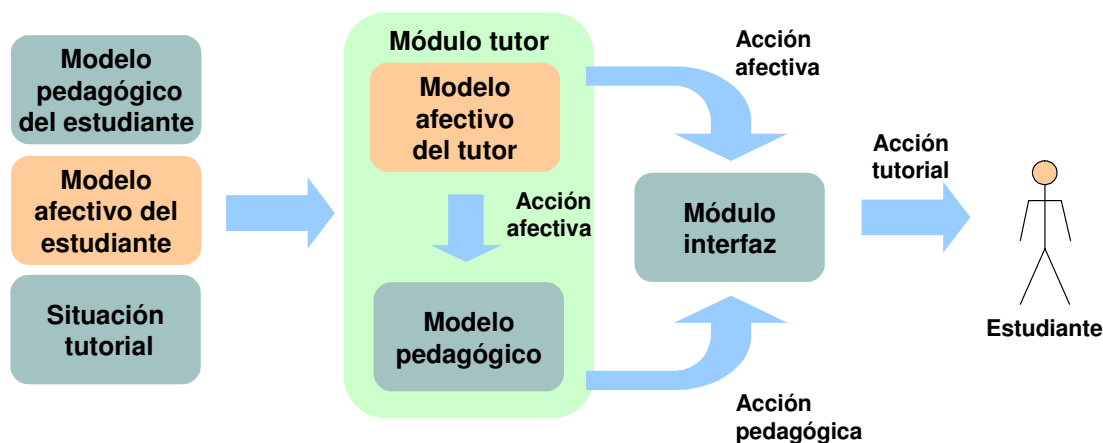


Figura 6.2. Diagrama de bloques del flujo del conocimiento en el modelo de comportamiento afectivo (MCA). El MCA tiene tres componentes principales que lo alimentan: el modelo afectivo del estudiante, el modelo pedagógico del estudiante y la situación tutorial actual. Por situación tutorial se entiende el resultado de las acciones del estudiante, tales como errores, aciertos, intentos, tiempo invertido, etc. Estos tres elementos le sirven al MCA para generar los parámetros afectivos que sirven para determinar la siguiente acción tutorial.

Por el lado del módulo interfaz, éste también recibe conocimiento afectivo que le ayuda a llevar a cabo la realización física de la respuesta del tutor. En nuestro caso, la realización física de la respuesta del tutor es por medio de un agente pedagógico animado, que incluya expresiones faciales y postura del cuerpo; éste agente animado además podría incluir tono de voz, de manera coordinada en tiempo y forma.

De esta manera, el estudiante recibe una acción tutorial compuesta por una acción pedagógica y una acción afectiva. La acción pedagógica representa la instrucción que se le da al estudiante y la acción afectiva la manera en que se presenta dicha instrucción.

El modelo de comportamiento afectivo que se propone es genérico y puede ser integrado a cualquier sistema tutor inteligente, o sistemas educativos que cuenten con un modelo pedagógico del estudiante. Para fines de claridad, la descripción del modelo se ilustra con un juego educativo para aprender factorización de números, y en el anexo E se muestra el modelo integrado con un sistema tutor inteligente de robótica móvil.

6.2.1. Acciones afectivas

De acuerdo con Halff (Halff, 1988), las intervenciones tutoriales deben tener tres características:

1. El tutor debe tener algún control sobre el currículum; esto es, la selección y la secuenciación del material que se presentará al estudiante.
2. El tutor debe responder a las preguntas del estudiante acerca de la materia.
3. Un tutor debe ser capaz de determinar cuándo el estudiante necesita ayuda y qué clase de ayuda necesita.

Estas tres características se cumplen en la arquitectura básica de STI. La característica número uno se cumple cuando el tutor selecciona el material y el orden en que este será presentado al estudiante. La característica número dos se cumple cuando el sistema tutor inteligente proporciona al estudiante medios para solicitar ayuda de manera espontánea y ésta es generada de acuerdo con la solicitud del estudiante.

La característica número tres se cumple cuando el tutor considera el modelo pedagógico del estudiante para establecer las acciones del tutor. Sin embargo, un componente importante de las intervenciones tutoriales es el estado afectivo del estudiante, por lo que es conveniente que en todas las respuestas del tutor al estudiante sea considerado el estado afectivo, además del estado pedagógico. Por lo tanto, el tutor debe ser capaz de determinar cuándo necesita ayuda el estudiante y qué clase de ayuda necesita tanto en el ámbito de conocimiento como en el ámbito afectivo.

Por otro lado, la comunicación es un aspecto importante de la tutoría, por lo que necesitamos entender la instrucción no solamente desde el punto de vista del aprendizaje convencional sino también como un proceso de comunicación, y, nuevamente, en los procesos de comunicación, el estado afectivo es un factor influyente.

El resultado de la evaluación que hace el MCA de los modelos afectivo y pedagógico del estudiante así como de la situación tutorial, es una acción afectiva con dos componentes: una subacción pedagógica y una subacción interfaz, que sirve tanto al módulo tutor como al módulo interfaz.

La subacción pedagógica ayuda al módulo tutor a llevar a cabo el siguiente movimiento pedagógico de tal manera que éste sirva para elevar el nivel de motivación del estudiante, o para mantener la motivación en un nivel alto. Con base en este conocimiento el módulo tutor podría decidir poner un ejercicio aumentando o disminuyendo el nivel de complejidad, cambiar el ritmo o los modos de la explicación, aplicar otra estrategia pedagógica, etc.

Por el lado del módulo interfaz, la subacción interfaz le ayuda a realizar físicamente la siguiente acción del tutor de tal manera que ésta sirva para elevar la disposición del estudiante hacia el aprendizaje. La información que recibe el módulo interfaz tiene tres componentes: el mensaje (la información que se trasmite al estudiante), lo que el estudiante

va a ver y lo que va a escuchar. En el caso de contar con un agente animado, esto último puede verse como lo que el agente dice, su expresión facial y su tono de voz.

Se identifican tres tipos de acciones afectivas: neutra, moderada y fuerte; que representan movimientos básicos de un tutor. La sustentación de estos tipos de acciones afectivas se encuentra en un estudio llevado a cabo con maestros expertos (ver capítulo 7). De las respuestas de los maestros se recogió que las acciones que llevan a cabo caen principalmente en estos tres tipos de acciones afectivas. En la figura 6.3 se muestra de manera esquematizada los tipos de acciones afectivas propuestos y sus componentes.

acción afectiva		
neutra	moderada	fuerte
subacción pedagógica		subacción interfaz

Figura 6.3. Tipos de acciones afectivas. Se identifican tres tipos de acciones afectivas: neutra, moderada y fuerte. Las acciones afectivas tienen dos componentes la subacción pedagógica y la subacción interfaz.

Fundamentalmente, una acción afectiva neutra y una moderada aplican cuando el estudiante tiene un nivel de motivación adecuado (la motivación aumenta o permanece en el mismo nivel alto), e indica que la siguiente acción pedagógica del tutor pudiera estar dentro de la misma estrategia pedagógica utilizada. Una acción afectiva fuerte aplica, cuando la motivación del estudiante disminuye y es necesario llevar a cabo alguna acción para atraer su atención, por ejemplo, cambiar el ritmo de la instrucción.

Es conveniente destacar que se propone una estructura general de acción afectiva que puede usarse en un sistema tutor inteligente. El sistema tutor inteligente puede tener o no un agente pedagógico animado para presentar la instrucción, y éste puede tener o no capacidad de lenguaje hablado o escrito; y aún el STI podría tener la habilidad de reconocer las expresiones de lenguaje del estudiante, hablado o escrito.

En el caso de tener una interfaz con capacidades de lenguaje, el mensaje hacia el estudiante se compone de la información que se trasmite al estudiante y de un movimiento de diálogo o acto de habla. La información que se transmitirá al estudiante se establece mediante su desempeño, mientras que el acto de habla debe seleccionarse de acuerdo con los actos de habla del estudiante (o acciones, en caso de no contar con reconocimiento de lenguaje natural). Por ejemplo en (Woolf y McDonald, 1984) se presenta una arquitectura para generación de diálogo tutorial. Esta arquitectura tiene dos componentes principales para la generación de los diálogos: el componente tutor y el generador de lenguaje. El componente tutor decide las transiciones en los diálogos y la información que se presentará o preguntará al estudiante. El componente generador de lenguaje toma las especificaciones conceptuales del componente tutor y genera la salida de lenguaje natural.

Otro trabajo en esta misma dirección es *AutoTutor* (Graesser, Jackson y McDaniel, 2007), un agente conversacional animado que simula un tutor humano por medio de conversaciones en lenguaje natural con los estudiantes. *AutoTutor* puede preguntar y contestar preguntas, dar sugerencias, complementar oraciones y corregir conceptos erróneos. Los diálogos entre *AutoTutor* y los estudiantes se manejan por medio de una red de diálogo. Las funciones de esta red son adaptar los movimientos de diálogo *AutoTutor* a los actos de habla previos del estudiante, así como establecer cuando es el turno de que el estudiante contribuya al diálogo.

6.3. Representación del modelo afectivo del tutor

Para la implementación del modelo afectivo del tutor en un sistema de cómputo es necesario contar con una representación de conocimiento para el modelo. En esta representación se deben considerar las características principales del problema: un alto nivel de incertidumbre para establecer los posibles estados del estudiante, y toma de decisiones que generen una mayor aceptación y un más rápido aprendizaje por parte de los estudiantes.

La hipótesis principal de esta investigación es que las acciones del tutor tienen una influencia directa en el aprendizaje y en el estado afectivo del estudiante, y al seleccionar la acción tutorial adecuada, el tutor puede mejorar el proceso de aprendizaje y el estado afectivo de los estudiantes. Dada esta hipótesis, la idea es ayudar a los estudiantes a aprender y al mismo tiempo fomentar un estado afectivo positivo que a su vez redundará en una mayor disposición hacia el aprendizaje. Con este objetivo, usamos la teoría de decisiones considerando un balance entre aprendizaje y estado afectivo, el modelo de comportamiento afectivo está basado en la teoría de utilidad de atributos múltiples (Murray y VanLehn, 2000; Clemen, 2000).

El modelo afectivo del tutor está representado por una red de decisión dinámica. Las redes de decisión son una extensión de las redes bayesianas al incluir nodos de decisión. Las redes de decisión también se conocen como diagramas de influencia. Las redes de decisión dinámicas extienden las redes de decisión para representar problemas de decisión dinámicos, es decir, problemas que incluyen variables cuyos valores evolucionan en el tiempo. Una descripción de las redes bayesianas y las redes de decisión se encuentra en el capítulo 3.

En el caso del modelo afectivo del tutor se utiliza una red de decisión dinámica ya que el estado de los estudiantes no es estático sino que evoluciona con el tiempo como resultado de sus acciones y de las acciones del tutor. En la figura 6.4 se muestra la representación del modelo de comportamiento afectivo como una red de decisión dinámica; ésta es una representación de alto nivel del modelo de comportamiento afectivo del tutor.

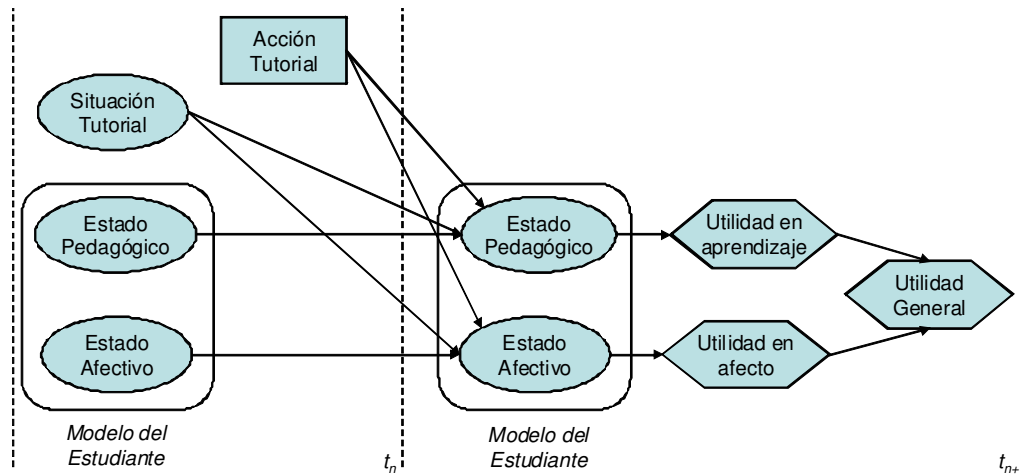


Figura 6.4. Red de decisión dinámica de alto nivel para el modelo afectivo del tutor. Intervienen dos segmentos de tiempo que se utilizan para predecir como las acciones tutoriales influyen en el estado afectivo y pedagógico del estudiante en el siguiente segmento de tiempo (t_{n+1}), considerando el estado afectivo y pedagógico actual (t_n). Cada posible estado del estudiante tiene una utilidad que se usa para establecer la acción tutorial óptima.

En la red de decisión dinámica intervienen dos segmentos de tiempo, el tiempo t_n y el tiempo t_{n+1} . El tiempo t_n corresponde al tiempo actual y representa el estado en que se encuentra el estudiante (modelo afectivo y pedagógico del estudiante y la situación tutorial). El tiempo t_{n+1} representa la predicción del estado en que se encontraría el estudiante de llevarse a cabo una acción tutorial en el tiempo t_n . Cada posible estado del estudiante en el tiempo t_{n+1} tiene una utilidad que se usa para seleccionar la acción tutorial óptima, que será aquella que tenga la máxima utilidad esperada. Esto es, la red de decisión dinámica se utiliza para establecer la acción tutorial que produzca en el estudiante un mejor estado pedagógico y un mejor estado afectivo.

Para establecer la acción tutorial óptima, la red de decisión funciona de la siguiente manera. Después de que el estudiante lleva a cabo una acción, esto es, después de que se actualiza el modelo del estudiante (tiempo t_n), se añade un nuevo segmento de tiempo (tiempo t_{n+1}). En el tiempo t_n se encuentra el estado actual del estudiante (afectivo y pedagógico) y las posibles acciones tutoriales. En el tiempo t_{n+1} se encuentra la predicción de cómo la acción del tutor influye en el estado afectivo y pedagógico del estudiante. Los posibles estados del estudiante en el tiempo t_{n+1} tienen una utilidad en el aprendizaje y en el afecto del estudiante. Se calculan las utilidades individuales, en los estados afectivo y pedagógico, y global, en el proceso de tutoría conforme al impacto de las acciones del tutor en el estado del estudiante.

En el tiempo t_n , los nodos *estado pedagógico* y *estado afectivo* corresponden las redes bayesianas del modelo pedagógico y del modelo afectivo del estudiante respectivamente. Como ya se mencionó, uno de los dominios de prueba del modelo es un juego educativo para aprender factorización. La red bayesiana del modelo afectivo del estudiante para este dominio se presenta en la figura 6.5 y se describe con detalle en el capítulo 5.

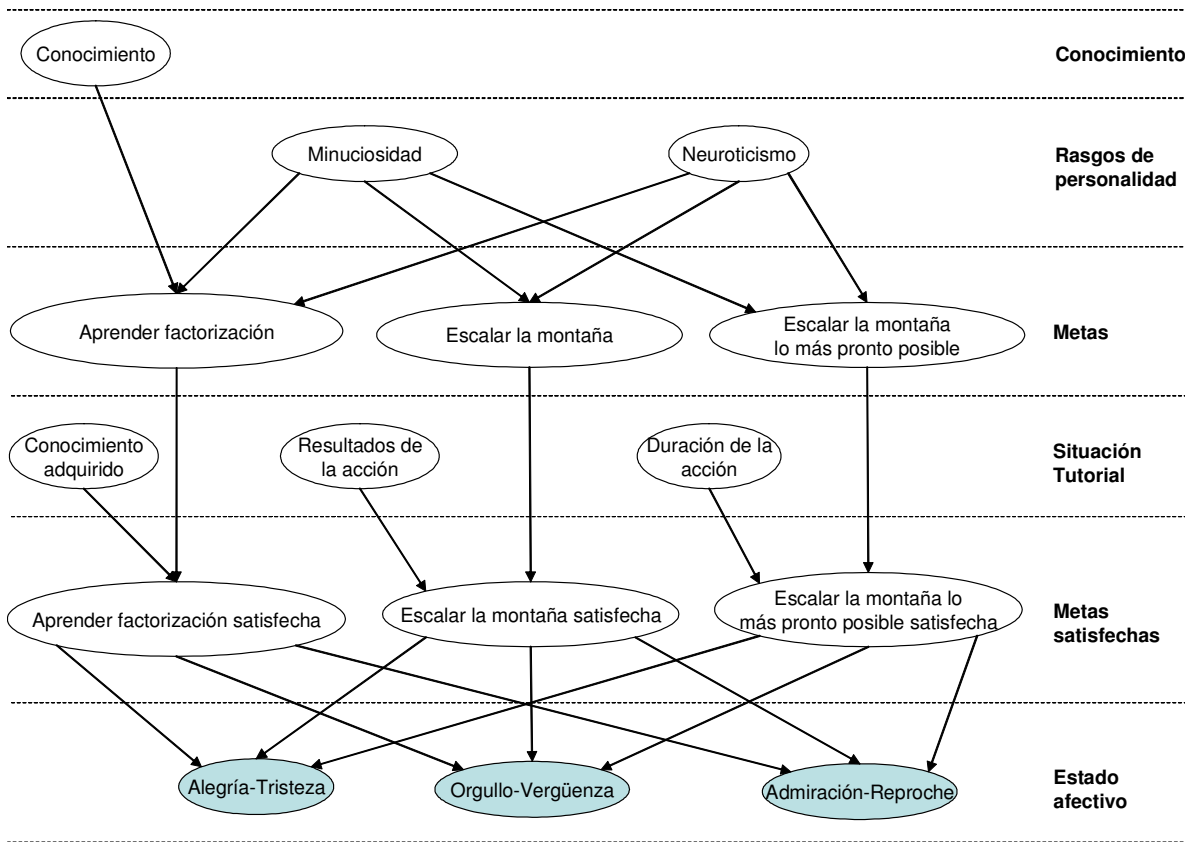


Figura 6.5. Red bayesiana del modelo afectivo del estudiante en el juego educativo, esta red representa el nodo *estado afectivo* en la red de decisión del modelo afectivo del tutor en el tiempo t_n . Los nodos *estado afectivo* de esta red bayesiana se conectan con los nodos *estado afectivo* de la red de decisión en el tiempo t_{n+1} para predecir el estado afectivo del estudiante en el siguiente tiempo dadas las posibles acciones tutoriales.

La red bayesiana de la figura 6.5 representa el nodo *estado afectivo* en la red de decisión de la figura 6.4 en el tiempo t_n . Los nodos *estado afectivo* de esta red bayesiana se conectan con los nodos *estado afectivo* de la red de decisión en el tiempo t_{n+1} para predecir el estado afectivo del estudiante en el siguiente tiempo dadas las posibles acciones tutoriales. La utilidad de cada posible estado afectivo del estudiante se utiliza para establecer la acción tutorial adecuada para el estado afectivo actual del estudiante.

La red bayesiana para el estado pedagógico del estudiante en el juego educativo se muestra en la figura 6.6 y se describe con más detalle en el capítulo 8. Una descripción detallada se encuentra en (Conati y Zhao, 2004; Manske y Conati, 2005). La red de la figura 6.6 representa el nodo *estado pedagógico* en la red de decisión de la figura 6.4 en el tiempo t_n . El nodo *estado pedagógico* se utiliza para predecir el estado pedagógico en el siguiente tiempo dadas las posibles acciones tutoriales. La utilidad de cada posible estado pedagógico del estudiante se utiliza para establecer la acción tutorial adecuada para el estado pedagógico actual del estudiante.

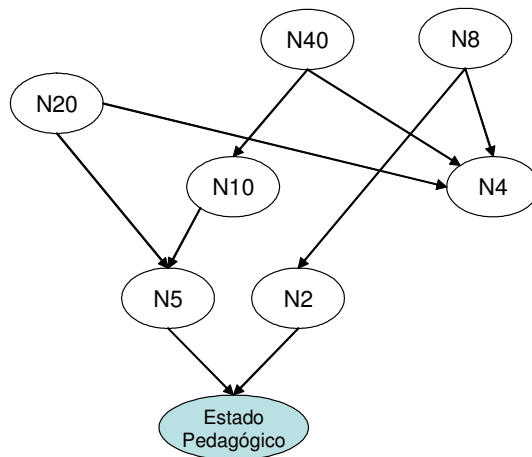


Figura 6.6. Red bayesiana del estado pedagógico del estudiante en el juego educativo (Manske y Conati, 2005). Esta red representa el nodo *estado pedagógico* en la red de decisión de la figura 6.4 en el tiempo t_n . Los nodos N representan la probabilidad de que los estudiantes conozcan la factorización del número que representan.

El nodo *situación tutorial* de la red de decisión de la figura 6.4 toma su valor del resultado de las acciones del estudiante al interactuar con el sistema (nodo *resultado de la acción* en la red bayesiana de la figura 6.5). En el caso de juego educativo, este nodo representa si el estudiante escaló un hexágono en la montaña o si se cayó de la misma.

En la figura 6.7 se presenta la red de decisión dinámica detallada. En este diagrama el *nodo estado afectivo* se expande en las tres emociones del modelo afectivo del estudiante: *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche*; y el nodo *acción tutorial* en sus dos componentes: acción pedagógica y acción afectiva. También se muestran las relaciones individuales de cada uno de los nodos *estados afectivos* con el nodo *situación tutorial* y como impactan en la utilidad en el aprendizaje y en el afecto.

En el tiempo t_n se encuentra la representación actual del estudiante tanto en afecto como en conocimientos y los resultados de la última acción del estudiante, esto se encuentra representado mediante los nodos evidencia: *estado pedagógico*, *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza*, *admiración-reproche* y *situación tutorial*. Estos nodos evidencia establecen la probabilidad de que el estudiante se encuentre en cierto estado. En este tiempo t_n también se encuentran las posibles acciones del tutor, afectivas y pedagógicas, representadas por medio de nodos de decisión. Estos nodos seleccionarán las acciones afectiva y pedagógica adecuadas para el estado del estudiante en este tiempo t_n .

La acción tutorial se compone de la acción afectiva y de la acción pedagógica que suponen una utilidad en aprendizaje y una utilidad en afecto. Estas dos medidas de utilidad se combinan para obtener una utilidad global por una combinación lineal de sus pesos. La combinación de acciones afectiva y pedagógica que produzca una mayor utilidad será la adecuada para los estados del estudiante, y por lo tanto es la que se le presentará.

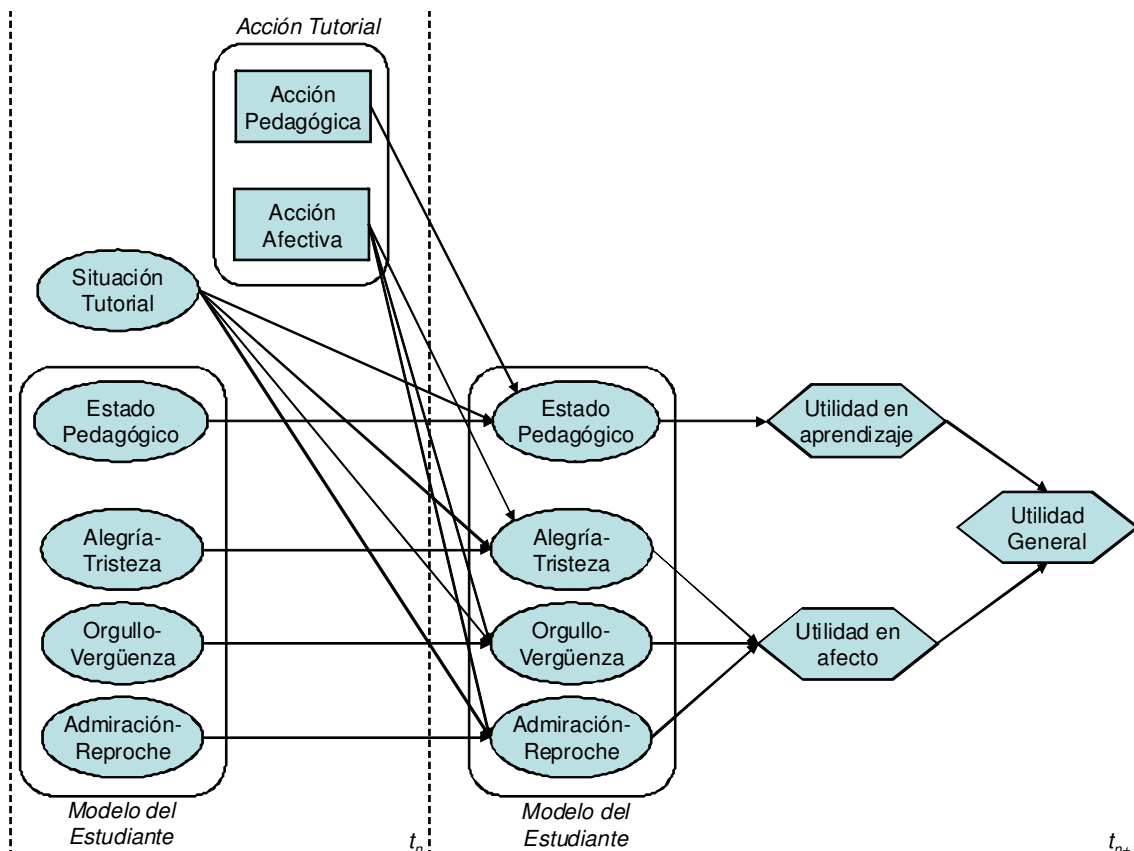


Figura 6.7. Red de decisión dinámica detallada para el modelo afectivo del tutor. Los nodos estado afectivo y acción tutorial se encuentran expandidos. La acción afectiva tiene impacto en cada uno de los estados afectivos, mientras que la acción pedagógica tiene impacto en el estado pedagógico. Así también cada uno de los estados afectivos tiene una utilidad en el aprendizaje y en el afecto.

El estado pedagógico produce una utilidad en aprendizaje, mientras que el estado afectivo produce una utilidad en el afecto del estudiante. Esta última relación es una de las hipótesis establecidas por este trabajo y fue confirmada por los estudios y entrevistas realizadas a maestros; ya que los maestros establecieron que el estado afectivo tiene impacto en la disposición del estudiante para aprender.

Para obtener la utilidad en afecto se considera el estado afectivo en el tiempo t_{n+1} producido la acción afectiva en el tiempo t_n . Para obtener la utilidad en aprendizaje se considera el estado pedagógico en el tiempo t_{n+1} producidos por la acción pedagógica en el tiempo t_n . La utilidad en afecto se define como un cambio en el estado afectivo hacia un estado afectivo positivo, que fomente en el estudiante una mayor disposición hacia el aprendizaje. Mientras que la utilidad en aprendizaje se define como el aumento en el conocimiento del estudiante.

Las funciones de utilidad de las acciones tutoriales representan las preferencias del tutor, que están basadas en la experiencia de un grupo de maestros. Se llevaron a cabo dos estudios con maestros para evaluar nuestras suposiciones y refinar nuestro modelo. En estos estudios se les solicitó a los maestros que calificaran de qué manera las acciones pedagó-

gicas y afectivas ayudan al estudiante a mejorar su estado afectivo y pedagógico. Los resultados de estas investigaciones se presentan en el capítulo 7.

Por el lado del estado afectivo, la utilidad se mide en términos de cuanto el estado afectivo podría mejorar con las acciones tutoriales dado el estado afectivo actual. La utilidad en afecto puede ser un número menor que cero debido a que la acción tutorial puede tener un efecto negativo en el estado afectivo del estudiante. La utilidad en afecto es la sumatoria de los resultados de sustraer la probabilidad de tener una emoción en el tiempo t_n de la probabilidad de tener esa emoción en el tiempo t_{n+1} . La función de utilidad en afecto se presenta en la ecuación 6.1.

$$\begin{aligned}
 U_{afecto} = & P(\text{alegría-tristeza} = \text{alegría})t_{n+1} - P(\text{alegría-tristeza} = \text{alegría})t_n \\
 & + P(\text{orgullo-vergüenza} = \text{orgullo})t_{n+1} - P(\text{orgullo-vergüenza} = \text{orgullo})t_n \\
 & + P(\text{admiración-reproche} = \text{admiración})t_{n+1} - P(\text{admiración-reproche} = \text{admiración})t_n \quad (6.1)
 \end{aligned}$$

Por el lado del aprendizaje, medimos la utilidad en términos de cuánto podría aumentar el aprendizaje con la acción tutorial dado el estado pedagógico actual. La utilidad en aprendizaje es siempre un número más grande o igual que cero, ya que consideramos que el estudiante puede tener más conocimiento o el mismo conocimiento después de una acción tutorial; esto se debe a que actualmente el modelo no incluye el concepto de olvidar. La utilidad en aprendizaje es el resultado de sustraer la probabilidad de conocer el tópico en el tiempo t_n de la probabilidad de conocer el tópico en el tiempo t_{n+1} . La función de utilidad en aprendizaje se presenta en la ecuación 6.2.

$$U_{aprendizaje} = P(\text{edo-pedagógico} = \text{sabe})t_{n+1} - P(\text{edo-pedagógico} = \text{sabe})t_n \quad (6.2)$$

Finalmente, la utilidad general es la suma lineal de la utilidad en aprendizaje y la utilidad en afecto. La función de utilidad general se presenta en la ecuación (6.3).

$$U_{afecto} + U_{aprendizaje} \quad (6.3)$$

De esta manera, el tutor calcula la utilidad de cada acción tutorial considerando el estado actual y selecciona la acción tutorial con la máxima utilidad esperada.

Cuando la acción tutorial ha sido seleccionada, la red de decisión ha finalizado su trabajo y se desecha el segmento de tiempo t_{n+1} . El segmento de tiempo se desecha debido a que actualmente la acción tutorial no se utiliza para actualizar el modelo del estudiante, sino solamente para predecir el impacto de la acción tutorial. En este punto, el tutor entrega la acción seleccionada al estudiante, espera por la siguiente acción del estudiante, se actualiza el modelo del estudiante y selecciona la acción tutorial adecuada para dicho estado afectivo. De esta manera el ciclo se repite para cada acción del estudiante. En la figura 6.8 se

presenta el ciclo del modelo de comportamiento afectivo del tutor que inicia con cada acción del estudiante.

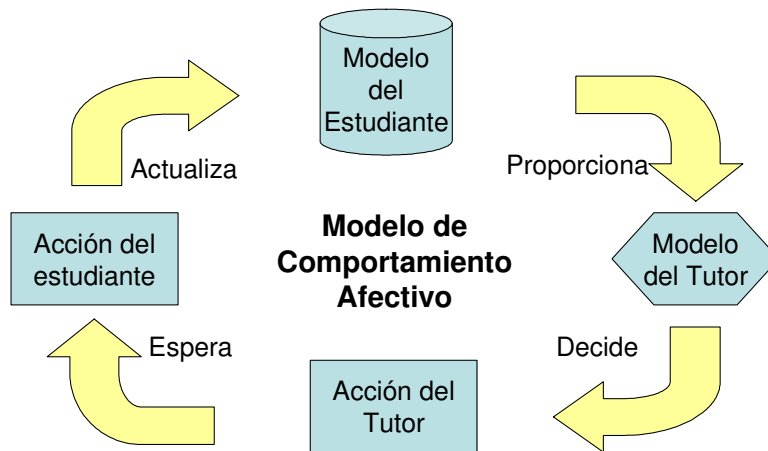


Figura 6.8. Ciclo del modelo de comportamiento afectivo del tutor. Una vez que el estudiante lleva a cabo una acción, se actualiza el modelo del estudiante, el modelo selecciona la acción tutorial adecuada de acuerdo con el estado del estudiante, ésta se entrega al estudiante y se espera por la siguiente acción del estudiante.

En esta sección hemos descrito la estructura de la red de decisión dinámica del modelo afectivo del tutor, así como los fundamentos de dicha estructura, en la siguiente sección presentamos las probabilidades de los nodos de dicha red, así como los fundamentos para determinarlas de esa manera.

6.4. Parámetros del modelo afectivo del tutor

Las relaciones y probabilidades para el modelo afectivo del tutor se establecieron con base en investigaciones conducidas con profesores con experiencia en docencia y en el área de aplicación de los casos de prueba del modelo de comportamiento afectivo. Los casos de prueba del modelo de comportamiento son un juego educativo para aprender factorización (Conati y Zhao, 2004; Manske y Conati, 2005) y un sistema tutor inteligente de robótica móvil (Noguez y Sucar, 2005). Se llevaron a cabo dos estudios consistentes en presentar a los profesores, diferentes escenarios de la interacción de los estudiantes con los sistemas tutores inteligentes y solicitarles que establecieran las acciones afectiva y pedagógica adecuadas para cada escenario. El estudio conducido con el juego educativo se describe en el capítulo 7 y el estudio con el STI de robótica móvil se presenta en el anexo D. Para ilustrar el modelo utilizaremos el dominio del juego educativo de factorización. La descripción del modelo para el STI de robótica móvil se presenta en el anexo E. Sin embargo el modelo que se propone es genérico y puede ser integrado a otros dominios.

6.4.1. Nodo acción pedagógica

El nodo de decisión *acción pedagógica* (ver figura 6.7) representa las acciones pedagógicas que se pueden presentar al estudiante y son aquellas disponibles en el juego educativo. Las acciones pedagógicas tienen una influencia directa en el estado pedagógico del estudiante que a su vez tiene una utilidad en el aprendizaje y en el proceso de tutoría en general. La acción pedagógica que se presente al estudiante será aquella que junto con la acción afectiva produzca la máxima utilidad en el proceso de tutoría. Los valores del nodo *acción pedagógica* para el juego educativo se presentan en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Acciones pedagógicas en el juego educativo para aprender factorización de números.

Acciones pedagógicas	
AP0	(Ninguna, no presentar ninguna expresión verbal al estudiante)
AP1	Correcto, estos números no tienen factores comunes.
AP2	Caíste porque estos números tienen un factor común.
AP3	<ul style="list-style-type: none"> - Factores son números que dividen el número sin dejar residuo. - Factores son números que multiplicados dan el número. - No puedes seleccionar un número que tenga un factor común con el número de tu compañero. - Piensa como factorizar el número que escogiste y el número de tu compañero. - Un factor común es un factor de dos números. - Un factor común es un número que divide dos números sin un residuo.

La influencia de la acción pedagógica en el estado pedagógico se determinó de acuerdo con las respuestas de los profesores participantes en la investigación antes mencionada.

6.4.2. Nodo acción afectiva

El nodo de decisión *acción afectiva* (figura 6.7) tiene las acciones afectivas que se pueden presentar al estudiante. Las acciones afectivas tienen una influencia directa en el estado afectivo del estudiante que a su vez tiene una utilidad en el afecto y en el proceso de tutoría en general. La acción afectiva que se presente al estudiante será aquella que junto con la acción pedagógica produzca la máxima utilidad en el proceso de tutoría.

Las acciones afectivas forman un subconjunto de las animaciones disponibles en *Microsoft Agent* (Microsoft, 2005) para el personaje Merlín y son aquellas que los profesores consideraron adecuadas para la audiencia del juego educativo y para la naturaleza del mismo. En la figura 6.9 se muestran imágenes de las animaciones seleccionadas por los profesores.

Los valores del nodo *acción afectiva* se presentan en la tabla 6.2 y corresponden a las animaciones presentadas en la figura 6.9.

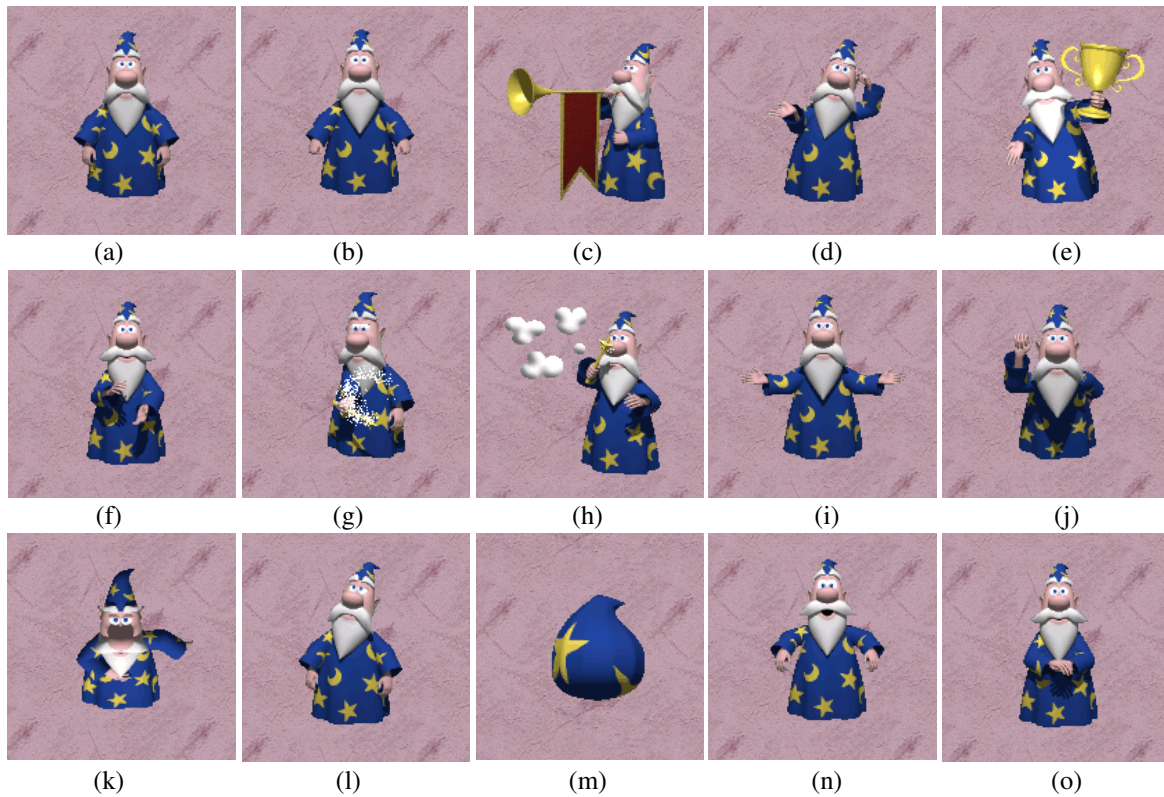


Figura 6.9. Acciones afectivas en el modelo de comportamiento afectivo para el juego educativo para aprender factorización de números. Se presentan las quince acciones afectivas seleccionadas por los profesores: a) *acknowledge*, b) *alert*, c) *announce*, d) *confused*, e) *congratulate*, f) *congratulate_2*, g) *doMagic_1*, h) *doMagic_2*, i) *explain*, j) *getAttention*, k) *greet*, l) *idle*, m) *hide*, n) *surprised* y o) *pleased* (Copyright Microsoft Corporation, todos los derechos reservados).

Tabla 6.2. Acciones afectivas en el juego educativo para aprender factorización de números.

Acciones afectivas	
AA1	<i>Congratulate</i>
AA2	<i>Idle/Hide</i>
AA3	<i>DoMagic1</i>
AA4	<i>Acknowledgement</i>
AA5	<i>Announce</i>
AA6	<i>Congratulate_2</i>
AA7	<i>DoMagic2</i>
AA8	<i>Pleased</i>
AA9	<i>Greet</i>
AA10	<i>Alert</i>
AA11	<i>GetAttention</i>
AA12	<i>Confused</i>
AA13	<i>Surprised</i>
AA14	<i>Explain</i>

6.4.3. Nodo situación tutorial

El nodo siguiente en la red de decisión del modelo afectivo del tutor es el nodo *situación tutorial* (ver figura 6.7). Este nodo obtiene su valor del nodo *resultado de la acción* en la red bayesiana del modelo afectivo del estudiante (ver figura 6.5). Como su nombre lo indica este nodo tiene la evidencia del resultado del movimiento que llevo a cabo el estudiante y puede tener dos posibles valores: *correcto* e *incorrecto*. Cada valor de cada nodo tiene probabilidad 0.5 porque inicialmente no conocemos nada acerca de la situación tutorial al término de la acción del estudiante.

En la figura 6.10 se muestran las relaciones del nodo *situación tutorial* (resultados del experimento) en el modelo afectivo del estudiante y en el modelo afectivo del tutor. El nodo *situación tutorial* tiene impacto en el estado pedagógico y en el estado afectivo en el siguiente segmento de tiempo, y estos a su vez tienen una utilidad en el aprendizaje, en el afecto y en el proceso de tutoría en general. La figura 6.10 resulta de integrar la red bayesiana de la figura 6.6 con la red de decisión de la figura 6.4.

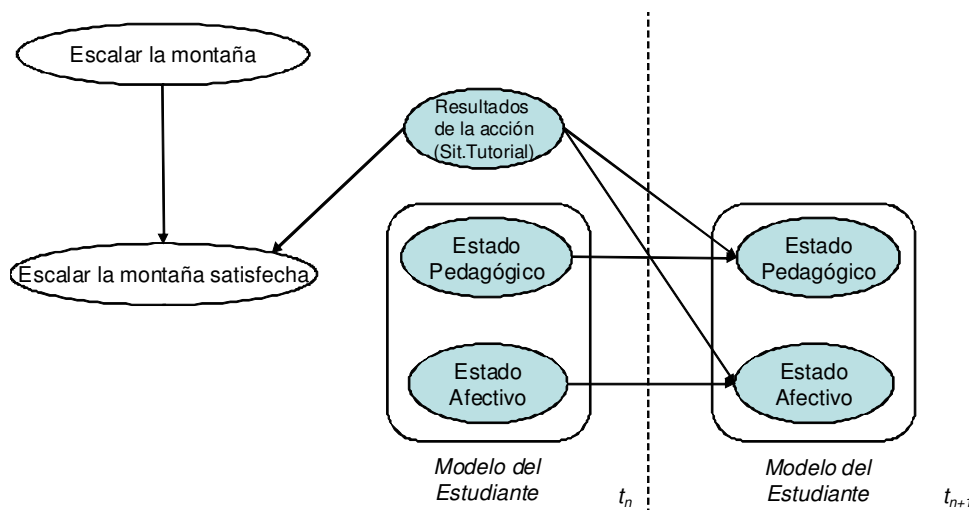


Figura 6.10. Valor del nodo *situación tutorial* en el tiempo t_n . Se muestra un fragmento de la integración de la red bayesiana del modelo pedagógico del estudiante con la red de decisión del modelo afectivo del tutor.

6.4.4. Nodos estado pedagógico

El nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_n tiene como padre al modelo pedagógico del estudiante, por lo que la estructura de la tabla de probabilidad condicional dependerá de los nodos del modelo pedagógico del estudiante. El nodo *estado pedagógico* tiene dos valores: *sabe* y *no sabe*. El nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_n tiene un impacto directo en el nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_{n+1} . En la figura 6.11 se muestra como el modelo pedagógico del estudiante se integra con el modelo afectivo del tutor.

La figura 6.11 resulta de integrar la red bayesiana de la figura 6.6 con la red de decisión de la figura 6.4. En la figura se muestran dos nodos *estado pedagógico*, cada uno de estos nodos tiene dos valores: *sabe* y *no sabe*. El nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_{n+1} se ve influenciado por el nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_n , por el nodo *situación tutorial* y por la acción pedagógica. El nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_{n+1} , al igual que el nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_n , tiene dos valores: *sabe* y *no sabe*.

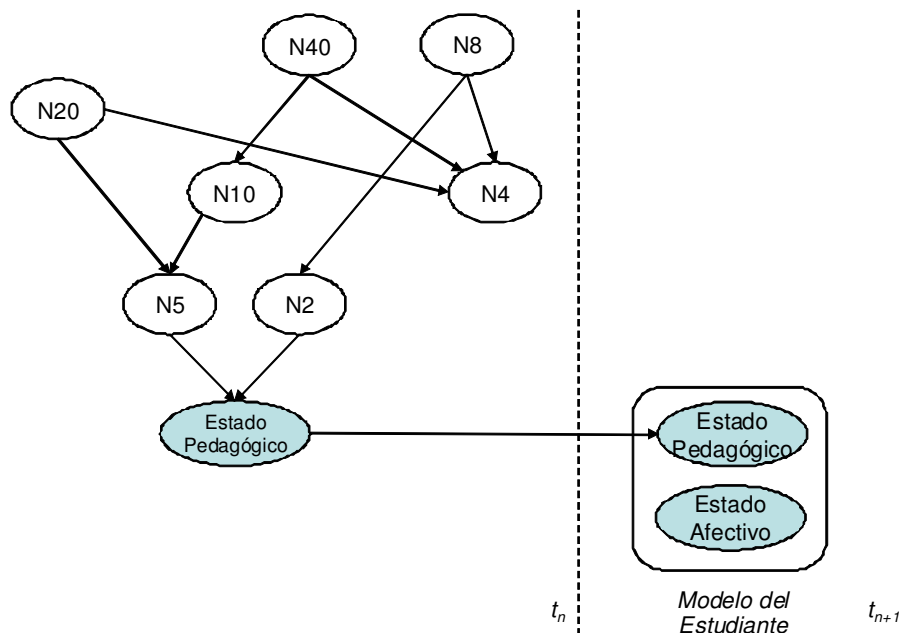


Figura 6.11. Valor del nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_n . Se muestra un fragmento de la integración de la red bayesiana del modelo pedagógico del estudiante con la red de decisión del modelo afectivo del tutor.

6.4.5. Nodos estado afectivo

El modelo de comportamiento afectivo contempla tres tipos de estados afectivos: *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche*. En el tiempo t_n , estos nodos toman su valor del modelo afectivo del estudiante (capítulo 5). En la figura 6.12 se muestra como el modelo afectivo del estudiante se integra con el modelo afectivo del tutor.

La figura 6.12 resulta de integrar la red bayesiana de la figura 5.4 (capítulo 5) con la red de decisión de la figura 6.4. En la figura se muestran dos nodos clase *estado afectivo* que se descomponen en los nodos *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche*, como se muestra en la figura 6.5. Cada uno de estos nodos tiene dos valores: el primer nodo tiene los valores *alegría* y *tristeza*, el segundo nodo tiene los valores *orgullo* y *vergüenza* y el tercer nodo tiene los valores *admiración* y *reproche*.

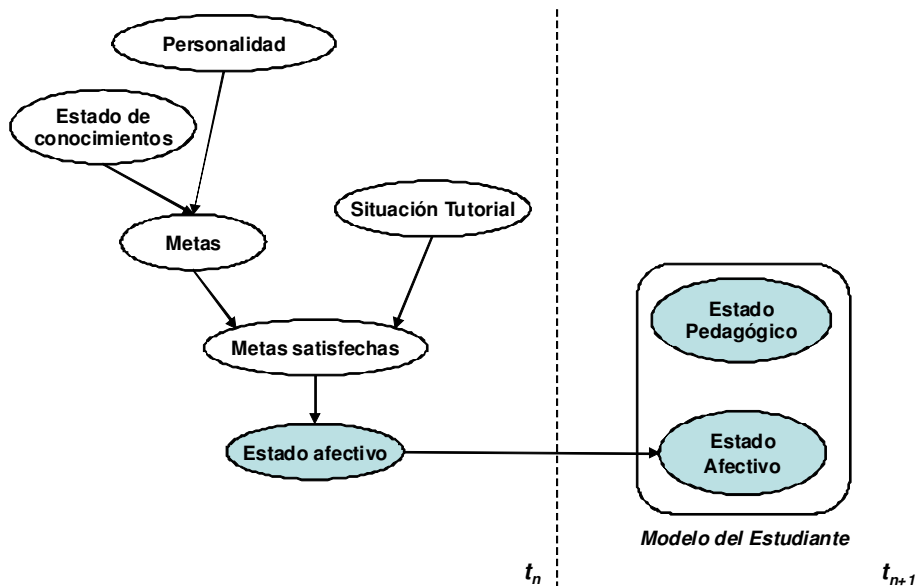


Figura 6.12. Valor del nodo *estado afectivo* en el tiempo t_n . Se muestra un fragmento de la integración de la red bayesiana del modelo afectivo del estudiante con la red de decisión del modelo afectivo del tutor. Ambas redes se muestran en un nivel abstracto.

En el tiempo t_{n+1} los nodos *estado afectivo* se ven influenciados por el estado afectivo en el tiempo anterior, por el nodo *situación tutorial* y por la acción afectiva. Al igual que en el tiempo t_n , en el tiempo t_{n+1} se tienen tres nodos estados afectivos: *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche*, como se muestra en la figura 6.5. Cada uno de estos nodos tiene dos valores: el primer nodo tiene los valores *alegría* y *tristeza*, el segundo nodo tiene los valores *orgullo* y *vergüenza*, y el tercer nodo tiene los valores *admiración* y *reproche*.

6.4.6. Nodos utilidad

El nodo *utilidad en aprendizaje* está influenciado por el valor del nodo *estado pedagógico* y por el valor de los nodos *estados afectivos*. La utilidad en aprendizaje es el resultado de sustraer la probabilidad de conocer el tópico en el tiempo t_n de la probabilidad de conocer el tópico en el tiempo t_{n+1} .

El nodo *utilidad en afecto* está influenciado por el valor de los nodos *estados afectivos*. La utilidad en afecto es la sumatoria de los resultados de sustraer la probabilidad de tener una emoción en el tiempo t_{n+1} de la probabilidad de tener esa emoción en el tiempo t_n .

El nodo *utilidad general* está influenciado por el valor de los nodos *utilidad en aprendizaje* y *utilidad en afecto*. La utilidad general es la suma lineal de la utilidad en aprendizaje y la utilidad en afecto.

6.5. Resumen del capítulo

En este capítulo se describió la estructura del modelo afectivo del tutor. El modelo se encuentra fundamentado en la intuición y en investigaciones que se llevaron a cabo para preguntarles a profesores expertos como seleccionan sus acciones para ayudar a los estudiantes a aprender y para tener un estado afectivo positivo. Los estudios se describen en el capítulo 7.

Se presenta además la representación del modelo afectivo del tutor por medio de una red de decisión dinámica. Las relaciones entre cada uno de los nodos están basadas en la intuición y en la hipótesis de que el estado afectivo influye en el proceso de aprendizaje. Las probabilidades están basadas en las respuestas de los profesores. Aunque en los estudios se obtuvo información sobre como los profesores seleccionan las acciones que llevaran a cabo, esta información es muy abierta y es difícil englobarla en situaciones particulares. En muchos casos no se puede obtener una relación directa entre el número de respuestas con las probabilidades, dada una situación. En algunos casos las probabilidades se establecieron tomando como base los comentarios de los profesores.

El modelo de comportamiento afectivo fue probado con un juego educativo para aprender factorización números y en un sistema tutor inteligente de robótica móvil. En este capítulo se presenta la versión del modelo afectivo del tutor para el juego educativo, la versión del modelo afectivo para el sistema tutor inteligente de robótica móvil se presenta en el anexo E.

Capítulo 7

Estudios para incorporar la experiencia de profesores en el modelo afectivo

"All the same," said the Scarecrow, "I shall ask for brains instead of a heart; for a fool would not know what to do with a heart if he had one."

"I shall take the heart," returned the Tin Woodman; "for brains do not make one happy, and happiness is the best thing in the world."

The Wonderful Wizard of Oz (Baum, 1900).

El modelo de comportamiento afectivo tiene dos componentes: el modelo afectivo del estudiante y el modelo afectivo del tutor. El modelo afectivo de estudiante está basado en modelos de emociones y en modelos de personalidad, mientras que el modelo afectivo del tutor está basado en la literatura, y en investigaciones con profesores. El objetivo de los estudios es recabar conocimiento sobre cómo los profesores deciden que acciones llevar a cabo de acuerdo con el estado de los estudiantes. El conocimiento recabado en estas investigaciones se utilizó para establecer el modelo afectivo del tutor. Se llevaron a cabo dos investigaciones para dos diferentes dominios de prueba. En este capítulo se describe el estudio conducido para el juego educativo para aprender factorización, *Prime Climb*, y en el anexo D se describe el estudio para el STI de robótica móvil.

7.1. Descripción de los estudios

La estructura del modelo de comportamiento afectivo del tutor está basada en modelos de emociones, en modelos de personalidad y en la intuición. Además de los fundamentos anteriores, el modelo fue establecido con base en estudios conducidos con profesores expertos en pedagogía y en los dos dominios de prueba del modelo. A los profesores se les presentó diversos escenarios de tutoría y se les solicitó que describieran las acciones que llevarían a cabo para ayudar al estudiante a aprender y a mejorar su estado afectivo. Los dominios de prueba para el modelo son factorización de números y robótica móvil.

Se llevaron a cabo dos estudios con profesores, uno para cada dominio de prueba del modelo de comportamiento afectivo. El objetivo de los estudios es conocer de que manera las acciones pedagógicas y afectivas afectan el aprendizaje y el estado afectivo de los estudiantes desde el punto de vista de profesores experimentados. La idea es tratar de conocer la manera cómo los profesores seleccionan sus acciones pedagógicas y afectivas dado el estado afectivo y pedagógico que perciben en los estudiantes. La pregunta a la que se busca respuesta en los estudios es *¿Qué haces para ayudar al estudiante a aprender y a mejorar su estado afectivo cuando el estudiante se encuentra en cierto estado afectivo y tiene un cierto conocimiento sobre el dominio?*

Los resultados de los experimentos fueron utilizados para establecer las condiciones de las acciones afectivas y pedagógicas del modelo, y más precisamente para establecer las probabilidades condicionales del modelo bayesiano y de decisión que representa el modelo de comportamiento afectivo. El modelo afectivo se describe con detalle en el capítulo 6.

En el primer estudio se utilizó un programa educativo para aprender factorización de números, *Prime Climb* (Manske y Conati, 2005). En este juego participan dos jugadores que tratan de escalar montañas de manera cooperativa. Las montañas están compuestas por hexágonos etiquetados con números. Cada estudiante se encuentra en un hexágono y debe saltar a un número que no tenga un factor común con el número en que se encuentra su compañero, de otra manera caen de la montaña y tienen que empezar a escalarla de nuevo. El estudiante recibe instrucción de acuerdo con su desempeño. La instrucción está basada en un modelo pedagógico del estudiante y se entrega al estudiante mediante un agente pedagógico animado. El agente pedagógico animado está implementado a través de *Microsoft Agent* (Microsoft, 2005). El juego educativo se describe con más detalle en el capítulo 8. En la figura 7.1 se muestra una pantalla de *Prime Climb*.

En el segundo estudio se utilizó un sistema tutor inteligente de robótica móvil (Noguez y Sucar, 2005). En este programa los estudiantes llevan a cabo experimentos para configurar y manipular un robot móvil. Los estudiantes reciben instrucción de acuerdo con su desempeño durante el desarrollo del experimento. La instrucción está basada en un modelo pedagógico del estudiante. La instrucción se presenta mediante archivos que constan de texto y gráficas. El STI de robótica móvil se describe con más detalle en el capítulo 9 y en la figura 7.2 se muestra una pantalla del mismo.

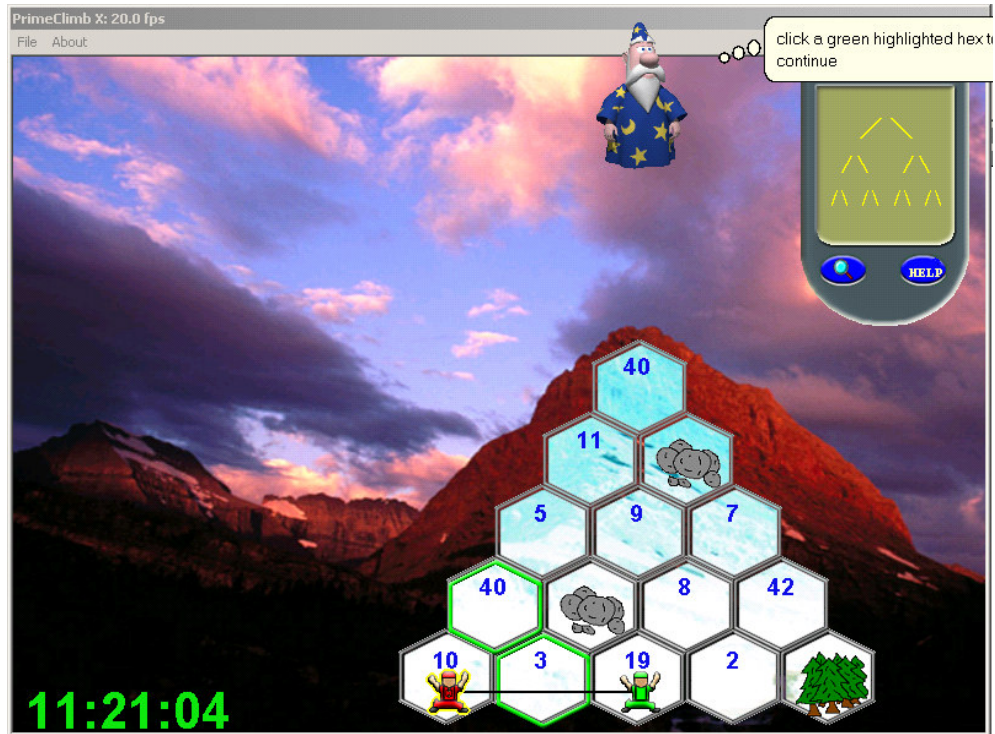


Figura 7.1. Interfaz de *Prime Clim*b. Los jugadores se encuentran en los números 10 y 19. El jugador rojo tiene que saltar a un número que no tenga un factor común con el número del jugador verde.

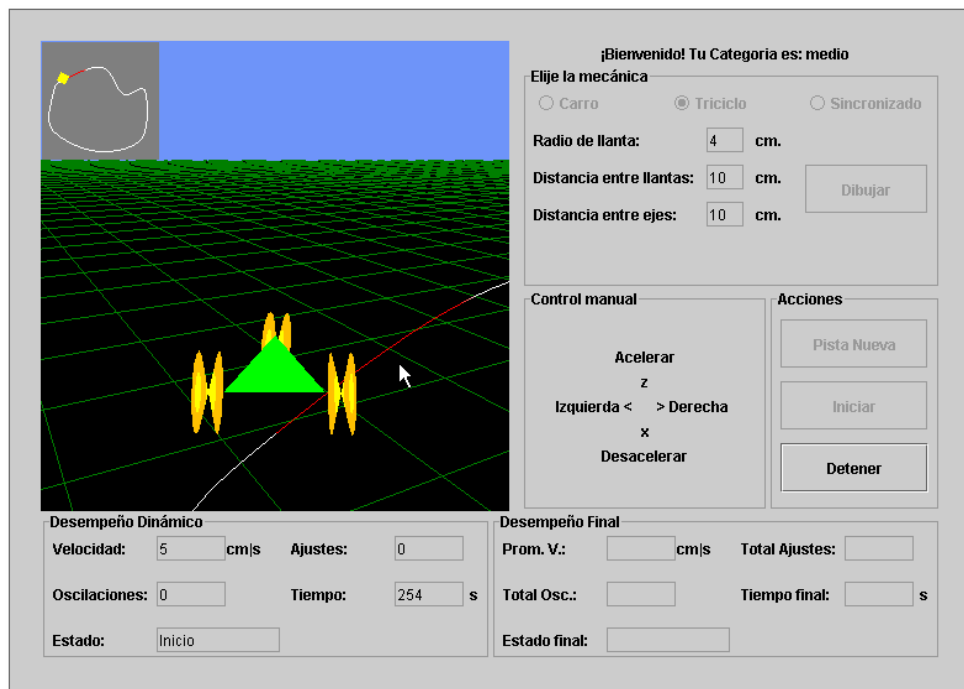


Figura 7.2. Interfaz del sistema tutor inteligente de robótica móvil. Un estudiante está desarrollando un experimento de seguimiento de pista con un robot con configuración de triciclo.

7.1.1. Diseño del estudio

Para llevar a cabo los estudios se grabó en video el desempeño de un estudiante jugando con *Prime Climb*, y el desempeño de un estudiante llevando a cabo un experimento en el STI de robótica móvil. Se seleccionaron estudiantes promedio para que los profesores tuvieran oportunidad de ver diferentes comportamientos.

El propósito fundamental del estudio fue que los profesores establecieran la acción pedagógica y la acción afectiva que consideraran adecuada para cada uno de los movimientos del estudiante en *Prime Climb* y para cada uno de los experimentos realizados por el estudiante en el STI de robótica móvil. Las acciones pedagógicas que los profesores podían seleccionar eran las mismas acciones pedagógicas que *Prime Climb* y el STI de robótica móvil presentan a los estudiantes mediante su modelo pedagógico del estudiante. Las acciones afectivas que los profesores podían seleccionar son las animaciones disponibles en *Microsoft Agent*.

En el caso de *Prime Climb*, el programa ya cuenta con el agente pedagógico *Merlín de Microsoft Agent*, mientras que el STI de robótica móvil no cuenta con un agente pedagógico. Por esta razón en el estudio para el STI de robótica móvil, los profesores seleccionaron además el agente pedagógico que consideraran adecuado para el STI de robótica móvil y su audiencia.

Para llevar a cabo los estudios se programaron dos aplicaciones en *Microsoft Visual C++* (Microsoft, 2007), una para mostrar a los profesores las animaciones disponibles de *Microsoft Agent* y otra para mostrar a los profesores el video de la interacción del estudiante con los programas y que les permitiera escribir sus respuestas a las preguntas del estudio.

El estudio consistió de los siguientes pasos:

A. Introducción al estudio:

1. Explicar a los profesores los objetivos del estudio y darles los antecedentes del trabajo que se está realizando.
2. Mostrar y describir el programa *Prime Climb*/STI de robótica móvil.
3. Familiarizar a los profesores con el programa por medio de la interacción con el mismo.
4. Mostrar las acciones pedagógicas disponibles en el programa y sus condiciones.

B. Animaciones disponibles en *Microsoft Agent*:

1. Mostrar y describir el programa para visualizar las animaciones de *Microsoft Agent*.
2. Mostrar las animaciones disponibles para el personaje Merlín de *Microsoft Agent*.
3. Pedir a los profesores que seleccionaran las animaciones que consideraban adecuadas para usar en *Prime Climb*.

C. Establecer acciones pedagógicas y afectivas

1. Mostrar y describir el programa de estudio.
 - a. Reproducir el video con la interacción del estudiante con *Prime Climb*.

- b. Detener el video después de cada uno de los movimientos/experimentos del estudiante para permitir al profesor comentar acerca del mismo.
 - c. Grabar en archivos de texto los comentarios de los profesores.
2. Aspectos que se solicitaron a los profesores:
- a. Establecer el estado pedagógico del estudiante con base en el desempeño del estudiante.
 - b. Establecer el estado afectivo del estudiante con base en el desempeño del estudiante.
 - c. Exponer cuales son las razones para establecer los estados afectivo y pedagógico.
 - d. Establecer la acción pedagógica adecuada dados los estados afectivo y pedagógico para mejorar el aprendizaje y el estado afectivo del estudiante.
 - e. Establecer la acción afectiva (animación) adecuada con base en los estados afectivo y pedagógico para mejorar el aprendizaje y el estado afectivo del estudiante.
 - f. Exponer cuales son las razones para establecer las acciones afectiva y pedagógica.
 - g. Dar cualquier comentario adicional que considera importante.

D. Cuestionario general

1. Se presenta al profesor un cuestionario en donde se le plantearon tres preguntas de carácter general acerca de la relación entre el aprendizaje y los estados afectivos. Las preguntas que se les hicieron a los maestros son las siguientes:
 - a. A la hora de impartir clase ¿Tomas en cuenta el estado pedagógico y el estado afectivo? ¿Por qué?
 - b. ¿Qué es más importante para ti, el estado afectivo o el estado pedagógico? ¿Por qué?
 - c. ¿Podrías clasificar en categorías las acciones que usas para enseñar?

En las siguientes secciones se presentan los resultados de los estudios llevados a cabo con *Prime Climb* y con el STI de robótica móvil.

7.2. Estudio con prime climb

En el primer estudio se utilizó un programa educativo para aprender factorización de números, *Prime Climb* (Manske y Conati, 2005). El juego educativo se describe con más detalle en el capítulo 8. Las acciones pedagógicas disponibles en *Prime Climb* consisten en *hints* que le permiten al estudiante tener retroalimentación acerca de sus acciones; y son entregadas al estudiante a través de un agente pedagógico animado, que se implementó con el personaje *Merlín* de *Microsoft Agent* (Microsoft, 2005).

El estudio consistió en mostrar el video a profesores con experiencia en docencia y con conocimiento de la materia (factorización de números), y se les solicitó que detuvieran el video después de cada movimiento del estudiante y que contestaran ciertas preguntas acerca

de su estado afectivo y pedagógico y sobre como ayudarían al estudiante a aprender más y a mejorar su estado afectivo.

En el video que se mostró a los profesores, durante la interacción del estudiante con *Prime Climb*, éste escaló tres montañas, es decir, avanzó tres niveles. El video tiene una duración aproximada de cinco minutos. En esta interacción el estudiante llevó a cabo 20 movimientos: 18 movimientos correctos y 2 movimientos incorrectos, además de aquellos en donde cede el turno al compañero de juego.

7.2.1. Participantes en el estudio

En el estudio participaron 11 profesores del departamento de matemáticas del Tecnológico de Monterrey Campus Ciudad de México. Dichos profesores imparten diferentes asignaturas de matemáticas desde el nivel de licenciatura hasta nivel de doctorado, todos los profesores están capacitados en pedagogía y docencia. El promedio de experiencia de los profesores es de 17.63 años. En la tabla 7.1 se muestra la experiencia docente y el nivel en que imparten cursos cada uno de los profesores participantes en el estudio. Las sesiones de cada uno de los estudios duraron en promedio 75 minutos; en las que se recogieron 138 respuestas en total.

Tabla 7.1. Profesores participantes en el estudio con el programa *Prime Climb*.

Profesor	Años de Experiencia	Imparte en:		
		Licenciatura	Maestría	Doctorado
Profesor 1	21	Si		
Profesor 2	16	Si	Si	Si
Profesor 3	12	Si		
Profesor 4	15	Si		
Profesor 5	26	Si		
Profesor 6	25	Si		
Profesor 7	25	Si		
Profesor 8	25	Si	Si	
Profesor 9	15	Si	Si	
Profesor 10	12	Si		
Profesor 11	2	Si		
Promedio	17.63			

7.2.2. Desarrollo y resultados del estudio

Como primer punto del estudio se presentó a los profesores el programa *Prime Climb*. Una vez que el profesor se encontró familiarizado con *Prime Climb*, se le mostró un programa en donde pudiera ver las animaciones disponibles para el personaje *Merlín* de *Microsoft Agent*. Este programa permitió a los profesores ver cada una de las animaciones del personaje *Merlín* las veces necesarias. En esta parte del estudio se les solicitó a los

profesores que establecieran cuales animaciones son adecuadas para ser presentadas en *Prime Climb*, dados el dominio de aplicación y la edad de los usuarios de *Prime Climb*. En la figura 7.3 se muestra un *screenshot* del programa para visualizar las animaciones del personaje *Merlín* de *Microsoft Agent*.

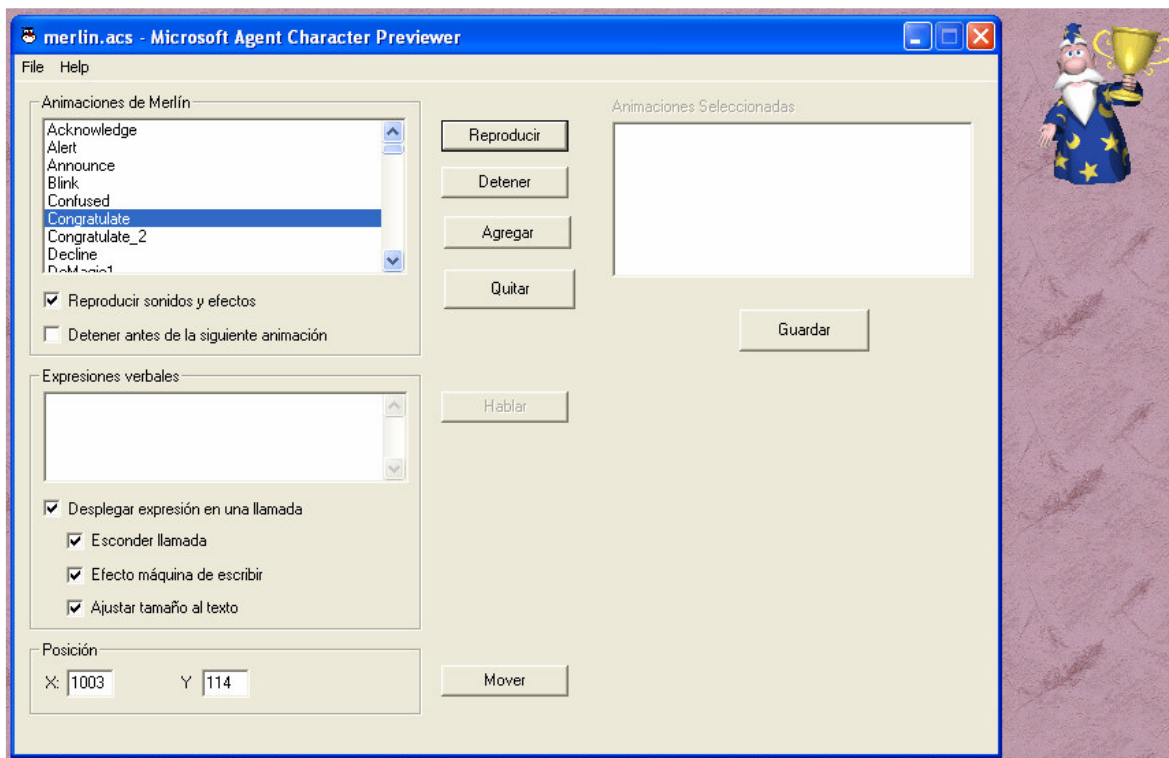


Figura 7.3. Interfaz del programa para visualizar las animaciones del personaje *Merlín* de *Microsoft Agent*. En este programa los profesores pudieron ver el comportamiento potencial del agente animado.

Esta parte del estudio tuvo tres objetivos: 1) Conocer que opinan los maestros acerca de la expresividad y afectividad que *Merlín* pudiera mostrar a los estudiantes, 2) Conocer su opinión sobre los agentes pedagógicos animados en general, y 3) seleccionar un grupo de animaciones para ser mostradas a los profesores en la siguiente etapa del estudio.

De los once profesores que participaron en el estudio dos profesores decidieron usar todas las animaciones en la segunda parte del estudio, argumentaron que creían que todas las animaciones eran meritorias para usarse y que no podían descartar o seleccionar ninguna antes de ver las situaciones en que tendrían que utilizarlas. Por esta razón sus respuestas no fueron incluidas en esta parte del estudio, ya que implicaría que seleccionaron todas las animaciones de *Merlín*.

El personaje *Merlín* cuenta con 73 animaciones, sin embargo algunas de estas animaciones se despliegan en grupo para formar un ciclo de animación, por lo que tenemos 58

animaciones disponibles que se pueden evaluar. En la tabla 7.2 se muestra el número de animaciones seleccionadas por cada uno de los profesores.

Tabla 7.2. Número de animaciones seleccionadas por los profesores participantes en el estudio, de un total de 58 animaciones.

Profesor	No. de animaciones seleccionadas
Profesor 1	37
Profesor 2	24
Profesor 3	18
Profesor 4	Seleccionó todas las animaciones
Profesor 5	24
Profesor 6	Seleccionó todas las animaciones
Profesor 7	22
Profesor 8	22
Profesor 9	30
Profesor 10	20
Profesor 11	17
Promedio	23.78

En la tabla 7.3 se muestra las animaciones seleccionadas así como los porcentajes en que fueron seleccionadas. En la tabla 7.4 se muestra la lista de las 58 animaciones que evaluamos en esta fase del estudio y el número de veces que cada una de ellas fue seleccionada por los profesores. De éstas, 53 animaciones fueron seleccionadas por los profesores por lo menos una vez, 46 animaciones fueron seleccionadas más de una vez y 17 animaciones fueron seleccionadas más de cinco veces (presentadas en negrita).

Tabla 7.3. Animaciones seleccionadas por los profesores participantes en el estudio.

Descripción	Animaciones
Animaciones disponibles para <i>Merlín</i>	73
Animaciones evaluadas (sin animaciones que forman ciclos)	58
Animaciones seleccionadas por los profesores una o más veces	53
Porcentaje de las animaciones seleccionadas una o más veces	91.38%
Animaciones seleccionadas por los profesores más de una vez	46
Porcentaje de las animaciones seleccionadas más de una vez	79.31%
Animaciones seleccionadas por los profesores más de cinco veces	17
Porcentaje de las animaciones seleccionadas más de una vez	29.31%

De lo anterior podemos concluir que *Merlín* es un personaje con la expresividad y afectividad adecuada para presentar las acciones pedagógicas de un tutor, ya que más del 90% de las animaciones fueron seleccionadas por lo menos una vez, casi el 80% fueron seleccionadas más de una vez, y casi el 30% de las animaciones fueron seleccionadas más de cinco veces. Esto significa que la mayoría de las animaciones pueden aplicarse en un contexto de instrucción y educación, esto sin contar los dos profesores que consideraron que todas las animaciones pueden utilizarse en el contexto de *Prime Climb*.

Tabla 7.4. Animaciones seleccionadas por los profesores participantes en el estudio.

No.	Animación	Descripción	Veces que se seleccionó
1	<i>Acknowledge</i>	Muestra reconocimiento	3
2	<i>Alert</i>	Se pone en alerta	3
3	<i>Announce</i>	Anuncia	6
4	<i>Blink</i>	Parpadea	2
5	<i>Confused</i>	Se muestra confuso	9
6	<i>Congratulate</i>	Felicita	6
7	<i>Congratulate_2</i>	Felicita 2	9
8	<i>Decline</i>	Se da por vencido	7
9	<i>DoMagic1</i>	Hace Magia 1	2
10	<i>DoMagic2</i>	Hace Magia 2	3
11	<i>DontRecognize</i>	Muestra que no entendió	5
12	<i>Explain</i>	Explica	3
13	<i>GestureDown</i>	Señala hacia abajo	2
14	<i>GestureLeft</i>	Señala hacia la izquierda	3
15	<i>GestureRight</i>	Señalar hacia la derecha	3
16	<i>GestureUp</i>	Señalar hacia arriba	5
17	<i>GetAttention</i>	Desea llamar la atención	8
18	<i>Greet</i>	Saluda con una reverencia	5
19	<i>Hearing_1</i>	Escucha 1	3
20	<i>Hearing_2</i>	Escucha 2	0
21	<i>Hearing_3</i>	Escucha 3	1
22	<i>Hearing_4</i>	Escucha 4	0
23	<i>Hide</i>	Se esconde	8
24	<i>Idle1_1</i>	Se muestra ocioso 1_1	1
25	<i>Idle1_2</i>	Se muestra ocioso 1_2	1
26	<i>Idle1_3</i>	Se muestra ocioso 1_3	2
27	<i>Idle1_4</i>	Se muestra ocioso 1_4	2
28	<i>Idle2_1</i>	Se muestra ocioso 2_1	1
29	<i>Idle2_2</i>	Se muestra ocioso 2_2	2
30	<i>Idle3_1</i>	Se muestra ocioso 3_1	5
31	<i>Idle3_2</i>	Se muestra ocioso 3_2	4
32	<i>LookDown</i>	Mira hacia abajo	2
33	<i>LookDownBlink</i>	Mira hacia abajo y parpadea	1
34	<i>LookLeft</i>	Mira hacia la izquierda	1
35	<i>LookLeftBlink</i>	Mira hacia la izquierda y parpadea	0
36	<i>LookRight</i>	Mira hacia la derecha	2
37	<i>LookRightBlink</i>	Mira hacia la derecha y parpadea	0
38	<i>LookUp</i>	Mira hacia arriba	2
39	<i>LookUpBlink</i>	Mira hacia arriba y parpadea	1
40	<i>MoveDown</i>	Se mueve hacia abajo	6
41	<i>MoveLeft</i>	Se mueve hacia la izquierda	6
42	<i>MoveRight</i>	Se mueve hacia la derecha	6
43	<i>MoveUp</i>	Se mueve hacia arriba	6
44	<i>Pleased</i>	Se muestra complacido	6
45	<i>Process</i>	Se muestra ocupado	6
46	<i>Read</i>	Lee un libro	8
47	<i>RestPose</i>	Se pone en posición de descanso	0
48	<i>Sad</i>	Se muestra triste	5
49	<i>Search</i>	Busca	6
50	<i>Show</i>	Aparece	6
51	<i>StartListening</i>	Empieza a escuchar	3
52	<i>StopListening</i>	Deja de escuchar	3
53	<i>Suggest</i>	Desea dar una sugerencia	7
54	<i>Surprised</i>	Se muestra sorprendido	5
55	<i>Think</i>	Piensa	3
56	<i>Uncertain</i>	Se muestra inseguro	2
57	<i>Wave</i>	Saluda ondeando la mano	4
58	<i>Write</i>	Escribe en un cuaderno	3

La siguiente etapa del estudio consistió en mostrar a los profesores un video de un estudiante interactuando con *Prime Climb*. En esta fase se solicitó a los profesores evaluar la situación del estudiante y establecer las acciones afectiva (animación) y pedagógica que consideraran adecuadas.

Ésta es la fase más importante del estudio ya que nos permite obtener información acerca sobre cómo los profesores seleccionan las acciones pedagógicas y las acciones afectivas con base en los estados pedagógico y afectivo de los estudiantes. La información obtenida en este punto nos permitió establecer las probabilidades iniciales y condicionales del modelo de comportamiento afectivo del tutor que se propone en el capítulo 6.

Para llevar a cabo esta fase del estudio se presentó a los profesores un programa en donde pudieron observar el video de un estudiante jugando con *Prime Climb*, y además podían ingresar sus respuestas a las preguntas del estudio. En la figura 7.4 se presenta un *screenshot* del programa. El elemento principal de este programa es un control *Active X* para permitir la incorporación de los elementos de *Windows Media Player* para reproducir la interacción del estudiante con *Prime Climb*.

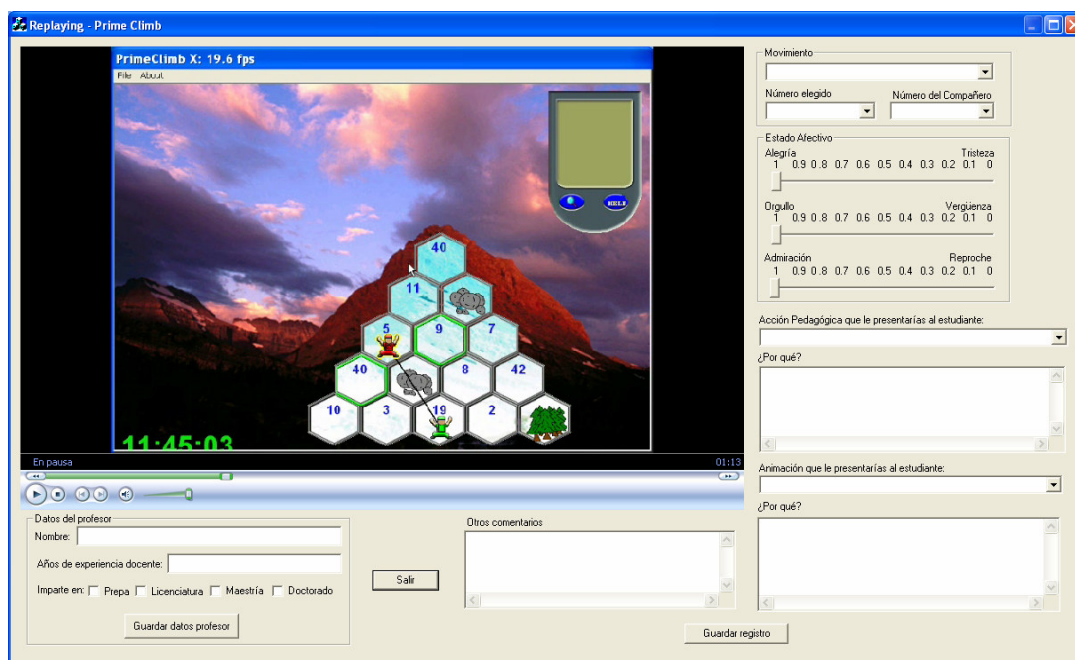


Figura 7.4. Interfaz del programa para reproducir el video utilizado en el estudio y en donde los profesores ingresan las respuestas a las preguntas del estudio.

En el video del estudiante jugando con *Prime Climb* se puede observar las acciones del estudiante en *Prime Climb*, pero no se observa al estudiante. El video tiene una duración aproximada de 5 minutos. En la interacción el estudiante escala tres montañas, es decir avanza tres niveles, y lleva a cabo 20 movimientos.

Cada uno de los profesores observó el video y se les solicitó que cada vez que el estudiante llevara a cabo una acción, detuvieran el video, escribieran su percepción acerca del estado del estudiante afectivo y pedagógico y que establecieran cuales serían las acciones pedagógica y afectiva que en su experiencia como profesor llevarían a cabo para ayudar al estudiante a aprender y a mejorar su estado afectivo o mantener un buen estado afectivo. La información que se solicitó a los profesores se muestra en la figura 7.4 en el extremo derecho y se enlista a continuación:

- a) Se solicitó que ingresaran si el movimiento (acción) del estudiante es correcto o incorrecto, es decir, si el estudiante hizo clic en un número que no comporte un factor común con el número de su compañero, en este caso el movimiento es correcto, y en caso contrario, el movimiento es incorrecto.
- b) Se solicitó los números involucrados en el movimiento; esto con el objeto de relacionar las respuestas de los profesores con el movimiento del estudiante.
- c) Se solicitó que establecieran el estado afectivo del estudiante con base en el desempeño del mismo. En este punto, se les explicó brevemente la estructura del modelo afectivo del estudiante que se propone en esta tesis (y que se describe en el Capítulo 5), así como el funcionamiento de la Teoría de Emociones OCC en la cual se encuentra fundamentado nuestro modelo afectivo del estudiante. Las emociones por evaluar son tres: alegría-tristeza, orgullo-vergüenza y admiración-reproche, en una escala del 0 al 1 y en donde las emociones son manejadas como dimensiones.
- d) Se solicitó que seleccionaran cuál de las acciones pedagógicas que se encuentran disponibles en *Prime Climb* sería la más adecuada en ese momento, dado el estado pedagógico y el estado afectivo del estudiante.
- e) También se solicitó que expusieran sus razones para seleccionar la acción pedagógica que seleccionaron.
- f) De las animaciones (acción afectiva) que seleccionaron en la fase anterior del estudio, se solicitó que establecieran cual de ellas sería la más adecuada para ayudar al estudiante tanto pedagógica como afectivamente.
- g) También se les solicitó que expusieran sus razones para seleccionar la acción afectiva que seleccionaron.
- h) Como información extra, para cada movimiento se les solicitó que escribieran cualquier comentario adicional que tuvieran acerca del estudio.

Como resultado de esta fase del estudio se obtuvieron 138 respuestas para los 20 movimientos del estudiante; sin embargo, algunas respuestas fueron eliminadas por ser inconsistentes, por estar incompletas o por no poder establecer a que movimiento del estudiante correspondían, como resultado de la eliminación obtuvimos 115 respuestas para los 20 movimientos del estudiante. Se obtuvo un promedio de 10.45 respuestas por profesor. La información de las respuestas se presenta en la tabla 7.5.

Como primer punto de esta etapa tenemos las acciones afectivas que seleccionaron los profesores. De las 53 animaciones que los profesores seleccionaron en la fase anterior del estudio, en esta fase del estudio los profesores utilizaron solamente 32 animaciones: 28 para movimientos correctos, 8 para movimientos incorrectos y 4 tanto para movimientos correctos como incorrectos. En la tabla 7.6 se muestra la lista de las animaciones seleccionadas por los profesores para movimientos correctos.

Tabla 7.5. Respuestas proporcionadas por los profesores participantes en el estudio.

Descripción del aspecto de la respuesta	Cantidad
Respuestas recibidas	138
Respuestas completas	115
Profesores participantes	11
Menor número de respuestas por profesor	3
Mayor número de respuestas por profesor	20
Promedio de respuestas por profesor	10.45
Movimientos del estudiante	20
Menor número de respuestas por movimiento	2
Mayor número de respuestas por movimiento	11
Promedio de respuestas por movimiento	5.75

Tabla 7.6. Animaciones seleccionadas por los profesores para movimientos correctos.

	Animaciones para movimientos correctos	No. de veces que se seleccionó
1	<i>Acknowledge</i>	3
2	<i>Alert</i>	2
3	<i>Announce</i>	6
4	<i>Blink</i>	1
5	<i>Confused</i>	1
6	<i>Congratulate</i>	8
7	<i>Congratulate_2</i>	24
8	<i>DoMagic_1</i>	2
9	<i>DoMagic_2</i>	2
10	<i>DontRecognize</i>	2
11	<i>GestureRight</i>	2
12	<i>GetAttention</i>	3
13	<i>Greet</i>	5
14	<i>Hide</i>	3
15	<i>Idle2_1</i>	1
16	<i>LookDown</i>	1
17	<i>LookDownBlink</i>	1
18	<i>LookUp</i>	1
19	<i>MoveDown</i>	2
20	<i>MoveLeft</i>	6
21	<i>MoveRight</i>	5
22	<i>MoveUp</i>	1
23	<i>Pleased</i>	9
24	<i>Process</i>	1
25	<i>Sad</i>	1
26	<i>Search</i>	2
27	<i>Suggest</i>	1
28	<i>Write</i>	1
		97 respuestas

Como puede observarse en la tabla 7.6, cuando la situación tutorial es buena, es decir, cuando el estudiante llevó a cabo un movimiento correcto, los profesores seleccionaron 28 animaciones en 97 respuestas. Con el objeto de tener una selección de animaciones más

precisa, de estas 28 animaciones eliminamos 11 animaciones que fueron seleccionadas solamente una vez, ya que en estos casos no podríamos generalizar el uso de dichas animaciones. También se eliminaron dos animaciones ya que también se seleccionaron en movimientos incorrectos, y la proporción de selección es mayor en movimientos incorrectos que en movimientos correctos, por lo tanto estas dos animaciones se quedaron en movimientos incorrectos.

Por otro lado, cinco animaciones fueron eliminadas por encontrar inconsistencias en las respuestas de los profesores. Por ejemplo, en un movimiento incorrecto por parte del estudiante en donde el estudiante se equivocó por primera vez, el profesor expresó que quería motivar al estudiante, sin embargo la acción afectiva que seleccionó fue *Decline* (tabla 7.3), lo que el estudiante podría interpretar como que el agente se rinde (en enseñar al estudiante) ya que el estudiante se equivocó.

Otras tres animaciones fueron eliminadas ya que las explicaciones de los profesores para seleccionarlás coinciden con las explicaciones para otras animaciones, por lo que consideramos que en estos casos solamente estaban seleccionándolas con el objeto de diversificar las respuestas para el estudiante. Sin embargo, ya que consideramos que los estudiantes deben conocer el significado de cada uno de los comportamientos del agente animado, decidimos dejar solamente una animación para cada posible respuesta.

Un resumen del análisis de las animaciones seleccionadas por los profesores para movimientos correctos se muestra en la tabla 7.7.

Tabla 7.7. Resumen del análisis de las animaciones seleccionadas por los profesores para movimientos correctos.

Descripción	No. de animaciones
Total animaciones seleccionadas	28
Animaciones eliminadas por haber sido seleccionadas solamente una vez	9
Animaciones eliminadas por también haber sido seleccionadas para movimientos incorrectos	2
Animaciones eliminadas debido a que las respuestas mostraban inconsistencias con las animaciones	5
Animaciones eliminadas por ser una variación de otras animaciones	3
Total de animaciones después del análisis	9

Por el lado de una situación tutorial no favorable, es decir, cuando el estudiante llevó a cabo un movimiento equivocado, los profesores seleccionaron 8 animaciones de las 53 animaciones seleccionadas en la fase anterior del estudio. En la tabla 7.8 se muestra la lista de las animaciones seleccionadas por los profesores para movimientos incorrectos

De las ocho animaciones que los profesores seleccionaron para movimientos incorrectos, dos animaciones fueron eliminadas por ser utilizadas solamente una vez, ya que no podíamos generalizar su uso. Una animación más fue eliminada ya que las respuestas de los profesores mostraban inconsistencias con respecto a lo que quieren mostrar con la anima-

ción. Un resumen del análisis de las animaciones seleccionadas por los profesores para movimientos incorrectos se muestra en la tabla 7.9.

Tabla 7.8. Animaciones seleccionadas por los profesores para movimientos incorrectos.

Animaciones para movimientos incorrectos		No. de veces que se seleccionó
1	<i>Alert</i>	3
2	<i>Confused</i>	5
3	<i>Decline</i>	1
4	<i>Explain</i>	2
5	<i>GetAttention</i>	3
6	<i>Sad</i>	2
7	<i>Surprised</i>	2
8	<i>Think</i>	1
		19 respuestas

Tabla 7.9. Resumen del análisis de las animaciones seleccionadas por los profesores para movimientos incorrectos.

Descripción	No. de animaciones
Total animaciones seleccionadas	8
Animaciones eliminadas por haber sido seleccionadas solamente una vez	2
Animaciones eliminadas debido a que las respuestas mostraban inconsistencias con las animaciones	1
Total de animaciones después del análisis	5

Después del análisis de cada una las respuestas de los profesores para las acciones afectivas (animaciones), 14 animaciones componen el grupo de las acciones afectivas: nueve animaciones para movimientos correctos y cinco animaciones para movimientos incorrectos. Las animaciones seleccionadas para ser usadas en el modelo de comportamiento afectivo se muestran en la tabla 7.10.

Tabla 7.10. Animaciones (acciones afectivas) seleccionadas para ser usadas en el modelo de comportamiento afectivo.

Acciones afectivas para movimientos correctos	Acciones afectivas para movimientos incorrectos
<i>Acknowledge</i>	<i>Alert</i>
<i>Announce</i>	<i>Confused</i>
<i>Congratulate</i>	<i>Explain</i>
<i>Congratulate_2</i>	<i>GetAttention</i>
<i>DoMagic_1</i>	<i>Surprised</i>
<i>DoMagic_2</i>	
<i>Greet</i>	
<i>Hide (Idle)</i>	
<i>Pleased</i>	

Estas 14 acciones afectivas constituyen las opciones que tiene el tutor para mejorar el estado afectivo del estudiante, y de esta manera mejorar la disposición del estudiante hacia el aprendizaje. Una de estas acciones afectivas será presentada al estudiante después de cada una de sus acciones. Cabe señalar que para llegar al grupo de 14 animaciones, se hizo un análisis consistente en leer los comentarios de los profesores para cada movimiento del estudiante para eliminar inconsistencias y tratar de agrupar los casos en donde los profesores coincidían en sus respuestas. Solamente en el caso de la animación *Hide* hubo discrepancias en las respuestas de los profesores, ya que el 50% de ellos opina que el agente animado siempre debe estar ahí, para que el estudiante sienta que en cualquier momento puede recurrir a él; mientras que el 50% restante opina que el agente animado puede irse cuando el estudiante ya tiene un nivel adecuado de avance y por lo tanto se le puede dejar trabajar solo. En un estudio piloto, previo al presentado en este capítulo, se utilizó la animación *Hide*, sin embargo se encontró que es una animación distractora, por lo que se decidió cambiarla por *Idle*, ya que el estudiante se encuentra concentrado y avanzando y lo que se desea es que el estudiante continúe así.

La siguiente fase en el análisis de las respuestas de los profesores es establecer las condiciones para usar cada una de las acciones afectivas dependiendo del estado afectivo del estudiante. Es decir cómo las acciones afectivas impactan en el estado afectivo y en el estado pedagógico del estudiante.

Se hizo un análisis de cada una de las respuestas para las acciones afectivas, la mayoría de las respuestas de los maestros coincidieron en que usan las acciones afectivas para motivar al estudiante, es decir para mejorar su estado afectivo o para mantenerlo en un nivel positivo. El análisis se hizo de manera separada para cada una de las tres dimensiones de emociones que se incluyen en el modelo de comportamiento afectivo: *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche*. El objetivo es conocer en qué grado se encuentran las emociones cuando los profesores usan cada una de las acciones afectivas y pedagógicas.

El análisis se inició tomando los rangos de las tres dimensiones de emociones para cada una las acciones afectivas, pero al agrupar las respuestas de cada una de las acciones afectivas se obtuvieron rangos muy amplios y con traslapes con los rangos de las emociones para otras acciones afectivas. Por ejemplo en caso de la dimensión de emoción *alegría-tristeza*, la acción afectiva *Congratulate_2* aplicaba cuando la alegría está en un rango de 50 a 100, y la acción afectiva *Pleased* aplicaba cuando la alegría está en un rango de 50 a 100. Ambos son rangos muy amplios y uno se encuentra contenido en el otro. Por esta razón se decidió usar el promedio de las emociones para establecer que acciones afectivas aplicarían según el estado afectivo del estudiante. En el anexo C se presentan tablas que muestran los grados de las tres dimensiones de las emociones para cada una de las respuestas de los profesores para cada acción afectiva, se muestra además el promedio de cada emoción.

En la tabla 7.11 se muestran los promedios del grado de cada una de las emociones del modelo para cada una de las acciones afectivas: Esto significa que los profesores seleccionan la acción afectiva cuando las emociones se encuentra en el grado (además de acuerdo con la situación tutorial) que se muestra en la tabla.

Tabla 7.11. Promedio de las emociones para cada una de las acciones afectivas.

	Acción afectiva	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
1	<i>Acknowledge</i>	81.667	18.333	68.667	31.333	64.667	35.333
2	<i>Announce</i>	79.333	20.667	78.000	22.000	63.500	36.500
3	<i>Congratulate</i>	90.625	9.375	89.250	10.750	78.625	21.375
4	<i>Congratulate_2</i>	79.250	20.750	77.375	22.625	73.083	26.917
5	<i>DoMagic1</i>	85.000	15.000	78.000	22.000	71.500	28.500
6	<i>DoMagic2</i>	76.500	23.500	77.000	23.000	65.000	35.000
7	<i>Greet</i>	66.600	33.400	63.800	36.200	60.400	39.600
8	<i>Hide</i>	89.333	10.667	92.333	7.6667	93.000	7.000
9	<i>Pleased</i>	71.333	28.667	63.778	36.222	59.444	40.556
10	<i>Alert</i>	23.667	76.333	44.000	56.000	40.333	59.667
11	<i>Confused</i>	42.200	57.800	53.000	47.000	55.000	45.000
12	<i>Explain</i>	59.000	41.000	34.000	66.000	23.500	76.500
13	<i>GetAttention</i>	38.667	61.333	47.667	52.333	48.000	52.000
14	<i>Surprised</i>	46.000	54.000	43.500	56.500	34.500	65.500

Las acciones afectivas para los casos en el estudiante lleva a cabo un movimiento correcto se encuentran en los renglones 1 al 9 de la tabla; en todos los casos las tres dimensiones de las emociones se encuentran en un nivel por arriba de 50, es decir, se encuentran en un estado afectivo positivo. Las acciones afectivas para los casos en el estudiante lleva a cabo un movimiento incorrecto se encuentran en los renglones 10 al 14, en todos los casos las tres dimensiones de las emociones se encuentran en un nivel por abajo del 60, es decir que se encuentran en un estado afectivo negativo.

En la tabla 7.12 se muestran los promedios de la emoción *alegría-tristeza* ordenados de mayor a menor (con respecto a la emoción *alegría*). La tabla indica que cuando la emoción *alegría-tristeza* se encuentra en ese grado (y el estudiante lleva a cabo un movimiento correcto) los profesores llevan a cabo esas acciones afectivas. El ordenamiento de los promedios se hizo con el objeto de hacer más clara la tabla, e indica las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo conforme decrece la emoción *alegría* (y la emoción *tristeza* crece), en los casos de un movimiento exitoso. Para facilitar la identificación de las acciones afectivas, se les asignó un identificador que se muestra en la segunda columna de la tabla.

Tabla 7.12. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *alegría-tristeza* para una situación tutorial positiva.

Id	Acción afectiva	Alegría	Tristeza
AA1	<i>Congratulate</i>	90.625	9.375
AA2	<i>Hide</i>	89.333	10.667
AA3	<i>DoMagic1</i>	85.000	15.000
AA4	<i>Acknowledge</i>	81.667	18.333
AA5	<i>Announce</i>	79.333	20.667
AA6	<i>Congratulate_2</i>	79.250	20.750
AA7	<i>DoMagic2</i>	76.500	23.500
AA8	<i>Pleased</i>	71.333	28.667
AA9	<i>Greet</i>	66.600	33.400

De manera similar, en las tablas 7.13 y 7.14 se muestran los promedios de las emociones *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche* ordenados de mayor a menor (con respecto a las emociones *orgullo* y *admiración*), para los casos de movimiento exitoso.

Tabla 7.13. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *orgullo-vergüenza* para una situación tutorial positiva.

Id	Acción afectiva	Orgullo	Vergüenza
AA2	<i>Hide</i>	92.333	7.6667
AA1	<i>Congratulate</i>	89.250	10.750
AA3	<i>DoMagic1</i>	78.000	22.000
AA5	<i>Announce</i>	78.000	22.000
AA6	<i>Congratulate_2</i>	77.375	22.625
AA7	<i>DoMagic2</i>	77.000	23.000
AA4	<i>Acknowledge</i>	68.667	31.333
AA9	<i>Greet</i>	63.800	36.200
AA8	<i>Pleased</i>	63.778	36.222

Tabla 7.14. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *admiración-reproche* para una situación tutorial positiva.

Id	Acción afectiva	Admiración	Reproche
AA2	<i>Hide</i>	93.000	7.00
AA1	<i>Congratulate</i>	78.625	21.375
AA6	<i>Congratulate_2</i>	73.083	26.917
AA3	<i>DoMagic1</i>	71.500	28.500
AA7	<i>DoMagic2</i>	65.000	35.000
AA4	<i>Acknowledge</i>	64.667	35.333
AA5	<i>Announce</i>	63.500	36.500
AA9	<i>Greet</i>	60.400	39.600
AA8	<i>Pleased</i>	59.444	40.556

Las tablas 7.12, 7.13 y 7.14 muestran las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo, de acuerdo con el grado de cada una de las tres emociones, en los casos en que los estudiantes llevan a cabo movimientos exitosos. A continuación veremos las acciones afectivas para los casos en el estudiante lleva a cabo un movimiento incorrecto (renglones 10 al 14 de la tabla 7.11), en estos casos las tres dimensiones de las emociones se encuentran en un nivel por abajo del 0.6, es decir que se encuentran en un estado afectivo negativo.

En la tabla 7.15 se muestran los promedios de la emoción *alegría-tristeza* ordenados de mayor a menor (con respecto a la emoción *tristeza*). La tabla indica que cuando la emoción *alegría-tristeza* se encuentra en ese grado (y el estudiante lleva a cabo un movimiento incorrecto) los profesores llevan a cabo esas acciones afectivas. El ordenamiento de los promedios indica las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo conforme decrece la emoción *tristeza* (y la emoción *alegría* crece) en los casos de movimiento incorrecto. Para facilitar la identificación de las acciones afectivas, se les asignó un identificador que se muestra en la primera columna de la tabla 7.15.

Tabla 7.15. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *alegría-tristeza* para una situación tutorial negativa.

Id	Acción afectiva	Alegría	Tristeza
AA10	<i>Alert</i>	23.667	76.333
AA11	<i>GetAttention</i>	38.667	61.333
AA12	<i>Confused</i>	42.200	57.800
AA13	<i>Surprised</i>	46.000	54.000
AA14	<i>Explain</i>	59.000	41.000

De manera similar, en las tablas 7.16 y 7.17 se muestran los promedios de las emociones *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche* ordenados de mayor a menor (con respecto a las emociones *vergüenza* y *reproche*), para los casos de movimiento incorrecto.

Tabla 7.16. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *orgullo-vergüenza* para una situación tutorial negativa.

Id	Acción afectiva	Orgullo	Vergüenza
AA14	<i>Explain</i>	34.000	66.000
AA13	<i>Surprised</i>	43.500	56.500
AA10	<i>Alert</i>	44.000	56.000
AA11	<i>GetAttention</i>	47.667	52.333
AA12	<i>Confused</i>	53.000	47.000

Tabla 7.17. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *admiración-reproche* para una situación tutorial negativa.

Id	Acción afectiva	Admiración	Reproche
AA14	<i>Explain</i>	23.500	76.500
AA13	<i>Surprised</i>	34.500	65.500
AA10	<i>Alert</i>	40.333	59.667
AA11	<i>GetAttention</i>	48.000	52.000
AA12	<i>Confused</i>	55.000	45.000

Las tablas 7.12, 7.13 y 7.14 muestran las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo, de acuerdo con el grado de cada una de las tres emociones, en los casos en que los estudiantes llevan a cabo movimientos exitosos; mientras que las tablas 7.15, 7.16 y 7.17 muestran las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo, de acuerdo con el grado de cada una de las tres emociones en los casos en que los estudiantes llevan a cabo movimientos incorrectos.

En este mismo punto del estudio se solicitó a los profesores que establecieran las acciones pedagógicas que consideran adecuadas para presentar a los estudiantes de acuerdo con su estado afectivo y de conocimiento. A continuación se presentan las acciones pedagógicas que seleccionaron los profesores.

Las acciones pedagógicas en *Prime Climb* son *hints*, es decir, una expresión verbal que le dice al estudiante porque su movimiento fue correcto o incorrecto, o una expresión verbal que lo motive. *Prime Climb* cuenta con ocho *hints* que se presentan al estudiante de acuerdo con su estado de conocimiento y también tiene la posibilidad de no presentar ninguna expresión verbal al estudiante. En la tabla 7.18 se muestra la lista de las acciones pedagógicas de *Prime Climb* y que fueron usadas en el estudio.

Tabla 7.18. Lista de acciones pedagógicas disponibles en *Prime Climb*.

No.	Acciones Pedagógicas
1	Caíste porque estos números tienen un factor común.
2	Correcto, estos números no tienen factores comunes.
3	Factores son números que dividen el número sin dejar residuo.
4	Factores son números que multiplicados dan el número.
5	No puedes seleccionar un número que tenga un factor común con el número de tu compañero.
6	Piensa como factorizar el número que escogiste y el número de tu compañero.
7	Un factor común es un factor de dos números.
8	Un factor común es un número que divide dos números sin un residuo.
9	Ninguna (No presentar ninguna expresión verbal al estudiante)

Al igual que para las acciones afectivas, se solicitó a los profesores participantes en el estudio que seleccionaran la acción pedagógica que consideren es la más adecuada para ayudar al estudiante de acuerdo con su estado pedagógico, su estado afectivo, así como con la situación tutorial. En la tabla 7.19 se muestran las acciones pedagógicas que seleccionaron los maestros cuando el movimiento del estudiante fue correcto y el número de veces que fue seleccionada.

Tabla 7.19. Acciones pedagógicas seleccionadas por los profesores para movimientos correctos.

No.	Acciones pedagógicas para movimientos correctos	No. de veces que se seleccionó
1	Correcto, estos números no tienen factores comunes.	69
2	Factores son números que dividen el número sin dejar residuo.	6
3	Factores son números que multiplicados dan el número.	2
4	Piensa como factorizar el número que escogiste y el número de tu compañero.	3
5	Un factor común es un factor de dos números.	6
6	Un factor común es un número que divide dos números sin un residuo.	3
7	Ninguna (no presentar ninguna expresión verbal al estudiante)	9
		98 respuestas

Como puede observarse en la tabla, cuando la situación tutorial es buena, es decir, cuando el estudiante llevó a cabo un movimiento correcto, los profesores seleccionaron 7 acciones pedagógicas (de las nueve posibles) en 98 respuestas.

En este caso, se eliminó una respuesta debido a que la explicación del profesor era inconsistente con la acción pedagógica, lo que el profesor expresaba en su respuesta no era lo mismo que expresaba con la acción pedagógica. Otras dos respuestas fueron eliminadas

ya que los profesores establecieron que ninguna de las acciones pedagógicas posibles, podría aplicarse a la situación actual de los estudiantes, sin embargo en su respuesta no establecieron otra acción pedagógica que pudiera aplicarse.

Por el lado de la situación tutorial no favorable, es decir, cuando el estudiante llevó a cabo un movimiento equivocado, los profesores seleccionaron 7 acciones pedagógicas (de las nueve posibles). En la tabla 7.20 se muestra la lista de las acciones pedagógicas seleccionadas por los profesores para movimientos incorrectos y el número de veces que fue seleccionada.

Tabla 7.20. Acciones pedagógicas seleccionadas por los profesores para movimientos incorrectos.

No.	Acciones Pedagógicas para movimientos incorrectos	No. de veces que se seleccionó
1	Caíste porque estos números tienen un factor común.	12
2	Factores son números que dividen el número sin dejar residuo.	1
3	Factores son números que multiplicados dan el número.	1
4	No puedes seleccionar un número que tenga un factor común con el número de tu compañero.	1
5	Piensa como factorizar el número que escogiste y el número de tu compañero.	2
6	Un factor común es un factor de dos números.	1
7	Un factor común es un número que divide dos números sin un residuo.	1
		19 respuestas

En este caso los profesores seleccionaron siete acciones pedagógicas (de las nueve posibles) en 19 respuestas. Ninguna respuesta fue eliminada ya que no presentaron inconsistencias; y aunque algunas acciones pedagógicas fueron utilizadas solamente una vez, los argumentos de los profesores en su explicación de la acción pedagógica determinaban de manera clara las razones para usar esa acción pedagógica, y esta explicación es acorde con la acción pedagógica así como con la situación tutorial. A diferencia de las acciones afectivas, en el caso de las acciones pedagógicas, la mayoría fueron utilizadas tanto para movimientos correctos como incorrectos, y no mostraron inconsistencias.

Después de analizar cada una de las respuestas de los profesores, advertimos que las explicaciones de los profesores para seleccionar ciertas acciones pedagógicas coinciden con las explicaciones para otras acciones pedagógicas; por lo que consideramos que en estos casos solamente estaban seleccionándolas con el objeto de diversificar las respuestas para el estudiante, lo cual es aceptable ya que no cansa al estudiante con una única respuesta para situaciones similares. Por estas razones integramos algunas acciones pedagógicas en grupos de acciones pedagógicas de la manera en que se muestra en la tabla 7.21.

Estas cuatro acciones pedagógicas constituyen las opciones que tiene el tutor para ser presentadas al estudiante después de cada una de sus interacciones con *Prime Climb*, con el objeto de ayudar a aprender al estudiante. Cabe señalar que para llegar al grupo de cuatro acciones pedagógicas, se hizo un análisis que consistió en leer los comentarios de

profesores para cada movimiento del estudiante, para eliminar inconsistencias y tratar de agrupar los casos en donde los profesores coincidían en sus respuestas.

Tabla 7.21. Acciones pedagógicas resultantes después de integrar aquellas que aplican a situaciones similares.

Id	Expresión
AP0	(Ninguna, no presentar ninguna expresión verbal al estudiante)
AP1	Caíste porque estos números tienen un factor común.
AP2	Correcto, estos números no tienen factores comunes.
AP3	<ul style="list-style-type: none"> - Factores son números que dividen el número sin dejar residuo. - Factores son números que multiplicados dan el número. - No puedes seleccionar un número que tenga un factor común con el número de tu compañero. - Piensa como factorizar el número que escogiste y el número de tu compañero. - Un factor común es un factor de dos números. - Un factor común es un número que divide dos números sin un residuo.

La siguiente fase en el análisis de las respuestas de los profesores es establecer las condiciones para usar cada una de las acciones pedagógicas dependiendo del estado afectivo del estudiante. El análisis se hizo de manera separada para cada una de las tres dimensiones de emociones que se incluyen en el modelo de comportamiento afectivo: *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche*. El objetivo es conocer en qué grado se encuentran las emociones cuando los profesores usan cada una de las acciones pedagógicas.

El análisis se inició tomando los rangos de las tres dimensiones de emociones para cada una de las acciones pedagógicas; sin embargo, al agrupar las respuestas de cada una de las acciones pedagógicas se obtuvieron rangos muy amplios y con traslapes con los rangos de las emociones para otras acciones pedagógicas; por esta razón se decidió usar el promedio de las emociones. En el anexo C se presentan tablas que muestran los grados de las tres dimensiones de las emociones para cada una de las respuestas de los profesores para cada acción pedagógica, se muestra además el promedio de cada emoción.

En la tabla 7.22 se muestra el promedio del grado de cada una de las emociones del modelo para cada una de las acciones pedagógicas. Esto significa que los profesores seleccionan la acción pedagógica cuando las emociones se encuentran en el grado que se muestra en la tabla.

Tabla 7.22. Promedio de las emociones para cada una de las acciones pedagógicas.

Situación tutorial	Acción Pedagógica	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Positiva	AP0	64.00	36.00	58.33	41.67	50.56	49.44
	AP2	76.94	23.06	73.78	26.28	68.16	31.84
	AP3	77.76	22.24	71.95	28.05	68.10	31.90
Negativa	AP1	43.42	56.58	43.58	56.42	44.50	55.50
	AP3	37.57	62.43	40.86	59.14	43.71	56.29

Las acciones pedagógicas para los casos en que el estudiante lleva a cabo un movimiento correcto se encuentran en los renglones 1 al 3 de la tabla 7.22, en todos los casos las tres dimensiones de las emociones se encuentran en un nivel por arriba de 50, es decir que se encuentran en un estado afectivo positivo. Las acciones pedagógicas para los casos en el estudiante lleva a cabo un movimiento incorrecto se encuentran en los renglones 4 y 5 de la tabla 7.22, en todos los casos las tres dimensiones de las emociones se encuentran en un nivel por abajo del 60, es decir que se encuentran en un estado afectivo negativo.

En la tabla 7.23 se muestran los promedios de la emoción *alegría-tristeza* ordenados de mayor a menor (con respecto a la emoción *alegría*). La tabla indica que cuando la emoción *alegría-tristeza* se encuentra en ese grado (y el estudiante lleva a cabo un movimiento correcto) los profesores llevan a cabo esas acciones pedagógicas. El ordenamiento de los promedios se hizo con el objeto de hacer más clara la tabla, e indica las acciones pedagógicas que los profesores llevan a cabo conforme decrece la emoción *alegría* (y la emoción *tristeza* crece) en los casos de un movimiento exitoso.

Tabla 7.23. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *alegría-tristeza* para una situación tutorial positiva.

Acción Pedagógica	Alegría	Tristeza
AP3	77.76	22.24
AP2	76.94	23.06
AP0	64.00	36.00

De la misma manera, en las tablas 7.24 y 7.25 se muestran los promedios de las emociones *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche* ordenados de mayor a menor (con respecto a las emociones *orgullo* y *admiración*), para los casos de movimiento exitoso.

Tabla 7.24. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *orgullo-vergüenza* para una situación tutorial positiva.

Acción Pedagógica	Orgullo	Vergüenza
AP2	73.78	26.28
AP3	71.95	28.05
AP0	58.33	41.67

Tabla 7.25. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *admiración-reproche* para una situación tutorial positiva.

Acción Pedagógica	Admiración	Reproche
AP2	68.16	31.84
AP3	68.10	31.90
AP0	50.56	49.44

Las tablas 7.23, 7.24 y 7.25 muestran las acciones pedagógicas que los profesores llevan a cabo, de acuerdo con el grado de cada una de las tres emociones, en los casos en que los estudiantes llevan a cabo movimientos exitosos. A continuación veremos las acciones pedagógicas para los casos en que el estudiante lleva a cabo un movimiento incorrecto (renglones 4 y 5 de la tabla 7.22), en estos casos las tres dimensiones de las emociones se encuentran en un nivel por abajo del 0.6, es decir que se encuentran en un estado afectivo negativo.

En la tabla 7.26 se muestran los promedios de la emoción *alegría-tristeza* ordenados de mayor a menor (con respecto a la emoción *tristeza*). La tabla indica que cuando la emoción *alegría-tristeza* se encuentra en ese grado (y el estudiante lleva a cabo un movimiento incorrecto) los profesores llevan a cabo esas acciones pedagógicas. El ordenamiento de los promedios indica las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo conforme decrece la emoción *tristeza* (y la emoción *alegría* crece) en los casos de movimiento incorrecto.

Tabla 7.26. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *alegría-tristeza* para una situación tutorial negativa.

Acción Pedagógica	Alegría	Tristeza
AP3	37.57	62.43
AP1	43.42	56.58

De la misma manera, en las tablas 7.27 y 7.28 se muestran los promedios de la emociones *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche* ordenados de mayor a menor (con respecto a las emociones *vergüenza* y *reproche*), para los casos de un movimiento incorrecto.

Tabla 7.27. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *orgullo-vergüenza* para una situación tutorial negativa.

Acción Pedagógica	Orgullo	Vergüenza
AP3	40.86	59.14
AP1	43.58	56.42

Tabla 7.28. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *admiración-reproche* para una situación tutorial negativa.

Acción Pedagógica	Admiración	Reproche
AP3	43.71	56.29
AP1	44.50	55.50

En la siguiente y última fase del estudio se presentó a los profesores participantes en el estudio un cuestionario con tres preguntas generales acerca de cómo perciben la relación del aprendizaje con las emociones de los estudiantes. Las preguntas que se hicieron a los profesores son las siguientes:

1. A la hora de impartir clase ¿Tomas en cuenta el estado pedagógico y el estado afectivo? ¿Por qué?
2. ¿Qué es más importante para ti, el estado afectivo o el estado pedagógico? ¿Por qué?
3. ¿Podrías clasificar en categorías las acciones que usas para enseñar?

Las respuestas de los profesores a las preguntas uno y dos del cuestionario se presentan en la tabla 7.29. Cabe destacar que los once participantes en el estudio contestaron el cuestionario completo.

Tabla 7.29. Respuestas de los profesores a las preguntas 1 y 2 del cuestionario general del estudio.

Profesor	Toma en cuenta		Considera más importante		
	Estado Pedagógico	Estado Afectivo	Estado Pedagógico	Estado Afectivo	Igualmente Importante
Profesor 1	Si	Si		X	
Profesor 2	Si	Si			X
Profesor 3	Si	Si			X
Profesor 4	Si	Si	X		
Profesor 5	Si	Si		X	
Profesor 6	No	Si		X	
Profesor 7	Si	Si	X		
Profesor 8	Si	No	X		
Profesor 9	Si	Si	X		
Profesor 10	Si	Si		X	
Profesor 11	Si	Si			X

De las respuestas de los profesores obtuvimos que el 82% de los profesores consideran que ambos estados son importantes para establecer las acciones que les presentaran a los estudiantes. Solamente un profesor considera que el estado afectivo de los estudiantes no es importante al momento de impartirles la clase (profesor 8). También podemos observar que un profesor considera que al momento de enseñar a los estudiantes solamente es importante el estado afectivo (profesor 6).

En la tabla 7.29 vemos que 9 profesores consideran ambos estados al momento de dar clase o tutoría. Esto significa que el 82% de los profesores está de acuerdo con la hipótesis de esta tesis. Esto es, que tanto el estado pedagógico como el estado afectivo deben ser considerados al momento de enseñar para mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Sin embargo, de los 9 profesores que consideran ambos estados importantes en el aprendizaje, tenemos que 3 profesores consideran que el estado pedagógico es más importante, 3 consideran que es más importante el estado afectivo y tres consideran que ambos son igualmente importantes.

En la pregunta 3 se les solicitó a los profesores que trataran de clasificar las acciones que llevan a cabo al momento de enseñar. Sin embargo, las respuestas a esta pregunta fueron

muy generales y amplias por lo que fue difícil obtener una clasificación para las acciones que llevan a cabo los profesores. Sin embargo, todos los profesores coincidieron en que las acciones que llevan a cabo tienen la finalidad de motivar a los estudiantes y que el objetivo final es que aprendan. Algunas de las categorías mencionadas por los profesores son las siguientes:

- Retroalimentación positiva
- Retroalimentación negativa
- Llamar la atención
- Premiar/Reconocer
- Motivar
- Atraer la atención
- Relajar la dinámica
- Ejercicios más difíciles

Hasta aquí se presentan los resultados del estudio conducido para *Prime Climb*. Lo anterior ilustra el protocolo de los estudios y resume la naturaleza de los resultados. Los resultados del estudio conducido para el STI de robótica móvil se presentan en el anexo D. En la siguiente sección se presentan las conclusiones derivadas de los estudios con ambos STIs.

7.3. Resumen del capítulo

El objetivo de los estudios descritos en este capítulo fue conocer las acciones que utilizan los profesores dependiendo del estado pedagógico y afectivo de los estudiantes para ayudarlos a aprender. La pregunta objeto de las investigaciones es *¿Qué haces para ayudar a los estudiantes a aprender y para tener una mayor disposición hacia el aprendizaje?* Las acciones que los profesores seleccionaron para cada una de las situaciones del estudiante nos ayudaron a contestar esta pregunta.

Las respuestas de los profesores fueron agrupadas por la situación tutorial y por el estado afectivo de los estudiantes, las respuestas más frecuentes para cada situación tutorial y estado afectivo son consideradas como aquellas que mejoran los estados afectivo y pedagógico del estudiante.

Se analizaron por separado las acciones afectivas y las acciones pedagógicas, de tal manera que cada acción tenga una utilidad separada en el estado afectivo y en el estado pedagógico del estudiante.

De las respuestas de los profesores se recogió que la mayoría de los maestros no reprimen a los alumnos por los errores cometidos o por no aprender, si no que tratan de animarlos para que se recuperen. Por otro lado, cuando los estudiantes muestran una falta de interés en la materia, apatía, indiferencia o no querer trabajar, en esos casos los maestros son enérgicos

con los alumnos. Esta conclusión se alcanzó al analizar las respuestas de los profesores a las preguntas del cuestionario general. Por ejemplo, cuando la situación tutorial no es buena, los profesores prefieren la acción pedagógica *caíste porque esos números tienen un factor* cuando el estado afectivo es bueno; sin embargo si el estado afectivo no es bueno, los profesores la acción pedagógica *factores son números que dividen el número sin dejar residuo*.

El modelo afectivo del tutor está representado por medio de una red de decisión dinámica que predice el estado afectivo y pedagógico del estudiante en el siguiente tiempo dado el estado afectivo y pedagógico actual para cada una de las posibles acciones afectivas y pedagógicas, y selecciona aquellas acciones afectiva y pedagógica que tenga la mayor utilidad en el estado general del estudiante. Los resultados de este estudio se utilizaron para obtener las probabilidades condicionales de los estados afectivo y pedagógico en el siguiente tiempo dado el estado afectivo y pedagógico actual.

En resumen de lo anterior, con las respuestas de los profesores establecimos cuales serian los nuevos estados afectivo y pedagógico de los estudiantes para cada una de las acciones afectivas y pedagógicas, y tomando en cuenta el estado afectivo y pedagógico anterior.

En el capítulo siguiente se presenta como se usaron los resultados de los estudios en el modelo de comportamiento afectivo.

Capítulo 8

Dominio de prueba: un juego educativo para aprender factorización

-Monseñor, vos que sacáis partido de todo, tenéis ahí un pedazo de tierra inútil. Más valdría que eso produjera frutos que flores.

-Señora Magloire -respondió el obispo-, os engañáis: lo bello vale tanto como lo útil. Y añadió después de una pausa: Tal vez más.

Los Miserables (Víctor Hugo, 1862).

Para evaluar el desempeño del modelo de comportamiento afectivo se utilizó como dominio de prueba un juego educativo para aprender factorización, *Prime Climb*. Una vez integrado el modelo de comportamiento afectivo a *Prime Climb*, se llevó a cabo un estudio de usuario con estudiantes interactuando con el juego educativo. En el estudio se tuvieron dos grupos de estudiantes, el primer grupo interactuó con el juego educativo sin el modelo de comportamiento afectivo y el segundo interactuó con el juego educativo con el modelo de comportamiento, y se compararon las ganancias en aprendizaje de ambos grupos.

En este capítulo se describe el estudio de usuario llevado a cabo, se presentan los resultados del mismo así como un análisis estadístico de los resultados para sustentar dichos resultados.

8.1. Prime climb: un juego educativo para aprender factorización

Prime Climb es un juego educativo desarrollado por el grupo EGEMS de la Universidad de la Columbia Británica (UBC) en Canadá (EGEMS, 2007; Manske y Conati, 2005). El objetivo de *Prime Climb* es ayudar a estudiantes de los grados 6 y 7 de nivel elemental a aprender factorización de números. Los grados 6 y 7 del sistema educativo canadiense corresponden a 6° de primaria y a 1° de secundaria en el sistema educativo mexicano. Los estudiantes a quienes está dirigido *Prime Climb* tienen una edad entre 12 y 13 años.

En este juego participan dos jugadores (estudiantes) que tratan de escalar montañas de manera cooperativa. Cada montaña está compuesta por hexágonos etiquetados con números. Cada estudiante se encuentra en un hexágono y debe saltar a un número que no tenga un factor común con el número en que se encuentra el compañero, de otra manera caen de la montaña y pierden puntos. En la figura 8.1 se muestra la interfaz de *Prime Climb*.

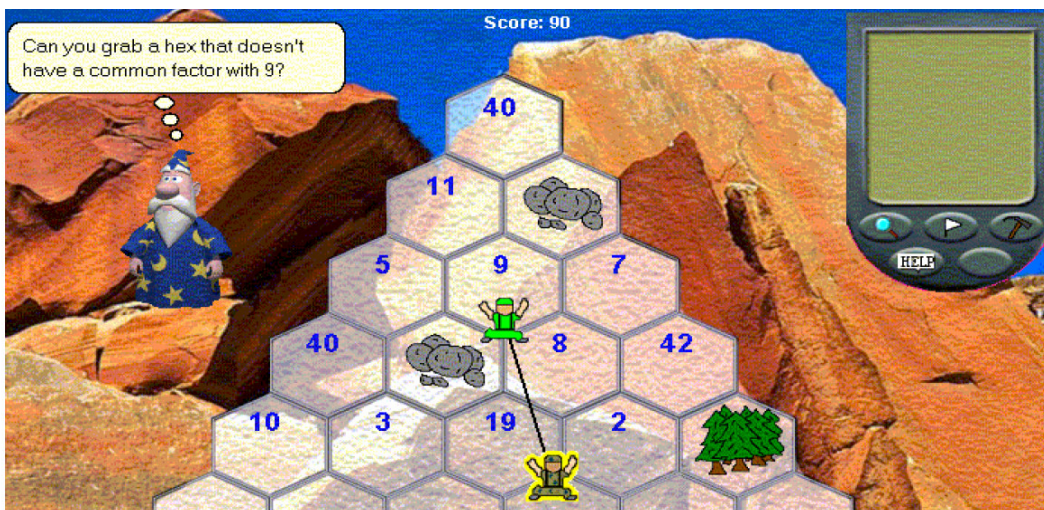


Figura 8.1. Interfaz de usuario del juego educativo *Prime Climb*. En el juego participan dos jugadores que tienen que escalar una montaña de hexágonos de manera cooperativa. Cada jugador se encuentra en un hexágono etiquetado con un número. La regla del juego es saltar a un número que no comparta un factor con el número en que se encuentra el compañero.

Para dar una instrucción adecuada a los estudiantes, *Prime Climb* tiene un modelo pedagógico del estudiante basado en redes bayesianas (Manske y Conati, 2005). El juego tiene integrado un agente pedagógico animado que se encuentra implementado a través de *Microsoft Agent* (Microsoft, 2005). El agente pedagógico animado utiliza el modelo pedagógico del estudiante para dar instrucción al estudiante cuando hay evidencia de que el estudiante no está aprendiendo del juego; esto puede ocurrir aún después de un movimiento correcto del estudiante, si el modelo del estudiante predice que el movimiento exitoso del estudiante fue producto de la suerte y no del conocimiento del estudiante.

El agente pedagógico animado proporciona la instrucción consistente en consejos (*Hints*) en tres niveles incrementales de detalle. En el nivel más general de detalle, el agente proporciona instrucción que fomenta pensar acerca de la factorización de los números; por ejemplo, *Think carefully about how to factorize the number you clicked on* (Piensa cuidadosamente como factorizar el número al que saltaste); o fomenta pensar acerca de los factores comunes; por ejemplo, *Remember that a common factor is a number that divides into both numbers without remainder* (Recuerda que un factor común es un número que divide ambos números sin dejar residuo). En un segundo nivel de detalle, el agente pedagógico sugiere al jugador que use las herramientas de ayuda para ver la factorización de un número. En el último nivel, la instrucción incluye ejemplos de cómo factorizar los números (ver figura 8.2 (a)) o cómo determinar si los dos números tienen un factor común (ver figura 8.2 (b)).



(a)



(b)

Figura 8.2. Imágenes instantáneas de *Prime Climb*. El agente pedagógico animado Merlín está dando instrucción mediante ejemplos de cómo factorizar números (el tercer y último nivel detalle en la instrucción).

Cuando el jugador hace un movimiento exitoso, el agente pedagógico animado intenta fomentar el razonamiento acerca del conocimiento del dominio preguntándole al jugador si sabe por qué el movimiento fue correcto. El agente pedagógico también intenta motivar a

los estudiantes felicitándolos cuando llevan a cabo movimientos exitosos. La instrucción es presentada al estudiante mediante burbujas de diálogo como se muestra en las figuras 8.1 y 8.2. La implementación de este agente pedagógico para *Prime Climb* utiliza muy pocas de las animaciones disponibles en *Microsoft Agent*.

El estudiante además puede solicitar ayuda en cualquier momento por medio de una PDA, (del inglés *Personal digital assistant*, ayudante personal digital). La PDA se muestra en las figura 8.1 y 8.2 en el lado derecho. Al solicitar ayuda mediante la PDA, el estudiante recibe la misma clase de instrucción descrita anteriormente.

8.1.1. Modelo pedagógico del estudiante

Para dar a los estudiantes una instrucción individualizada, *Prime Climb* cuenta con un modelo pedagógico del estudiante basado en redes bayesianas dinámicas. Por modelo pedagógico del estudiante nos referimos a la estructura que representa solamente el estado de conocimiento del estudiante, y no representa el estado afectivo del estudiante.

Una red bayesiana representa estados del proceso que se modela en ciertos puntos de tiempo. En *Prime Climb*, la red bayesiana dinámica consta de dos segmentos de tiempo. Cada vez que el estudiante lleva a cabo un movimiento en el juego se crea un segmento de tiempo y se destruye un segmento de tiempo, con esto se representa como influye el estado en el tiempo anterior en el estado en el tiempo actual.

Por cada montaña en *Prime Climb* hay una red bayesiana. En la figura 8.3 se presenta la red bayesiana del modelo afectivo del estudiante para la primera montaña del juego. En esta figura se presenta el estado de conocimiento del estudiante en un punto de tiempo.

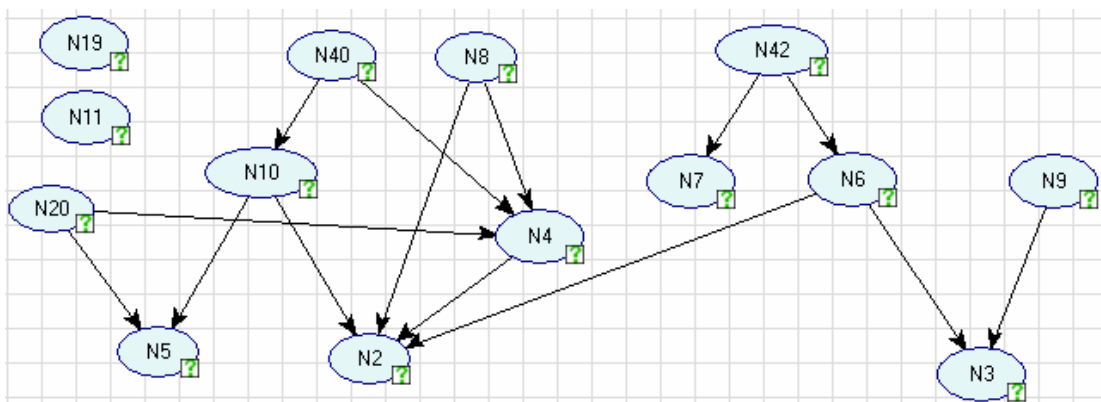


Figura 8.3. Red bayesiana que representa el modelo pedagógico del estudiante (Manske y Conati, 2005). Esta red bayesiana corresponde al modelo pedagógico del estudiante en el primer nivel del juego (primera montaña). Las relaciones entre los nodos representan las relaciones de factorización de los números; los nodos hijo son factores de los nodos padre. Por ejemplo, los nodos *N2* y *N4* son hijos del nodo *N8*, estas relaciones representan que los números 4 y 2 son factores del número 8.

Cada nodo en esta red representa un número en la montaña, y las relaciones entre los nodos representan las relaciones de factorización entre los números. Por ejemplo el nodo *N40* representa al número 40, este nodo tiene como hijos a los nodos *N10* y *N4* que representan a los números 10 y 4 respectivamente. Las ligas entre los nodos representan que el número 40 puede descomponerse en los factores 10 y 4. Estos nodos reciben el nombre de nodos *factorización*. Cada uno de estos nodos tiene la probabilidad de que el estudiante conozca la factorización del número que representa.

Cuando un estudiante hace un movimiento (Hace clic en un hexágono de la montaña) se agrega un nuevo segmento de tiempo y se agrega un nodo *clic* como hijo de los nodos incluidos en el movimiento (el número en que se hizo clic y el número en que se encuentra el compañero). En este nodo se guarda como evidencia el resultado del movimiento, esto es, si el movimiento fue correcto o incorrecto. El resultado del movimiento se usa como evidencia para establecer si el estudiante conoce o no la factorización del nodo en un sentido causal. En la figura 8.4 se muestra un fragmento de la red bayesiana del modelo del estudiante.

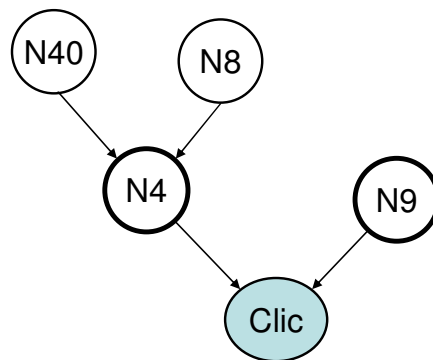


Figura 8.4. Fragmento de la red bayesiana que representa el modelo pedagógico del estudiante (Manske y Conati, 2005). Cuando el estudiante lleva a cabo un movimiento, se agrega un nodo *clic* como hijo de los nodos de los números incluidos en el movimiento; en este caso como hijo de los nodos *N4* y *N9*. De esta manera el resultado del movimiento, correcto e incorrecto, se usa como evidencia para establecer la probabilidad de que el estudiante conozca la factorización de los números 4 y 9.

8.1.2. Integración del modelo de comportamiento afectivo

Para evaluar el modelo de comportamiento afectivo se hizo la implementación de dicho modelo para *Prime Climb*. En esta implementación se usan las mismas acciones pedagógicas de *Prime Climb* y se utiliza el mismo agente pedagógico animado, pero las acciones pedagógicas y las acciones de Merlín que se presentarán al estudiante son establecidas por el modelo de comportamiento afectivo. Además, las acciones pedagógicas fueron traducidas al español ya que en la versión original de *Prime Climb* la instrucción se presenta en inglés.

En la tabla 8.1 se muestran las acciones afectivas que utiliza el modelo de comportamiento afectivo, así como una descripción de las mismas; mientras que las acciones pedagógicas se muestran en la tabla 8.2.

Tabla 8.1. Acciones afectivas en el modelo de comportamiento afectivo para el juego educativo *Prime Climb*.

Acciones afectivas			
Id	Nombre <i>Microsoft</i>	Descripción de la animación	Significado de la acción
AA1	Congratulate	Muestra el trofeo	Felicitar al estudiante por varios movimientos correctos
AA2	Process	Mueve el caldero	Decirle al estudiante que está haciéndolo bien y que no necesita ayuda
AA3	DoMagic1	Levanta la varita mágica	Decir al estudiante que hizo un buen movimiento
AA4	Acknowledgement	Asiente con la cabeza	Decir al estudiante que hizo un movimiento correcto
AA5	Announce	Levanta y toca la trompeta	Decir al estudiante que está haciéndolo bien
AA6	Congratulate_2	Aplaude	Felicitar al estudiante por un movimiento correcto
AA7	DoMagic2	Levanta la varita mágica y aparecen nubes	Decir al estudiante que está aprendiendo
AA8	Pleased	Sonríe y se toma ambas manos	Decir al estudiante que ahora su movimiento fue correcto
AA9	Greet	Hace reverencia	Felicitar al estudiante porque sabe la factorización de los números incluidos en el movimiento
AA10	Alert	Se endereza y levanta las cejas	Decir al estudiante que es la primera vez que se equivoca
AA11	GetAttention	Se inclina hacia adelante y toca la pantalla	Decir al estudiante que necesita ayuda y darle un consejo o decirle que pida ayuda
AA12	Confused	Se rasca la cabeza	Decir al estudiante que el movimiento fue equivocado, pero que él sabe la factorización de los números
AA13	Surprised	Mira con sorpresa	Decir al estudiante que el movimiento fue equivocado, pero que él sabe la factorización de los números
AA14	Explain	Extiende los brazos hacia los lados	Dar una explicación al estudiante cuando el estudiante no sabe la factorización de los números

En la figura 8.5 se muestran algunas de las acciones tutoriales que el modelo de comportamiento presenta a los estudiantes. Una acción tutorial se compone de una acción pedagógica y una acción afectiva. En el capítulo 6 se describe con más detalle el modelo afectivo del tutor.

Tabla 8.2. Acciones pedagógicas en el modelo de comportamiento afectivo para el juego educativo *Prime Climb*.

Id	Expresión
AP0	(No se presenta ninguna expresión verbal al estudiante)
AP1	Caíste porque estos números tienen un factor común.
AP2	Correcto, estos números no tienen factores comunes.
AP3	(Se presenta una de las siguientes expresiones, seguida de un ejemplo o una recomendación para solicitar ayuda) <ul style="list-style-type: none"> - Factores son números que dividen el número sin dejar residuo. - Factores son números que multiplicados dan el número. - No puedes seleccionar un número que tenga un factor común con el número de tu compañero. - Piensa como factorizar el número que escogiste y el número de tu compañero. - Un factor común es un factor de dos números. - Un factor común es un número que divide dos números sin un residuo.



Figura 8.5. Ejemplos de las acciones tutoriales en el modelo de comportamiento afectivo para el juego educativo *Prime Climb*. Una acción afectiva se compone de una acción afectiva y una acción pedagógica. Se presenta una animación y un *hint* (Copyright Microsoft Corporation, todos los derechos reservados).

8.2. Estudios de usuario para evaluar el modelo de comportamiento afectivo

Para evaluar el desempeño del modelo de comportamiento afectivo en el juego educativo llevamos a cabo un estudio de usuario con un grupo de estudiantes de primaria y secundaria de la *Escuela de la Cd. de Cuernavaca*. Antes de llevar a cabo el estudio de usuario, el juego educativo fue presentado a los profesores de matemáticas de los estudiantes que

participarían en el estudio, con el objeto de que nos dijeran para qué grados es adecuado el material del juego educativo. De estas entrevistas se concluyó que el material es adecuado para los grados: 6° de primaria y 1°, 2° y 3 de secundaria.

En el estudio participaron 62 estudiantes. Los estudiantes de cada grado fueron divididos aleatoriamente en dos grupos: un grupo de control y un grupo experimental. El grupo de control interactuó con el juego educativo sin el modelo de comportamiento afectivo y el grupo experimental interactuó con el juego educativo con el modelo de comportamiento afectivo. El número de estudiantes en cada grado y en cada grupo se muestra en la tabla 8.3.

Tabla 8.3. Número de estudiantes en el estudio de usuario, por grado y por grupo.

Grado		Edad promedio	No. de estudiantes		
			Grupo de control	Grupo experimental	Total
Primaria	6°	11.9	8	9	17
Secundaria	1°	12.6	10	10	20
	2°	13.8	6	5	11
	3°	14.8	7	7	14
Total			31	31	62

8.2.1. Diseño del estudio

Los dos grupos de estudiantes (de control y experimental) fueron tratados de la misma manera. Como primer punto del estudio, se presentó a los estudiantes el juego educativo, se describió el objetivo del juego y se les plantearon las reglas del mismo. Después los estudiantes contestaron un examen para evaluar el conocimiento previo sobre factorización de números que los estudiantes tenían antes de jugar con *Prime Climb*. Después de contestar el examen, los estudiantes jugaron por 40 minutos aproximadamente. Posterior a interactuar con el juego educativo, los estudiantes presentaron un examen para evaluar si habían aprendido al jugar con *Prime Climb*. En el anexo B se muestran ejemplos de los exámenes. Esta metodología de evaluación generalmente es aceptada; en (Ainsworth y Flemming, 2005) se presenta una evaluación similar: los estudiantes participantes en el estudio contestaron un examen previo y un examen posterior, se compararon las calificaciones de los exámenes y de esta comparación se obtuvo la ganancia en el aprendizaje.

Ambos exámenes, el previo y el posterior, fueron equivalentes y en ambos, los estudiantes contestaron cinco preguntas sobre factorización de números. Para elaborar los exámenes, se consultó con los profesores de matemáticas de los estudiantes. Los estudiantes tardaron en promedio cinco minutos en contestar los exámenes.

Finalmente, los estudiantes contestaron un cuestionario en donde se les preguntó si les agradó el juego y como se sintieron. La decisión de presentar un cuestionario a los estudiantes se debió a que no fue posible grabar en video la interacción de los mismos con *Prime Climb*.

En el grupo de control, la instrucción se basó solamente en el modelo pedagógico del estudiante, esto es, la instrucción se seleccionó de acuerdo con el conocimiento del estudiante acerca de factorización de números. La instrucción fue presentada por el agente pedagógico animado en burbujas de diálogo. Como ya se mencionó, en este caso el agente pedagógico animado utiliza muy pocas de las animaciones disponibles en *Microsoft Agent*.

En el grupo experimental, la instrucción se basó en los modelos afectivo y pedagógico del estudiante, esto es, la instrucción se basó en el conocimiento del estudiante acerca de factorización de números y en el estado afectivo del mismo. La instrucción fue presentada por el agente pedagógico animado en burbujas de diálogo. El agente pedagógico animado utilizó diferentes animaciones de acuerdo con el estado afectivo del estudiante y la situación tutorial. La instrucción así como las animaciones que se presentaron al estudiante fueron el resultado de un estudio con profesores, a quienes se les preguntó cuáles son las acciones pedagógicas y afectivas que presentarían a los estudiantes de acuerdo con el estado afectivo de los estudiantes así como con su estado de conocimiento. El estudio con los profesores se presenta en el capítulo 7.

8.2.2. Resultados del estudio

Los resultados del estudio fueron analizados de manera separada para cada uno de los grados para conocer el impacto del modelo de comportamiento afectivo en estudiantes con diferente nivel de conocimiento previo.

Para el 6° grado de primaria, en la tabla 8.4 se muestran los resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo de control; mientras que en la tabla 8.5 se muestran los resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental.

Tabla 8.4. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo de control de 6° grado de primaria.

Estudiante	Examen Previo	Examen Posterior	Ganancia en aprendizaje
1	3	5	2
2	3	5	2
3	4	4	0
4	4	4	0
5	3	4	1
6	4	4	0
7	4	4	0
8	4	4	0
No. aciertos	29	34	5
Promedio	3.625	4.25	0.625

Tabla 8.5. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental de 6° grado de primaria.

Estudiante	Examen Previo	Examen Posterior	Ganancia en aprendizaje
1	4	5	1
2	4	5	1
3	4	5	1
4	3	5	2
5	3	5	2
6	4	5	1
7	3	5	2
8	3	4	1
9	3	5	2
No. aciertos	31	44	13
Promedio	3.44	4.89	1.45

Como puede observarse, en el grupo de control se tiene una ganancia en aprendizaje de 5 aciertos, lo que en la calificación del grupo representa 0.625/5 puntos más en el examen posterior contra el examen previo. Esto significa que los estudiantes aprendieron un 12.5% al jugar con *Prime Climb* sin el modelo de comportamiento afectivo.

En la tabla 8.5 podemos observar que en el grupo experimental se tiene una ganancia en aprendizaje de 13 aciertos, lo que en la calificación del grupo representa 1.44/5 puntos más en el examen posterior contra el examen previo. Esto significa que los estudiantes aprendieron un 28.89% al jugar con *Prime Climb* con el modelo de comportamiento afectivo.

Comparando las ganancias en aprendizaje del grupo de control contra el grupo experimental en el grado de 6° de primaria, obtenemos que el grupo experimental obtuvo 8 aciertos más que el grupo de control, lo que significa que el grupo experimental aprendió un 16.39% más que el grupo de control.

En el caso del grado 1° de secundaria, en la tabla 8.6 se muestran los resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo de control, mientras que en la tabla 8.7 se muestran los resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental.

Como puede observarse, en el grupo de control se tiene una ganancia en aprendizaje de 2 aciertos, lo que en la calificación del grupo representa 0.2/5 puntos más en el examen posterior contra el examen previo. Esto significa que los estudiantes aprendieron un 4% al jugar con *Prime Climb* sin el modelo de comportamiento afectivo. En la tabla 8.7 podemos observar que en el grupo experimental se tiene una ganancia en aprendizaje de 5 aciertos, lo que en la calificación del grupo representa 0.5/5 puntos más en el examen posterior contra el examen previo. Esto significa que los estudiantes aprendieron un 10% al jugar con *Prime Climb* con el modelo de comportamiento afectivo.

Comparando las ganancias de aprendizaje del grupo de control contra el grupo experimental en el grado de 1° de secundaria, tenemos que el grupo experimental obtuvo 3

aciertos más que el grupo de control, lo que significa que el grupo experimental aprendió un 6% más que el grupo de control.

Tabla 8.6. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo de control de 1° grado de secundaria.

Estudiante	Examen Previo	Examen Posterior	Ganancia en aprendizaje
1	4	4	0
2	2	4	2
3	2	1	1
4	5	1	-1
5	5	2	-4
6	3	4	-3
7	1	2	1
8	2	2	1
9	1	5	4
10	3	5	2
No. aciertos	28	30	2
Promedio	2.8	3	0.2

Tabla 8.7. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental de 1° grado de secundaria.

Estudiante	Examen Previo	Examen Posterior	Ganancia en aprendizaje
1	5	5	0
2	5	5	0
3	1	1	2
4	3	2	1
5	3	3	1
6	0	3	3
7	3	5	2
8	2	3	2
9	5	5	0
10	4	4	0
No. aciertos	31	36	5
Promedio	3.1	3.6	0.5

Para el caso de 2° grado de secundaria, en la tabla 8.8 se muestran los resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo de control, en tanto que en la tabla 8.9 se muestran los resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental.

Como puede observarse, en el grupo de control se tiene una ganancia negativa en aprendizaje de 2 aciertos, lo que en la calificación del grupo representa 0.33/5 puntos menos en el examen posterior contra el examen previo. Esto significa que los estudiantes no aprendieron al jugar con *Prime Climb* sin el modelo de comportamiento afectivo. En la tabla 8.9 podemos observar que en el grupo experimental se tiene una ganancia negativa en aprendizaje de 2 aciertos, lo que en la calificación del grupo representa 0.4/5 puntos menos en el

examen posterior contra el examen previo. Esto significa que los estudiantes no aprendieron al jugar con *Prime Climb* con el modelo de comportamiento afectivo.

Tabla 8.8. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo de control de 2° grado de secundaria.

Estudiante	Examen Previo	Examen Posterior	Ganancia en aprendizaje
1	3	3	0
2	5	3	-2
3	3	4	1
4	3	3	0
5	5	3	-2
6	4	5	1
No. aciertos	23	21	-2
Promedio	3.83	3.5	-0.33

Tabla 8.9. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental de 2° grado de secundaria.

Estudiante	Examen Previo	Examen Posterior	Ganancia en aprendizaje
1	2	3	1
2	5	5	0
3	3	2	-1
4	4	3	-1
5	3	2	-1
No. aciertos	17	15	-2
Promedio	3.4	3	-0.40

Comparando las ganancias de aprendizaje del grupo de control contra el grupo experimental en el grado de 2° de secundaria, vemos que en ninguno de los dos casos los estudiantes aprendieron, ni al jugar con *Prime Climb* sin el modelo de comportamiento afectivo, ni al jugar con *Prime Climb* con el modelo de comportamiento afectivo.

En el caso del grado de 3° de secundaria, en la tabla 8.10 se muestran los resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo de control, en tanto que en la tabla 8.11 se muestran los resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental de 3° grado de secundaria.

Como puede observarse, en el grupo de control se tiene una ganancia negativa en aprendizaje de 3 aciertos, lo que en la calificación del grupo representa 0.43/5 puntos menos en el examen posterior contra el examen previo. Esto significa que los estudiantes no aprendieron al jugar con *Prime Climb* sin el modelo de comportamiento afectivo.

En la tabla 8.11 podemos observar que en el grupo experimental se tiene una ganancia en aprendizaje de un acierto, lo que en la calificación del grupo representa 0.14/5 puntos más

en el examen posterior contra el examen previo. Esto significa que el grupo experimental aprendió en un 2.86% al jugar con *Prime Climb* con el modelo de comportamiento afectivo.

Tabla 8.10. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo de control de 3° grado de secundaria.

Estudiante	Examen Previo	Examen Posterior	Ganancia en aprendizaje
1	4	4	0
2	5	4	-1
3	4	3	-1
4	4	4	0
5	3	3	0
6	5	5	0
7	5	4	-1
No. aciertos	30	27	-3
Promedio	4.29	3.86	-0.43

Tabla 8.11. Resultados que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental de 3° grado de secundaria.

Estudiante	Examen Previo	Examen Posterior	Ganancia en aprendizaje
1	5	4	-1
2	2	1	-1
3	5	4	-1
4	4	5	1
5	2	5	3
6	5	5	0
7	5	5	0
No. aciertos	28	29	1
Promedio	4	4.14	0.14

Comparando los resultados del grupo de control contra el grupo experimental en el grado de 3° de secundaria, obtenemos que el grupo experimental aprendió en un 11.43% más que el grupo de control.

Un resumen de los resultados anteriores se presenta en la tabla 8.12. Como se puede observar en el caso de 6° de primaria y 3° de secundaria, la ganancia de aprendizaje es considerable. En el caso de 1° de secundaria el porcentaje de ganancia en aprendizaje es muy bajo, mientras que en el caso de 2° de secundaria es nulo.

En la tabla 8.13 se muestra el resultado global después de que los estudiantes jugaron con *Prime Climb*; esto es, el impacto que tuvo el juego en su conocimiento sobre factorización. Los resultados se muestran por cada grado y grupo.

Tabla 8.12. Ganancias en aprendizaje obtenidas en cada uno de los grados que participaron en el estudio. La ganancia se mide en número de aciertos.

Grado	Ganancia en el grupo de control	Ganancia en el grupo experimental	Ganancia entre grupos	Porcentaje de ganancia entre grupos
6° de primaria	5	13	8	16.39%
1° de secundaria	10	11	1	2%
2° de secundaria	-2	-2	0	0%
3° de secundaria	-3	1	4	11.43%

Tabla 8.13. Impacto de *Prime Climb* en el desempeño de los estudiantes, por grado y por grupo de control (*Prime Climb* no afectivo) y experimental (*Prime Climb* afectivo).

Grado		Resultado	Grupo de control	Grupo experimental
Primaria	6°	Mejor	3/8	9/9
		Igual	5/8	0/9
		Peor	0/8	0/9
Secundaria	1°	Mejor	5/10	3/10
		Igual	2/10	6/10
		Peor	3/10	1/10
	2°	Mejor	2/5	1/6
		Igual	2/5	1/6
		Peor	2/5	3/6
	3°	Mejor	0/7	2/7
		Igual	4/7	2/7
		Peor	3/7	3/7

De la tabla 8.12 se observa que en los tres grados, los estudiantes aprendieron más al jugar con *Prime Climb* con el modelo de comportamiento afectivo, excepto en el caso de 2° de secundaria. Mientras que en la tabla 8.13 se observa que en los tres grados es mayor el porcentaje de estudiantes que mejoraron o se mantuvieron igual en el grupo experimental que en el grupo de control.

En la siguiente sección se presentan las pruebas estadísticas que se realizaron para determinar si los resultados anteriores son estadísticamente significativos.

8.3. Pruebas estadísticas

Con el objeto de saber si las diferencias en las ganancias en aprendizaje entre los grupos de control y experimental son estadísticamente significativas, se llevó a cabo la *prueba t de Student* (Spiegel, 2004; Vera, 2007; Calderón, 2006) para cada uno de los tres grados que participaron en el estudio de usuario.

Se eligió la *prueba t de Student* por ser una prueba aplicable a muestras pequeñas, como en nuestro caso, y en donde se pueden comparar muestras de tamaños diferentes. Otra de las

razones para elegir esta prueba se debe a que esta prueba es muy usada en el área de educación (Vera, 2007).

8.3.1. Prueba *t de student*

La *prueba t* se utiliza para establecer si dos muestras (dos grupos con tratamientos diferentes) difieren significativamente respecto a sus medias (Calderón, 2006). En nuestro caso queremos evaluar si el grupo experimental (*Prime Climb* afectivo) aprendió más que el grupo de control (*Prime Climb* no afectivo).

Los niveles de significación de mayor uso en el campo de la educación son 0.05 y 0.01. Cuando se sitúa la significación en un nivel de 0.05, indica que de ser cierta la hipótesis, dicha hipótesis se cumple en el 95 % de los casos; mientras que cuando se ubica en un nivel de 0.01, indica que de ser cierta la hipótesis, dicha hipótesis se cumple en el 99 % de los casos.

Se establecen dos hipótesis: una hipótesis nula h_0 y una hipótesis alternativa h_1 . La hipótesis nula plantea que los grupos no difieren significativamente entre sí, mientras que la hipótesis alternativa plantea que los grupos difieren significativamente entre sí.

La fórmula para llevar a cabo la *prueba t de Student* es:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{S / \sqrt{n}} \quad (8.1)$$

Donde: x es la media del grupo, μ es la media poblacional, S es la desviación estándar y n es el tamaño de la muestra.

Para determinar si el valor t es significativo, se aplica la fórmula y se calculan los grados de libertad. La *prueba t* se basa en una distribución muestral de diferencias de medias conocida como la *distribución t de Student*. Esta distribución es identificada por los grados de libertad, que constituyen el número de maneras como los datos pueden variar libremente (Calderón, 2006).

Una vez obtenidos el valor t y los grados de libertad, se elige el nivel de significancia y se compara el valor t obtenido con el valor de la tabla de la distribución *t de Student*. La hipótesis nula h_0 se rechazará si el valor t calculado es mayor o igual al valor t mostrado por la tabla de la distribución *t de Student*, lo que significa que la hipótesis alternativa h_1 es verdadera. En caso contrario, cuando el valor t calculado es menor que el valor t de la tabla de la distribución *t de Student*, se acepta la hipótesis nula h_0 , lo que significa que la hipótesis alternativa h_1 no es verdadera.

En la siguiente sección se presenta los resultados de la prueba para cada uno de los grupos de estudiantes participantes en el estudio.

8.3.2. Análisis estadístico de los resultados

En un análisis rápido de los resultados del estudio podemos decir que los estudiantes que jugaron con *Prime Climb* con el modelo de comportamiento afectivo aprendieron más que los estudiantes que jugaron con *Prime Climb* sin el modelo de comportamiento afectivo. Sin embargo para esta afirmación sea verdadera tenemos que llevar a cabo análisis estadísticos. Lo que queremos saber es si los resultados del estudio llevado a cabo son estadísticamente significativos. Es decir, queremos saber si en realidad los estudiantes que jugaron con *Prime Climb* con el modelo de comportamiento afectivo aprendieron más que los estudiantes que jugaron con *Prime Climb* sin el modelo de comportamiento afectivo, como lo expresan los resultados del estudio, o si tales resultados son producto de la casualidad.

De las tablas 8.4 a la 8.11 obtenemos la media del examen previo, la media del examen posterior y la media de las ganancias para cada grupo de control y experimental de cada grado. Estos valores medios se presentan nuevamente en la tabla 8.14

Tabla 8.14. Valores promedio de los exámenes previo, posterior y de las ganancias en el aprendizaje para cada grupo de control y experimental.

Grado	Grupo	Media		
		Examen previo	Examen posterior	Ganancia
6°	Control	3.625	4.25	0.625
	Experimental	3.44	4.89	1.45
1°	Control	2.8	3	0.2
	Experimental	3.1	3.6	0.5
2°	Control	3.83	3.5	-0.33
	Experimental	3.4	3	-0.40
3°	Control	4.29	3.86	-0.43
	Experimental	4	4.14	0.14

Se puede observar que existe una diferencia entre la media del examen previo con la media del examen posterior de cada grupo experimental y de control. Así también existe una diferencia entre la media de la ganancia en aprendizaje del grupo de control con la media de la ganancia en aprendizaje del correspondiente grupo experimental.

Primero veamos si el grupo de control de 6° de primaria aprendió factorización de números al jugar con *Prime Climb* sin el modelo de comportamiento afectivo. Para tales efectos se establecen las siguientes hipótesis:

h_0 : Los estudiantes no aprenden al jugar con *Prime Climb*.

h_1 : Los estudiantes aprenden al jugar con *Prime Climb*.

En la tabla 8.15 se presentan las calificaciones que obtuvieron los estudiantes del grupo de control de 6° grado en los exámenes previo y posterior, la distancia de la media aritmética y la distancia de la media aritmética al cuadrado.

Tabla 8.15. Calificaciones que obtuvieron los estudiantes del grupo de control de 6° grado en los exámenes previo y posterior. Se presentan también la distancia de la media y la distancia de la media al cuadrado.

Estudiante	Examen previo			Examen posterior		
	X	x	x ²	X	x	x ²
1	3	-0.625	0.390625	5	0.75	0.5625
2	3	-0.625	0.390625	5	0.75	0.5625
3	4	0.375	0.140625	4	-0.25	0.0625
4	4	0.375	0.140625	4	-0.25	0.0625
5	3	-0.625	0.390625	4	-0.25	0.0625
6	4	0.375	0.140625	4	-0.25	0.0625
7	4	0.375	0.140625	4	-0.25	0.0625
8	4	0.375	0.140625	4	-0.25	0.0625
Suma	29		1.875	34		1.5
Media	3.625			4.25		

El siguiente paso es calcular la desviación estándar de la diferencia de la media del examen previo y de la media del examen posterior. La fórmula para calcular la desviación estándar es:

$$S = \sqrt{\frac{\sum x_1^2 + \sum x_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)} \tag{8.2}$$

De (8.2) obtenemos que $S = 0.2455$ y de la fórmula (8.1) para calcular el valor t , obtenemos el valor $t = 2.5459$. Para saber si este valor es significativo, necesitamos calcular los grados de libertad y consultar la tabla de la *distribución t de Student*. Los grados de libertad para la *prueba t* se obtienen del número de casos del primer grupo (examen previo) más el número de casos del segundo grupo (examen posterior) menos 2:

$$gdl = n_1 + n_2 - 2 \tag{8.3}$$

De esta fórmula obtenemos que $gdl = 8 + 8 - 2 = 14$. De la tabla de la *distribución t de Student* para un nivel de significación = 0.05 y 14 grados de libertad tenemos un valor $t = 1.7613$. Ver figura 8.6 (Hermer, 2007).

De aquí tenemos que el valor t calculado es mayor que el valor t de la tabla de la *distribución t de Student*, esto es:

$$2.5459 > 1.7613 \tag{8.4}$$

De aquí tenemos que con una probabilidad de 95%, la diferencia entre las medias es estadísticamente significativa, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que *los estudiantes del grupo de control de 6° grado aprendieron factorización de números al jugar con Prime Climb sin el modelo de comportamiento afectivo.*

$n \setminus \alpha$	0,30	0,25	0,20	0,10	0,05
1	0,7265	1,0000	1,3764	3,0777	6,3137
2	0,6172	0,8165	1,0607	1,8856	2,9200
3	0,5844	0,7649	0,9785	1,6377	2,3534
4	0,5686	0,7407	0,9410	1,5332	2,1318
5	0,5594	0,7267	0,9195	1,4759	2,0150
6	0,5534	0,7176	0,9057	1,4398	1,9432
7	0,5491	0,7111	0,8960	1,4149	1,8946
8	0,5459	0,7064	0,8889	1,3968	1,8595
9	0,5435	0,7027	0,8834	1,3830	1,8331
10	0,5415	0,6998	0,8791	1,3722	1,8125
11	0,5399	0,6974	0,8755	1,3634	1,7959
12	0,5386	0,6955	0,8726	1,3562	1,7823
13	0,5375	0,6938	0,8702	1,3502	1,7709
14	0,5366	0,6924	0,8681	1,3450	1,7613

Figura 8.6. Fragmento de la tabla de la distribución *t* de Student. Contiene los valores *t* tales que $p[T > t] = \alpha$, y donde *n* son los grados de libertad (Hermer, 2007).

Por otro lado tenemos que para un *nivel de significación* = 0.01, la tabla de la *distribución t de Student* arroja un valor $t = 2.6245$; de aquí tenemos que el valor *t* calculado es menor que el valor *t* de la tabla de la *distribución t de Student*, esto es:

$$2.5459 < 2.6245 \tag{8.5}$$

De esto tenemos que con una probabilidad del 99%, la diferencia entre las medias no es estadísticamente significativa, por lo que se acepta la hipótesis nula y se concluye que *los estudiantes del grupo de control de 6° grado no aprendieron factorización de números al jugar con Prime Climb sin el modelo de comportamiento afectivo.*

Ahora queremos saber si el grupo experimental de 6° de primaria aprendió factorización de números al jugar con *Prime Climb* con el modelo de comportamiento afectivo. En la tabla 8.16 se presentan las calificaciones que obtuvieron los estudiantes del grupo de experimental de 6° grado en los exámenes previo y posterior, la distancia de la media aritmética y la distancia de la media aritmética al cuadrado.

El siguiente paso es calcular la desviación estándar de la diferencia de la media del examen previo y de la media del examen posterior. De la fórmula (8.2) obtenemos que $S = 0.2879$ y

de la fórmula (8.1) para calcular el *valor t*, obtenemos el valor $t = 6.9488$. Para saber si este valor es significativo, necesitamos calcular los grados de libertad y consultar la tabla de la *distribución t de Student*.

De la fórmula (8.3) obtenemos que $gdl = 16$. De la tabla de la *distribución t de Student* para un *nivel de significación* = 0.05 y 16 grados de libertad tenemos un valor $t = 1.7459$. De aquí tenemos que el *valor t* calculado es mayor que el *valor t* de la tabla de la *distribución t de Student*, es decir:

$$6.9488 > 1.7459 \tag{8.6}$$

Tabla 8.16. Calificaciones que obtuvieron los estudiantes del grupo experimental de 6° grado en los exámenes previo y posterior. Se presentan también la distancia de la media y la distancia de la media al cuadrado.

Estudiante	Examen previo			Examen posterior		
	X	x	x ²	X	x	x ²
1	4	0.556	0.308642	5	0.111	0.012346
2	4	0.556	0.308642	5	0.111	0.012346
3	4	0.556	0.308642	5	0.111	0.012346
4	3	-0.444	0.197531	5	0.111	0.012346
5	3	-0.444	0.197531	5	0.111	0.012346
6	4	0.556	0.308642	5	0.111	0.012346
7	3	-0.444	0.197531	5	0.111	0.012346
8	3	-0.444	0.197531	4	-0.889	0.790123
9	3	-0.444	0.197531	5	0.111	0.012346
Suma	31		2.222222	44		0.888889

De esto tenemos que con una probabilidad del 95%, la diferencia entre las medias es estadísticamente significativa, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que *los estudiantes del grupo experimental de 6° grado aprendieron factorización de números al jugar con Prime Climb con el modelo de comportamiento afectivo*.

Por otro lado tenemos que para un *nivel de significación* = 0.01, la tabla de la *distribución t de Student* arroja un *valor t* = 2.5835; de aquí tenemos que el *valor t* calculado es mayor que el *valor t* de la tabla de la *distribución t de Student*, esto es:

$$6.9488 > 2.5835 \tag{8.7}$$

De esto tenemos que con una probabilidad del 99%, la diferencia entre las medias es estadísticamente significativa, por lo que se rechaza la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que *los estudiantes del grupo experimental de 6° grado aprendie-*

ron factorización de números al jugar con *Prime Climb* con el modelo de comportamiento afectivo.

Del análisis anterior tenemos que ambos grupos, de control y experimental aprendieron factorización de números al jugar con *Prime Climb*. Sin embargo lo que queremos establecer es si los estudiantes del grupo experimental aprendieron más que los estudiantes del grupo de control. En la tabla 8.14 observamos una diferencia en la media de la ganancia en aprendizaje del grupo de control (0.625) contra la media de la ganancia en aprendizaje del grupo experimental (1.45). Ahora lo que queremos establecer es si esta diferencia en las medias de las ganancias es significativa, es decir, queremos saber si el grupo de experimental aprendió más que el grupo de control. Para tales efectos se establecen las siguientes hipótesis:

h_0 : Los estudiantes aprenden igual con ambos juegos

h_1 : Los estudiantes aprenden más al jugar con *Prime Climb* afectivo.

En la tabla 8.17 se presenta la ganancia en aprendizaje que obtuvieron los estudiantes de los grupos de control y experimental de 6° grado; también se presenta la distancia de la media aritmética y la distancia de la media aritmética al cuadrado.

Tabla 8.17. Ganancia en aprendizaje de los grupos de control y experimental de 6° grado.

Estudiante	Grupo de control			Grupo experimental		
	X	x	x ²	X	x	x ²
1	2	1.375	1.890625	1	-0.445	0.197531
2	2	1.375	1.890625	1	-0.445	0.197531
3	0	-0.625	0.390625	1	-0.445	0.197531
4	0	0.375	0.390625	2	0.556	0.308642
5	1	-0.625	0.140625	2	0.556	0.308642
6	0	-0.625	0.390625	1	-0.445	0.197531
7	0	-0.625	0.390625	2	0.556	0.308642
8	0	-0.625	0.390625	1	-0.445	0.197531
9				2	0.556	0.308642
Suma	5			13		

El siguiente paso es calcular la desviación estándar de la diferencia de la media del grupo de control y de la media del grupo experimental. De la fórmula (8.2) obtenemos que $S = 0.3570$ y de la fórmula (8.1) para calcular el valor t , obtenemos el valor $t = 2.2952$. Para saber si este valor es significativo, necesitamos calcular los grados de libertad y consultar la tabla de la *distribución t de Student*.

De la fórmula (8.3) obtenemos que $gdl = 15$. De la tabla de la *distribución t de Student* para un nivel de significación = 0.05 y 15 grados de libertad tenemos un valor $t = 1.7531$. De aquí tenemos que el valor t calculado es mayor que el valor t de la tabla de la *distribución t de Student*, es decir:

$$2.2952 > 1.7531 \tag{8.8}$$

De esto tenemos que con una probabilidad del 95%, la diferencia entre las medias es estadísticamente significativa, por lo que se rechaza la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que *los estudiantes del grupo experimental aprendieron más que el grupo de control al jugar con Prime Climb con el modelo de comportamiento afectivo.*

Por otro lado tenemos que para un *nivel de significación = 0.01*, la tabla de la *distribución t* arroja un *valor t = 2.6035*; de aquí tenemos que el *valor t* calculado es menor que el *valor t* de la tabla de la *distribución t de Student*, es decir:

$$2.2952 < 2.6035 \tag{8.8}$$

De esto tenemos que con una probabilidad del 99%, la diferencia entre las medias no es estadísticamente significativa, por lo que se acepta la hipótesis nula, y se concluye que *los estudiantes del grupo experimental no aprendieron más que el grupo de control de 6º grado al jugar con Prime Climb con el modelo de comportamiento afectivo.*

El paso ulterior es llevar a cabo las pruebas estadísticas anteriores con los resultados de los grupos de control y experimental de los grados 1º, 2º y 3º de secundaria. Los valores arrojados por la prueba t se presentan en la tabla 8.18.

Tabla 8.18. Resultados de la prueba *t de Student* aplicada a los grupos de control y experimental de 1º de secundaria.

Grado	Grupo	Media		Desviación Estándar	Nivel de significación = 0.05	
		Previo	Posterior		Valor <i>t</i> calculado	Valor <i>t</i> de la tabla
1º	Control	2.8	3	0.6799	0.2942	1.7341
	Experimental	3.1	3.6	0.7095	0.7048	1.7341
2º	Control	3.83	3.5	0.5270	0.6325	1.8125
	Experimental	3.4	3	0.7483	0.5345	1.8595
3º	Control	4.29	3.86	0.3868	1.1078	1.7823
	Experimental	4	4.14	0.7693	0.1857	1.7823

Como podemos observar en todos los casos el *valor t* de la tabla es mayor que el *valor t* calculado, lo que indica que se debe aceptar la hipótesis nula y por lo tanto ninguno de estos grupos aprendió factorización de números al jugar con *Prime Climb*. Como ninguno de los grupos aprendió factorización de números, no es necesario llevar a cabo la *prueba t* para comparar las medias de las ganancias de aprendizaje de los grupos de control contra los grupos de experimentación.

Sin embargo, como se describió anteriormente, en el caso de 6° grado de primaria tanto el grupo control como el experimental aprendieron factorización de números al jugar con *Prime Climb*; y en este caso, el grupo experimental aprendió más que el grupo de control, es decir, los estudiantes que jugaron con la versión de *Prime Climb* con el modelo de comportamiento afectivo aprendieron más que los estudiantes que jugaron con la versión de *Prime Climb* sin el modelo de comportamiento afectivo.

Como parte del estudio llevado a cabo, los estudiantes contestaron un cuestionario en donde se les solicitó dar su opinión acerca del programa y sobre su experiencia al trabajar con el mismo. En la siguiente sección se presentan las respuestas de los estudiantes.

8.4. Cuestionario

Uno de los objetivos del estudio es conocer el estado afectivo de los estudiantes durante su interacción con el juego. Una manera de conocer el estado afectivo sería grabar dicha interacción para un análisis posterior, sin embargo esto no pudo llevarse a cabo¹. No obstante, los estudiantes fueron observados durante la interacción y además se les presentó un cuestionario en donde se les pidió su opinión acerca del juego y acerca de su experiencia con el juego. Las preguntas del cuestionario se presentan en la tabla 8.19.

Tabla 8.19. Preguntas del cuestionario aplicado a los estudiantes participantes en el estudio.

No.	Pregunta
1	¿Te gustó el juego? ¿Por qué?
2	¿Cómo te sentiste jugando? Alegre Triste Animado Aburrido
3	¿Te hubiera gustado jugar más tiempo? ¿Por qué?
4	¿Te gustó Merlín? ¿Por qué?
5	¿La ayuda que te dio Merlín te sirvió? Mucho Poco Nada

Las respuestas también fueron evaluadas de manera separada para cada uno de los grados. Los porcentajes de las respuestas para cada una de las preguntas por cada grado y grupo se presentan en la tabla 8.20.

Puede observarse que en general no hay diferencias entre las respuestas de los estudiantes. Sin embargo, podemos observar que los estudiantes de 6° grado les agradó más el programa y son los que reportan un mayor porcentaje de estado positivo. Esto podría explicar por qué los estudiantes de 6° grado son los estudiantes que más aprendieron al jugar con *Prime Climb*.

¹ La escuela en donde se llevó a cabo del estudio consideró que no era adecuado grabar a los estudiantes.

Tabla 8.20. Porcentaje de respuesta a cada una de las preguntas del cuestionario clasificadas por grado y grupo.

Grado	Grupo	Pregunta 1		Pregunta 2		Pregunta 3		Pregunta 4		Pregunta 5		
		Si	No	Positivo	Negativo	Si	No	Si	No	Mucho	Poco	Nada
6°	Control	87.5	12.5	100	0.0	62.5	37.5	87.5	12.5	25.0	50.0	25.0
	Experimental	86.0	14.0	100	0.0	71.0	29.0	57.0	43.0	14.0	71.0	14.0
	Total %	86.7	13.3	100	0.0	66.7	33.3	73.3	26.7	20.0	60.0	20.0
1°	Control	71.4	28.6	71.0	29.0	42.9	57.1	57.1	42.9	14.0	71.0	14.0
	Experimental	89.0	11.0	78.0	22.0	67.0	33.0	56.0	44.0	22.0	44.0	44.0
	Total %	81.3	18.8	75.0	25.0	56.3	43.8	56.3	43.8	18.8	56.3	31.3
2°	Control	66.7	33.3	83.0	17.0	83.3	16.7	33.3	66.7	17.0	50.0	33.0
	Experimental	80.0	20.0	80.0	20.0	80.0	20.0	40.0	60.0	20.0	60.0	20.0
	Total %	72.7	27.3	81.8	18.2	81.8	18.2	36.4	63.6	18.2	54.5	27.3
3°	Control	57.1	42.9	71.0	29.0	57.1	42.9	57.1	42.9	14.0	71.0	14.0
	Experimental	86.0	14.0	86.0	14.0	71.0	29.0	43.0	57.0	43.0	43.0	14.0
	Total %	71.4	28.6	78.6	21.4	64.3	35.7	50.0	50.0	28.6	57.1	14.3

8.5. Conclusiones del capítulo

Las pruebas estadísticas indican que solamente los estudiantes de 6° grado aprendieron factorización de números al jugar con *Prime Climb* tanto con la versión pedagógica como con la versión afectiva. Además, dichas pruebas también indican que los estudiantes que jugaron con la versión afectiva de *Prime Climb* aprendieron más que los que jugaron con la versión pedagógica.

Para los otros grupos, aunque los estudiantes obtuvieron una mejor calificación en el examen posterior que en el examen previo, las pruebas estadísticas indican que estos grupos no aprendieron con ninguna de las dos versiones de *Prime Climb*.

Por otro lado, del cuestionario aplicado a los estudiantes podemos ver que los estudiantes de 6° grado son los estudiantes a quienes más les gustó el programa (86.7%), son quienes reportan el mejor estado afectivo positivo (100%), además de ser a quienes les gustó más el agente animado Merlín (73.3%) y también de ser los que reportan una ayuda más útil por parte de Merlín (60%).

Esto puede explicar que los estudiantes de 6° grado hayan aprendido más que el resto de los estudiantes, a quienes les gustó menos el juego y el agente animado, y quienes reportan un menor porcentaje de estado positivo y un menor porcentaje de ayuda útil; ya que al encontrarse en condiciones más conformes con sus gustos, se encuentran en condiciones más propicias para el aprendizaje.

Uno de los problemas durante la ejecución del estudio fue que las condiciones de equipo de cómputo no fueron las óptimas, ya que se trataba de equipo con configuraciones muy antiguas. Los estudiantes se quejaban de la lentitud del equipo de cómputo, y fueron los estudiantes mayores quienes más se molestaron por este inconveniente.

Por otro lado, el desarrollo del juego *Prime Climb* no es muy dinámico. Una de las posibles causas por las que no aprendieron los estudiantes mayores es que requieren de sistemas más rápidos debido a su fuerte uso de la tecnología y de los programas de video comerciales actuales, que explotan extensivamente el uso de gráficos y en donde el desarrollo del juego es muy rápido, además de que expresamente dijeron que consideraban el juego muy infantil. Esto no ocurre con los estudiantes menores, ya que aunque están muy involucrados con las nuevas tecnologías, aun no requieren de juegos muy rápidos y no expresaron que el juego fuera infantil.

De los comentarios de los estudiantes se recogen consideraciones opuestas. Mientras que algunos estudiantes expresaron que les gustó el juego, estos ya no quisieron jugar por más tiempo porque estaba próxima la hora del receso o la hora de la salida. Y por otro lado, algunos estudiantes expresaban que no les gustaba el juego pero querían seguir jugando porque querían aprender más.

De alguna manera los comentarios de los estudiantes se confirman con los comentarios de algunos de los profesores de la escuela en donde se llevo a cabo el estudio. Los profesores expresaron que a la mayoría de los estudiantes no les gusta trabajar o esforzarse en aquello que no tenga impacto en sus calificaciones, por lo tanto podría ser que los estudiantes no se esforzaron en trabajar en el juego o en contestar los exámenes o que estaban más interesados en su horario normal de clases, recesos y salidas.

Llevar a cabo una evaluación es un proceso difícil sobre todo en el campo de los sistemas tutores inteligentes; ya que depende del conocimiento previo de los estudiantes, del tipo de exámenes que se presentan a los estudiantes, el diseño de los exámenes y sobre todo de las preferencias de los estudiantes en la presentación de la instrucción.

En el caso del juego, una solución podría ser tener niveles diferentes para cada grado, o categorías de estudiantes que coincidan con el conocimiento previo del estudiante. Esto permitiría que el estudiante no perdiera el interés en el juego por encontrarlo o muy difícil o muy fácil.

En el caso de la evaluación, se podría mejorar el proceso teniendo exámenes aun más adecuados para cada grado, lo que permitiría evaluar de manera más precisa el aumento en el conocimiento de los estudiantes. También se podría mejorar el proceso de evaluación al tener varias sesiones de juego más cortas y no solamente una sesión de juego larga, como en este caso. En el caso de sesiones de juego más cortas, se tiene la ventaja de que el estudiante no se cansaría de jugar o no perdería el interés en el juego, sin embargo se corre el riesgo de que el estudiante olvide lo que aprendió en la sesión de juego anterior. Además también el estudio tomaría más tiempo, lo que implicaría que los estudiantes perdieran más tiempo en sus clases habituales, lo que es difícil de afrontar dado los programas de estudio de las escuelas.

Finalmente, el modelo de comportamiento afectivo funcionó en ayudar a aprender en un grupo de estudiantes. En este grupo, los estudiantes que interactuaron con la versión no afectiva del juego aprendieron del juego; sin embargo, en este mismo grupo los estudiantes que interactuaron con la versión afectiva del juego aprendieron aún más que los primeros. Estos estudiantes son los estudiantes más jóvenes de los participantes en el estudio. No obstante lo anterior en otros grupos de estudiantes, tanto los estudiantes que interactuaron con la versión no afectiva del juego como los que interactuaron con la versión afectiva del juego no aprendieron del juego. Estos estudiantes son los estudiantes mayores de los participantes en el juego.

Lo anterior es evidencia de que el modelo de comportamiento afectivo ayuda a aprender. Como conclusión podemos decir que el modelo de comportamiento afectivo mejora el aprendizaje en estudiantes cuya edad y nivel de conocimiento sean adecuados para el sistema tutor inteligente.

Capítulo 9

Dominio de prueba: un sistema tutor inteligente de robótica móvil

“My mind is going. I can feel it”, “I’m afraid”

HAL 9000 en 2001: A space odyssey (Kubrick, 1968).

En el estudio de usuario que se describe en el capítulo 8 se evaluó el desempeño general del modelo de comportamiento afectivo, y no se evaluó de manera separada el desempeño de sus dos componentes. Debido a la necesidad de conocer la precisión del modelo afectivo del estudiante y la precisión del modelo afectivo del tutor, así como a la necesidad de conocer el desempeño del modelo en otro dominio de prueba, se llevó a cabo otra evaluación del modelo de comportamiento afectivo.

En esta segunda evaluación del desempeño del modelo de comportamiento afectivo se utilizó como dominio de prueba un sistema tutor inteligente de robótica móvil. Las pruebas se realizaron mediante una simulación tipo Mago de Oz. Los estudios Mago de Oz se utilizan para obtener información útil para diseño y evaluación de sistemas que aún no han sido terminados. A pesar de tener la limitante de que no se tiene una interacción real con el sistema sino una simulación, los estudios Mago de Oz son aceptados como pruebas válidas que pueden usarse a lo largo de todo el desarrollo de los sistemas.

En este capítulo se describe la metodología Mago de Oz, también se describe el estudio Mago de Oz llevado a cabo y se presentan los resultados de la evaluación del modelo afectivo del estudiante y del modelo afectivo del tutor.

9.1. Sistema tutor inteligente de robótica móvil

En la evaluación del modelo de comportamiento afectivo que se presenta en el capítulo 8, se evaluó de manera integral el modelo y no se evaluaron de manera separada cada uno de los dos componentes del modelo. Se llevó a cabo así ya que una de las formas en que se puede evaluar el modelo afectivo del estudiante es preguntarle al propio estudiante su estado afectivo. Sin embargo, los estudiantes participantes en el estudio fueron niños de alrededor de 12 años de edad, y consideramos que no es conveniente preguntarles acerca de su estado afectivo en cada momento de interacción con el programa, ni el impacto que pudieran tener las acciones tutoriales en su estado pedagógico y afectivo. Por estas razones se llevó a cabo una segunda evaluación del modelo en un dominio de prueba donde los individuos participantes pudieran contestar las preguntas anteriores.

Para realizar este estudio se utilizó un sistema tutor inteligente de robótica móvil desarrollado por el Tecnológico de Monterrey Campus Cuernavaca en colaboración con el Campus Cd. de México (Noguez y Sucar, 2005). En el STI de robótica móvil, los estudiantes aprenden los conceptos básicos sobre robótica móvil antes de construir el robot físico. En este STI los estudiantes desarrollan experimentos que les permiten explorar las diferentes configuraciones de los robots móviles, así como manipularlos. Para poder usar el sistema, los estudiantes deben contestar un examen de diagnóstico que permite dar una categoría al estudiante y de esta manera presentarles los ejercicios adecuados para su nivel de conocimiento. Después de que los estudiantes llevan a cabo los experimentos, el sistema le proporciona instrucción adecuada para su desempeño. En la figura 9.1 se muestra la interfaz del STI de robótica móvil.

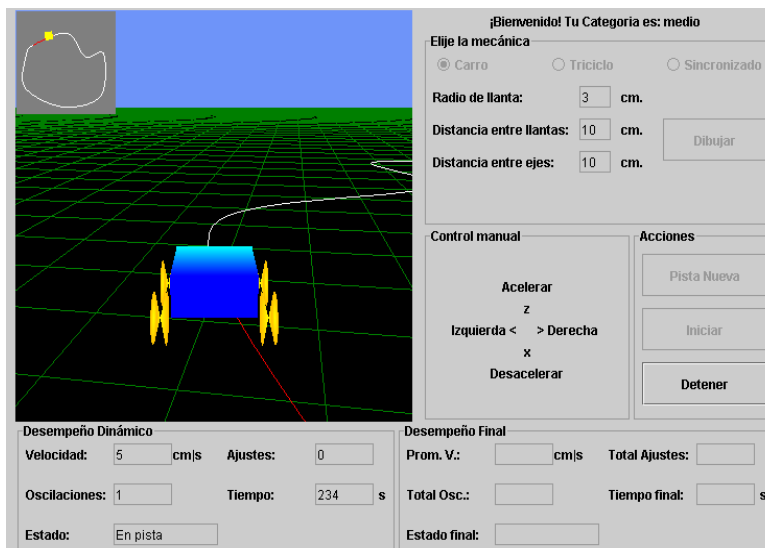


Figura 9.1. Interfaz del STI de robótica móvil. Se presenta un experimento de seguimiento de pista. La primera parte del experimento consiste en establecer la configuración del robot, después el estudiante guía al robot por la pista, por medio de la velocidad y vueltas a la izquierda y a la derecha. El STI muestra en todo momento el desempeño del estudiante, así como el desempeño final.

Como puede observarse en la figura 9.1, los estudiantes interactúan con el sistema tutor inteligente por medio de simulaciones en tercera dimensión. Los experimentos están relacionados con competencias de robots; por ejemplo, seguimiento de línea. El experimento de la figura 9.1 abarca conceptos de diseño mecánico de robots y permite a los estudiantes explorar tres diferentes modelos de cinemática y los diferentes parámetros para cada modelo.

Para dar una instrucción adecuada a los estudiantes, el sistema tutor inteligente tiene un modelo pedagógico del estudiante basado en redes bayesianas (Noguez y Sucar, 2005). El STI utiliza el modelo pedagógico del estudiante para dar instrucción al estudiante cuando hay evidencia de que el estudiante no ha aprendido con el desarrollo del experimento. Esto puede ocurrir cuando el estudiante termina el experimento o el STI puede detener el experimento si el estudiante ha tenido un desempeño inadecuado. Para estimar la probabilidad de que el estudiante conozca los conceptos del experimento se utilizan los resultados del experimento y el comportamiento de exploración.

Las acciones pedagógicas en el STI de robótica móvil consisten en lecciones de los temas del experimento desarrollado. Las lecciones se presentan en tres niveles: tema, subtema y concepto. Las lecciones se presentan por medio de archivos con texto y gráficos. También se tiene la posibilidad de no presentar ninguna explicación al estudiante. En la figura 9.2 se muestra un ejemplo de lección y en la tabla 9.1 se muestran las acciones pedagógicas de un experimento en el STI de robótica móvil.

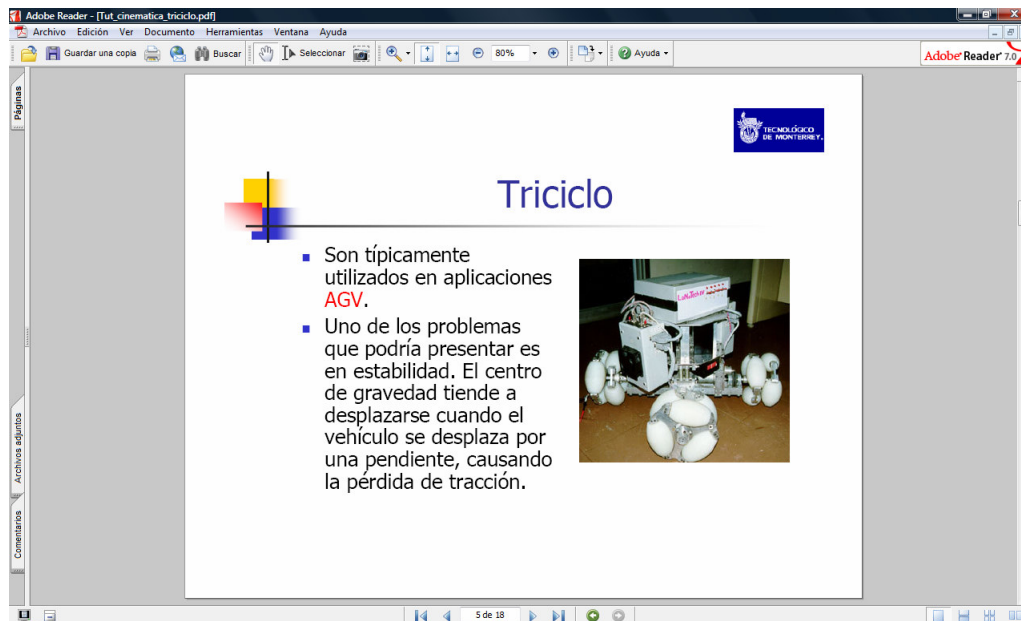


Figura 9.2. Ejemplo de una explicación disponible en el STI de robótica móvil. Se presenta la descripción del subtema “Configuración de un robot tipo triciclo”, este subtema forma parte del tema de un experimento.

Tabla 9.1. Ejemplo de acciones pedagógicas de un experimento en el STI de robótica móvil.

Tipo de lección	Lección
Tema	Cinemática de robots
Subtema	Robots móviles en forma de carro
	Robots móvil tipo triciclo
	Robots móviles en forma de robot sincronizado
Concepto	Dimensiones de un robot <i>Ackerman</i>
	Ángulo eje-carro <i>Ackerman</i>
	Velocidad angular
	Medidas de robots que participan en competencias

El estado pedagógico del estudiante está modelado por medio de una red bayesiana que representa las relaciones entre los temas, los subtemas y los conceptos básicos del experimento. En la siguiente sección se describe el modelo pedagógico del estudiante.

9.1.1. Modelo pedagógico del estudiante

El STI de robótica móvil cuenta con un modelo pedagógico del estudiante basado en redes bayesianas y en el modelo relacional probabilístico, que es un modelo general que se aplica a cada experimento en el STI. Por modelo pedagógico del estudiante nos referimos a la estructura que representa solamente el estado de conocimiento del estudiante, y no representa el estado afectivo del estudiante. La figura 9.3 muestra la red bayesiana que representa el modelo pedagógico del estudiante para uno de los experimentos en el STI. La red ilustra las relaciones de dependencia entre los resultados del experimento con los temas, subtemas y conceptos del experimento, y finalmente con la categoría del estudiante.

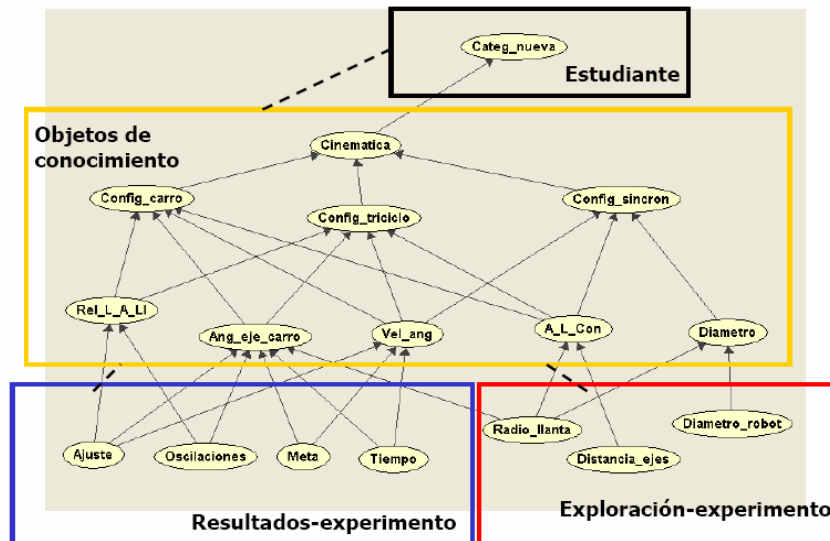


Figura 9.3. Modelo pedagógico del estudiante. Esta red bayesiana corresponde al experimento de seguimiento de pista. Las relaciones entre los nodos representan las relaciones de dependencia entre los temas, subtemas y conceptos del experimento.

El modelo del estudiante se actualiza con los resultados del experimento y con el comportamiento de exploración del estudiante durante el experimento. Cada nodo en esta red representa un concepto que el estudiante debe aprender con el desarrollo del experimento. Cada uno de estos nodos tiene la probabilidad de que el estudiante conozca dicho concepto, que se infiere con base en los resultados del experimento y en su comportamiento de exploración de los parámetros del robot.

9.2. Integración del modelo de comportamiento afectivo

En la implementación del modelo de comportamiento afectivo para el STI de robótica móvil, se usan las acciones pedagógicas ya incluidas en el STI, sin embargo se agrega al funcionamiento del STI el personaje *Robby* de *Microsoft Agent* para entregar las acciones pedagógicas al estudiante. Este personaje fue seleccionado por los profesores participantes en el estudio presentado en el capítulo 7. Las acciones pedagógicas y las acciones de *Robby* (acciones afectivas) que se presentan al estudiante son establecidas por el modelo de comportamiento afectivo. En la tabla 9.2 se muestran las acciones afectivas que el modelo de comportamiento afectivo utiliza, así como una descripción de las mismas; mientras que en la figura 9.4 se presenta a *Robby* llevando a cabo las acciones afectivas.

Tabla 9.2. Acciones afectivas en el modelo de comportamiento afectivo para el STI de robótica móvil.

Acciones afectivas			
Id	Nombre <i>Microsoft</i>	Descripción de la animación	Significado de la acción
AA1	<i>Acknowledge</i>	Asiente con la cabeza	Decir al estudiante que tuvo un buen desempeño
AA2	<i>Announce</i>	Recibe un mensaje impreso por él mismo	Decir al estudiante que está teniendo un buen desempeño
AA3	<i>Congratulate</i>	Levanta las manos en señal de felicitación	Felicitar al estudiante por su desempeño
AA4	<i>Confused</i>	Se rasca la cabeza en señal de no saber que pasa	Decir al estudiante que su desempeño no fue bueno, pero que él conoce los temas del experimento
AA5	<i>GetAttention</i>	Levanta las manos para llamar la atención del estudiante	Decir al estudiante que necesita ayuda y darle un consejo o decirle que pida ayuda
AA6	<i>Explain</i>	Extiende un brazo hacia un lado	Dar una explicación al estudiante cuando el estudiante no conoce los temas del experimento
AA7	<i>Suggest</i>	Muestra un foco	Decir al estudiante que lo que le va a explicar le ayudará en su desempeño
AA8	<i>Think</i>	Se rasca la cabeza en señal de buscar una idea	Decir al estudiante que está buscando la mejor manera de explicarle

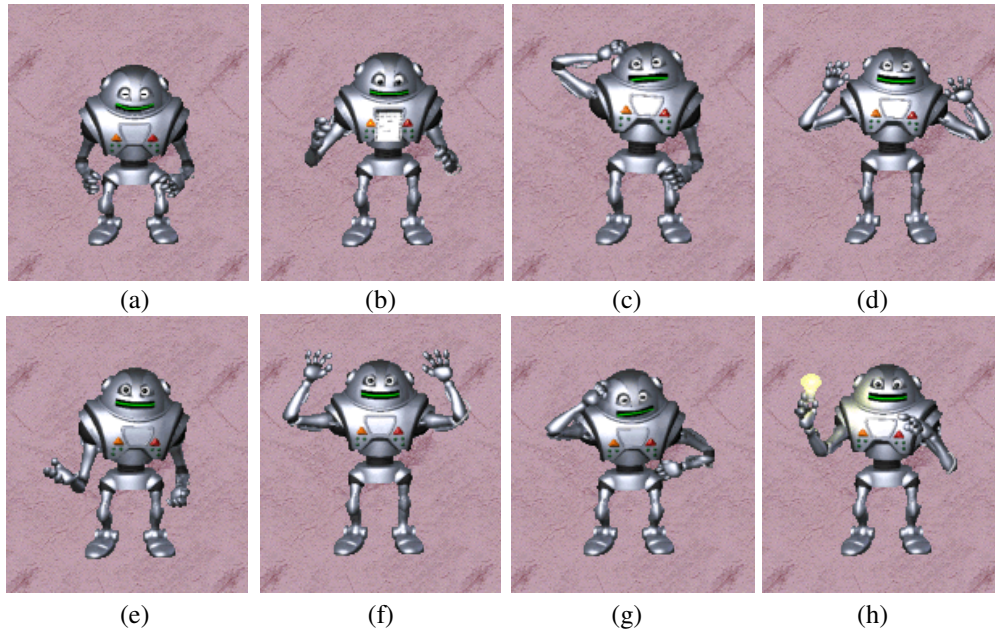


Figura 9.4. Acciones afectivas en el modelo de comportamiento afectivo para el STI de robótica móvil. Se presentan las ocho acciones afectivas seleccionadas por los profesores: a) *acknowledge*, b) *announce*, c) *confused*, d) *congratulate*, e) *explain*, f) *getAttention*, g) *think* y h) *suggest* (Copyright Microsoft Corporation, todos los derechos reservados).

En la figura 9.5 se muestra un ejemplo de acción tutorial en el modelo de comportamiento afectivo. Una acción tutorial se compone de una acción pedagógica y una acción afectiva. La acción pedagógica es presentar una lección al estudiante, y la acción afectiva es la animación *explain* de Robby. En el capítulo 6 se describe con más detalle el modelo afectivo del tutor.

Figura 9.5. Ejemplo de acción tutorial seleccionada por el modelo de comportamiento afectivo para el STI de robótica móvil. Una acción tutorial se compone de una acción afectiva y una acción pedagógica. Se presenta una animación y una lección.

9.3. Estudios de usuario para evaluar el modelo de comportamiento afectivo

En el estudio de usuario para evaluar el desempeño del modelo de comportamiento afectivo en el STI de robótica móvil participó un grupo de 20 estudiantes de los niveles de licenciatura, maestría y doctorado. La distribución de estudiantes se muestra en la tabla 9.3.

Tabla 9.3. Estudiantes participantes en el estudio de usuario del STI de robótica móvil.

Grado	Edad promedio	No. de estudiantes
Licenciatura	21.00	1
Maestría	26.44	16
Doctorado	41.67	3
Total:		20

Este estudio se llevó a cabo con una metodología diferente a la utilizada en el estudio para el juego educativo (ver capítulo 8). En el caso del juego educativo se evaluó el conocimiento del estudiante antes y después de interactuar con el sistema, se obtuvo la ganancia en el aprendizaje y esta ganancia se comparó entre grupos que interactuaron con el juego educativo *sin* el modelo de comportamiento afectivo y grupos que interactuaron con el juego educativo *con* el modelo de comportamiento. De esta manera se evaluó el desempeño general del modelo de comportamiento afectivo.

En este caso, la evaluación del modelo de comportamiento afectivo en el STI de robótica móvil consistió en un estudio Mago de Oz. El objetivo de los estudios Mago de Oz es obtener información (para diseño y evaluación) sobre prototipos o sobre sistemas que aún no han sido terminados (Dow y MacIntyre, 2007). El uso de este tipo de estudios viene desde los inicios de la interacción humano-computadora y ha sido usada ampliamente para emular tecnologías en sistemas interactivos (Dow y MacIntyre, 2007; Dow *et al*, 2005; Anderson *et al*, 2002). El fundamento de los estudios Mago de Oz consiste en usar operadores o mecanismos ocultos para emular temporalmente partes no finalizadas de un sistema de cómputo durante su desarrollo (Dow y MacIntyre, 2007).

En (Anderson *et al*, 2002) se presenta un estudio Mago de Oz para encontrar la mejor relación entre los movimientos que el usuario hace por medio de un muñeco y las expresiones afectivas de su avatar en la pantalla. En (Dow *et al*, 2005) se presenta una propuesta para extender la metodología de los estudios Mago de Oz para incluir colaboración de diversos magos. El objetivo es apoyar el desarrollo de sistemas interactivos donde participan artistas, expertos en interacción humano-computadora y desarrolladores. En (Kelley, 1984) se describe el uso de la metodología Mago de Oz para el desarrollo de una aplicación de lenguaje natural.

En este estudio se presentó a los estudiantes diferentes escenarios de tutoría y las correspondientes respuestas del tutor. Como parte del estudio los estudiantes contestaron una prueba de personalidad. Las respuestas del tutor estuvieron basadas en dichos escenarios y

en la personalidad de cada estudiante y fueron establecidas por el modelo de comportamiento afectivo. Los participantes en el estudio recibieron las acciones del tutor a través del agente animado. El objetivo es simular la interacción del estudiante y el sistema tutor inteligente con el modelo de comportamiento afectivo integrado, ya que el modelo no se ha integrado al sistema tutor inteligente.

El proceso para obtener información sobre el desempeño del modelo afectivo del estudiante consistió en preguntar al estudiante su estado afectivo después de cada interacción con el sistema y compararlo con el estado afectivo establecido por el modelo y de esta manera ver la precisión del modelo. Se decidió evaluar el modelo afectivo del estudiante de esta manera ya que no contamos con otros mecanismos para detectar o inferir el estado afectivo de los estudiantes. Además dichos mecanismos también tendrían que ser evaluados para probar su precisión. Preguntar al estudiante su estado afectivo es una de las propuestas aceptadas para establecer el estado afectivo (Abbasi *et al*, 2007; Porayska, 2004; Kort, 2001; Elliot, Rickel y Lester, 1999).

Un estudio para correlacionar las expresiones faciales espontáneas con estados afectivos se presenta en (Abbasi *et al*, 2007). En este estudio, los participantes fueron expuestos a ciertos eventos, sus expresiones en respuesta a estos eventos fueron grabadas y posteriormente se solicitó que dijeran cual era su estado afectivo después de los eventos. El objetivo fue establecer que tanta información pueden dar las expresiones faciales acerca de los estados afectivos.

La efectividad de las acciones pedagógicas se midió al comparar el estado pedagógico del estudiante antes y después de la tutoría, ambos estados establecidos por el mismo estudiante. Al finalizar la interacción con el sistema, el estudiante contestó un cuestionario general para conocer su opinión sobre el proceso de tutoría. El objetivo de esta metodología fue obtener el mayor conocimiento posible sin afectar el estado afectivo del estudiante.

En el estudio, los participantes observaron videos del desarrollo de algunos experimentos en el STI de robótica móvil más que desarrollar ellos mismos los experimentos. Como consecuencia de esta decisión, no se aplicaron exámenes de conocimiento a los estudiantes, ya que no sería razonable pues no interactuaron con el sistema de manera directa. Además de lo anterior, los exámenes de conocimiento implicarían más cuestiones por contestar por parte de los estudiantes y esto influiría en su estado afectivo y por lo tanto, afectaría la respuesta del estudiante y esta ya no sería representativa del estado afectivo generado por las acciones tutoriales.

Como resultado de este estudio, además de obtenerse valores de referencia sobre la precisión y desempeño del modelo de comportamiento afectivo, se obtuvo información que puede utilizarse en la integración del modelo de comportamiento afectivo en el STI de robótica móvil, y para diseñar otros estudios de evaluación del desempeño del mismo modelo, ya sea mediante la metodología Mago de Oz o mediante la metodología utilizada en el caso del juego educativo (capítulo 8).

El punto importante de este segundo estudio fue la evaluación del modelo del estudiante (primer componente del modelo de comportamiento afectivo), ya que ésta no se llevó a cabo en el primer estudio por ser los participantes niños con edades alrededor de 12 años a quienes les sería difícil evaluar sus características de personalidad, así como sus emociones. Esto se debe a que en los cuestionarios, las preguntas utilizan términos que serían difíciles de comprender para su corta su edad; mientras que ésta es una tarea que los adultos pueden hacer con relativa facilidad.

En este segundo estudio de evaluación, también llevamos a cabo la segunda etapa, la evaluación del modelo afectivo del tutor (segundo componente del modelo de comportamiento afectivo) para obtener información que pudiera ayudar a mejorar el modelo y diseñar otros estudios de usuario en trabajos futuros.

Las pruebas del modelo de comportamiento afectivo con el sistema tutor inteligente de robótica móvil son complementarias a las pruebas realizadas con el sistema tutor inteligente de factorización de números, las cuales están realizadas con los lineamientos generalmente aceptados para evaluación, comparación de resultados de exámenes previos y posteriores (Ainsworth y Flemming, 2005).

En la simulación de la interacción con el sistema, se presentó a los estudiantes diferentes escenarios de tutoría en el STI de robótica móvil mediante video y pudieron apreciar las acciones tutoriales establecidas por el modelo de comportamiento afectivo. Las acciones tutoriales fueron establecidas con base en el desarrollo de los experimentos y en las características de personalidad de los estudiantes (de la manera en que lo establece el modelo de comportamiento afectivo) posteriormente se solicitó su opinión acerca del desempeño del STI afectivo. En la figura 9.6 se presenta un diagrama de bloques del desarrollo del estudio.

En el estudio se presentaron tres experimentos en video a los estudiantes. Las flechas en color negro representan el flujo en el desarrollo del estudio y las flechas en color azul indican el conocimiento que recibe y genera el modelo de comportamiento afectivo. El modelo de comportamiento afectivo generó las acciones tutoriales con base en el estado afectivo y pedagógico del estudiante así como en la situación tutorial. El estado afectivo del estudiante se estableció con base en la personalidad particular de cada participante (metas particulares de cada estudiante), en su conocimiento previo (se preguntó a cada estudiante qué tanto sabía de robótica móvil antes del estudio) y en los resultados del experimento (evidencia fija para cada experimento en video). El estado pedagógico se establece con base en el conocimiento previo y en los resultados del experimento.

Es conveniente destacar que el modelo de comportamiento afectivo si se implementó para llevar a cabo este estudio, el modelo recibió como entrada la información del experimento y del estudiante y estableció las acciones afectivas y pedagógicas que fueron presentadas a los estudiantes. Las acciones afectivas fueron presentadas por el agente animado. La parte simulada del estudio es la interacción del modelo con el STI durante el desarrollo del experimento, en este caso el estudiante vio videos del desarrollo de los experimento.

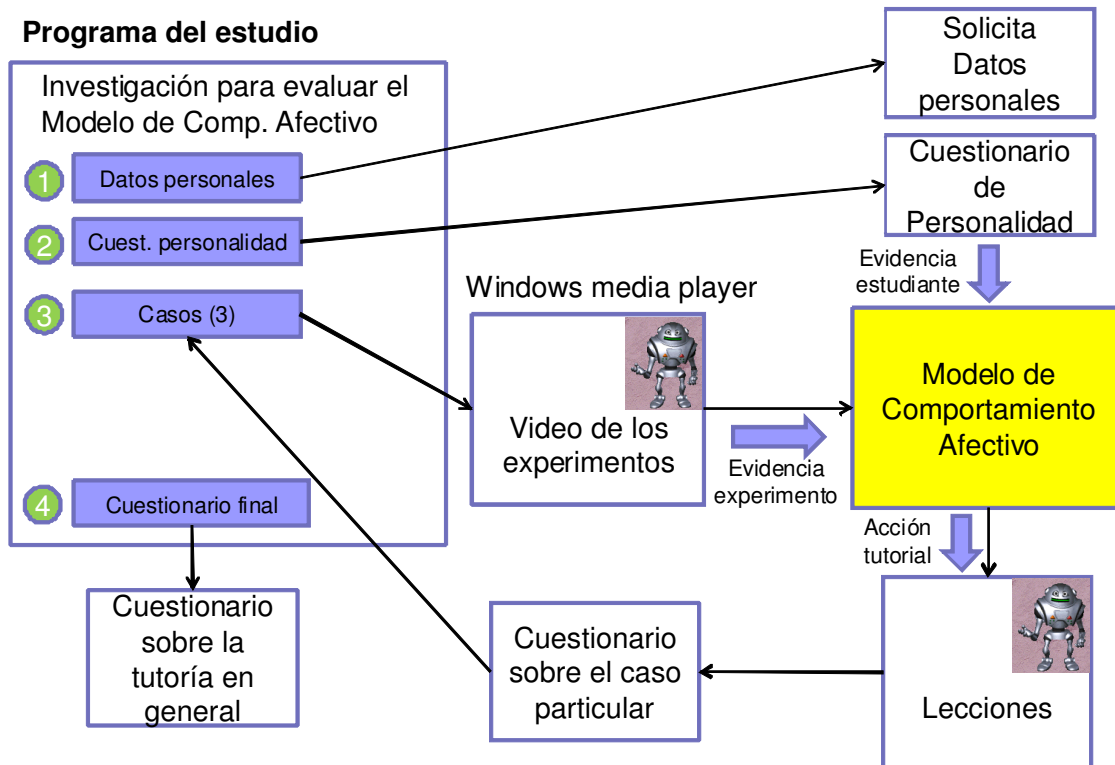


Figura 9.6. Diagrama de bloques del estudio de usuario para el STI de robótica móvil. Las flechas azules indican el conocimiento que entra al modelo de comportamiento afectivo para generar las acciones tutoriales, también representadas con una flecha azul.

9.3.1. Diseño del estudio

Como primer punto del estudio, se presentó el STI de robótica móvil a los estudiantes, se describió el objetivo del mismo y se les explicó su funcionamiento y cómo usarlo. Después los estudiantes contestaron una prueba de personalidad basada en el modelo de personalidad de los cinco factores. La prueba de personalidad se presenta en el anexo A.

Como parte principal del estudio se mostró el video de tres experimentos desarrollados en el STI. Después de observar cada experimento se presentaron las acciones pedagógicas y afectivas que el modelo de comportamiento afectivo consideró adecuadas para la situación. Al terminar de revisar las acciones entregadas por el modelo, se solicitó a los estudiantes que contestaran unas preguntas acerca de su estado afectivo y su estado pedagógico (ver figura 9.6). En la tabla 9.4 se muestran las preguntas que contestaron los estudiantes después de cada experimento. El objetivo de este cuestionario es conocer la manera en que afectan las acciones pedagógicas en el estado de conocimiento del estudiante, así como la manera en que influyen las acciones afectivas en el estado emocional del estudiante.

Después de ver los tres experimentos, las acciones tutoriales para cada experimento y contestar el cuestionario para cada experimento, se presentó a los estudiantes un cuestionario

general sobre el estudio. En la tabla 9.5 se presenta el cuestionario general. El objetivo de este cuestionario es conocer la opinión general de los estudiantes acerca del desempeño del modelo de comportamiento afectivo, así como sobre la relación entre estado afectivo y aprendizaje.

Tabla 9.4. Cuestionario presentado a los estudiantes después de cada experimento.

Preguntas	
1	Califica tu estado afectivo después de llevar a cabo el experimento: - Hacia el laboratorio Alegría 5-----4-----3-----2-----1 tristeza - Hacia el tutor Admiración 5-----4-----3-----2-----1 reproche - Hacia ti mismo Orgullo 5-----4-----3-----2-----1 vergüenza
2	Califica tu estado afectivo después de recibir la tutoría/explicación - Hacia el laboratorio Alegría 5-----4-----3-----2-----1 tristeza - Hacia el tutor Admiración 5-----4-----3-----2-----1 reproche - Hacia ti mismo Orgullo 5-----4-----3-----2-----1 vergüenza
3	Califica tu conocimiento sobre el tema del experimento después de llevar a cabo el experimento Bueno 5-----4-----3-----2-----1 malo
4	Califica tu conocimiento sobre el tema del experimento después de de recibir la tutoría/explicación Bueno 5-----4-----3-----2-----1 malo
5	¿La acción pedagógica que se te presentó fue adecuada para tu desempeño y conocimiento? Mucho 5-----4-----3-----2-----1 Nada
6	¿La acción afectiva que se te presentó fue adecuada para tu estado afectivo? Mucho 5-----4-----3-----2-----1 Nada
7	Comentarios

Tabla 9.5. Cuestionario general presentado a los estudiantes al finalizar el estudio.

Preguntas	
1	¿Los movimientos del agente animado ayudan a mejorar la motivación del estudiante? Mucho 5-----4-----3-----2-----1 Nada
2	¿La instrucción/tutoría que se presentó es útil para aprender? Mucho 5-----4-----3-----2-----1 Nada
3	¿Te gustó el agente pedagógico animado? Si No ¿Por qué?
4	¿Te gustó la instrucción? Si No ¿Por qué?
5	¿Cuando estás en clase/tutoría te gusta que el profesor/tutor tome en cuenta tu estado afectivo al momento de darte la clase/tutoría? Si No ¿Por qué?
6	Comentarios adicionales

9.3.2. Resultados del estudio

La primera parte del estudio es la evaluación del modelo afectivo del estudiante. El número de coincidencias y discrepancias entre el modelo afectivo del estudiante y el estado afectivo reportado por el estudiante para cada emoción se presenta en la tabla 9.6, se toma como valor correcto el establecido por el estudiante. Los resultados se muestran de manera gráfica en la figura 9.7, mientras que en la tabla 9.7 se muestran las 60 respuestas que se obtuvieron en el estudio y se compara el estado afectivo reportado por el estudiante con el estado afectivo establecido por el modelo. Se tienen 60 respuestas ya que en el estudio participaron 20 estudiantes y cada uno dio respuesta a tres experimentos. Se muestran el número y porcentaje de coincidencias de manera separada para cada emoción del modelo.

Tabla 9.6. Número de casos de coincidencias y discrepancias en el estado afectivo reportado por el estudiante y el estado afectivo establecido por el modelo de comportamiento afectivo para cada emoción.

	Alegría-tristeza		Admiración-reproche		Orgullo-vergüenza	
	Alegría	Tristeza	Admiración	Reproche	Orgullo	Vergüenza
Coincidencias	32	11	20	13	30	12
Discrepancias	9	8	7	20	8	10
Total	41	19	27	33	18	42

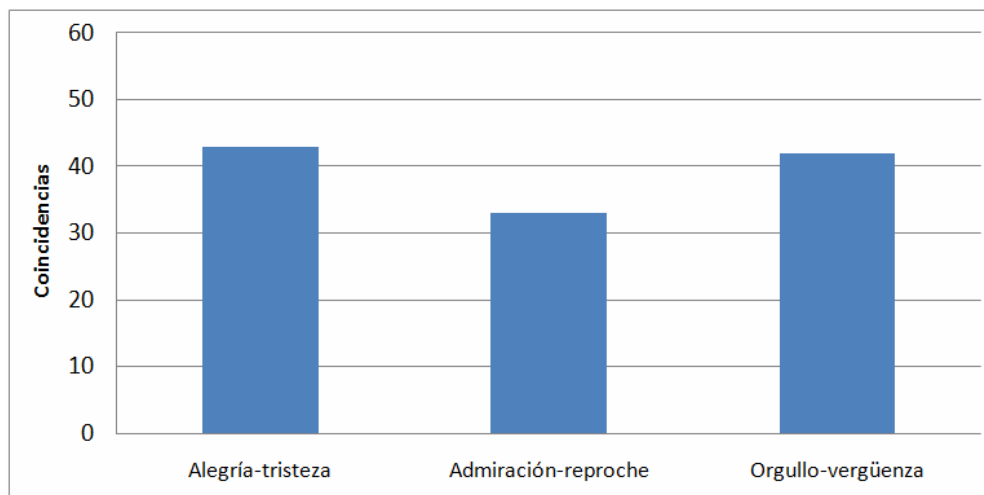


Figura 9.7. Coincidencias entre el modelo afectivo del estudiante y el estado afectivo reportado por los estudiantes. El porcentaje de coincidencia para las emociones *alegría-tristeza* y *orgullo-vergüenza* se ubica alrededor del 70% mientras que para la emoción *admiración-reproche* en un 55%.

Como puede observarse en el caso de la emoción *alegría-tristeza* hubo 43 coincidencias entre lo reportado por el estudiante y lo establecido por el modelo, lo que equivale a un 71.67%. En el caso de la emoción *admiración-reproche* hubo 33 coincidencias lo que equivale a un 55%; mientras que en el caso de la emoción *orgullo-vergüenza* hubo 42 coincidencias lo que equivale a un 70%.

Tabla 9.7. Coincidencias en el estado afectivo reportado por el estudiante y el estado afectivo establecido por el modelo de comportamiento afectivo.

Registro	Alegria-tristeza		Admiración-reproche		Orgullo-vergüenza	
	Estudiante	Modelo	Estudiante	Modelo	Estudiante	Modelo
1	Tristeza	Tristeza	Reproche	Reproche	Vergüenza	Vergüenza
2	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
3	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
4	Tristeza	Tristeza	Reproche	Reproche	Vergüenza	Vergüenza
5	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
6	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
7	Tristeza	Tristeza	Admiración	Reproche	Vergüenza	Vergüenza
8	Tristeza	Alegría	Admiración	Admiración	Vergüenza	Orgullo
9	Tristeza	Alegría	Admiración	Admiración	Vergüenza	Orgullo
10	Tristeza	Tristeza	Reproche	Reproche	Orgullo	Vergüenza
11	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
12	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
13	Tristeza	Tristeza	Reproche	Reproche	Vergüenza	Vergüenza
14	Tristeza	Alegría	Admiración	Admiración	Vergüenza	Orgullo
15	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
16	Tristeza	Tristeza	Reproche	Reproche	Vergüenza	Vergüenza
17	Tristeza	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
18	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
19	Alegría	Tristeza	Reproche	Reproche	Orgullo	Vergüenza
20	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
21	Tristeza	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
22	Tristeza	Tristeza	Reproche	Reproche	Vergüenza	Vergüenza
23	Tristeza	Alegría	Reproche	Admiración	Vergüenza	Orgullo
24	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Vergüenza	Orgullo
25	Alegría	Tristeza	Reproche	Reproche	Orgullo	Vergüenza
26	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
27	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Vergüenza	Orgullo
28	Alegría	Tristeza	Reproche	Reproche	Orgullo	Vergüenza
29	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
30	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Vergüenza	Orgullo
31	Alegría	Tristeza	Admiración	Reproche	Vergüenza	Vergüenza
32	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
33	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Vergüenza	Orgullo
34	Alegría	Tristeza	Reproche	Reproche	Vergüenza	Vergüenza
35	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
36	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
37	Alegría	Tristeza	Admiración	Reproche	Orgullo	Vergüenza
38	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
39	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
40	Tristeza	Tristeza	Reproche	Reproche	Vergüenza	Vergüenza
41	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
42	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
43	Alegría	Tristeza	Reproche	Reproche	Orgullo	Vergüenza
44	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
45	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
46	Tristeza	Tristeza	Reproche	Reproche	Vergüenza	Vergüenza
47	Tristeza	Alegría	Reproche	Admiración	Vergüenza	Orgullo
48	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
49	Alegría	Tristeza	Admiración	Reproche	Vergüenza	Vergüenza
50	Tristeza	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
51	Alegría	Alegría	Reproche	Admiración	Orgullo	Orgullo
52	Tristeza	Tristeza	Admiración	Reproche	Orgullo	Vergüenza
53	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
54	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
55	Tristeza	Tristeza	Admiración	Reproche	Vergüenza	Vergüenza
56	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
57	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Vergüenza	Orgullo
58	Alegría	Tristeza	Admiración	Reproche	Orgullo	Vergüenza
59	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
60	Alegría	Alegría	Admiración	Admiración	Orgullo	Orgullo
Coincidencias	43		33		42	
Porcentaje	71.67%		55%		70%	

De los números anteriores podemos ver que el porcentaje de aciertos del modelo es bueno para las emociones *alegría-tristeza* y *orgullo-vergüenza*. Mientras que para la emoción *admiración-reproche* es relativamente bajo. Este comportamiento del modelo se puede explicar con los comentarios y respuestas de los profesores que participaron en el estudio que se describe en el capítulo 7. En la mayoría de los casos los profesores establecieron la emoción de los estudiantes hacia el profesor en un nivel negativo, y en sus comentarios expresaron que los estudiantes (o la mayoría de ellos) no consideran que el maestro les enseñe sino que ellos aprenden. Mientras que el modelo establece que si los estudiantes aprenden va aumentando la admiración hacia el maestro. De los comentarios de los profesores y de estos resultados concluimos que la emoción *admiración-reproche* tiene un umbral más alto que el umbral de las emociones *alegría-tristeza* y *orgullo-vergüenza*.

El segundo objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de las acciones afectivas y pedagógicas en el estado de afecto y de conocimiento de los estudiantes. En la tabla 9.8 se muestra como los estudiantes consideran que su estado afectivo cambió después de recibir las acciones tutoriales (compuestas de una acción pedagógica y de una acción afectiva). Para obtener el impacto en cada emoción, se tomó la diferencia entre el grado de la emoción antes de la acción tutorial y el grado de la emoción después de la acción tutorial.

Tabla 9.8. Impacto de las acciones tutoriales en el estado afectivo de los estudiantes.

Estado afectivo	Mejor estado		Igual estado		Peor estado	
	No. casos	Porcentaje	No. casos	Porcentaje	No. casos	Porcentaje
Alegría-tristeza	21	35%	33	55%	6	10%
Admiración-reproche	21	35%	31	52%	8	13%
Orgullo-vergüenza	24	40%	30	50%	6	10%
Edo. afectivo general	31	52%	20	33%	9	15%

Para obtener el impacto en el estado afectivo general se sumaron las diferencias de las tres emociones en cada uno de los sesenta casos. De esta manera el estudiante podía mejorar en una emoción y empeorar en otra, y al final tener un igual estado afectivo general después de recibir la acción tutorial.

En la tabla 9.8 podemos observar que en las tres emociones el porcentaje de casos en que los estudiantes consideran que su estado afectivo se mantuvo igual es más alto que el porcentaje de los casos en que los estudiantes consideran que su estado mejoró. Sin embargo, el porcentaje de casos en que los estudiantes consideran que su estado afectivo empeoró es muy bajo en los tres casos.

No obstante, considerando el impacto de las acciones tutoriales en el estado afectivo general, el porcentaje de casos en que los estudiantes consideran que su estado afectivo mejoró es más alto que los porcentajes de casos en que los estudiantes consideran que su estado afectivo se mantuvo igual o que empeoró.

En la tabla 9.8 se observa que el porcentaje de los estudiantes que empeoraron es más alto para la emoción *admiración-reproche* que para las otras dos emociones; esto de alguna

manera confirma que el umbral de la emoción *admiración-reproche* es más alto que el umbral de las otras dos emociones. Para comprobar esta hipótesis se podría hacer un análisis cuantitativo del impacto de la acción tutorial en la emoción *admiración-reproche*.

El siguiente punto es el análisis del impacto de las acciones tutoriales en el estado pedagógico del estudiante. En la tabla 9.9 se muestra cómo los estudiantes consideran que su estado pedagógico cambió después de recibir las acciones afectivas y pedagógicas. Podemos observar que en la mayor parte de los casos los estudiantes consideran que su estado pedagógico mejoró después de recibir las acciones tutoriales. Estos números aunque no son conclusivos ayudan a confirmar que al considerar el estado afectivo de los estudiantes al momento de la tutoría mejora el aprovechamiento de los estudiantes al fomentar un estado pedagógico positivo.

Tabla 9.9. Número y porcentaje de casos del impacto de las acciones tutoriales en el estado pedagógico de los estudiantes.

Estado Pedagógico	No. de casos	Porcentaje
Mejor estado	42	70%
Igual estado	15	25%
Peor estado	3	5%

Para establecer el impacto en el estado pedagógico se consideró cuantitativamente el impacto de las acciones tutoriales en dicho estado. Esto es, se tomó la diferencia del estado actual contra el estado anterior, y cuando la diferencia dio como resultado un número mayor que cero se considera que el estado afectivo mejoró.

El análisis anterior sobre el impacto de las acciones tutoriales en el estado afectivo y pedagógico de los estudiantes se llevó a cabo por número de casos. A continuación se presenta el análisis sobre impacto de las acciones tutoriales por número de estudiantes. En la tabla 9.10 se muestra como los estudiantes consideran que su estado afectivo cambió después de recibir las acciones tutoriales (compuestas de una acción pedagógica y de una acción afectiva) por número de estudiantes.

Tabla 9.10. Impacto de las acciones tutoriales en el estado afectivo de los estudiantes.

Estado afectivo	Mejor estado		Igual estado		Peor estado	
	Estudiantes	Porcentaje	Estudiantes	Porcentaje	Estudiantes	Porcentaje
Alegría-tristeza	9	45%	8	40%	3	15%
Admiración-reproche	11	55%	4	20%	5	25%
Orgullo-vergüenza	11	55%	6	30%	3	15%
Edo. afectivo general	13	65%	2	10%	5	25%

En la tabla podemos observar que para las tres emociones y para el estado afectivo general, el porcentaje de estudiantes que consideran que su estado afectivo mejoró después de recibir las acciones afectivas y pedagógicas es mayor que el porcentaje de estudiantes que

consideran que su estado afectivo se mantuvo igual y que el porcentaje de estudiantes que consideran su estado afectivo empeoró después de recibir las acciones tutoriales. Mientras que el porcentaje de estudiantes que consideran que su estado afectivo empeoró es muy bajo.

El porcentaje mayor se tiene en el caso del impacto en el estado afectivo general, ya que un 65% de los estudiantes considera que su estado afectivo general mejoró después de recibir las acciones tutoriales.

El siguiente punto es el análisis del impacto de las acciones tutoriales en el estado pedagógico del estudiante. En la tabla 9.11 se muestra como los estudiantes consideran que su estado pedagógico cambió después de recibir las acciones afectivas y pedagógicas.

Tabla 9.11. Número y porcentajes de estudiantes del impacto de las acciones tutoriales en el estado pedagógico de los estudiantes.

Estado Pedagógico	Estudiantes	Porcentaje
Mejor estado	18	90%
Igual estado	1	5%
Peor estado	1	5%

En la tabla podemos observar que en el 90% de los estudiantes consideran que su estado pedagógico mejoró después de recibir las acciones tutoriales. Estos números aunque no son conclusivos ayudan a confirmar que al considerar el estado afectivo de los estudiantes al momento de la tutoría, mejora el aprovechamiento de los estudiantes al fomentar un estado afectivo positivo.

Para establecer el impacto en el estado pedagógico se consideró cuantitativamente el impacto de las acciones tutoriales en dicho estado. Esto es, se tomó la diferencia del estado actual contra el estado anterior, y cuando la diferencia dio como resultado un número mayor que cero se considera que el estado afectivo mejoró.

9.3.3. Cuestionario

Como parte del estudio de usuario, los estudiantes contestaron un cuestionario en donde se les solicitó calificar el desempeño del modelo de comportamiento afectivo, además se les preguntó sobre la relación entre estado afectivo y aprendizaje. Los porcentajes de las respuestas de los estudiantes a cada una de las preguntas se presentan en la tabla 9.12.

En la pregunta 1 podemos ver que el 40% los estudiantes consideran que los movimientos del agente animado ayudan muy poco a mejorar la motivación, mientras que un 10% opina que no ayuda en nada. Estas respuestas se pueden explicar con los comentarios de los estudiantes acerca de la expresividad del agente animado, la mayoría de los estudiantes consideró que las animaciones de *Robby* no expresaban de manera clara sus intenciones.

Esto mismo fue expresado por los profesores participantes en el estudio para definir el modelo de comportamiento afectivo (ver capítulo 7), los profesores seleccionaron a *Robby* porque consideran que *Robby* es adecuado para la materia y para la audiencia del programa, sin embargo, consideran que *Merlín* es más expresivo que *Robby*.

Tabla 9.12. Respuestas de los estudiantes a las preguntas del cuestionario general.

Preguntas	Opciones de respuesta	Porcentajes de respuesta
Pregunta 1: ¿Los movimientos del agente animado ayudan a mejorar la motivación del estudiante?	Mucho-5	5%
	4	10%
	3	35%
	2	40%
	Nada-1	10%
Pregunta 2: ¿La instrucción/tutoría que se presentó es útil para aprender?	Mucho-5	0%
	4	5%
	3	30%
	2	40%
	Nada-1	25%
Pregunta 3: ¿Te gustó el agente pedagógico animado?	Si	75%
	No	25%
Pregunta 4: ¿Te gustó la instrucción?	Si	70%
	No	30%
Pregunta 5: ¿Cuando estás en clase/tutoría te gusta que el profesor/tutor tome en cuenta tu estado afectivo al momento de darte la clase/tutoría?	Si	100%
	No	0%

En la pregunta 2 se observa que el 40% de los estudiantes considera que las acciones pedagógicas que se presentaron no fue útil para mejorar en el desempeño de los experimentos, mientras que un 25% considera que no fue nada útil. Esto se puede deber a que los estudiantes se quejaron de que el contenido pedagógico fue muy matemático, muy poco intuitivo y que hacen falta ejemplos que tuvieran relación con el desarrollo del experimento; esto es, con la interfaz del STI. Por otro lado, algunos estudiantes opinaron que la instrucción fue muy monótona.

9.4. Resumen del capítulo

En este capítulo se presenta una segunda evaluación del modelo de comportamiento afectivo realizada mediante un estudio Mago de Oz. El dominio de prueba es un STI de robótica móvil. En esta evaluación se comparó lo establecido por el estudiante contra lo generado por el modelo. Los resultados de este estudio muestran que hay una correspondencia entre el estado afectivo inferido por el sistema con el estado afectivo reportado por el estudiante; así también, muestran que el modelo de comportamiento afectivo si ayuda a los estudiantes a aprender, de acuerdo con su propia opinión. Sin embargo, para tener resultados más concluyentes sobre el impacto del modelo en el aprendizaje es necesario llevar a cabo estudios más formales como el que se describe en el capítulo 8.

En este estudio se evaluó primeramente el modelo afectivo del estudiante. La evaluación se llevó a cabo comparando el estado afectivo reportado por el estudiante con el estado afectivo establecido por el modelo. El porcentaje de aciertos del modelo afectivo del estudiante es bueno para las emociones *alegría-tristeza* y *orgullo-vergüenza*; sin embargo en el caso de la emoción *admiración-reproche* es relativamente bajo.

El bajo porcentaje de aciertos en la emoción *admiración-reproche* se puede explicar con las declaraciones de los profesores que participaron en el estudio que se describe en el capítulo 7, en el sentido de que la emoción de los estudiantes hacia el profesor siempre fue calificada en un nivel negativo, y en sus comentarios expresaron que los estudiantes (o la mayoría de ellos) no consideran que el maestro les enseñe sino que ellos aprenden. Mientras que el modelo establece que si los estudiantes aprenden va aumentando la admiración hacia el maestro. De los comentarios de los profesores y de estos resultados concluimos que la emoción *admiración-reproche* tiene un umbral más alto que el umbral de las emociones *alegría-tristeza* y *orgullo-vergüenza*.

En la segunda parte del estudio, en donde se evalúa el modelo afectivo del tutor. Las respuestas de los estudiantes indican que, en su opinión, el modelo de comportamiento afectivo ayuda al aprendizaje y a mejorar el estado afectivo. El 90% de los estudiantes consideró tener un mejor estado pedagógico después de recibir las acciones tutoriales.

Aunque este estudio se llevó a cabo analizando las opiniones de los estudiantes, los resultados son motivadores, ya que los estudiantes opinan que su estado pedagógico mejoró al recibir las acciones tutoriales establecidas por el modelo. Por otro lado, la evaluación del modelo afectivo del estudiante arrojó resultados positivos ya que el porcentaje de coincidencia del estado establecido por el modelo con el estado afectivo reportado por el estudiante es del 70% excepto en el caso de la emoción *admiración-reproche* en donde el porcentaje de aciertos se encuentra en un nivel del 52%.

Capítulo 10

Conclusiones

*Unos pasos sin destino
por cuarenta mil caminos,
un acorde disonante,
nueve infiernos sin el Dante,
una eterna carcajada
de cenizas, polvo y nada,
aleluya.*

Aleluya No. 1 (Aute, 2003).

En este documento se presentó un trabajo de investigación cuyo objetivo es incluir y evaluar aspectos afectivos en el diseño de los sistemas tutores inteligentes. Con este fin se desarrolló un modelo de comportamiento afectivo compuesto por dos elementos: el modelo afectivo del estudiante y el modelo afectivo del tutor. El modelo afectivo de estudiante está basado en modelos de emociones y en modelos de personalidad, mientras que el modelo afectivo del tutor está basado en la intuición y en investigaciones con profesores para recabar conocimiento sobre cómo deciden qué acciones llevar a cabo de acuerdo con el estado de los estudiantes. El modelo se integró a dos sistemas tutores inteligentes en diferentes dominios y fue evaluado para analizar su impacto en el aprendizaje.

En este capítulo se describen las conclusiones derivadas de la investigación y se dan algunas pautas para investigaciones futuras en esta misma línea.

10.1. Conclusiones

Este trabajo de investigación está sustentado en la hipótesis de que el estado afectivo de los estudiantes influye en su aprendizaje y aprovechamiento. Para comprobar esta hipótesis se desarrolló un modelo de comportamiento afectivo para sistemas tutores inteligentes que fue probado en dos dominios: un juego educativo para aprender factorización de números y un STI de robótica móvil. La definición de dicho modelo de comportamiento afectivo incluyó dos grandes temas: 1) el modelado afectivo del estudiante y 2) la selección de las acciones tutoriales considerando el estado afectivo del estudiante.

Para el primer tema, modelar afectivamente al estudiante, se utilizó un modelo conocido de emociones, el modelo cognitivo de emociones OCC. El modelo fue adaptado para usarlo en el reconocimiento de las emociones de los estudiantes, y fue implementado computacionalmente en una manera distinta a la propuesta por los autores del modelo OCC.

Para el segundo tema, proponer un modelo que traduzca los estados afectivos en acciones del tutor, se utilizó la experiencia de profesores expertos, recabada por medio de estudios. Este es un modelo nuevo, producto de este trabajo, actualmente no se encuentra en la literatura trabajo en este respecto.

Utilizamos las estrategias de tutoría humana ya que creemos que la flexibilidad y adaptabilidad de estas estrategias a los diferentes estudiantes es la que permite que los profesores tengan éxito en motivar a los estudiantes y por ende a ayudarlos a aprender.

Las teorías de aprendizaje humano no se incluyen de manera explícita, sin embargo, la hipótesis de este trabajo está de acuerdo con lo establecido por teóricos del aprendizaje, en el sentido de que la afectividad es un componente indispensable de todo proceso intelectual (Piaget, 2005; Vygotsky, 1994). Esta tesis propone un modelo de tutor afectivo que establece las acciones tomando en cuenta el estado afectivo del estudiante con el objetivo de ayudarlos a aprender. Este modelo se construyó preguntando a profesores expertos cómo adaptan su instrucción a los diferentes estados afectivos de los estudiantes. En estos estudios se comprobó que los profesores toman en cuenta el estado afectivo al momento de seleccionar la instrucción que presentarán a los estudiantes. Las estrategias de los profesores humanos representan una combinación de su experiencia como profesor y de las estrategias pedagógicas que ha aprendido.

El objetivo de los experimentos realizados no fue confirmar la afirmación de Mahn y John-Steiner (Mahn y John-Steiner, 2002) que asevera que los factores afectivos tienen impacto en la construcción de la zona de desarrollo próximo, ZPD (*Zone of proximal development*), por lo que no se hizo ninguna medición o pregunta para este efecto. Sin embargo en el experimento con *Prime Climb* (capítulo 8), en las respuestas de los participantes a las preguntas del cuestionario final podemos observar que los estudiantes más pequeños expresaron una mayor simpatía hacia el agente pedagógico, mientras que los estudiantes mayores expresaron que les gustaría poder escoger el agente animado. Así también los estudiantes menores reportaron un mayor porcentaje de estado afectivo positivo que los

estudiantes mayores. Mientras que en los exámenes pudimos observar que los niños más pequeños aprendieron más que los estudiantes mayores. El estado afectivo positivo y la simpatía de los estudiantes menores hacia el agente, pudieran explicar de alguna manera que estos estudiantes aprendieron más que los estudiantes mayores. Esto es, debido a que los estudiantes más jóvenes sintieron mayor simpatía y un estado afectivo positivo, se construyó una ZPD más grande. Sin embargo lo anterior es una lectura de los resultados del experimento en el contexto de afectividad y ZPD; para afirmar o rechazar lo anterior es necesario realizar otros experimentos más dirigidos hacia ese fin.

10.1.1. Modelo afectivo del estudiante

El primer componente del modelo de comportamiento, el estado afectivo del estudiante se establece por medio un modelo de emociones: el modelo cognitivo de emociones OCC. Este modelo establece de manera relativamente sencilla las condiciones para que surjan las emociones. El modelo OCC expone que las emociones surgen como resultado de una comparación cognitiva de las metas contra la situación actual del estudiante; y esta sencillez redundante en una relativamente fácil implementación computacional.

Uno de los puntos más difíciles en la implementación computacional de OCC fue inferir las metas del estudiante dentro de la sesión de tutoría. Para solucionar este problema se utilizó el modelo de personalidad de los cinco factores, que establece de manera muy extensa los comportamientos de cada una de las dimensiones de la personalidad.

En la evaluación del modelo afectivo del estudiante, se obtuvo que la emoción del estudiante hacia la tutoría, *alegría-tristeza*, se estableció de manera correcta en el 72% de los casos, mientras que la emoción del estudiante hacia sí mismo, *orgullo-vergüenza*, se estableció de manera correcta en el 70% de los casos. Sin embargo, en el caso de la emoción que surge del estudiante hacia el tutor, *admiración-reproche*, se estableció correctamente en el 55% de los casos.

La falta de precisión al establecer la emoción *admiración-reproche* se puede explicar de los resultados de los estudios llevados a cabo para establecer el modelo de comportamiento afectivo. En estos estudios se les solicitó a los profesores que calificaran el estado afectivo de los estudiantes después de cada acción del estudiante. Los profesores evaluaron las emociones hacia la sesión de tutoría, y hacia sí mismos, en niveles positivos mientras que la emoción hacia el tutor la evaluaron en niveles negativos y el cambio de esta emoción de lo negativo a lo positivo lo evaluaron lento en comparación con las otras dos emociones.

Lo anterior significa que en el contexto de los sistemas tutores inteligentes, la emoción hacia el tutor tiene un umbral más alto entre el reproche y la admiración, lo cual no fue considerado en la definición del modelo afectivo del estudiante.

10.1.2. Modelo afectivo del tutor

Por el lado del segundo componente del modelo de comportamiento afectivo: el modelo afectivo del tutor; aunque es reconocido que el estado afectivo es muy importante para el aprovechamiento de los estudiantes y que los buenos maestros trabajan con el estado afectivo de los estudiantes para ayudarlos a aprender y aunque muchos autores lo exponen, aún no está establecida la relación entre estados afectivos y acciones del tutor.

Esta relación fue difícil de plasmar en el modelo de comportamiento afectivo, ya que intuitivamente sabíamos que las acciones del tutor tendrían un impacto en el estado afectivo del estudiante y en el estado pedagógico del estudiante, sin embargo faltaba cuantificar ese impacto y sobre todo identificar aquellas acciones que llevaran a mejorar el estado afectivo del estudiante, y como mostrarlas a los estudiantes.

El conocimiento derivado de las entrevistas con los profesores fue la base para establecer el impacto que producen las acciones afectivas y pedagógicas en el estado afectivo y pedagógico del estudiante. Los profesores establecieron que todas sus acciones están encaminadas a motivar a los estudiantes y que esto tendría como consecuencia un mejor aprendizaje por parte de los estudiantes. Sin embargo en algunas ocasiones las acciones que seleccionaban para ser presentadas al estudiante no reflejaban lo anterior, esto es, que sus acciones más que motivar parecían desaprobar al estudiante. Tomando en cuenta la premisa de que todas las acciones van encaminadas a fomentar un mejor estado afectivo y por ende un mejor estado pedagógico, estas acciones se interpretaron como que los beneficios de esas acciones no se darían de manera inmediata sino que tendrían utilidad en el proceso de tutoría en general y se vería reflejado más adelante. Este comportamiento se observó principalmente cuando el profesor estableció un estado afectivo positivo en los estudiantes. Otra causa de este comportamiento de los profesores es que los estudiantes pudieran tener un estado afectivo que surgió por otras causas distintas a la tutoría y que los profesores identificaron con el comportamiento del estudiante en la interacción con el sistema. Esto nos hace establecer que al modelado afectivo del estudiante le hace falta modelar emociones que son independientes de la tutoría, pero que influyen en su estado de ánimo y disposición hacia el aprendizaje.

La decisión de incluir agentes pedagógicos animados en la presentación de las acciones afectivas obedece a querer ofrecer a los estudiantes una cara del tutor. Aunque los agentes pedagógicos pudieran considerarse distractores, las opiniones de los estudiantes acerca de ellos dicen lo contrario, y esto se comprueba con los resultados de las evaluaciones del modelo.

10.1.3. Evaluaciones

Para evaluar el modelo de comportamiento, éste se integró a dos sistemas tutores inteligentes, el primero para un juego educativo para aprender factorización de números y el otro para un STI de robótica móvil.

En la evaluación del modelo con el juego educativo participaron estudiantes de diferentes grados de primaria y secundaria. La evaluación consistió en dividir cada grado en dos grupos: un grupo de control, que jugaría con la versión del juego sin el modelo de comportamiento afectivo, y un grupo experimental que jugaría con la versión del juego con el modelo de comportamiento afectivo. Cada participante en el estudio contestó un examen previo y un examen posterior al juego, de esta manera se calculó la ganancia en el aprendizaje para cada grupo experimental y para cada grupo de control. Se emplearon algunas pruebas estadísticas para establecer si las diferencias entre las ganancias en el aprendizaje son significativas.

En la evaluación anterior se evaluó el desempeño general del modelo de comportamiento afectivo, y no fue evaluado de manera particular los dos componentes del modelo. Esto se debe a que los participantes son niños a quienes no se les podría preguntar acerca de su estado afectivo, estado pedagógico ni tampoco se les podría solicitar que contestaran un cuestionario de personalidad. Por esta razón se decidió llevar a cabo una segunda evaluación con el STI de robótica móvil.

En la evaluación del modelo con el STI de robótica móvil participaron estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado. La evaluación consistió en un estudio mago de Oz y como parte de este estudio se solicitó a los estudiantes que establecieran su estado afectivo y pedagógico antes y después de recibir las acciones tutoriales establecidas por el modelo. De esta manera se pudo comparar el estado afectivo establecido por el modelo contra el estado afectivo reportado por el estudiante. Además también se pudo establecer el impacto que tienen las acciones afectivas y pedagógicas establecidas por el modelo en el estado de los estudiantes, en la opinión de los mismos.

De las evaluaciones del modelo obtuvimos que los estudiantes casi nunca siguieron los consejos del agente pedagógico animado y casi nunca solicitaron ayuda de manera espontánea. Sin embargo, los estudiantes sí observaron las acciones afectivas por su naturaleza llamativa, al observar las acciones, éstas transmitieron a los estudiantes un mensaje que tuvo impacto en el aprendizaje.

Por otro lado, muchos estudiantes manifestaron querer cambiar el agente pedagógico animado por algún otro personaje de su preferencia o poder ocultarlo en algún momento. Lo anterior se debe a que la mayoría de los estudiantes están expuestos a la tecnología, en donde tienen la facilidad de configurar muchos aspectos de la interacción, por lo que les resulta inconveniente tener un agente animado al que no pueden seleccionar o al que no pueden ocultar cuando ellos lo deseen. Esta imposibilidad por parte de los estudiantes puede derivar en un estado afectivo negativo hacia el tutor y de esta manera debilitar el aprovechamiento de los estudiantes. Sin embargo, se debería evaluar si satisfacer las preferencias de los estudiantes o si tener un tutor que observa en todo momento tiene una mayor utilidad en el aprendizaje. Lo anterior establece la necesidad de incluir otros aspectos en el modelado afectivo del estudiante. Las preferencias y principios de los estudiantes deberían ser incluidos además de las metas, tal como lo establece el modelo OCC.

Con respecto a la representación del modelo, las redes bayesianas y de decisión proveyeron un mecanismo robusto que permitió representar el estado afectivo, así como establecer las acciones del tutor de manera precisa utilizando cualquier evidencia disponible. Sin embargo, se tuvo el inconveniente de que se requiere muchas probabilidades que son difíciles de establecer.

En la evaluación del modelo afectivo del tutor con el juego educativo tuvimos grupos con diferente nivel de conocimiento sobre factorización de números y con edades diferentes. Por lo que, tanto la versión afectiva como la versión no afectiva del juego tuvieron diferente impacto en diferentes grupos. Se tuvo un mayor impacto positivo en los estudiantes más pequeños que en los estudiantes mayores. Esto se debe a que el diseño del juego es más adecuado para los estudiantes menores que para los estudiantes mayores, particularmente en el desarrollo del mismo, ya que los estudiantes mayores requieren de un estilo de interacción más rápido debido a su fuerte exposición a las nuevas tecnologías.

En las evaluaciones del modelo afectivo del tutor con el juego educativo obtuvimos que comparando las ganancias en el aprendizaje en los grupos de control contra los grupos experimentales, los estudiantes aprendieron más al jugar con la versión afectiva del juego que aquellos estudiantes que aprendieron al jugar con la versión no afectiva del juego.

Por el lado de la evaluación del modelo afectivo del tutor en el STI de robótica móvil, el 65% de los estudiantes establecieron tener un mejor estado afectivo después de recibir las acciones tutoriales establecidas por el modelo, mientras que el 90% de los estudiantes estableció tener un mejor estado pedagógico después de recibir las acciones tutoriales establecidas por el modelo. Sin embargo, esta es una opinión de los estudiantes acerca del impacto de las acciones tutoriales establecidas por el modelo de comportamiento en su estado afectivo y pedagógico.

Finalmente, podemos decir que el modelo de comportamiento afectivo ayuda a aprender a los estudiantes cuyo perfil es adecuado para el sistema en donde se está probando el modelo; ya que en grupos equivalentes de estudiantes, uno jugando con la versión *no afectiva* y otro jugando con la versión *afectiva*, y el primer grupo aprendió del juego, entonces, el segundo grupo aprendió aún más; sin embargo, si el primer grupo no aprendió del juego, tampoco aprendió el segundo grupo.

10.2. Aportaciones de la investigación

Aunque en la literatura podemos encontrar muchas iniciativas para incluir el afecto en el desempeño de los sistemas de cómputo y particularmente en los sistemas tutores inteligentes, todavía hay mucho trabajo en esta línea de investigación, principalmente no han sido establecidas las emociones que son relevantes para el aprendizaje, tampoco se ha establecido como usar las emociones para establecer las acciones del tutor. Por lo anterior, la investigación presentada en este documento constituye uno de los primeros intentos para contestar estas preguntas. Las contribuciones de esta investigación son:

- 1) Proponer una arquitectura general de *sistema tutor inteligente afectivo*. Esta arquitectura incluye dos nuevos módulos: a) el modelo afectivo del estudiante, que representa el afecto del estudiante y extiende el modelo pedagógico del estudiante; b) el módulo afectivo, que razona con el conocimiento afectivo acerca del estudiante para ayudar al módulo tutor a establecer las acciones tutoriales óptimas.
- 2) Proponer una estructura de *acción afectiva*. La acción afectiva es el resultado del modelo de comportamiento afectivo y contiene conocimiento que se usa para establecer la acción pedagógica y la manera en que será presentada al estudiante. Se proponen tres tipos de acciones afectivas: neutra, moderada y fuerte; que aplican de acuerdo con la situación tutorial y el estado del estudiante.
- 3) Proponer un *modelo de comportamiento afectivo* genérico. El modelo de comportamiento afectivo puede integrarse a cualquier sistema tutor inteligente o programas educativos que tengan un modelo pedagógico del estudiante. El modelo establece el estado afectivo del estudiante de manera relativamente sencilla: mediante la personalidad del estudiante y los resultados de su interacción con el sistema. Y con el estado afectivo y pedagógico del estudiante establece las acciones tutoriales que conducirán hacia un mejor estado afectivo y una mayor disposición hacia el aprendizaje. El modelo de comportamiento afectivo se compone del modelo afectivo del estudiante y del modelo afectivo del tutor; ambos pueden utilizarse de manera independiente.
- 4) Proponer un *modelo afectivo del estudiante*, que puede utilizarse en otros programas que usen modelado del usuario (además de programas de educación y capacitación). La información necesaria para este modelo se obtiene de la interacción del usuario con el programa y ésta se procesa mediante un modelo probabilístico basado en el modelo OCC. Este modelo, a diferencia de otros modelos, al no incluir variables específicas del dominio de prueba puede fácilmente usarse en otros dominios.
- 5) Proponer un *modelo afectivo del tutor* que establece las acciones que se presentarán al estudiante con base en el estado afectivo del estudiante, además del estado de conocimiento del mismo. Este modelo está construido con base en estudios llevados a cabo con profesores expertos. El conocimiento sobre la experiencia de los profesores está representado mediante una red de decisión. Este componente del modelo de comportamiento afectivo puede verse como una extensión del modelo OCC.
- 4) Producir *conocimiento afectivo* con base en la experiencia de profesores. En dos estudios diferentes se presentó a veinte profesores diversos escenarios de tutoría, en donde establecieron las acciones afectiva y pedagógica que usarían para ayudar a aprender a los estudiantes. Este conocimiento puede usarse para diseñar otros estudios y obtener conocimiento más profundo sobre como los profesores ayudan a los estudiantes a aprender.

10.3. Trabajo futuro

Aunque hay muchas iniciativas para incluir el afecto en el desempeño de los sistemas tutores inteligentes y en general en el funcionamiento de los sistemas de cómputo; el trabajo presentado aquí representa uno de los primeros intentos por establecer una respuesta del tutor encaminada a mejorar el estado afectivo del estudiante y en consecuencia, el estado pedagógico del mismo. Por consiguiente, falta mucho trabajo por realizar, tanto en desarrollo de dispositivos y modelos que establezcan el estado afectivo del estudiante de manera más precisa, así como en el desarrollo de modelos formales de razonamiento afectivo.

En la definición del modelo afectivo del estudiante, un trabajo necesario es realizar un estudio para mejorar las probabilidades condicionales de la emoción *admiración-reproche*. Ya que, como se comentó anteriormente como resultado de la última evaluación del modelo se obtuvo que la precisión del modelo al establecer esta emoción es muy baja. Una de las posibles razones es una conclusión derivada del estudio con profesores; en los estudios los profesores la mayoría de las veces evaluaron la emoción del estudiante hacia ellos en un nivel negativo y moviéndose lentamente hacia el lado positivo de la emoción. Esto significa que los profesores han detectado que los estudiantes tienen una tendencia un tanto negativa en las emociones hacia los profesores.

El umbral de la emoción *admiración-reproche* es muy alto ya que los estudiantes consideran que son ellos quienes aprenden y no que el profesor les enseña. De acuerdo con lo establecido por los profesores las emociones tienen diferentes umbrales, de las tres emociones la emoción que surge más fácilmente es la *alegría-tristeza*, es decir tiene un umbral bajo, la emoción *orgullo-vergüenza* tiene un umbral ligeramente más alto, y la emoción más difícil de surgir es la *admiración-reproche*. Un trabajo interesante sería definir los umbrales para las emociones, sin embargo este razonamiento tiene que ser probado.

Uno de los trabajos futuros más interesantes sería incluir en el modelo del estudiante todas las emociones que establece el modelo OCC, ya que esto permitiría modelar emociones hacia eventos, objetos y agentes independientes del proceso de tutoría, pero que influyen decididamente en el estado afectivo del tutor. Estas emociones podrían usarse para establecer el estado de ánimo del estudiante.

Aunque algunos autores manejan de manera indistinta el estado afectivo y el estado de ánimo, hay una diferencia en ambos y radica en la duración. El estado de ánimo es una emoción de larga duración, que cambia lentamente; mientras que el estado afectivo es una emoción que dura poco tiempo y surge súbitamente como una reacción ante un evento, objeto o agente. El estado de ánimo predispone al agente hacia ciertos estados afectivos.

Al evaluar el modelo de comportamiento afectivo con estudiantes, encontramos que los estudiantes tienen ciertas preferencias en el desempeño de los sistemas así como en la presentación del material; y estas preferencias son muy importantes en la aceptación de los sistemas por parte de los estudiantes y consecuentemente en el estado afectivo que

queremos mejorar con las acciones tutoriales. Una línea de investigación podría ser incluir las preferencias de los estudiantes en el desempeño de los STI. Una de las principales preferencias que los estudiantes establecieron fue acerca de los agentes pedagógicos animados. En sus comentarios encontramos opiniones muy diversas que van desde que los agentes presentados son adecuados y agradables hasta los comentarios que establecen que son completamente inadecuados y hasta molestos y distractores. De lo anterior, el ambiente de aprendizaje podría contar con elementos que le permitan a los estudiantes seleccionar (o configurar) su propio agente animado, incluso deberían poder ocultarlo si así lo desean.

En el dominio de prueba del STI de robótica móvil, se detectó que aunque el modelo ayudó a establecer un mejor estado pedagógico y un mejor estado afectivo, el agente pedagógico animado no es muy expresivo, en este caso se podría desarrollar un agente animado más adecuado.

En dominios donde no es posible el uso de personajes pedagógicos animados, ya sea por considerarlo distractor, o por alguna otra razón, el modelo de comportamiento afectivo se puede extender para que las acciones afectivas no solamente sean animaciones sino que las acciones pedagógicas pudieran ser mostradas con colores o palabras que fomenten en el estudiante un mejor estado afectivo y esto a su vez una mayor disposición hacia al aprendizaje. Inclusive las acciones afectivas podrían no ser mostradas al estudiante y solamente mostrar la acción pedagógica establecida por el modelo de comportamiento afectivo con base en los estados afectivo y pedagógico del estudiante.

Por el lado de la definición del modelo afectivo del tutor. La estructura está basada en la intuición al representar la hipótesis que queremos probar. Además la estructura y relaciones entre las variables del modelo están fundamentadas en la experiencia de profesores. Por las características de la naturaleza humana, puede ser que los resultados obtenidos no se obtengan nuevamente en otros dominios de prueba. Por lo anterior es necesario llevar a cabo más estudios con más profesores en los mismos dominios o en nuevos dominios, que permitan obtener un modelo más general, o formalizar el modelo afectivo del tutor al incluir teorías que establezcan alguna relación de acciones de los profesores en los estados de los estudiantes.

El modelo de comportamiento afectivo puede utilizarse no solamente en sistemas tutores inteligentes, sino también en otros sistemas de educación tales como la capacitación de operadores, así como en sistemas de *e-learning*. También se puede usar en programas que necesiten modelado del usuario.

Actualmente, el modelo de comportamiento afectivo se está usando en la construcción de un ambiente inteligente de aprendizaje para capacitación de operadores (Arroyo-Figueroa *et al*, 2008a; Arroyo-Figueroa *et al*, 2008b; Arroyo-Figueroa, Hernández y Sucar 2006; Hernández, Arroyo-Figueroa y Sucar, 2005). En este ambiente se modela afectivamente al operador para generar un curso acorde a sus necesidades de capacitación y afectivas, además se puede hacer una replaneación dinámica del curso para reflejar los cambios en el estado afectivo y de conocimientos del estudiante. Los materiales de enseñanza y de evaluación se almacén en la forma de objetos reusables de aprendizaje.

Los resultados de este trabajo han sido presentados en los congresos más importantes relacionados con el área de investigación: en la conferencia internacional de sistemas tutores inteligentes, ITS 2008 (Hernández, Sucar y Conati, 2008) e ITS 2004 (Hernández, Morales y Mayora, 2004); en la conferencia internacional de inteligencia artificial en educación, AIED 2007 (Hernández y Sucar, 2007) y AIED 2005 (Hernández y Noguez, 2005), en la conferencia internacional de tecnologías avanzadas de aprendizaje, ICALT 2008 (Hernández, Sucar y Arroyo, 2008) e ICALT 2004 (Hernández, Morales y Mayora, 2004). Además también se ha presentado en uno de los congresos más importantes de modelado del usuario, en la conferencia internacional de modelado de usuario, UM 2005 (Hernández *et al*, 2005).

El objetivo general de este trabajo es ampliar el canal de comunicación estudiante-tutor a través de un modelo computacional de comportamiento afectivo para un sistema tutor inteligente, con lo que se busca que el estudiante se sienta más cómodo interactuando con el STI al obtener un trato personal, acorde con la situación y con su estado afectivo. Con esto se logra en el STI una mayor aceptabilidad y credibilidad por parte de los estudiantes, y finalmente obtener un mayor y más rápido aprovechamiento.

Este trabajo representa uno de los primeros intentos por incorporar el estado afectivo de los estudiantes en las acciones tutoriales, los resultados aquí expuestos pueden ser utilizados en investigaciones futuras para establecer un modelo afectivo del estudiante más preciso así como un modelo afectivo del tutor que establezca acciones que tengan un mayor impacto positivo en los estudiantes.

Referencias

- Abbasi, A. R., T. Uno, M. N. Dailey y N. V. Afzulpurkar (2007). *Towards Knowledge-based Affective Interaction: Situational Interpretation of Affect*, En memorias de Second International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction, ACII 2007, Lisboa, Portugal, Septiembre 12-14, 2007, pp 452-463.
- Adler, A., R. Ganeshan, L. Johnson, K. LaBore, E. Shaw, A. Marshall y Chon Yi (2008). *Advanced Distance Education*, University of South California, consultada en el periodo 2008, <http://www.isi.edu/isd/ADE/ade.html>
- Aguilar, R. A., A. de Antonio y R. Imbert (2006). *Pedagogical Virtual Agents to Support Training of Human Groups*, En memorias de Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, CERMA'06, Cuernavaca, México, Septiembre 26-29, 2006, pp. 149-154.
- Ainsworth S. y P. Fleming (2005). *Evaluating a Mixed-Initiative Authoring Environment: Is REDEEM for Real?*, En memorias de the 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AIED 05, Amsterdam, Países Bajos, Julio 18-22, 2005, pp. 9-16.
- Anderson, G., Hook, K., Mourao, Paiva, A. & Costa, M. (2002). *Using a Wizard of Oz study to inform the design of SenToy*, En memorias de 4th conference on Designing interactive systems, DIS 2002, Londres, Inglaterra, Junio 25-28, pp. 349-355.
- André, E., T. Rist y J. Müller, J. (1999). *Employing AI Methods to Control the Behavior of Animated Interface Agents*. Applied Artificial Intelligence, 13, 1999, pp. 415-448.
- Arroyo-Figueroa, G., L. Argotte, Y. Hernández e I. Galván (2008a), *Intelligent Environment for Training of Industrial Operators*, World Congress on

- Engineering & Computer Science 2008, WCECS 2008, San Francisco, EUA, Octubre 22-24, 2008, por publicarse.
- Arroyo-Figueroa, G., Y. Hernández, A. Reyes y E. Sucar (2008b). *Intelligent Environment with Pedagogical and Affective model for Training of Power Systems Operators*, En memorias de Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference 2008, CERMA 2008, Cuernavaca, México, Septiembre 30-Octubre 3, 2008, por publicarse.
- Arroyo-Figueroa, G., Y. Hernández, y E. Sucar (2006). *Intelligent Environment for Training of Power Systems Operators*, En memorias de The 10th International Conference on Knowledge-Based & Intelligent Information & Engineering Systems, KES 2006, Bournemouth, Inglaterra, Octubre 9-11, 2006, pp. 943-950.
- Atof Inc. y O. D. John (2005). *Test psicológico: Los cinco grandes*, consultada en el periodo enero-junio 2005, <http://es.outofservice.com/bigfive/>
- Aute, L. E. (2003). *Aleluya No. 1*, Auterretros Vol. 1, BMG Ariola, 2003.
- Axelrod, L. y K. Hone (2005). *E-motional advantage: performance and satisfaction gains with affective computing*, En memorias de The Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2005 conference, Portland, Oregon, EUA, Abril 2-7, 2005, pp. 1192-1195.
- Bartneck, C. (2002a). *Integrating the OCC Model of Emotions in Embodied Characters*, En memorias de Workshop on Virtual Conversational Characters: Applications, Methods, and Research Challenges, Melbourne, Australia, Noviembre 2002.
- Bartneck, C. (2002b). *eMuu – An Embodied Emotional Character for the Ambient Intelligent Home*, Tesis Doctoral, Ph.D. Thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Países bajos, 2002.
- Baum, L.F. (1900). *The Wonderful Wizard of Oz*, George M. Hill, 1900.
- Beck, J., Stern, M., y Haugsjaa, E. (1996). *Applications of AI in education*. ACM Crossroads, 3(1), Otoño 1996, <http://www.acm.org/crossroads/xrds3--1/aied.html>
- Benedetti, M. ().Viceversa.
- Boeree, G. (2006a). *Teorías de la personalidad*, e-book, 2006, <http://www.ship.edu/~gboeree/personalidad.html>
- Boeree, G. (2006b). *Jean Piaget*. Consultada en abril 2008, <http://webpace.ship.edu/cgboer/piaget.html>

- Boeree, G. (2005). *The big five minitest*. Consultada en el periodo enero-junio 2005
<http://www.ship.edu/~gboeree/bigfiveminitest.html>
- Bratman, M. E. (1990). *What is intention?*, En: P. Cohen, J. Morgan y M. Pollack (eds.), *Intentions in communication*, Cambridge, MA: MIT Press, pp 15-31.
- Brave, S. y C. Nass (2002) *Emotion in Human-Computer Interaction*, En: J.A. Jacko y A. Sears (Eds.), *The human-computer interaction handbook: Fundamentals, evolving technologies and emerging applications*, Lawrence Erlbaum Associates, EUA, pp 81-96.
- Bruner, J. (1992). *Science Education and Teachers: A Karplus Lecture*, *Journal of Science Education and Technology*, 1, 1, Marzo, 1992, pp. 5-12.
- Burns, H. L. y C. G. Capps, (1988). *Foundations of Intelligent Tutoring Systems: An Introduction*, En: M. C. Polson y J. J. Richardson (Eds.), *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, NJ, 1988, pp. 1-20.
- Calderón, C. (2006). Análisis e interpretación de resultados estadísticos. Consultada en mayo 2007,
<http://cmapspublic2.ihmc.us>
- Carberry, S. y F. de Rosis (2005), *Adapting the interaction style to affective factors*, memorias complementarias de the 10th International Conference on User Modelling, UM2005, Julio 24-30, 2005, Edimburgo, Reino Unido.
- Carbonell, J. R. (1970). *AI in CAI: An Artificial Intelligence Approach to Computer-Assisted Instruction*, *IEEE Trans. Man-Machine Systems*, Vol. 11, No. 4, Diciembre 1970, pp. 190-202.
- Chaffar, S. y M.M.T. Rodrigo (2008). *Emocional and Cognitive Issues in ITS*, memorias complementarias de the 9th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2008, Montreal, Canadá, Junio 23-27, 2008.
- Chalfoun, P., S. Chaffar y C. Frasson (2006). *Predicting the Emotional Reaction of the Learner with a Machine Learning Technique*, En memorias complementarias de The 8th International Conference on Intelligent Tutoring System, ITS'06, Taller: Motivational and Affective Issues in ITS, Jhongli, Taiwan, Junio 26-30, 2006.
- Clancey W. J. (1984). *Use of MYCIN's Rules for Tutoring*, En: B. G. Buchanan and E. H. Shortliffe (eds), *Rule-Based Expert Systems*, Addison-Wesley, Boston, MA, EUA, 1984, pp. 464-489.
- Clemen, R.T. (2000). *Making hard decisions*, Duxbury Resource Center, Belmont, CA, EUA, 2000.

- Coles G. (1998). *Reading Lessons: The debate over literacy*, New York: Hill & Wang, 1998.
- Conati, C., B. du Boulay, C. Frasson, W. L. Johnson, R. Luckin, E. A. Martínez-Miron, H. Pain, K. Porayska-Pomsta, G. Rebolledo-Méndez (2005). *Motivation and Affect in Educational Software*, Memorias complementarias de The 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AIED 2005, Amsterdam, Países Bajos, Julio 18-22, 2005.
- Conati C. y H. Maclaren (2005). *Data-driven Refinement of a Probabilistic Model of User Affect*. En memorias de the 10th International Conference on User Modelling, UM2005, Edimburgo, Reino Unido, July 24-30, 2005, pp. 40-49.
- Conati C. y X. Zhao (2004). *Building and Evaluating an Intelligent Pedagogical Agent to Improve the Effectiveness of an Educational Game*, En memorias de 2004 International Conference on Intelligent User Interfaces, IUI '04, Isla de Madeira, Portugal, Enero 13-16, 2004, pp. 6-13.
- Conati, C. y X. Zhou (2002). *Modeling Students' Emotions from Cognitive Appraisal in Educational Games*, En memorias de The 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2002, Biarritz, Francia y San Sebastián, España, Junio 2-7, 2002, pp. 944-954.
- Corbett, A. T., K. R. Koedinger y J. R. Anderson (1997). *Intelligent Tutoring Systems*, En: M. Helander, T. K. Landauer y P. Prabhu (eds), *Handbook of Human-Computer Interaction*, Elsevier science B.V., Nueva York, NY, EUA, pp. 849-874.
- Costa, P. T. y R. R. McCrae (1992). *Four Ways Five Factors are Basic*, *Personality and Individual Differences*, 13(1), 1992, pp. 653-665.
- Damasio, A. R. (1996). *El error de Descartes*, Andrés Bello, Santiago, Chile, 1996.
- D'Mello, S., S. Craig, R. El Kaliouby, M. Alsmeyer y G. Rebolledo-Méndez (2007). *Modeling and Scaffolding Affective Experiences to Impact Learning*, Memorias complementarias de The 13th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AIED 2007, Marina del Rey, California, EU, Julio 9-13, 2007.
- de Vicente, A. (2003). *Towards Tutoring Systems that Detect Students' Motivation: An investigation*. Thesis Doctoral, University of Edinburgh, Edimburgo, Reino Unido, 2003.
- de Vicente, A. y H. Pain (2002). *Informing the Detection of the Students' Motivational State: An Empirical Study*, En memorias de The 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2002, Biarritz, Francia y San Sebastián, España, Junio 2-7, 2002, pp. 933-943.

- Doswell, J. T. (2004). *Pedagogical Embodied Conversational Agent*, En memorias de Fourth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT'04, Joensuu, Finlandia, Agosto 30-Septiembre 1, 2004, pp. 774-776.
- Dow, S. y B. MacIntyre (2007). *New Media Collaboration through Wizard-of Oz Simulations*, En memorias complementarias de The Computer-Human Interaction Conference 2007, Taller: HCI and New Media Arts: Methodology and Evaluation, San José, California, Estados Unidos, Abril 28-Mayo 3, 2007.
- Dow, S., B. MacIntyre, J. Lee, C. Oezbek, J. D. Bolter y M. Gandy (2005). *Wizard of Oz Support throughout an Iterative Design Process*, In IEEE Pervasive Computing (Special Issue on Rapid Prototyping), 4(1), Octubre, 2005, pp. 18-26.
- Du Boulay, B. y R. M. Luckin (2001). *Modelling human teaching tactics and strategies for tutoring systems*, International Journal of Artificial Intelligence in Education, 12(3), 2001, pp. 235-256.
- EGEMS (2007). *Electronic games for education in math and science*, University of British Columbia. Consultada en el periodo 2005-2007, <http://www.cs.ubc.ca/nest/egems/projects.html>
- Eichner, T., H. Prendinger, E. André y M. Ishizuka (2007). *Attentive Presentation Agents*. En memorias de The 7th International Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA 2007), París, Francia, 17-19 septiembre, 2007, pp. 283-294.
- Elliott, C. (2002). *The Role of Elegance in Emotion and Personality: Reasoning for Believable Agents*. En R. Trapp, P. Petta y S. Payr, (Eds.), *Emotions in Humans and Artifacts*. MIT Press, Cambridge, MA, EUA, 2002, pp. 251-288.
- Elliott, C., J. Rickel, J. C. y Lester (1999). *Lifelike Pedagogical Agents and Affective Computing: An Exploratory Synthesis*, Artificial Intelligence Today, Springer-Verlag, Berlín, pp. 195-211.
- Elliott, C.D. (1992). *The Affective Reasoner: A Process Model of Emotions in a Multi-Agent System*, Tesis Doctoral, Northwestern University, Evanston, IL, EUA, 1992.
- Funderstanding (2008). *Engaging kids, learning theories*, consultada en el periodo 2008, http://www.funderstanding.com/about_learning.cfm
- García Márquez, G. (1967). *Cien Años de Soledad*, Diana, 1967.
- Gertner, A. y K. VanLehn (2000). *Andes: A Coached Problem Solving Environment for Physics*. En memorias de The 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2000, Montreal, Canadá, Junio 19-23, 2000, pp. 131-142.

- Goleman, D. (1995). *Inteligencia Emocional*, Bantam Books, Nueva York, NY, EUA, 1995.
- Graesser, A.C., G.T. Jackson y B. McDaniel (2007). *AutoTutor holds conversations with learners that are responsive to their cognitive and emotional states*, Educational Technology, 47, 2007, pp. 19-22.
- Graesser, A.C., P. Penumatsa, M. Ventura, Z. Cai, y X. Hu (2007). *Using LSA in AutoTutor: Learning through mixed initiative dialogue in natural language*. En T. Landauer, D. McNamara, S. Dennis and W. Kintsch (Eds.), *Handbook of Latent Semantic Analysis*, Erlbaum, Mahwah, NJ, pp. 243-262.
- Graesser A.C., N. K. Person, D. Harter y The Tutoring Research Group (2001). *Teaching Tactics and Dialog in AutoTutor*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12, 2001, 257-279.
- Half, H.M. (1988). *Curriculum and Instruction in Automated Tutors*. En: M. C. Polson y J. J. Richardson (Eds.), *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, NJ, 1988, pp. 79-108.
- Heinström, J. (2000). *The impact of personality and approaches to learning on information behaviour*, *Information Research*, Vol. 5 No. 3, Abril 2000, <http://informationr.net/ir>
- Hermer (2007). *Proyecto Hermer*, Consultada en el periodo 2007, <http://www.proyectohermes.com/>
- Hernández, Y, E. Sucar y G. Arroyo, *Evaluating a Probabilistic Model for Affective Behavior in an Intelligent Tutoring System*, En memorias de The 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2008 Santander, Cantabria, España, 1-5 Julio 2008, pp. 408-412.
- Hernández, Y, E. Sucar y C. Conati, *An affective Behavior Model for Intelligent Tutors*, En memorias de The 9th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS'08, Montreal, Canadá, 23-27 de Junio 2008, pp. 819-821.
- Hernández, Y. y E. Sucar, *User study to evaluate an affective behavior model in an educational game*, En memorias complementarias de The 13th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AIED 2007, Taller: Modeling and scaffolding affective experiences to impact learning, Marina del Rey, California, EUA, Julio 9-13, 2007, pp. 57-66.
- Hernández, Y., J. Noguez, E. Sucar y G. Arroyo-Figueroa, *An Affective Model for Semi-open Learning Environments*, En memorias complementarias de The 10th International Conference on User Modeling, UM'05, Taller: Adapting the

- Interaction Style to Affective Factors, Edimburgo, Reino Unido, Julio 24-29, 2005.
- Hernández, Y. y J. Noguez, *Affective Behavior in Intelligent Tutoring Systems for Virtual Laboratories*, En memorias de The 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AIED 2005, Amsterdam, Países Bajos, Junio 18-22, 2005, pp. 960-962.
- Hernández, Y., G. Arroyo-Figueroa y E. Sucar (2005). *Advanced Training Systems for Thermal Power Plant Operators*, En memorias del Coloquio Internacional de Telecomunicaciones e Informática para la Industria Eléctrica, Cuernavaca, México, Junio 8-10, 2005.
- Hernández, Y., R. Morales y O. Mayora, *Modeling Affective Responses in Intelligent Tutoring Systems*, En memorias de The 4th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2004, Joensuu, Finlandia, Agosto 30-Septiembre 1, 2004, pp. 747-749.
- Hernández, Y., R. Morales y O. Mayora, *Modeling Affective Responses in Intelligent Tutoring Systems*, En memorias complementarias de The 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Student Track, ITS 2004, Maceió, Alagoas, Brasil, Agosto 30-Septiembre 3, 2004.
- Hoekstra, A., H. Prendinger, N. Bee, D. Heylen y M. Ishizuka (2007). *Presentation Agents that Adapt to Users' Visual Interest and Follow Their Preferences*. En memorias de the 5th International Conference on Computer Vision Systems, ICVS 2007, Bielefeld, Alemania, Marzo 21-24, 2007.
- Hugo, V. (1862). Los Miserables.
- Huitt, W. (2003). *The affective system*, Educational Psychology Interactive, Valdosta State University, Valdosta, GA, Consultada en Abril 2008
<http://chiron.valdosta.edu/whuitt/col/affsys/affsys.html>
- Iacobelli, F. y J. Cassell (2007). *Ethnic Identity and Engagement in Embodied Conversational Agents*, En memorias de the 7th International Conference on Intelligent Virtual Agents, IVA 2007, Paris, France, Septiembre 17-19, 2007, pp. 57-63.
- IBM (2008). *Creating computers that know how you feel*, IBM Almaden Research Center, consultada en el periodo 2008
<http://www.almaden.ibm.com/cs/BlueEyes/>
- Institute for Intelligent Systems y The University of Memphis (2005). *AutoTutor*, consultada en el periodo 2005-2008
<http://www.autotutor.org>

- Jaques, P. A. y R. M. Viccari (2005). *Considering Student's Emotions in Computer-Mediated Learning Environments*, En Zongmin Ma (Ed.), *Web-based intelligent e-Learning Systems: Technologies and Applications*. Information Science Publishing, Hershey, pp. 122-138.
- Jensen F. V. (2001). *Bayesian Networks and Decision Graphs*, Springer Verlag, New York, 2001.
- Johnson, W. L., J. W. Rickel y J. C. Lester (2000). *Animated Pedagogical Agents: Face-to-Face Interaction in Interactive Learning Environment*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11, 2000, pp. 47-78.
- Johnson, W.L., Shaw, E., Marshal, A., LaBore, C. (2003). *Evolution of User Interaction: The Case of Agent Adele*, En memorias de the International Conference on Intelligent User Interfaces 2003 (IUI'03), Enero 12-15, 2003, Miami, Florida, EUA, pp. 93-100.
- Kaiser, R. y K. Oertel (2006). *An Affective e-Learning System*, En memorias de The HCSNet Workshop on Use of Vision in Human-Computer Interaction, VisHCI'06, Canberra, Australia, Noviembre 1-3, 2006, vol. 56, pp 105-106.
- Kelley, J.F. (1984). *An iterative design methodology for user friendly natural language office information applications*, En *ACM Transactions on Office Information Systems*, 2(1), 1984, pp. 26-41.
- Kemerling, G. (2002). *Socrates: philosophical life*, consultada en el periodo 2007, <http://philosophypages.com/hy/2d.htm>
- Kipp, M., K. H. Kipp, A. Ndiaye, y P. Gebhard (2006). *Evaluating the tangible interface and virtual characters in the interactive COHIBIT exhibit*, En memorias de the 6th International Conference on Intelligent Virtual Agents, IVA'06, Marina del Rey, California, EUA, Agosto 21-23, 2006, pp. 434-444.
- Kort, B., R. Reilly, y R. W. Picard, (2001a). *External Representation of Learning Process and Domain Knowledge: Affective State as a Determinate of its Structure and Function*, En memorias complementarias de The 10th International Conference on Artificial Intelligence on Education, AIED 2001, Taller: External representations in AIED: Multiple forms and multiple roles, San Antonio, Texas, EUA, Mayo 19-21, 2001.
- Kort, B., R. Reilly y R. W. Picard (2001b). *An Affective Model of Interplay between Emotions and Learning: Reengineering Educational Pedagogy – Building a Learning Companion*. En memorias de The IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies 2001, ICAALT 2001, Madison, EUA, Agosto 6-8, 2001, pp. 43-46.

- Kubrick, S. (1968). *2001: A space odyssey*. Metro-Goldwyn-Mayer, Turner Entertainment, Warner Bros, 1968.
- Lajoie, S. y A. Lesgold (1992). *Apprenticeship Training in the Workplace: Computer-Coached Practice Environment as a New Form of Apprenticeship*, En *Intelligent Instruction by Computer*, Farr and Psotka (eds.), Taylor & Francis, Washington, DC, 1992, pp. 15-36.
- Lee, C.H., K. Kim, C. Breazeal y R. W. Picard (2008). *Shybot : Friend-Stranger Interaction for Children Living with Autism*, En *memorias de The 26th Computer-human Interaction Conference, CHI 2008, Florence, Italy, Abril 5-10, 2008*, pp. 3375-3380.
- Lehman, B., S. D'Mello, N. Person (2008). *All Alone with your Emotions: An Analysis of Student Emotions during Effortful Problem Solving Activities*, En *memorias complementarias de the 9th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2008, Taller: Emotional and Cognitive Issues in ITS, Montreal, Canadá, Junio 23-27, 2008*, pp. 72-82.
- Lennon, J. (1980). *Beautiful boy (Darling boy)*. Double Fantasy, Geffen Records, 1980.
- Lester, J. C., S. G. Towns, C. B. Callaway, J. L. Voerman y P. J. FitzGerald (2000). *Deictic and Emotive Communication in Animated Pedagogical Agents*. En: J. Cassell, J. Sullivan y S. Prevost, (eds.) *Embodied Conversational Agents*, MIT Press, Cambridge, MA, EUA, pp. 123-154.
- Li, T., Y. Qiu, P. Yue y G. Zhong (2007). *Exploiting model of personality and emotion of learning companion agent*, En *memorias de IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications 2007, Amman, Jordania, Mayo 13-16, 2007*, pp. 860-865.
- Mahn H. y V. John-Steiner (2002). *The gift of confidence: A Vygotskyan View of Emotions*. En G. Wells y G. Claxton (Eds), *Learning for life in the 21st century: Sociocultural perspectives on the future of education*. Oxford: Blackwell, 2002.
- Manske, M. y C. Conati (2005). *Modelling learning in educational games*. En *memorias de the 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AIED 2005, Amsterdam, Países Bajos, Julio 18-22, 2005*, pp. 411-418.
- Marsh II, G. E., A. McFadden y B. J. Price (2008). *Constructivism, Emerging Technologies*, consultada en el periodo 2008, <http://www.emtech.net/index.shtml>
- Mayer R. W. (2008). *Theoretical background in psychology*, consultada en abril 2008, <http://online.sfsu.edu/~psych601/>

- Microsoft Corporation (2007). *Microsoft Corporation*, Consultada en el periodo 2007, <http://www.microsoft.com/mexico/default.asp>
- Microsoft Corporation (2005). *Microsoft Agent*, Consultada en el periodo 2005-2006, <http://www.microsoft.com/msagent/default.asp>
- Minsky, M. (1986). *The Society of Mind*, Simon & Shuster, New York, NY, EUA, 1986.
- MIT Media Lab (2008). *Affective Computing*, Consultada en el periodo 2003-2008, <http://affect.media.mit.edu>
- Moreno, R. (2008). *Software Agents in Interactive Multimedia Learning Environments*, Consultada en el periodo 2008, <http://www.unm.edu/~moreno/research.htm>
- Moreno, R. (2005). *Multimedia learning with animated pedagogical agents*, En R. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Cambridge University Press, pp. 507-524.
- Mostow, J. y P. Tedesco (2004). *Social and Emotional Intelligence in Learning Environments*, Memorias complementarias de The 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2004, Agosto 30-Septiembre 3, 2004, Maceio, Alagoas, Brasil.
- Murphy, N. P. (2006). *In search of a neurobiological understanding of pleasure and addiction*, Riken BSI news, No. 31, Marzo 2006. <http://www.brain.riken.jp/bsi-news/bsinews31/>
- Murray, R.C. y K. VanLehn (2000). *DT Tutor: A Decision-theoretic, Dynamic Approach for Optimal Selection of Tutorial actions*, En memorias de The 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2000, Montreal, Canadá, Junio 19-23, 2000, pp 153-162.
- Neji, M. y M. Ben Ammar (2007). *Agent based collaborative affective e-learning framework*, Electronic Journal of e-Learning, Vol. 5, Num. 2, Junio 2007, <http://www.ejel.org/Volume-5/v5-i2/v5-i2-articles.htm>
- Nkambou, R. y V. Héritier (2004). *Facial Expression Analysis for Emotion Recognition in ITS*, En memorias complementarias de The 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2004, Taller: Social and Emotional Intelligence in Learning Environments, Agosto 30-Septiembre 3, 2004, Maceio, Alagoas, Brasil.
- Noguez, J. y E. Sucar (2005). *A semi-open Learning Environment for Virtual laboratories*. En memorias de The Fourth Mexican International Conference on Artificial

- Intelligence, MICAI 2005, Monterrey, México, Noviembre 14-18, 2005, pp. 1185-1194.
- Ong, J. y S. Ramachandran (2000). *Intelligent tutoring systems: the what and the how*, Learning Curcuits, Febrero 2000, <http://www.learningcircuits.org>
- Ortony, A., G. L.Clore y A. Collins (1988). *The Cognitive Structure of Emotions*, Cambridge University Press, 1988.
- Parunak, H.V.D., R. Bisson, S. Brueckner, R. Matthews y J. Sauter (2006). *A Model of Emotions for Situated Agents*, En: memorias de The fifth International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS 2006, Hakodate, Japón, pp. 993-995.
- Pearl, J. (1988). *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: networks of plausible inference*, Morgan-Kaufmann Publishers, Palo Alto, EUA, 1988.
- Piaget, J. (2005). *Inteligencia y afectividad*, Aique, Buenos Aires, 2005.
- Picard, R.W., A. Wexelblat y C. I. Nass (2002). *Future Interfaces: Social and Emotional*, En memorias de The Conference on Human Factors in Computing Systems 2002, CHI 2002, Sesión Panel, Minneapolis, Minnesota, EUA, Abril 20-25, 2002, pp. 698-699.
- Picard, R. W. (2000). *Affective Computing*, MIT Press, 2000.
- Piwek, P., H. Hernault, H. Prendinger y M. Ishizuka (2007). *T2D: Generating Dialogues between Virtual Agents Automatically from Text*, En memorias de The 7th International Conference on Intelligent Virtual Agents, IVA 2007, Paris, Francia, Septiembre 17-19, 2007, pp. 57-63.
- Polson, M. C. y Richardson, J. J. (1988). *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, NJ, 1988.
- Popkins, N. (1998). *The Five-Factor Model: Emergence of a Taxonomic Model for Personality Psychology*. <http://www.personalityresearch.org/papers/popkins.html>
- Porayska-Pomsta K. (2004) *Notes from the discussion sessions at the workshop on Social and Emotional Intelligence in Learning Environments (SEILE)*, En 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2004, Taller: Social and Emotional Intelligence in Learning Environments, Maceió, Alagoas, Brasil, Agosto 30-Septiembre 3, 2004.

- Reeves, B. y C. Nass (1996). *The Media Equation: How people treat computers, television and new media like real people and places*, Cambridge University Press, 1996.
- Rickel, J. y W. L. Johnson (2000). *Task-Oriented Collaboration with Embodied Agents in Virtual Worlds*. En: Cassell, J., Sullivan, J., Prevost, S. (eds.) *Embodied Conversational Agents*, MIT Press, 2000.
- Rodríguez-Ortiz, G., J. I. Paredes-Rivera, L. P. Argotte-Ramos y G. Arroyo-Figueroa (2006). *Learning Objects Planning for the Training of the Power Generation Operation and Maintenance Personnel*, En memorias de IEEE Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, CERMA 2006, Volumen II, Cuernavaca, Morelos, Septiembre 26-29, 2006, pp. 349-354.
- Scheirer, J., R. Picard y MIT Media Lab. (2003). *Galvactivator*, consultada en el periodo 2003,
<http://www.media.mit.edu/galvactivator>
- Scheirer, J., R. Fernandez y R. W. Picard (1999). *Expression Glasses: A Wearable Device for Facial Expression Recognition*, En memorias de 1999 Conference on Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 99, Pittsburgh, EUA, Mayo 15-20, 1999, pp. 262-263.
- Self, J. (1994). *Formal approaches to student modelling*, En J.E. Greer y G.I. McCalla (eds.), *Student Modelling: the Key to Individualized Knowledge-Based Instruction*, Springer-Verlag, Berlin, 1994, pp. 295-352.
- Self, J. (1999). *The defining characteristics of intelligent tutoring systems research: ITSs care, precisely*, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 10, 1999, pp. 350-364.
- Spiegel, M. R. (2004). *Probabilidad y Estadística*, Serie Schaum, McGraw-Hill, 2004.
- Stern, M., J. Beck, y B. Woolf (1996). *Adaptation of Presentation and Feedback in an Intelligent Mathematics Tutor*. En memorias de The Third International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 1996, Montreal, Canadá, Junio 12-14, 1996.
- Teeters, A., El Kaliouby, R. y Picard, R.W. (2006) *Self-Cam: Feedback From What Would be your Social Partner*, En memorias de The 33rd International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH 2006, Research Posters, Boston, MA, EUA, Julio 30-Agosto 3, 2006, p. 138.
- UBC University of British Columbia (2004). *The Laboratory for Computational Intelligence*, Department of Computer Sciences, consultada en el periodo 2004,
<http://www.cs.ubc.ca/research/lci.htm>

- VanLehn, K., C. Lynch, K. Schulze, J. A. Shapiro, R. Shelby, L. Taylor, D. Treacy, A. Weinstein y M. Wintersgill (2005a). *The Andes Physics Tutoring System: Lessons Learned*, International Journal of Artificial Intelligence and Education, 15 (3), 2005.
- VanLehn, K., C. Lynch, K. Schulze, J. A. Shapiro, R. H. Shelby, L. Taylor, D. J. Treacy, A. Weinstein y M. C. Wintersgill (2005b). *The Andes physics tutoring system: Five years of evaluations*. En memorias de The 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AIED 2005, Amsterdam, Países Bajos, Junio 18-22, 2005, pp. 678-685.
- VanLehn, K., A. C. Graesser, G. T. Jackson, P. Jordan, A. Olney y C. P. Rose (2007). *When are tutorial dialogues more effective than reading?* Cognitive Science, 31, 2007, pp. 3-62.
- VanLehn K., P.W. Jordan, C. P. Rosé, D. Bhembe, M. Böttner, A. Gaydos, M. Makatchev, U. Pappuswamy, M. Ringerberg, A. Roque, S. Siler y R. Srivastava (2002). *The Architecture of Why2-Atlas: A Coach for Qualitative Physics Essay Writing*. En memorias de The 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2002, Biarritz, Francia y San Sebastián, España, Junio 2-7, 2002, pp. 158-167.
- VanLehn, K. y Z. Niu (2001). *Bayesian Student Modeling, User Interfaces and Feedback: A Sensitivity Analysis*. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 12, 2001, pp. 154-184.
- Vassileva J. (1998). *DCG + GTE: Dynamic Courseware Generation with Teaching Expertise*, Instructional Science, 26 (3/4), Julio 1998, pp. 317-332.
- Velásquez, J. D. (1997). *Modeling Emotions and Other Motivations in Synthetic Agents*. En memorias de The Fourteenth National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-97, Providence, Rhode Island, EUA, Julio 27-31, 1997, pp. 10-15.
- Vera, L. (2007). *La prueba T y ANOVA*. Consultada en el periodo Mayo 2007, <http://acpon1.ponce.inter.edu/cai/reserva/lvera>
- Vygotsky, L. S. (1994). *The problem of the environment*. En R. Vander Veer y J. Vlasiner (Eds.), *The Vygotsky Reader*, Blackwell, Cambridge, MA, EUA, 1994. pp. 338-354.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society*, Harvard University Press, Cambridge, MA, EUA, 1978.
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and Language*, MIT Press, Cambridge, MA, EUA, 1962.

- Woolf, B. P., W. Burelson e I. Arroyo (2007). *Emotional Intelligence for Computer Tutors*. En memorias complementarias de The 13th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AIED 2007, Taller: Modeling and Scaffolding Affective Experiences to Impact Learning, Marina del Rey, California, EUA, Julio 9-13, 2007, pp. 16-23.
- Woolf, B. P., J. Beck, C. Eliot y M. Stern (2001). *Growth and Maturity of Intelligent Tutoring Systems: a Status Report*, En K. D. Forbus y P. J. Feltovich (eds.), *Smart machines in education: the coming revolution in educational technology*, MIT Press, Cambridge, MA, EUA, pp.99-144.
- Woolf, B. P. y D. D. McDonald (1984). *Building a Computer Tutor: Design Issues*, *Computer*, vol. 17, no. 9, Septiembre 1984, pp. 61-73.
- Zakharov, M., A. Mitrovic y L. Johnston (2008). *Towards Emotionally-Intelligent Pedagogical Agents*, En memorias de The 9th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2008, Montreal, Canadá, Junio 23-27, 2008, pp. 19-28.
- Zhang, L., J. A. Barnden, y R. J. Hendley (2007). *Affect Detection in a Conversational Agent*. En memorias complementarias de The 13th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AIED 2007, Taller: Modeling and scaffolding affective experiences to impact learning, Marina del Rey, California, EU, Julio 9-13, 2007, pp. 16-23.
- Zhou, X. y C. Conati (2003). *Inferring user goals from personality and behavior in a causal model of user affect*, *International Conference on Intelligent User Interfaces 2003*, Miami, Florida, EUA, Enero 12-15, 2003, pp. 211-218.

Anexo A

Cuestionario de personalidad

Big-Five Mini Test

Programa: _____ Semestre: _____ Edad: _____ Sexo: _____

Califica la medida en que te aplican cada uno de los siguientes adjetivos:

NO APLICA					APLICA			
Extremadamente	Mucho	Moderadamente	Ligeramente	Promedio	Ligeramente	Moderadamente	Mucho	Extremadamente
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Parlanchín		Compasivo		Ordenado, disciplinado		Envidioso		Serio, profundo	
Apartado, frío		Severo		Descuidado		Relajado		Persona promedio	
Atrevido, Audaz		Bondadoso, amable		Metódico		Voluble		Filosófico	
Que se avergüenza		Cálido		Ineficaz		Sensible		Creativo	
Enérgico		Cooperativo		Práctico		Celoso, envidioso		Intelectual	
Callado		Esquivo		Descuidado con su persona		Maduro, juicioso		Común	
Tímido		Frío		Desorganizado		Temperamental, impredecible		Complejo, difícil de entender	
Extrovertido		Grosero		Eficiente		Enojadizo		Imaginativo	

Resultados del estudio de personalidad llevado a cabo con base en el *Big-Five minitest*

Tabla A.1. Resultados del estudio de personalidad. Se muestra la calificación para cada una de las características de personalidad de cada uno de los 58 participantes en el estudio, así como su edad.

	Extraversión	Afabilidad	Minuciosidad	Estabilidad (Neuroticismo)	Apertura	Edad
1	medio	medio	medio	medio	medio	25
2	medio	alto	medio	bajo	medio	26
3	medio	alto	medio	bajo	medio	30
4	medio	alto	alto	medio	bajo	32
5	medio	medio	medio	medio	medio	22
6	medio	medio	medio	medio	medio	23
7	medio	medio	alto	medio	medio	32
8	medio	alto	medio	medio	medio	25
9	medio	medio	medio	medio	medio	24
10	medio	alto	medio	medio	medio	23
11	medio	medio	medio	medio	medio	23
12	medio	medio	alto	bajo	medio	42
13	medio	medio	medio	medio	bajo	35
14	medio	medio	medio	medio	medio	53
15	medio	medio	medio	medio	medio	26
16	medio	medio	medio	medio	medio	27
17	medio	medio	medio	medio	alto	28
18	medio	alto	alto	medio	medio	35
19	medio	medio	medio	medio	medio	23
20	medio	medio	alto	medio	alto	20
21	alto	medio	alto	bajo	medio	21
22	medio	medio	alto	medio	medio	22
23	medio	medio	medio	medio	medio	24
24	medio	alto	medio	medio	medio	21
25	medio	medio	medio	bajo	medio	23
26	medio	alto	medio	medio	medio	21
27	medio	alto	medio	medio	medio	20
28	medio	medio	medio	medio	medio	20
29	medio	medio	medio	medio	medio	23
30	medio	medio	alto	medio	bajo	23
31	medio	medio	medio	medio	medio	21
32	medio	medio	medio	medio	alto	21
33	medio	medio	medio	bajo	alto	23
34	medio	medio	medio	medio	medio	23
35	medio	alto	medio	bajo	medio	19
36	medio	alto	medio	bajo	medio	19
37	alto	medio	medio	medio	medio	18
38	medio	medio	medio	medio	medio	20
39	medio	medio	medio	bajo	alto	19
40	medio	medio	alto	medio	medio	20

41	bajo	alto	medio	medio	bajo	19
42	medio	medio	medio	medio	medio	23
43	medio	medio	medio	medio	medio	18
44	medio	medio	medio	medio	medio	20
45	medio	medio	medio	medio	medio	19
46	medio	bajo	medio	medio	medio	19
47	medio	medio	medio	medio	medio	21
48	medio	medio	medio	bajo	medio	19
49	medio	medio	medio	medio	medio	20
50	medio	medio	alto	bajo	alto	19
51	alto	medio	alto	medio	alto	20
52	medio	alto	medio	bajo	medio	19
53	medio	medio	medio	medio	medio	19
54	medio	alto	medio	medio	medio	19
55	medio	medio	alto	medio	medio	19
56	medio	alto	alto	bajo	medio	20
57	medio	alto	medio	medio	medio	18
58	medio	medio	medio	medio	alto	19

Anexo B

Ejemplos de exámenes en el estudio
con prime climb

Examen A

Nombre: _____ Edad: _____

Escuela: _____ Grado: _____

1. ¿Cuáles de los siguientes números son factores comunes de 12 y 18?

- a) 1, 2, 4
- b) 1, 2, 3
- c) 1, 2, 7

2. ¿Cuáles de los siguientes números son factores de 16?

- a) 1, 12
- b) 1, 6
- c) 1, 8

3. ¿Cuáles de los siguientes números son factores comunes de 30 y 50?

- a) 5, 15
- b) 5, 10
- c) 3, 15

4. ¿Cuáles de los siguientes números son factores de 24?

- a) 1, 3, 12
- b) 1, 2, 18
- c) 1, 3, 9

5. ¿Cuáles de los siguientes números son factores comunes de 12 y 36?

- a) 3, 8
- b) 8, 12
- c) 6, 12

Examen B

Nombre: _____ Edad: _____

Escuela: _____ Grado: _____

1. ¿Cuáles de los siguientes números son factores comunes de 16 y 20?

- d) 2, 4, 5
- e) 1, 2, 4
- f) 1, 2, 6

2. ¿Cuáles de los siguientes números son factores de 13?

- d) 1, 3
- e) 3, 4
- f) 1, 13

3. ¿Cuáles de los siguientes números son factores comunes de 25 y 35?

- d) 1, 5
- e) 2, 5
- f) 2, 7

4. ¿Cuáles de los siguientes números son factores de 21?

- a) 2, 3
- b) 3, 7
- c) 3, 8

5. ¿Cuáles de los siguientes números son factores comunes de 14 y 28?

- d) 2, 4
- e) 3, 14
- f) 7, 14

Anexo C

Respuestas de los profesores en el estudio para prime climb

Respuestas de los profesores en el estudio para prime climb

En las tablas C.1-C.14 se muestran los grados de las tres dimensiones de las emociones para cada una de las respuestas de los profesores para cada acción afectiva, se muestra además el promedio de cada emoción.

Tabla C.1. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *acknowledge*.

<i>Acknowledge</i>	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	69	31	58	42	57	43
Respuesta2	76	24	48	52	48	52
Respuesta3	100	0	100	0	89	11
Promedio	81.667	18.333	68.667	31.333	64.667	35.333

Tabla C.2. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *announce*.

<i>Announce</i>	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	83	17	69	31	87	13
Respuesta2	79	21	79	21	58	42
Respuesta3	100	0	100	0	49	51
Respuesta4	59	41	70	30	63	37
Respuesta5	79	21	79	21	59	41
Respuesta6	76	24	71	29	65	35
Promedio	79.333	20.667	78	22	63.5	36.5

Tabla C.3. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *congratulate*.

<i>Congratulate</i>	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	88	12	79	21	79	21
Respuesta2	81	19	88	12	79	21
Respuesta3	91	9	88	12	90	10
Respuesta4	100	0	100	0	100	0
Respuesta5	88	12	89	11	68	32
Respuesta6	89	11	83	17	50	50
Respuesta7	100	0	99	1	94	6
Respuesta8	88	12	88	12	69	31
Promedio	90.625	9.375	89.25	10.75	78.625	21.375

Tabla C.4. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *do_magic1*.

<i>DoMagic1</i>	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	76	24	70	30	65	35
Respuesta2	94	6	86	14	78	22
Promedio	85	15	78	22	71.5	28.5

Tabla C.5. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *congratulate_2*.

<i>Congratulate_2</i>	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	88	12	80	20	88	12
Respuesta2	49	51	48	52	47	53
Respuesta3	61	39	60	40	51	49
Respuesta4	89	11	89	11	79	21
Respuesta5	57	43	67	33	60	40
Respuesta6	69	31	60	40	49	51
Respuesta7	60	40	75	25	79	21
Respuesta8	73	27	75	25	70	30
Respuesta9	70	30	58	42	58	42
Respuesta10	79	21	70	30	69	31
Respuesta11	78	22	50	50	47	53
Respuesta12	100	0	100	0	95	5
Respuesta13	100	0	100	0	100	0
Respuesta14	90	10	88	12	87	13
Respuesta15	99	1	100	0	98	2
Respuesta16	100	0	100	0	100	0
Respuesta17	75	25	77	23	79	21
Respuesta18	40	60	48	52	49	51
Respuesta19	80	20	80	20	82	18
Respuesta20	71	29	68	32	23	77
Respuesta21	86	14	87	13	87	13
Respuesta22	100	0	100	0	99	1
Respuesta23	100	0	100	0	89	11
Respuesta24	88	12	77	23	69	31
Promedio	79.25	20.75	77.375	22.625	73.083	26.917

Tabla C.6. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *do_magic2*.

<i>DoMagic2</i>	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	79	21	79	21	58	42
Respuesta2	74	26	75	25	72	28
Promedio	76.5	23.5	77	23	65	35

Tabla C.7. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *greet*.

<i>Grte.</i>	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	59	41	57	43	48	52
Respuesta2	57	43	57	43	58	42
Respuesta3	58	42	57	43	59	41
Respuesta4	59	41	59	41	49	51
Respuesta5	100	0	89	11	88	12
Promedio	66.6	33.4	63.8	36.2	60.4	39.6

Tabla C.8. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *hide*.

<i>Hide</i>	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	79	21	77	23	80	20
Respuesta2	100	0	100	0	99	1
Respuesta3	89	11	100	0	100	0
Promedio	89.333	10.667	92.333	7.6667	93	7

Tabla C.9. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *pleased*.

Pleased	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	60	40	59	41	50	50
Respuesta2	52	48	52	48	51	49
Respuesta3	58	42	57	43	48	52
Respuesta4	49	51	50	50	48	52
Respuesta5	77	23	48	52	49	51
Respuesta6	92	8	85	15	93	7
Respuesta7	88	12	78	22	68	32
Respuesta8	78	22	68	32	59	41
Respuesta9	88	12	77	23	69	31
Promedio	71.333	28.667	63.778	36.222	59.444	40.556

Tabla C.10. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *alert*.

Alert	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	28	72	44	56	30	70
Respuesta2	38	62	48	52	38	62
Respuesta3	5	95	40	60	53	47
Promedio	23.667	76.333	44	56	40.333	59.667

Tabla C.11. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *confused*.

Confused	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	10	90	50	50	40	60
Respuesta2	60	40	75	25	79	21
Respuesta3	39	61	38	62	48	52
Respuesta4	30	70	28	72	29	71
Respuesta5	72	28	74	26	79	21
Promedio	42.2	57.8	53	47	55	45

Tabla C.12. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *explain*.

Explain	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	49	51	19	81	27	73
Respuesta2	69	31	49	51	20	80
Promedio	59	41	34	66	23.5	76.5

Tabla C.13. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *getAttention*.

GetAttention	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	40	60	39	61	30	70
Respuesta2	48	52	66	34	65	35
Respuesta3	28	72	38	62	49	51
Promedio	38.667	61.333	47.667	52.333	48	52

Tabla C.14. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *surprised*.

Surprised	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	40	60	39	61	48	52
Respuesta2	52	48	48	52	21	79
Promedio	46	54	43.5	56.5	34.5	65.5

En las tablas C.15-C.19 se muestran los grados de las tres dimensiones de las emociones en cada una de las respuestas de cada acción pedagógica y para determinada situación tutorial, se muestra además el promedio de cada emoción.

Tabla C.15. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP0 en una situación tutorial positiva.

Acción Pedagógica AP0	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	49	51	48	52	48	52
Respuesta2	48	52	49	51	49	51
Respuesta3	49	51	19	81	27	73
Respuesta4	30	70	48	52	28	72
Respuesta5	79	21	79	21	58	42
Respuesta6	89	11	83	17	50	50
Respuesta7	79	21	77	23	80	20
Respuesta8	76	24	71	29	65	35
Respuesta9	77	23	51	49	50	50
Promedio	64	36	58.33	41.67	50.56	49.44

Tabla C.16. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP2 en una situación tutorial positiva.

Acción Pedagógica AP2	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	88	12	79	21	79	21
Respuesta2	88	12	80	20	88	12
Respuesta3	49	51	48	52	47	53
Respuesta4	61	39	60	40	51	49
Respuesta5	89	11	89	11	79	21
Respuesta6	59	41	57	43	48	52
Respuesta7	60	40	59	41	50	50
Respuesta8	52	48	52	48	51	49
Respuesta9	58	42	57	43	48	52
Respuesta10	49	51	48	52	50	50
Respuesta11	57	43	67	33	60	40
Respuesta12	69	31	60	40	49	51
Respuesta13	59	41	37	63	47	53
Respuesta14	18	82	20	80	38	62
Respuesta15	49	51	50	50	48	52
Respuesta16	83	17	69	31	87	13
Respuesta17	58	42	49	51	49	51
Respuesta18	81	19	88	12	79	21
Respuesta19	73	27	75	25	70	30
Respuesta20	70	30	58	42	58	42
Respuesta21	76	24	70	30	65	35
Respuesta22	77	23	48	52	49	51
Respuesta23	92	8	85	15	93	7
Respuesta24	69	31	58	42	57	43
Respuesta25	68	32	50	50	47	53
Respuesta26	79	21	84	16	81	19
Respuesta27	91	9	88	12	90	10

Respuesta28	79	21	70	30	69	31
Respuesta29	79	21	79	21	58	42
Respuesta30	88	12	78	22	68	32
Respuesta31	100	0	100	0	95	5
Respuesta32	74	26	75	25	72	28
Respuesta33	83	17	70	30	69	31
Respuesta34	77	23	68	32	50	50
Respuesta35	79	21	79	21	58	42
Respuesta36	100	0	100	0	100	0
Respuesta37	88	12	89	11	85	15
Respuesta38	90	10	81	19	78	22
Respuesta39	100	0	100	0	100	0
Respuesta40	88	12	89	11	68	32
Respuesta41	99	1	100	0	98	2
Respuesta42	94	6	86	14	78	22
Respuesta43	100	0	100	0	49	51
Respuesta44	98	2	96	4	100	0
Respuesta45	75	25	77	23	79	21
Respuesta46	40	60	48	52	49	51
Respuesta47	58	42	57	43	59	41
Respuesta48	55	45	48	52	57	43
Respuesta49	80	20	80	20	82	18
Respuesta50	69	31	69	31	59	41
Respuesta51	59	41	70	30	63	37
Respuesta52	83	17	86	14	84	16
Respuesta53	79	21	79	21	59	41
Respuesta54	71	29	68	32	23	77
Respuesta55	86	14	87	13	87	13
Respuesta56	78	22	77	23	69	31
Respuesta57	79	21	79	21	59	41
Respuesta58	100	0	99	1	94	6
Respuesta59	100	0	100	0	99	1
Respuesta60	88	12	88	12	69	31
Respuesta61	100	0	100	0	89	11
Respuesta62	100	0	100	0	99	1
Respuesta63	59	41	59	41	49	51
Respuesta64	100	0	100	0	89	11
Respuesta65	76	24	48	52	48	52
Respuesta66	100	0	100	0	99	1
Respuesta67	68	32	69	31	49	51
Respuesta68	68	32	69	31	49	51
Respuesta69	100	0	89	11	88	12
Promedio	76.94	23.06	73.78	26.22	68.16	31.84

Tabla C.17. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP3 en una situación tutorial positiva.

Acción Pedagógica AP3	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	60	40	75	25	79	21
Respuesta2	57	43	57	43	58	42
Respuesta3	78	22	50	50	47	53
Respuesta4	88	12	78	22	68	32
Respuesta5	78	22	68	32	59	41
Respuesta6	100	0	100	0	89	11
Respuesta7	90	10	88	12	87	13
Respuesta8	100	0	100	0	89	11
Respuesta9	69	31	60	40	59	41
Respuesta10	38	62	22	78	23	77
Respuesta11	67	33	56	44	49	51
Respuesta12	100	0	100	0	89	11
Respuesta13	92	8	85	15	93	7
Respuesta14	78	22	50	50	47	53
Respuesta15	76	24	62	38	49	51
Respuesta16	100	0	100	0	100	0

Respuesta17	50	50	48	52	49	51
Respuesta18	88	12	77	23	69	31
Respuesta19	47	53	58	42	58	42
Respuesta20	88	12	77	23	69	31
Respuesta21	89	11	100	0	100	0
Promedio	77.76	22.24	71.95	28.04	68.09	31.90

Tabla C.18. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP1 en una situación tutorial negativa.

Acción pedagógica AP1	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	28	72	44	56	30	70
Respuesta2	38	62	48	52	38	62
Respuesta3	10	90	50	50	40	60
Respuesta4	49	51	34	66	48	52
Respuesta5	40	60	39	61	48	52
Respuesta6	18	82	20	80	38	62
Respuesta7	72	28	74	26	79	21
Respuesta8	40	60	39	61	30	70
Respuesta9	48	52	66	34	65	35
Respuesta10	49	51	0	100	28	72
Respuesta11	60	40	60	40	70	30
Respuesta12	69	31	49	51	20	80
Promedio	43.42	56.58	43.58	56.42	44.50	55.50

Tabla C.19. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP3 en una situación tutorial negativa.

Acc. pedagógica AP3	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	60	40	75	25	79	21
Respuesta2	49	51	19	81	27	73
Respuesta3	39	61	38	62	48	52
Respuesta4	30	70	28	72	29	71
Respuesta5	28	72	38	62	49	51
Respuesta6	5	95	40	60	53	47
Respuesta7	52	48	48	52	21	79
Promedio	37.57	62.43	40.86	59.14	43.71	56.29

Anexo D

Segundo estudio para incorporar la experiencia de profesores

D.1. Estudio con el sistema tutor inteligente de robótica móvil

En el segundo estudio se utilizó un STI para enseñar robótica móvil (Noguez y Sucar, 2005). En este programa los estudiantes llevan a cabo experimentos para configurar y manipular un robot móvil. En la figura D.1 se muestra una pantalla del STI. Los estudiantes reciben instrucción de acuerdo con su desempeño durante el desarrollo del experimento. La instrucción está basada en un modelo pedagógico del estudiante. La instrucción se presenta mediante archivos que constan de texto y gráficas que le permiten al estudiante tener retroalimentación acerca de su desempeño en el desarrollo de los experimentos y se presenta al terminar el experimento. Este STI se describe con más detalle en el capítulo 9.

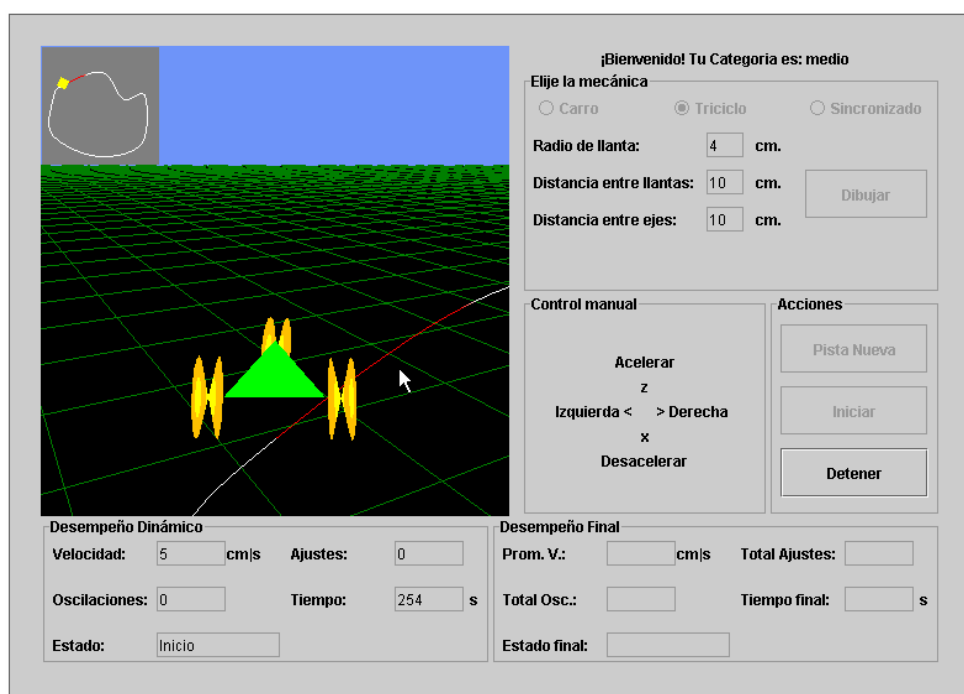


Figura D.1. Pantalla del STI de robótica móvil. Un estudiante está desarrollando un experimento de seguimiento de pista con un robot con configuración de triciclo.

Al igual que en el caso anterior, el estudio consistió en mostrar un video a profesores con experiencia en docencia y con conocimiento de la materia (robótica móvil), y se les solicitó que detuvieran el video después de cada experimento del estudiante y que contestaran ciertas preguntas acerca de su estado afectivo y pedagógico y sobre como ayudarían al estudiante a aprender más y a mejorar su estado afectivo. Debido a que el STI no cuenta con un agente pedagógico animado, el estudio además incluyó que los profesores evaluaran cuatro diferentes personajes de *Microsoft Agent* (Microsoft, 2005). Esto se hizo con la finalidad de incorporar un agente pedagógico animado en el funcionamiento del STI de robótica móvil, que entregue la instrucción a los estudiantes.

En el video que se mostró a los profesores se presenta el desarrollo de seis experimentos. El video tiene una duración aproximada de 18 minutos. Para grabar los experimentos se seleccionaron dos estudiantes con diferente nivel de conocimiento de robótica móvil con el objeto de que los profesores pudieran observar diferentes comportamientos en el desarrollo de los experimentos.

D.1.1. Participantes en el estudio

En el estudio participaron 9 profesores de los departamentos de computación y electrónica del Tecnológico de Monterrey Campus Ciudad de México. Dichos profesores imparten diferentes asignaturas de computación y electrónica desde el nivel de licenciatura hasta nivel de doctorado, todos los profesores están capacitados en pedagogía y docencia. El promedio de experiencia de los profesores es de 12.4 años. En la tabla D.1 se muestra la experiencia como docente de cada uno de los profesores participantes en el estudio.

Tabla D.1. Profesores participantes en el estudio con el STI de robótica móvil.

Profesor	Años de Experiencia	Imparte en:			
		Preparatoria	Licenciatura	Maestría	Doctorado
Profesor 1	16		Si	Si	Si
Profesor 2	7	Si	Si		
Profesor 3	13		Si		
Profesor 4	7		Si		
Profesor 5	12		Si	Si	
Profesor 6	12		Si	Si	
Profesor 7	7			Si	Si
Profesor 8	20		Si		
Profesor 9	18		Si		
Promedio	12.44				

Las sesiones de cada uno de los estudios duraron en promedio 75 minutos; en las que se recogieron 71 respuestas en total, esto significa que algunos profesores dieron más de una respuesta para cada experimento. Sin embargo, ya que el STI de robótica móvil solamente proporciona retroalimentación al terminar el experimento, solamente se analizaron las respuestas que los profesores dieron al final de los experimentos, esto es 54 respuestas. Además de que estas respuestas adicionales no se encontraban completas. No obstante todas las respuestas de los profesores fueron analizadas para obtener información que nos pudiera servir para establecer el modelo afectivo y sus condiciones.

D.1.2. Desarrollo y resultados del estudio

Como primer punto del estudio se presentó a los profesores el STI de robótica móvil (Noguez y Sucar, 2005) con el objeto de que llevaran a cabo experimentos y pudieran darse cuenta de los posibles movimientos de los estudiantes y de las posibles respuestas del STI, así como donde podría incluirse el agente pedagógico animado.

Una vez que el profesor se encontró familiarizado con el STI, se le mostró un programa en donde pudieran ver los personajes de *Microsoft Agent* así como las animaciones disponibles para los mismos. Este programa les permitió a los profesores ver cada una de las animaciones de los personajes las veces necesarias. En esta parte del estudio se solicitó a los profesores que establecieran cuál personaje y cuáles animaciones son adecuadas para ser presentadas en el STI de robótica móvil, de acuerdo con el dominio de aplicación y la edad de los usuarios del STI. En la figura D.2 se muestra un *screenshot* del programa para visualizar las animaciones de los personajes de *Microsoft Agent*.

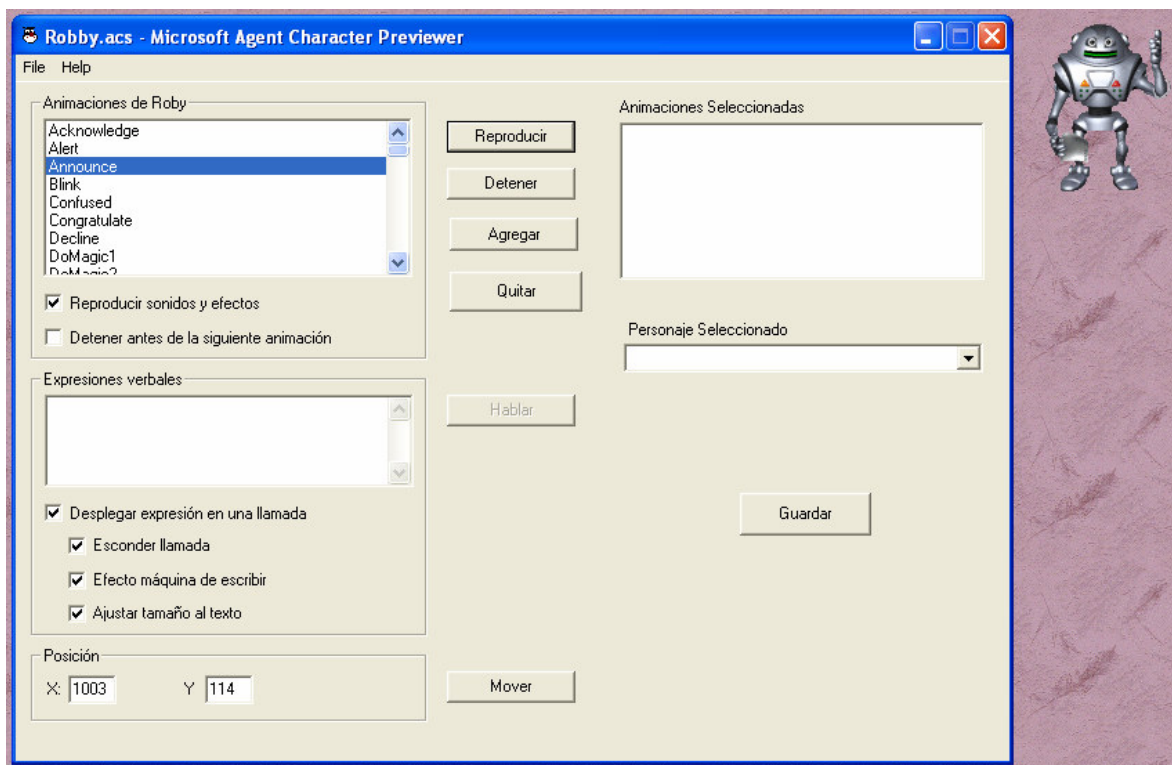


Figura D.2. Pantalla del programa para visualizar los personajes de *Microsoft Agent* y las animaciones disponibles. Se muestra al personaje *Robby*. En este programa los profesores pudieron ver el comportamiento potencial del agente animado.

Microsoft Agent cuenta con diferentes personajes, en este estudio se presentó a los profesores cuatro personajes para que los evaluaran. Los personajes incluidos en el estudio se muestran en la figura D.3.

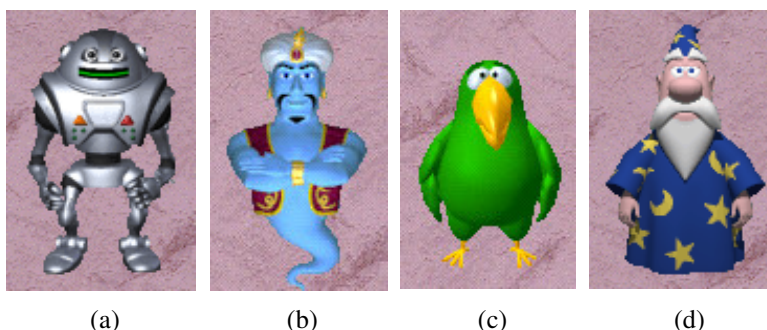


Figura D.3. Personajes de *Microsoft Agent* incluidos en el estudio: (a) *Robby*, (b) *Genie*, (c) *Peedy* y (d) *Merlín* (Copyright Microsoft Corporation, todos los derechos reservados).

Esta parte del estudio tuvo los siguientes objetivos: 1) Conocer que opinan los maestros acerca de la expresividad y afectividad que los personajes pudieran mostrar a los estudiantes, 2) Conocer su opinión sobre los agentes pedagógicos animados en general, y 3) seleccionar un personaje y un grupo de animaciones para ser mostradas a los profesores en la siguiente etapa del estudio.

El personaje que resultó con más aceptación por parte de los nueve profesores que participaron fue *Robby*, por quien votaron siete profesores, dos profesores seleccionaron a *Merlín* y el resto de los personajes no fue seleccionado por ningún profesor.

En este punto del estudio pudimos observar que aunque los profesores seleccionaron a *Robby* por considerarlo más adecuado para el dominio y para la audiencia del STI de robótica móvil, la mayoría de los profesores expresó que *Merlín* es más expresivo que el resto de los personajes. Por otro lado, la mayoría de los profesores opinaron que los estudiantes deberían poder seleccionar su personaje.

Por el lado de las animaciones, el personaje *Robby* cuenta con 68 animaciones, sin embargo algunas de estas animaciones se despliegan en grupo para formar un ciclo de animación, por lo que tenemos 53 animaciones disponibles que se pueden evaluar. En la tabla D.2 se muestra el número de animaciones seleccionadas por cada uno de los profesores.

Tabla D.2. Número de animaciones seleccionadas por los profesores participantes en el estudio, de un total de 53 animaciones.

No.	Profesor	No. de animaciones seleccionadas
1	Profesor 1	16
2	Profesor 2	33
3	Profesor 3	10
4	Profesor 4	31
5	Profesor 5	29
6	Profesor 6	32
7	Profesor 7	11
8	Profesor 8	21
9	Profesor 9	40
Promedio:		24.78

En la tabla D.3 se muestra la lista de las 53 animaciones que evaluamos en esta fase del estudio y el número de veces que cada una de ellas fue seleccionada por los profesores.

Tabla D.3. Animaciones seleccionadas por los profesores participantes en el estudio.

No.	Animación	Descripción	Veces seleccionadas
1	<i>Acknowledge</i>	Muestra reconocimiento	4
2	<i>Alert</i>	Se pone en alerta	1
3	Announce	Anuncia	6
4	<i>Blink</i>	Parpadea	0
5	Confused	Se muestra confuso	7
6	Congratulate	Felicita	9
7	Decline	Se da por vencido	7
8	<i>DoMagic1</i>	Hace Magia 1	0
9	<i>DoMagic2</i>	Hace Magia 2	3
10	<i>DontRecognize</i>	Muestra que no entendió	4
11	<i>Explain</i>	Explica	5
12	<i>GestureDown</i>	Señala hacia abajo	4
13	GestureLeft	Señala hacia la izquierda	8
14	GestureRight	Señalar hacia la derecha	7
15	<i>GestureUp</i>	Señalar hacia arriba	6
16	GetAttention	Desea llamar la atención	10
17	<i>Greet</i>	Saluda con una reverencia	3
18	<i>Hearing_1</i>	Escucha 1	2
19	<i>Hearing_2</i>	Escucha 2	0
20	<i>Hearing_3</i>	Escucha 3	0
21	<i>Hearing_4</i>	Escucha 4	0
22	Hide	Se esconde	6
23	<i>Idle1_1</i>	Se muestra ocioso 1_1	1
24	<i>Idle1_2</i>	Se muestra ocioso 1_2	0
25	<i>Idle1_3</i>	Se muestra ocioso 1_3	1
26	<i>Idle1_4</i>	Se muestra ocioso 1_4	0
27	<i>Idle2_1</i>	Se muestra ocioso 2_1	3
28	<i>Idle2_2</i>	Se muestra ocioso 2_2	4
29	<i>Idle3_1</i>	Se muestra ocioso 3_1	3
30	<i>Idle3_2</i>	Se muestra ocioso 3_2	3
31	<i>LookDown</i>	Mira hacia abajo	3
32	<i>LookLeft</i>	Mira hacia la izquierda	3
33	<i>LookRight</i>	Mira hacia la derecha	3
34	<i>LookUp</i>	Mira hacia arriba	4
35	<i>MoveDown</i>	Se mueve hacia abajo	5
36	MoveLeft	Se mueve hacia la izquierda	6
37	MoveRight	Se mueve hacia la derecha	6
38	MoveUp	Se mueve hacia arriba	6
39	<i>Pleased</i>	Se muestra complacido	1
40	Process	Se muestra ocupado	7
41	Read	Lee un libro	6
42	<i>RestPose</i>	Se pone en posición de descanso	2
43	<i>Sad</i>	Se muestra triste	5
44	Search	Busca	8
45	Show	Aparece	5
46	<i>StartListening</i>	Empieza a escuchar	3
47	<i>StopListening</i>	Deja de escuchar	3
48	Suggest	Desea dar una sugerencia	8
49	<i>Surprised</i>	Se muestra sorprendido	2
50	Think	Piensa	9
51	<i>Uncertain</i>	Se muestra inseguro	3
52	Wave	Saluda ondeando la mano	6
53	Write	Escribe en un cuaderno	12

De las 53 animaciones que evaluamos en esta fase del estudio, 46 animaciones fueron seleccionadas por los profesores por lo menos una vez, 42 animaciones fueron seleccionadas más de una vez y 19 animaciones fueron seleccionadas más de cinco veces (presentadas en negrita en la tabla D.3). En la tabla D.4 se muestra las animaciones seleccionadas así como los porcentajes en que fueron seleccionadas.

Tabla D.4. Animaciones seleccionadas por los profesores participantes en el estudio.

No.	Descripción	Animaciones
1	Animaciones disponibles para <i>Robby</i>	68
2	Animaciones evaluadas (sin animaciones que forman ciclos)	53
3	Animaciones seleccionadas por los profesores una o más veces	46
4	Porcentaje de las animaciones seleccionadas una o más veces	96.79%
5	Animaciones seleccionadas por los profesores más de una vez	42
6	Porcentaje de las animaciones seleccionadas más de una vez	79.24%
7	Animaciones seleccionadas por los profesores más de cinco veces	19
8	Porcentaje de las animaciones seleccionadas más de una vez	35.84%

De lo anterior podemos concluir que *Robby* es un personaje con la expresividad y afectividad adecuada para presentar las acciones pedagógicas de un tutor, ya que más del 85% de las animaciones fueron seleccionadas por lo menos una vez, casi el 80% fueron seleccionadas más de una vez, y más del 35% de las animaciones fueron seleccionadas más de cinco veces. Esto significa que la mayoría de las animaciones pueden aplicarse en un contexto de instrucción y educación.

La siguiente etapa del estudio consistió en mostrar a los profesores un video de estudiantes desarrollando experimentos en el STI de robótica móvil. En esta fase se solicitó a los profesores evaluar la situación del estudiante y establecer las acciones afectiva (animación) y pedagógica que consideran adecuadas. Ésta es la fase más importante del estudio ya que nos permite obtener información acerca sobre cómo los profesores seleccionan las acciones pedagógicas y las acciones afectivas con base en los estados pedagógico y afectivo de los estudiantes. La información obtenida en este punto nos permitió establecer las probabilidades iniciales y condicionales del modelo de comportamiento afectivo que se propone en el capítulo 6.

Para llevar a cabo esta fase del estudio se presentó a los profesores un programa en donde pudieron observar el video de los estudiantes llevando a cabo experimentos en el STI de robótica móvil, y además podían ingresar sus respuestas a las preguntas del estudio. En la figura D.4 se presenta un *screenshot* del programa. El elemento principal de este programa es un control *Active X* para permitir la incorporación de los elementos de *Windows Media Player* para reproducir la interacción del estudiante con el STI.

En el video de los estudiantes interactuando con el STI se puede observar las acciones del estudiante, pero no se observa al estudiante. El video tiene una duración aproximada de 20 minutos. En la interacción se presenta el desarrollo de seis experimentos dentro del STI de robótica móvil.

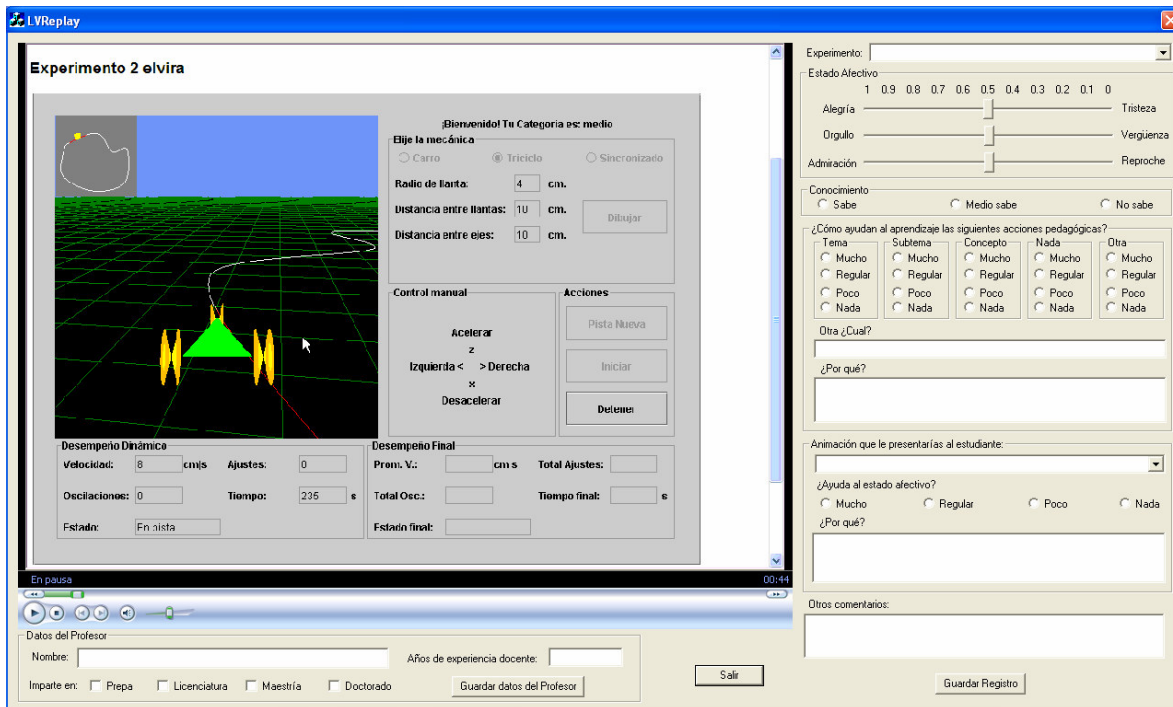


Figura D.4. Pantalla del programa para reproducir el video utilizado en el estudio y en donde los profesores ingresan las respuestas a las preguntas del estudio.

Cada uno de los profesores observó el video y se les solicitó que cada vez que el estudiante terminara el desarrollo de un experimento, detuvieran el video, escribieran su percepción acerca del estado afectivo y pedagógico del estudiante y que establecieran cuales serían las acciones pedagógica y afectiva que en su experiencia como profesor llevarían a cabo para ayudar al estudiante a aprender y a mejorar su estado afectivo o mantener un buen estado afectivo. La información que se solicitó a los profesores se muestra en la figura D.4 en el extremo derecho y se enlista a continuación:

- Se solicitó que establecieran el estado afectivo del estudiante con base en el desempeño del mismo. En este punto, se explicó brevemente la estructura del modelo afectivo del estudiante que se propone en esta tesis (y que se describe en el capítulo 5), así como el funcionamiento de la teoría de emociones OCC en la cual se encuentra fundamentado nuestro modelo afectivo del estudiante. Las emociones por evaluar son tres: alegría-tristeza, orgullo-vergüenza y admiración-reproche, en una escala del 0 al 1 y en donde las emociones son manejadas como dimensiones.
- Se solicitó que establecieran el estado pedagógico del estudiante con base en el desempeño del mismo.
- Se solicitó que seleccionaran cuál de las acciones pedagógicas que se encuentran disponibles en el STI sería la más adecuada en ese momento, dado el estado pedagógico y el estado afectivo del estudiante.
- También se les solicitó que expusieran sus razones para seleccionar la acción pedagógica que seleccionaron.

- e) De las animaciones que seleccionaron en la fase anterior del estudio, se solicitó que establecieran cuál de ellas sería la más adecuada para ayudar al estudiante tanto pedagógica como afectivamente.
- f) También se solicitó que expusieran sus razones para seleccionar la acción afectiva que seleccionaron.
- g) Como información extra, para cada movimiento se solicitó que escribieran cualquier comentario adicional que tuvieran acerca del estudio.

Como resultado de esta fase del estudio se obtuvieron 71 respuestas en total, esto significa que algunos profesores dieron más de una respuesta para cada experimento. Sin embargo, ya que el STI da instrucción al terminar el experimento solamente se analizaron las respuestas que los profesores dieron al final de los experimentos, esto es 54 respuestas. Todos los profesores dieron las respuestas a cada uno de los seis experimentos

Como primer punto de esta etapa tenemos las acciones afectivas que seleccionaron los profesores. De las 46 animaciones que los profesores seleccionaron en la fase anterior del estudio, en esta fase del estudio los profesores utilizaron solamente 16 animaciones. En la tabla D.5 se muestra la lista de las animaciones seleccionadas por los profesores para presentar a los estudiantes después de cada experimento.

Tabla D.5. Animaciones seleccionadas por los profesores.

Animaciones		No. de veces que se seleccionó
1	<i>Acknowledge</i>	4
2	<i>Alert</i>	1
3	<i>Announce</i>	2
4	<i>Confused</i>	7
5	<i>Congratulate</i>	13
6	<i>Decline</i>	3
7	<i>DoMagic_2</i>	1
8	<i>Explain</i>	3
9	<i>GestureDown</i>	1
10	<i>GetAttention</i>	3
11	<i>Process</i>	1
12	<i>Sad</i>	3
13	<i>Search</i>	1
14	<i>StartListening</i>	1
15	<i>Suggest</i>	7
16	<i>Think</i>	3
		54 respuestas

A diferencia del juego educativo, en donde la situación tutorial se califica con el éxito del movimiento del estudiante; en el STI de robótica móvil, la situación tutorial se califica con cuatro variables de los resultados del experimento. Las animaciones de la tabla D.5 fueron seleccionadas para las diferentes situaciones que pueden presentarse en el STI de robótica móvil. Más adelante se muestra con detalle en qué situación tutorial aplica cada una de estas animaciones.

Como puede observarse en la tabla D.5, los profesores seleccionaron 16 animaciones en 54 respuestas. Con el objeto de tener una selección de animaciones más precisa, de estas 16 animaciones eliminamos 6 animaciones que fueron seleccionadas solamente una vez, ya que en estos casos no podríamos generalizar el uso de dichas animaciones.

Por otro lado, dos animaciones fueron eliminadas por encontrar inconsistencias en las respuestas de los profesores, es decir, lo que el profesor expresa en su respuesta no es lo mismo que expresa con la animación. Por ejemplo, en un experimento con una situación tutorial regular, el profesor expresó que quería motivar al estudiante, sin embargo la acción afectiva que seleccionó fue *Decline* (tabla D.5), lo que el estudiante podría interpretar como que el agente se rinde (en enseñar al estudiante) ya que el estudiante no tuvo un desempeño perfecto en el desarrollo del experimento. Esta misma situación se presentó en el estudio con el juego educativo.

Después del análisis de cada una de las respuestas de los profesores para las acciones afectivas (animaciones), resultaron ocho animaciones para ser utilizadas por el modelo de comportamiento afectivo en las diferentes situaciones tutoriales que se pueden presentar en el STI de robótica móvil: tres animaciones para situación tutorial positiva, dos animaciones para situación tutorial regular, y tres animaciones para situación tutorial negativa. Las animaciones resultantes se muestran en la tabla D.6.

Tabla D.6. Animaciones (acciones afectivas) seleccionadas para ser usadas en el modelo de comportamiento afectivo.

No.	Acciones afectivas para situación tutorial positiva	Acciones afectivas para situación tutorial regular	Acciones afectivas para situación tutorial negativa
1	<i>Acknowledge</i>	<i>Confused</i>	<i>Explain</i>
2	<i>Announce</i>	<i>GetAttention</i>	<i>Suggest</i>
3	<i>Congratulate</i>		<i>Think</i>

Estas nueve acciones afectivas constituyen las opciones que tiene el tutor para mejorar el estado afectivo del estudiante, y de esta manera mejorar la disposición del estudiante hacia el aprendizaje. Una de estas acciones afectivas será presentada al estudiante después de cada vez que lleve a cabo un experimento. Cabe señalar que para llegar al grupo de ocho animaciones, se hizo un análisis consistente en leer los comentarios de los profesores para cada movimiento del estudiante para eliminar inconsistencias y tratar de agrupar los casos en donde los profesores coincidían en sus respuestas. La siguiente fase en el análisis de las respuestas de los profesores es establecer las condiciones para usar cada una de las acciones afectivas dependiendo del estado afectivo del estudiante. Es decir como las acciones afectivas impactan en el estado afectivo y en el estado pedagógico del estudiante.

Se hizo un análisis de cada una de las respuestas para las acciones afectivas, la mayoría de las respuestas de los maestros coincidieron que usan las acciones afectivas para motivar al estudiante, es decir para mejorar su estado afectivo o para mantenerlo en un nivel positivo. El análisis se hizo de manera separada para cada una de las tres dimensiones de emociones

que se incluyen en el modelo de comportamiento afectivo: *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche*. El objetivo es conocer en qué grado se encuentran las emociones cuando los profesores usan cada una de las acciones afectivas y pedagógicas. Para establecer las condiciones para cada acción afectiva se decidió usar el grado en que se encuentra el estado afectivo del estudiante en cada una de las respuestas de los profesores. En las tablas D.7-D.14 se muestran los grados de las tres dimensiones de las emociones para cada una de las respuestas de los profesores para cada acción afectiva, se muestra además el promedio de cada emoción.

Tabla D.7. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *acknowledge*.

Acknowledge	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	61	39	61	39	50	50
Respuesta2	59	41	50	50	50	50
Respuesta3	66	34	56	44	56	44
Respuesta4	63	37	49	51	53	47
Promedio	62.25	37.75	54.00	46.00	52.25	47.75

Tabla D.8. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *announce*.

Announce	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	50	50	82	18	50	50
Respuesta2	70	30	64	36	50	50
Promedio	60.00	40.00	73.00	27.00	50.00	50.00

Tabla D.9. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *congratulate*.

Congratulate	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	52	48	51	49	56	44
Respuesta2	60	40	62	38	56	44
Respuesta3	90	10	100	0	50	50
Respuesta4	59	41	50	50	57	43
Respuesta5	49	51	74	26	59	41
Respuesta6	70	30	66	34	66	34
Respuesta7	60	40	41	59	60	40
Respuesta8	66	34	50	50	54	46
Respuesta9	81	19	87	13	86	14
Respuesta10	90	10	90	10	90	10
Respuesta11	93	7	93	7	95	5
Respuesta12	93	7	93	7	95	5
Respuesta13	82	18	83	17	86	14
Promedio	72.69	27.31	72.31	27.69	70.00	30.00

Tabla D.10. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *confused*.

Confused	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	18	82	51	49	18	82
Respuesta2	28	72	20	80	30	70
Respuesta3	28	72	28	72	27	73
Respuesta4	20	80	26	74	27	73

Respuesta5	18	82	30	70	30	70
Respuesta6	35	65	35	65	29	71
Respuesta7	38	62	17	83	39	61
Promedio	26.43	73.57	29.57	70.43	28.57	71.43

Tabla D.11. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *getAttention*.

<i>GetAttention</i>	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	45	55	32	68	33	67
Respuesta2	69	31	74	26	67	33
Respuesta3	49	51	61	39	64	36
Promedio	54.33	45.67	55.67	44.33	54.67	45.33

Tabla D.12. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *explain*.

<i>Explain</i>	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	91	9	82	18	50	50
Respuesta2	87	13	75	25	48	52
Respuesta3	53	47	53	47	52	48
Promedio	77.00	23.00	70.00	30.00	50.00	50.00

Tabla D.13. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *suggest*.

<i>Surprised</i>	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	21	79	31	69	50	50
Respuesta2	98	2	99	1	75	25
Respuesta3	35	65	24	76	20	80
Respuesta4	40	60	50	50	51	49
Respuesta5	52	48	51	49	60	40
Respuesta6	63	37	38	62	63	37
Respuesta7	78	22	77	23	79	21
Promedio	55.29	44.71	52.86	47.14	56.86	43.14

Tabla D.14. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción afectiva *think*.

<i>Alert</i>	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	36	64	20	80	89	11
Respuesta2	11	89	15	85	0	100
Respuesta3	81	19	71	29	50	50
Promedio	42.67	57.33	35.33	64.67	46.33	53.67

En la tabla D.15 se muestran el promedio del grado de cada una de las emociones del modelo para cada una de las acciones afectivas: Esto significa que los profesores seleccionan la acción afectiva cuando las emociones se encuentra en el grado (además de acuerdo con la situación tutorial) que se muestra en la tabla D.15. Para facilitar la identificación de las acciones afectivas, se les asignó un identificador que se muestra en la segunda columna. Esta tabla es un resumen de las tablas D.7 a la D.14.

Tabla D.15. Promedio de las emociones para cada una de las acciones afectivas.

Acción afectiva	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
AA1 <i>Acknowledge</i>	62.25	37.75	54.00	46.00	52.25	47.75
AA2 <i>Announce</i>	60.00	40.00	73.00	27.00	50.00	50.00
AA3 <i>Congratulate</i>	72.69	27.31	72.31	27.69	70.00	30.00
AA4 <i>Confused</i>	26.43	73.57	29.57	70.43	28.57	71.43
AA5 <i>GetAttention</i>	54.33	45.67	55.67	44.33	54.67	45.33
AA6 <i>Explain</i>	77.00	23.00	70.00	30.00	50.00	50.00
AA7 <i>Suggest</i>	55.29	44.71	52.86	47.14	56.86	43.14
AA8 <i>Think</i>	42.67	57.33	35.33	64.67	46.33	53.67

Las acciones afectivas para los casos de situación tutorial positiva se encuentran en los renglones 1 al 3, en todos los casos las tres dimensiones de las emociones se encuentran en un nivel por arriba de 50, es decir que se encuentran en un estado afectivo positivo. Las acciones afectivas para los casos de situación tutorial regular se encuentran en los renglones 4 y 5, en todos los casos las tres dimensiones de las emociones se encuentran en un nivel por abajo del 60, es decir que se encuentran en un estado afectivo de neutro a negativo. Las acciones afectivas para los casos de situación tutorial negativa se encuentran en los renglones 6 al 8, en todos los casos las tres dimensiones de las emociones se encuentran en un nivel por abajo del 70, es decir que se encuentran en un estado afectivo de neutro tendiendo a negativo.

En la tabla D.16 se muestran los promedios de la emoción *alegría-tristeza* ordenados de mayor a menor (con respecto a la emoción *alegría*). La tabla D.16 indica que cuando la emoción *alegría-tristeza* se encuentra en ese grado (y la situación tutorial es positiva) los profesores llevan a cabo esas acciones afectivas. El ordenamiento de los promedios se hizo con el objeto de hacer más clara la tabla, e indica las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo conforme decrece la emoción *alegría* (y la emoción *tristeza* crece) en los casos de situación tutorial positiva.

Tabla D.16. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *alegría-tristeza* para una situación tutorial positiva.

Acción afectiva	Alegría	Tristeza
AA3 <i>Congratulate</i>	72.69	27.31
AA1 <i>Acknowledge</i>	62.25	37.75
AA2 <i>Announce</i>	60.00	40.00

De manera similar, en las tablas D.17 y D.18 se muestran los promedios de las emociones *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche* ordenados de mayor a menor (con respecto a las emociones *orgullo* y *admiración*), para los casos de situación tutorial positiva.

En la tabla D.19 se muestran los promedios de la emoción *alegría-tristeza* ordenados de mayor a menor (con respecto a la emoción *alegría*). La tabla D.19 indica que cuando la emoción *alegría-tristeza* se encuentra en ese grado y el estudiante ha tenido un desempeño regular, los profesores llevan a cabo esas acciones afectivas. El ordenamiento de los

promedios indica las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo conforme decrece la emoción *alegría* (y la emoción *tristeza* crece) en los casos de situación tutorial regular.

Tabla D.17. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *orgullo-vergüenza* para una situación tutorial positiva.

Acción afectiva		Orgullo	Vergüenza
AA2	<i>Announce</i>	73.00	27.00
AA3	<i>Congratulate</i>	72.31	27.69
AA1	<i>Acknowledge</i>	54.00	46.00

Tabla D.18. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *admiración-reproche* para una situación tutorial positiva.

Acción afectiva		Admiración	Reproche
AA1	<i>Acknowledge</i>	52.25	47.75
AA2	<i>Announce</i>	50.00	50.00
AA3	<i>Congratulate</i>	70.00	30.00

Tabla D.19. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *alegría-tristeza* para una situación tutorial regular.

Acción afectiva		Alegría	Tristeza
AA4	<i>Confused</i>	26.43	73.57
AA5	<i>GetAttention</i>	54.33	45.67

De la misma manera, en las tablas D.20 y D.21 se muestran los promedios de las emociones *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche* ordenados de mayor a menor (con respecto a las emociones *vergüenza* y *reproche*), para los casos de situación tutorial regular.

Tabla D.20. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *orgullo-vergüenza* para una situación tutorial regular.

Acción afectiva		Orgullo	Vergüenza
AA4	<i>Confused</i>	29.57	70.43
AA5	<i>GetAttention</i>	55.67	44.33

Tabla D.21. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *admiración-reproche* para una situación tutorial regular.

Acción afectiva		Admiración	Reproche
AA4	<i>Confused</i>	28.57	71.43
AA5	<i>GetAttention</i>	54.67	45.33

En la tabla D.22 se muestran los promedios de la emoción *alegría-tristeza* ordenados de mayor a menor (con respecto a la emoción *tristeza*). La tabla D.22 indica que cuando la

emoción *alegría-tristeza* se encuentra en ese grado y la situación tutorial es negativa, los profesores llevan a cabo esas acciones afectivas. El ordenamiento de los promedios indica las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo conforme decrece la emoción *tristeza* (y la emoción *alegría* crece) en los casos de situación tutorial negativa.

Tabla D.22. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *alegría-tristeza* para una situación tutorial negativa.

Acción afectiva		Alegría	Tristeza
AA8	<i>Think</i>	42.67	57.33
AA7	<i>Suggest</i>	55.29	44.71
AA6	<i>Explain</i>	77.00	23.00

De la misma manera, en las tablas D.23 y D.24 se muestran los promedios de las emociones *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche* ordenados de mayor a menor (con respecto a las emociones *vergüenza* y *reproche*), para los casos de situación tutorial negativa.

Tabla D.23. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *orgullo-vergüenza* para una situación tutorial negativa.

Acción afectiva		Orgullo	Vergüenza
AA8	<i>Think</i>	35.33	64.67
AA7	<i>Suggest</i>	52.86	47.14
AA6	<i>Explain</i>	70.00	30.00

Tabla D.24. Acciones afectivas ordenadas por el promedio de la emoción *admiración-reproche* para una situación tutorial negativa.

Acción afectiva		Admiración	Reproche
AA8	<i>Think</i>	46.33	53.67
AA6	<i>Explain</i>	50.00	50.00
AA7	<i>Suggest</i>	56.86	43.14

Las tablas D.16, D.17 y D.18 muestran las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo, de acuerdo con el grado de cada una de las tres emociones, en los casos en que la situación tutorial es positiva; mientras que las tablas D.19, D.20 y D.21 muestran las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo, de acuerdo con el grado de cada una de las tres emociones en los casos en que los estudiantes tienen un desempeño regular; finalmente, en las tablas D.22, D.23 y D.24 muestran las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo, de acuerdo con el grado de cada una de las tres emociones, en los casos en que la situación tutorial es negativa.

En este mismo punto del estudio se solicitó a los profesores que establecieran las acciones pedagógicas que consideran adecuadas para presentar a los estudiantes de acuerdo con su estado afectivo y de conocimientos. A continuación se presentan las acciones pedagógicas que seleccionaron los profesores.

Las acciones pedagógicas en el STI de robótica móvil consisten en lecciones de los temas del experimento desarrollado. Las lecciones se presentan en tres niveles: tema, subtema y concepto. Las lecciones son presentadas por medio de archivos y son presentadas al estudiante de acuerdo con su estado de conocimiento. También tiene la posibilidad de no presentar ninguna explicación al estudiante. En la tabla D.25 se muestra las acciones pedagógicas de un experimento y que fueron usadas en el estudio; mientras que en la figura D.5 se muestra un ejemplo de las acciones pedagógicas en el STI de robótica móvil.

Tabla D.25. Lecciones de un experimento disponible en el STI de robótica móvil.

Tipo de lección	Lección
Tema	Cinemática de robots móviles
Subtema	Robots móviles en forma de carro
	Robots móvil tipo triciclo
	Robots móviles en forma de robot sincronizado
Concepto	Dimensiones de un robot <i>Ackerman</i>
	Ángulo eje-carro <i>Ackerman</i>
	Velocidad angular
	Medidas de robots que participan en competencias

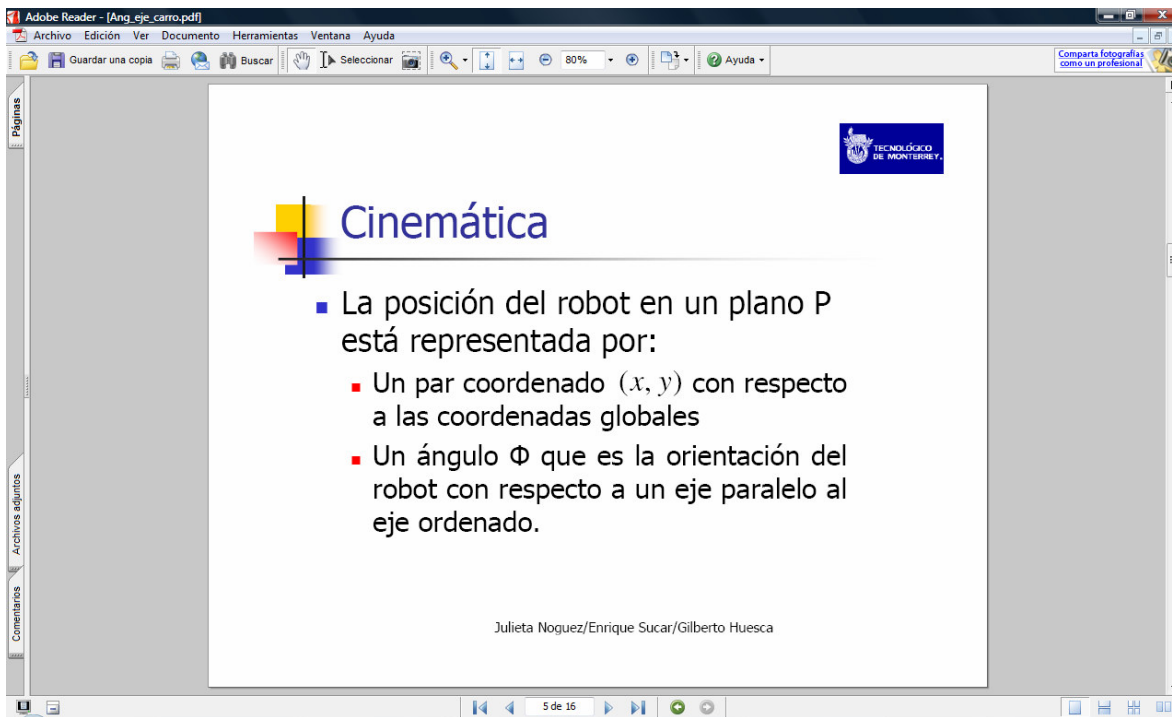


Figura D.5. Ejemplo de una explicación disponible en el STI de robótica móvil. Se presenta la descripción del concepto “Ángulo eje-carro *Ackerman*”, este concepto forma parte del tema de un experimento.

Al igual que para las acciones afectivas, se solicitó a los profesores participantes en el estudio que seleccionaran la acción pedagógica que consideren es la más adecuada para ayudar al estudiante de acuerdo con su estado pedagógico, su estado afectivo, así como con la situación tutorial. En la tabla D.26 se muestra las acciones pedagógicas que seleccionaron los maestros cuando la situación tutorial es positiva y el número de veces que fue seleccionada.

Como puede observarse en la tabla D.26, cuando la situación tutorial es positiva, los profesores seleccionaron las cuatro acciones pedagógicas posibles en 27 respuestas. Por el lado de la situación tutorial regular, es decir, cuando el estudiante llevó a cabo un experimento con no muy buenos resultados, los profesores seleccionaron tres acciones pedagógicas (de las cuatro posibles) en 18 respuestas. En la tabla D.27 se muestra la lista de las acciones pedagógicas seleccionadas por los profesores para situación tutorial regular y el número de veces que fue seleccionada.

Tabla D.26. Acciones pedagógicas seleccionadas por los profesores para situación tutorial positiva.

Acciones pedagógicas para situación tutorial positiva		No. de veces que se seleccionó
AP0	Ninguna (no presentar ninguna explicación al estudiante)	3
AP1	Explicación de un concepto	15
AP2	Explicación del subtema	3
AP3	Explicación del tema	6
		27 respuestas

Tabla D.27. Acciones pedagógicas seleccionadas por los profesores para situación tutorial regular.

Acciones pedagógicas para situación tutorial positiva		No. de veces que se seleccionó
AP0	Ninguna (no presentar ninguna explicación al estudiante)	0
AP1	Explicación de un concepto	2
AP2	Explicación del subtema	6
AP3	Explicación del tema	10
		18 respuestas

Por el lado de la situación tutorial negativa, los profesores seleccionaron tres acciones pedagógicas (de las cuatro posibles) en 9 respuestas. En la tabla D.28 se muestra la lista de las acciones pedagógicas seleccionadas por los profesores para situación tutorial regular y el número de veces que fue seleccionada.

A diferencia de las acciones afectivas, en el caso de las acciones pedagógicas, la mayoría fueron utilizadas tanto para diferentes situaciones tutoriales, y no mostraron inconsistencias.

La siguiente fase en el análisis de las respuestas de los profesores es establecer las condiciones para usar cada una de las acciones pedagógicas dependiendo del estado afectivo del estudiante. El análisis se hizo de manera separada para cada una de las tres dimensiones de emociones que se incluyen en el modelo de comportamiento afectivo: *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche*. El objetivo es conocer en qué grado se encuentran las emociones cuando los profesores usan cada una de las acciones pedagógicas.

Tabla D.28. Acciones pedagógicas seleccionadas por los profesores para situación tutorial negativa.

Acciones pedagógicas para situación tutorial positiva		No. de veces que se seleccionó
AP0	Ninguna (no presentar ninguna explicación al estudiante)	1
AP1	Explicación de un concepto	5
AP2	Explicación del subtema	3
AP3	Explicación del tema	0
		9 respuestas

El análisis se inició tomando los rangos de las tres dimensiones de emociones para cada una de las acciones pedagógicas; sin embargo, al agrupar las respuestas de cada una de las acciones pedagógicas se obtuvieron rangos muy amplios y con traslapes con los rangos de las emociones para otras acciones pedagógicas; por esta razón se decidió usar el promedio de las emociones. En las tablas D.29-D.38 se muestran los grados de las tres dimensiones de las emociones en cada una de las respuestas de cada acción pedagógica y para determinada situación tutorial, se muestra además el promedio de cada emoción.

Tabla D.29. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP0 en una situación tutorial positiva.

Acción pedagógica AP0	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	93	7	93	7	95	5
Respuesta2	93	7	93	7	95	5
Respuesta3	100	0	100	0	90	10
Promedio	95.33	4.67	95.33	4.67	93.33	6.67

Tabla D.30. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP1 en una situación tutorial positiva.

Acción pedagógica AP1	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	39	61	30	70	78	22
Respuesta2	18	82	51	49	18	82
Respuesta3	18	82	30	70	30	70
Respuesta4	40	60	50	50	51	49
Respuesta5	52	48	51	49	56	44
Respuesta6	49	51	74	26	59	41
Respuesta7	66	34	56	44	56	44
Respuesta8	81	19	87	13	86	14
Respuesta9	90	10	90	10	90	10
Respuesta10	60	40	62	38	56	44
Respuesta11	91	9	82	18	50	50

Respuesta12	59	41	50	50	50	50
Respuesta13	70	30	64	36	50	50
Respuesta14	63	37	49	51	53	47
Respuesta15	69	31	74	26	67	33
Promedio	57.67	42.33	60.00	40.00	56.67	43.33

Tabla D.31. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP2 en una situación tutorial positiva.

Acción pedagógica AP2	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	20	80	29	71	50	50
Respuesta2	61	39	61	39	50	50
Respuesta3	59	41	50	50	57	43
Promedio	46.67	53.33	46.67	53.33	52.33	47.67

Tabla D.32. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP3 en una situación tutorial positiva.

Acción pedagógica AP3	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	21	79	31	69	50	50
Respuesta2	28	72	20	80	30	70
Respuesta3	66	34	16	84	37	63
Respuesta4	38	62	17	83	39	61
Respuesta5	60	40	41	59	60	40
Respuesta6	52	48	51	49	60	40
Promedio	44.17	55.83	29.33	70.67	46.00	54.00

Tabla D.33. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP1 en una situación tutorial regular.

Acción pedagógica AP1	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	15	85	30	70	12	88
Respuesta2	82	18	83	17	86	14
Promedio	48.5	51.5	56.5	43.5	49.0	51.0

Tabla D.34. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP2 en una situación tutorial regular.

Acción pedagógica AP2	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	39	61	39	61	16	84
Respuesta2	11	89	15	85	0	100
Respuesta3	87	13	75	25	48	52
Respuesta4	53	47	53	47	52	48
Respuesta5	49	51	61	39	64	36
Respuesta6	72	28	82	18	62	38
Promedio	51.83	48.17	54.17	45.83	40.33	59.67

Tabla D.35. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP3 en una situación tutorial regular.

Acción pedagógica AP3	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	28	72	28	72	27	73
Respuesta2	35	65	35	65	29	71
Respuesta3	45	55	32	68	33	67

Respuesta4	63	37	28	72	53	47
Respuesta5	29	71	14	86	7	93
Respuesta6	29	71	29	71	49	51
Respuesta7	36	64	20	80	89	11
Respuesta8	20	80	26	74	27	73
Respuesta9	35	65	24	76	20	80
Respuesta10	63	37	38	62	63	37
Promedio	38.3	61.7	27.4	72.6	39.7	60.30

Tabla D.36. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP0 en una situación tutorial negativa.

Acción pedagógica AP0	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	90	10	100	0	50	50
Promedio	90	10	100	0	50	50

Tabla D.37. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP1 en una situación tutorial negativa.

Acción pedagógica AP1	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	55	45	59	41	70	30
Respuesta2	98	2	99	1	75	25
Respuesta3	66	34	50	50	54	46
Respuesta4	78	22	77	23	79	21
Respuesta5	81	19	71	29	50	50
Promedio	75.6	24.4	71.2	28.8	65.6	34.4

Tabla D.38. Grado de las emociones para cada una de las respuestas para la acción pedagógica AP2 en una situación tutorial negativa.

Acción pedagógica AP2	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Respuesta1	39	61	39	61	50	50
Respuesta2	50	50	82	18	50	50
Respuesta3	70	30	66	34	66	34
Promedio	53.00	47.00	62.33	37.67	55.33	44.67

En la tabla D.39 se muestra el promedio del grado de cada una de las emociones del modelo para cada una de las acciones pedagógicas. Esto significa que los profesores seleccionan la acción pedagógica cuando las emociones se encuentran en el grado que se muestra en la tabla D.39. Esta tabla es un resumen de las tablas D.29 a la D.38.

Tabla D.39. Promedio de las emociones para cada una de las acciones pedagógicas.

Situación Tutorial	Acción pedagógica	Alegría	Tristeza	Orgullo	Vergüenza	Admiración	Reproche
Positiva	AP0	95.33	4.67	95.33	4.67	93.33	6.67
	AP1	57.67	42.33	60.00	40.00	56.67	43.33
	AP2	46.67	53.33	46.67	53.33	52.33	47.67
	AP3	44.17	55.83	29.33	70.67	46.00	54.00
Regular	AP1	48.50	51.50	56.5	43.5	49.0	51.0
	AP2	51.83	48.17	54.17	45.83	40.33	59.67
	AP3	38.30	61.7	27.4	72.6	39.7	60.30

Negativa	AP0	90.00	10.00	100.00	0.00	50.00	50.00
	AP1	75.60	24.40	71.20	28.80	65.60	34.40
	AP2	53.00	47.00	62.33	37.67	55.33	44.67

Las acciones pedagógicas para los casos de situación tutorial positiva se encuentran en los renglones 1 al 4 de la tabla D.39. Las acciones pedagógicas para los casos en el estudiante tiene un desempeño regular en el desarrollo del experimento se encuentran en los renglones 5 al 7 de la misma tabla, mientras que las acciones pedagógicas para los casos de situación tutorial negativa se encuentran en los renglones 8 al 10. En la tabla D.40 se muestran los promedios de la emoción *alegría-tristeza* ordenados de mayor a menor (con respecto a la emoción *alegría*). La tabla indica que cuando la emoción *alegría-tristeza* se encuentra en ese grado (y la situación tutorial es positiva) los profesores llevan a cabo esas acciones pedagógicas. El ordenamiento de los promedios indica las acciones pedagógicas que los profesores llevan a cabo conforme decrece la emoción *alegría* (y la emoción *tristeza* crece) en los casos de situación tutorial positiva.

Tabla D.40. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *alegría-tristeza* para una situación tutorial positiva.

Acción pedagógica	Alegría	Tristeza
AP0	95.33	4.67
AP1	57.67	42.33
AP2	46.67	53.33
AP3	44.17	55.83

De la misma manera, en las tablas D.41 y D.42 se muestran los promedios de la emociones *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche* ordenados de mayor a menor (con respecto a las emociones *orgullo* y *vergüenza*), para los casos de situación tutorial positiva.

Tabla D.41. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *orgullo-vergüenza* para una situación tutorial positiva.

Acción pedagógica	Orgullo	Vergüenza
AP0	95.33	4.67
AP1	60.00	40.00
AP2	46.67	53.33
AP3	29.33	70.67

Tabla D.42. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *admiración-reproche* para una situación tutorial positiva.

Acción pedagógica	Admiración	Reproche
AP0	93.33	6.67
AP1	56.67	43.33
AP2	52.33	47.67
AP3	46.00	54.00

Las tablas D.40, D.41 y D.42 muestran las acciones pedagógicas que los profesores llevan a cabo, de acuerdo con el grado de cada una de las tres emociones, en los casos de que exista una situación tutorial positiva. A continuación veremos las acciones pedagógicas para los casos en que la situación tutorial es regular. En la tabla D.43 se muestran los promedios de la emoción *alegría-tristeza* ordenados de menor a mayor (con respecto a la emoción *alegría*). La tabla D.43 indica que cuando la emoción *alegría-tristeza* se encuentra en ese grado (y la situación tutorial es regular) los profesores llevan a cabo esas acciones pedagógicas. El ordenamiento de los promedios indica las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo conforme decrece la emoción *alegría* (y la emoción *tristeza* crece) en los casos de situación tutorial regular.

Tabla D.43. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *alegría-tristeza* para una situación tutorial regular.

Acción pedagógica	Alegría	Tristeza
AP2	51.83	48.17
AP1	48.50	51.50
AP3	38.30	61.7

De igual forma, en las tablas D.44 y D.45 se muestran los promedios de la emociones *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche* ordenados de mayor a menor (con respecto a las emociones *orgullo* y *admiración*), para los casos de situación tutorial regular.

Tabla D.44. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *orgullo-vergüenza* para una situación tutorial regular.

Acción pedagógica	Orgullo	Vergüenza
AP1	56.50	43.50
AP2	54.17	45.83
AP3	27.40	72.60

Tabla D.45. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *admiración-reproche* para una situación tutorial regular.

Acción pedagógica	Admiración	Reproche
AP1	49.00	51.00
AP2	40.33	59.67
AP3	39.70	60.30

Las tablas D.43, D.44 y D.45 muestran las acciones pedagógicas que los profesores llevan a cabo, de acuerdo con el grado de cada una de las tres emociones, en los casos de situación tutorial regular. A continuación veremos las acciones pedagógicas para los casos de situación tutorial negativa.

En la tabla D.46 se muestran los promedios de la emoción *alegría-tristeza* ordenados de mayor a menor (con respecto a la emoción *tristeza*). La tabla D.46 indica que cuando la

emoción *alegría-tristeza* se encuentra en ese grado (y la situación tutorial es negativa) los profesores llevan a cabo esas acciones pedagógicas. El ordenamiento de los promedios indica las acciones afectivas que los profesores llevan a cabo conforme decrece la emoción *tristeza* (y la emoción crece *alegría*) en los casos de situación tutorial negativa.

Tabla D.46. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *alegría-tristeza* para una situación tutorial negativa.

Acción pedagógica	Alegría	Tristeza
AP2	53.00	47.00
AP1	75.60	24.40
AP0	90.00	10.00

De la misma manera, en las tablas D.47 y D.48 se muestran los promedios de la emociones *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche* ordenados de mayor a menor (con respecto a las emociones *vergüenza* y *reproche*), para los casos de situación tutorial negativa.

Tabla D.47. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *orgullo-vergüenza* para una situación tutorial negativa.

Acción pedagógica	Orgullo	Vergüenza
AP2	62.33	37.67
AP1	71.20	28.80
AP0	100.00	0.00

Tabla D.48. Acciones pedagógicas ordenadas por el promedio de la emoción *admiración-reproche* para una situación tutorial negativa.

Acción pedagógica	Admiración	Reproche
AP0	50.00	50.00
AP2	55.33	44.67
AP1	65.60	34.40

Las tablas D.40, D.41 y D.42 muestran las acciones pedagógicas que los profesores llevan a cabo, de acuerdo con el grado de cada una de las tres emociones, en los casos en que la situación tutorial es positiva; mientras que las tablas D.43, D.44 y D.45 muestran las acciones pedagógicas que los profesores llevan a cabo, de acuerdo con el grado de cada una de las tres emociones en los casos en que los estudiantes tienen un desempeño regular; finalmente, en las tablas D.46, D.47 y D.48 muestran las acciones pedagógicas que los profesores llevan a cabo, de acuerdo con el grado de cada una de las tres emociones, en los casos en que la situación tutorial es negativa.

En la siguiente y última fase del estudio se presentó a los profesores participantes en el estudio un cuestionario con tres preguntas generales acerca de cómo perciben la relación del aprendizaje con las emociones de los estudiantes. Las preguntas que se hicieron a los profesores son las siguientes:

1. A la hora de impartir clase ¿Tomas en cuenta el estado pedagógico y el estado afectivo? ¿Por qué?
2. ¿Qué es más importante para ti, el estado afectivo o el estado pedagógico? ¿Por qué?
3. ¿Podrías clasificar en categorías las acciones que usas para enseñar?

Las respuestas de los profesores a las preguntas uno y dos del cuestionario se presentan en la tabla D.49. Cabe destacar que los nueve participantes en el estudio contestaron el cuestionario completo.

Tabla D.49. Respuestas de los profesores a las preguntas 1 y 2 del cuestionario general del estudio.

Profesor	Toma en cuenta		Cuál es más importante		
	Estado Pedagógico	Estado Afectivo	Estado Pedagógico	Estado Afectivo	Igualmente Importante
Profesor 1	Si	Si			X
Profesor 2	Si	Si			X
Profesor 3	Si	Si			X
Profesor 4	Si	Si			X
Profesor 5	Si	Si			X
Profesor 6	Si	Si			X
Profesor 7	Si	Si			X
Profesor 8	Si	No	X		
Profesor 9	Si	Si	X		

De las respuestas de los profesores obtuvimos que el 89% de los profesores consideran que ambos estados son importantes para establecer las acciones que les presentaran a los estudiantes. Podemos observar que solamente un profesor considera que el estado afectivo de los estudiantes no es importante al momento de impartirles la clase (profesor 8).

En la tabla D.49 vemos que 8 profesores consideran ambos estados al momento de dar clase o tutoría. Esto significa que el 89 de los profesores está de acuerdo con la hipótesis de esta tesis. Esto es, que tanto el estado pedagógico como el estado afectivo deben ser considerados al momento de enseñar para mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

De los 8 profesores que consideran ambos estados importantes en el aprendizaje, tenemos que un profesor considera que el estado pedagógico es más importante, mientras que 7 consideran que ambos estados son igualmente importantes.

En la pregunta 3 se les solicitó a los profesores que trataran de clasificar las acciones que llevan a cabo al momento de enseñar. Sin embargo, las respuestas a esta pregunta fueron muy generales y amplias por lo que fue difícil obtener una clasificación para las acciones que llevan a cabo los profesores. Sin embargo, todos los profesores coincidieron en que las acciones que llevan a cabo tienen la finalidad de motivar a los estudiantes y que el objetivo

final es que aprendan. Algunas de las categorías mencionadas por los profesores se muestran a continuación:

- Categoría sugerida
- Retroalimentación positiva
- Retroalimentación negativa
- Motivar
- Explicar
- Cuestionamientos
- Cambio de estímulo/método
- Actividad grupal

Anexo E

Modelo afectivo del tutor en un
segundo dominio de prueba

E.1. Modelo afectivo del tutor en un STI de robótica móvil

Se utilizo un sistema tutor inteligente de robótica móvil (Noguez y Sucar, 2005) como dominio de prueba. El STI cuenta con un modelo pedagógico del estudiante basado en redes bayesianas. En la figura E.1 se muestra la red bayesiana que representa el modelo pedagógico del estudiante en un experimento en el STI. En la figura E.2 se muestra el modelo afectivo del estudiante para un experimento en el STI.

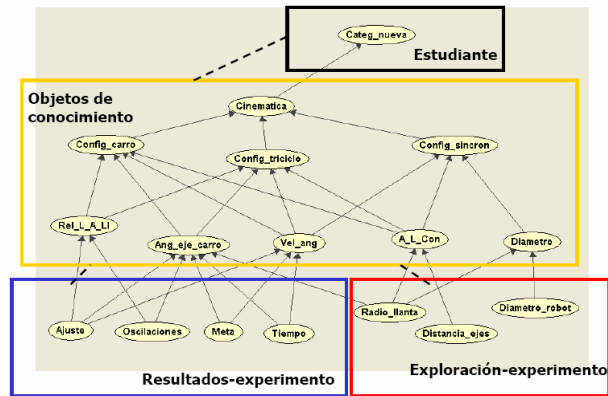


Figura E.1. Red bayesiana del modelo pedagógico del estudiante. Esta red bayesiana corresponde al modelo pedagógico del estudiante del experimento de seguimiento de pista.

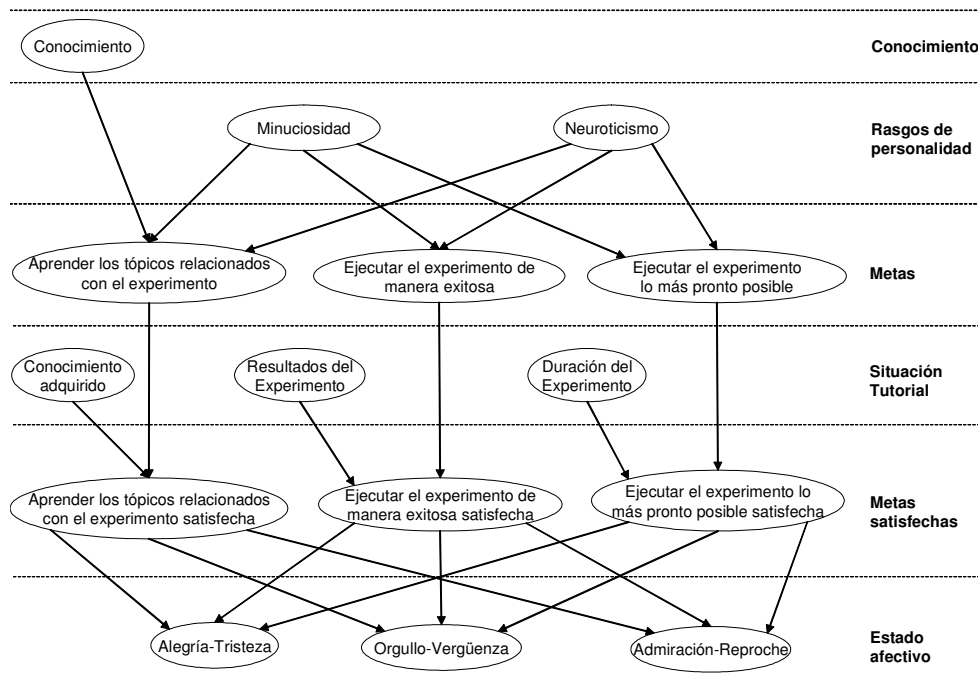


Figura E.2. Red bayesiana detallada representando el modelo afectivo del estudiante en el sistema tutor inteligente de robótica móvil.

Para propósitos de claridad, en la figura E.3 se presenta nuevamente la red bayesiana del modelo afectivo del estudiante en un nivel abstracto cada uno de los nodo de esta red corresponden a un grupo de nodos en la red bayesiana de la figura E2. En la figura E.4 se presenta la red de decisión dinámica del modelo afectivo del tutor, también en un nivel abstracto.

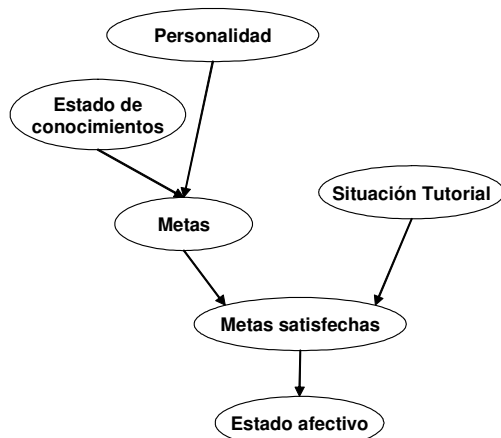


Figura E.3. Red bayesiana de alto nivel que representa el modelo afectivo del estudiante.

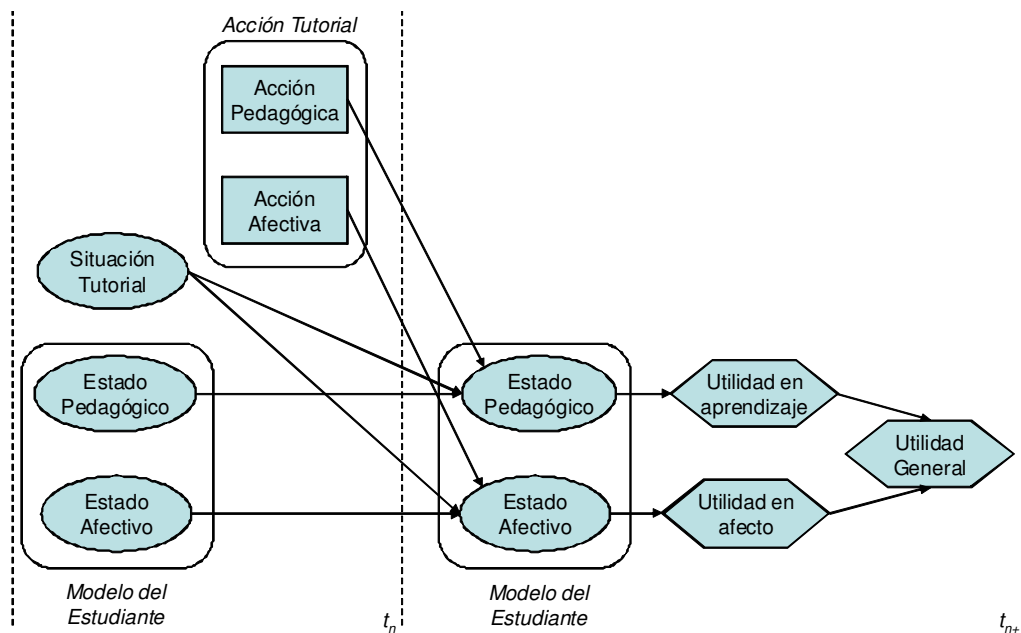


Figura E.4. Red de decisión dinámica de alto nivel para el modelo afectivo del tutor.

El nodo de decisión *acción pedagógica* (ver figura E.4) representa las acciones pedagógicas que se pueden presentar al estudiante y son aquellas disponibles en el STI. Las acciones pedagógicas tienen una influencia directa en el estado pedagógico del estudiante que a su vez tiene una utilidad en el aprendizaje y en el proceso de tutoría en general. La acción

pedagógica que se presente al estudiante será aquella que junto con la acción afectiva produzca la máxima utilidad en el proceso de tutoría. Los tipos de acciones pedagógicas del STI se presentan en la tabla E.1 y en la tabla E.2 se muestran los valores del nodo *acción pedagógica* de la red de decisión correspondiente al experimento de seguimiento de pista.

Tabla E.1. Tipo de acciones pedagógicas en el STI de robótica móvil.

Acciones pedagógicas	
AP0	Ninguna
AP1	Explicación de un concepto
AP2	Explicación del subtema
AP3	Explicación del tema

Tabla E.2. Acciones pedagógicas en el STI de robótica móvil para el experimento de seguimiento de pista.

Acción Pedagógica	Descripción	
AP0	Ninguna	
AP1	AP1-1	Explicación del concepto dimensiones de un robot <i>Ackerman</i>
	AP1-2	Explicación del concepto ángulo eje-carro <i>Ackerman</i>
	AP1-3	Explicación del concepto velocidad angular
	AP1-4	Explicación del concepto medidas de robots que participan en competencias
AP2	AP2-1	Explicación del subtema robots móviles en forma de carro
	AP2-2	Explicación del subtema robots móvil tipo triciclo
	AP2-3	Explicación del subtema robots móviles en forma de robot sincronizado
AP3	Explicación del tema cinemática de robots móviles	

El nodo de decisión *acción afectiva* (ver figura E.4) tiene las acciones afectivas que se pueden presentar al estudiante. Las acciones afectivas tienen una influencia directa en el estado afectivo del estudiante que a su vez tiene una utilidad en el afecto y en el proceso de tutoría en general. La acción afectiva que se presente al estudiante será aquella que junto con la acción pedagógica produzca la máxima utilidad en el proceso de tutoría. Los valores del nodo *acción afectiva* se presentan en la tabla E.3.

Tabla E.3. Acciones afectivas del modelo afectivo del tutor para el STI de robótica móvil.

Acciones afectivas	
AA1	<i>Acknowledge</i>
AA2	<i>Announce</i>
AA3	<i>Congratulate</i>
AA4	<i>Confused</i>
AA5	<i>GetAttention</i>
AA6	<i>Explain</i>
AA7	<i>Suggest</i>
AA8	<i>Think</i>

Las acciones afectivas forman un subconjunto de las animaciones disponibles en *Microsoft Agent* (Microsoft, 2005) y son aquellas que los profesores consideraron adecuadas para la audiencia del STI de robótica móvil y para la naturaleza del mismo. En la figura E.5 se muestran imágenes de las animaciones de la tabla E.3.

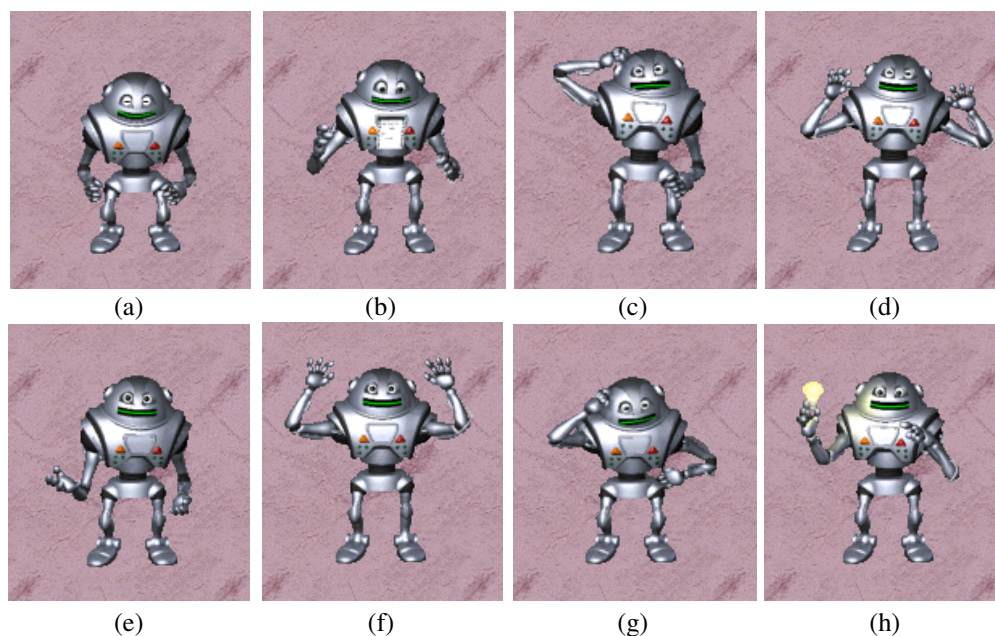


Figura E.5. Acciones afectivas en el modelo de comportamiento afectivo para el STI de robótica móvil. Se presentan las ocho acciones afectivas seleccionadas por los profesores: a) *acknowledge*, b) *announce*, c) *confused*, d) *congratulate*, e) *getAttention*, f) *explain*, g) *think* y h) *suggest* (Copyright Microsoft Corporation, todos los derechos reservados).

El nodo siguiente en la red de decisión del modelo afectivo del tutor es el nodo *situación tutorial* (ver figura E.4). Este nodo tiene dos posibles valores: *positivo* o *negativo* y obtiene su valor de los nodos *conocimiento adquirido*, *resultado del experimento*, y *duración del experimento* de la red bayesiana del modelo afectivo del estudiante (ver figura E.2). A su vez estos nodos toman sus valores del modelo pedagógico del estudiante. En la figura E.6 se muestran las relaciones de los nodos *situación tutorial* del modelo afectivo del estudiante con el modelo pedagógico del estudiante de manera detallada. Esta figura resulta de la integración de la red bayesiana de la figura E.1 con la red bayesiana de la figura E.2.

En la figura E.7 se muestra un fragmento la integración de la red bayesiana del modelo afectivo del estudiante con la red de decisión del modelo afectivo del tutor. La integración se muestra en un nivel abstracto de detalle. La red de la figura E7 resulta de integrar la red bayesiana de la figura E.2 con la red de decisión de la figura E.4. El nodo *situación tutorial* tiene impacto en el estado pedagógico y en el estado afectivo en el siguiente segmento de tiempo, y estos a su vez tienen una utilidad en el aprendizaje, en el afecto y en el proceso de tutoría en general.

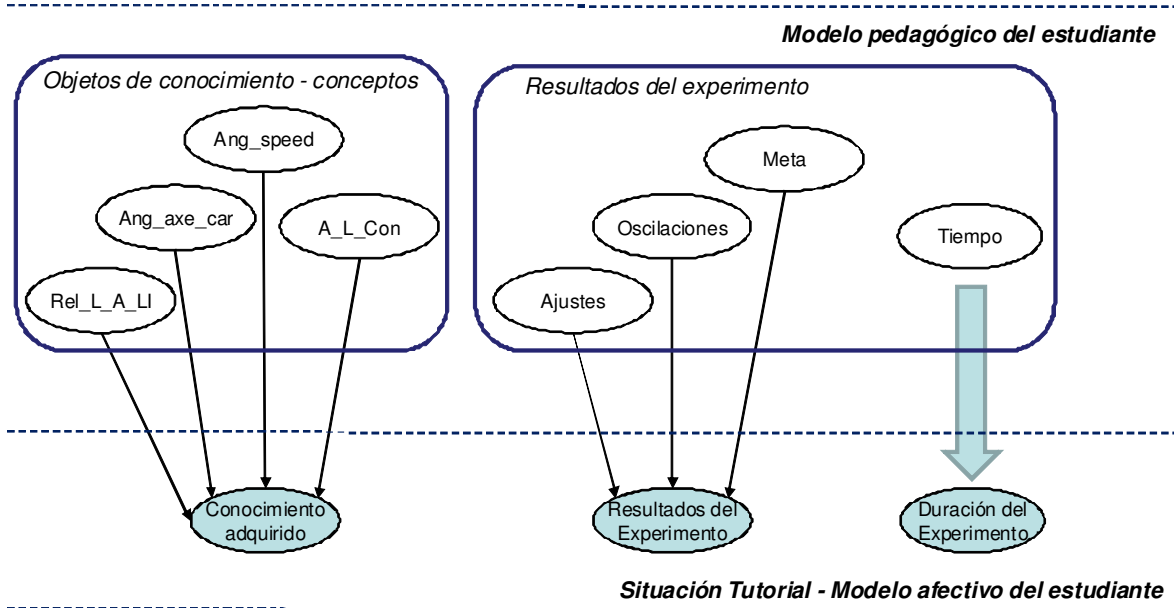


Figura E.6. Valores de los nodos *situación tutorial*. Se muestra la integración de la red bayesiana del modelo pedagógico del estudiante con la red bayesiana del modelo afectivo del estudiante.

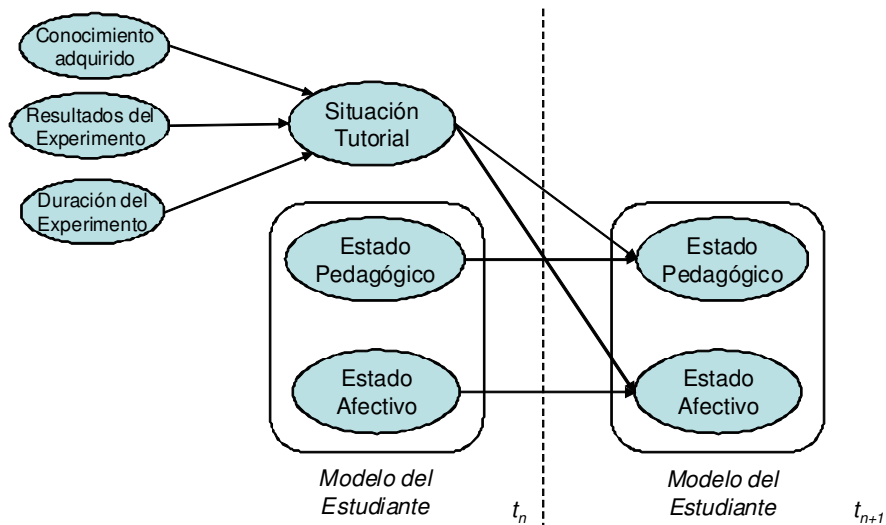


Figura E.7. Valor del nodo *situación tutorial* en el tiempo t_n . Se muestra un fragmento de la integración de la red bayesiana del modelo afectivo del estudiante con la red de decisión del modelo afectivo del tutor.

El nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_n (ver figura E.4) corresponde al conjunto de nodos *objetos de conocimiento* en la red bayesiana del modelo pedagógico del estudiante (figura E.1). Cada nodo tiene dos valores: *sabe* y *no sabe*. El nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_n tiene un impacto directo en el nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_{n+1} .

El nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_{n+1} (ver figura E.4) se ve influenciado por el nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_n , por el nodo *situación tutorial* y por la *acción pedagógica*. El nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_{n+1} , al igual que el nodo *estado pedagógico* en el tiempo t_n , tiene dos valores: *sabe* y *no sabe*.

El modelo de comportamiento afectivo contempla tres tipos de estados afectivos: *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche*. En el tiempo t_n (ver figura E.4) estos nodos toman su valor del modelo afectivo del estudiante (figura E.2). En la figura E.8 se muestra un como el modelo afectivo del estudiante se integra con el modelo afectivo del tutor en un nivel de detalle alto.

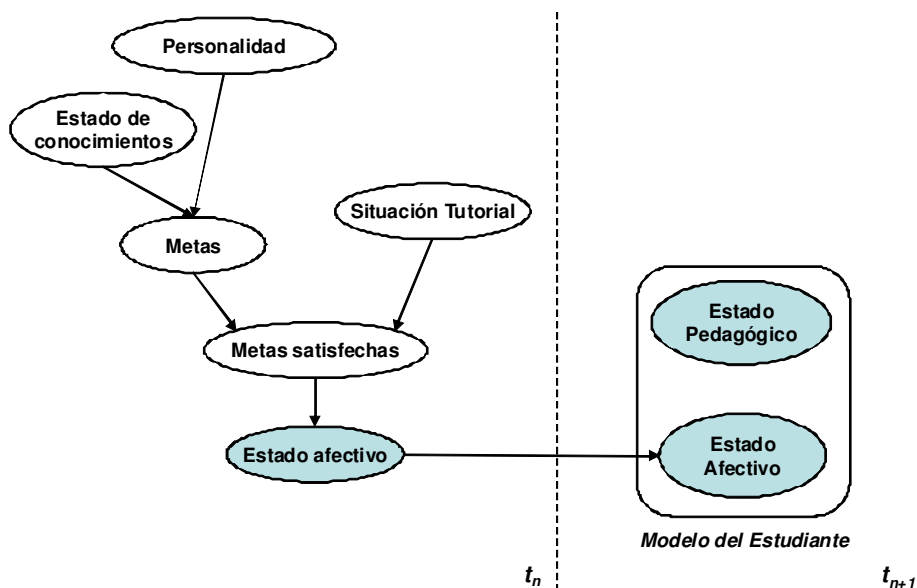


Figura E.8. Valor del nodo *estado afectivo* en el tiempo t_n . Se muestra un fragmento de la integración de la red bayesiana del modelo afectivo del estudiante con la red de decisión del modelo afectivo del tutor. Ambas redes se muestran en un nivel abstracto.

La figura E.8 resulta de integrar la red bayesiana de la figura E.3 con la red de decisión de la figura E.4. En la figura se muestran dos nodos clase *estado afectivo* que se descomponen en los nodos *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche*, como se muestra en la figura E.2. Cada uno de estos nodos tiene dos valores: el primer nodo tiene los valores *alegría* y *tristeza*, el segundo nodo tiene los valores *orgullo* y *vergüenza*, y el tercer nodo tiene los valores *admiración* y *reproche*.

En el tiempo t_{n+1} los nodos *estado afectivo* se ven influenciados por el estado afectivo en el tiempo anterior, por el nodo *situación tutorial* y por la acción afectiva. Al igual que en el tiempo t_n , en el tiempo t_{n+1} se tienen tres nodos estados afectivos: *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche*, como se muestra en la figura E.2. Cada uno de estos nodos tiene dos valores: el primer nodo tiene los valores *alegría* y *tristeza*, el segundo nodo tiene los valores *orgullo* y *vergüenza*, y el tercer nodo tiene los valores *admiración* y *reproche*.

La utilidad se obtiene de la misma manera que en el caso del juego educativo. La utilidad en aprendizaje es el resultado de sustraer la probabilidad de conocer el t3pico en el tiempo t_n de la probabilidad de conocer el t3pico en el tiempo t_{n+1} . La utilidad en afecto es la sumatoria de los resultados de sustraer la probabilidad de tener una emoci3n en el tiempo t_{n+1} de la probabilidad de tener esa emoci3n en el tiempo t_n . La utilidad general es la suma lineal de la utilidad en aprendizaje y la utilidad en afecto.

En la figura E.9 se muestra la red de decisi3n del modelo afectivo del tutor completa. Esta red resulta de integrar las redes bayesianas del modelo pedag3gico del estudiante (figura E.1) y del modelo afectivo del estudiante (figura E.2) con la red de decisi3n del modelo afectivo del tutor (figura E.4).

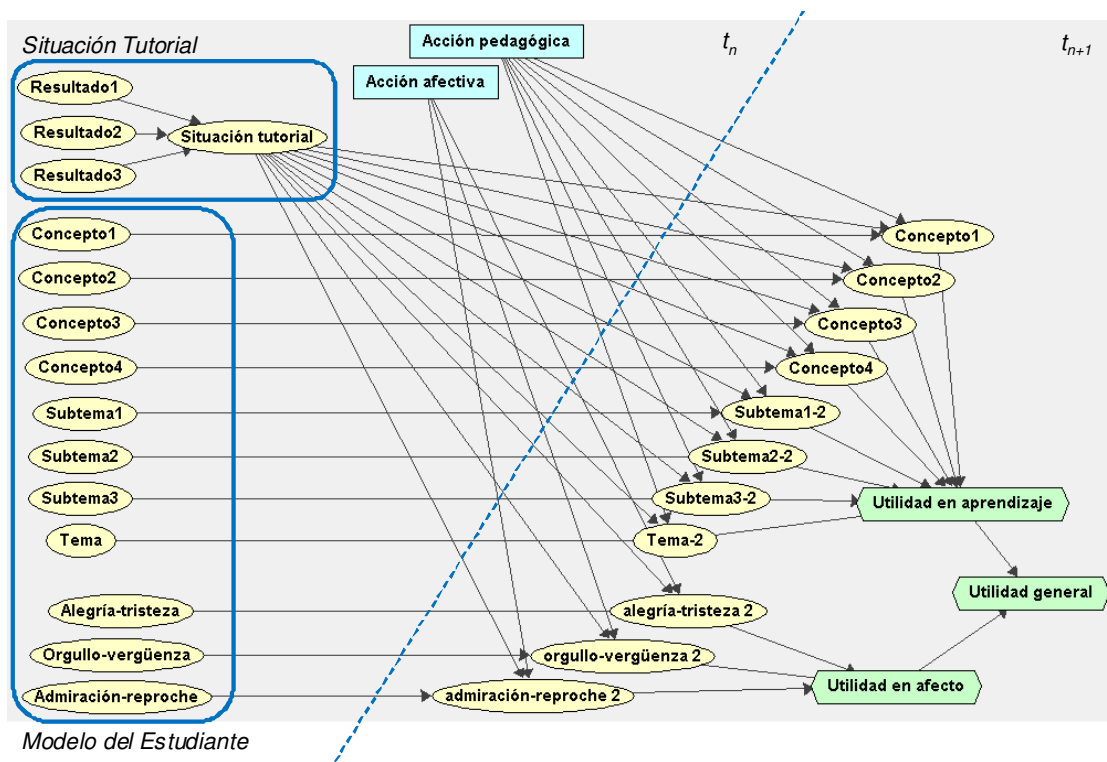


Figura E.9. Integraci3n de las redes bayesianas del modelo del estudiante con la red de decisi3n del modelo afectivo del tutor.

Anexo F

Publicaciones derivadas de la
investigación

Publicaciones derivadas de la investigación

1. Arroyo-Figueroa, G., L. Argotte, Y. Hernández e I. Galván, *Intelligent Environment for Training of Industrial Operators*, **World Congress on Engineering & Computer Science 2008**, WCECS 2008, San Francisco, EUA, Octubre 22-24, 2008.
2. Hernández, Y, E. Sucar y G. Arroyo, *Building an Affective Model for Intelligent Tutoring Systems with base on Teachers' Expertise*, En memorias de **The 7th Mexican International Conference on Artificial Intelligence**, MICAI 2008, Cd. de México, México, Octubre 27-31, 2008, pp. 754-764.
3. Arroyo-Figueroa, G., Y. Hernández, A. Reyes y L. E. Sucar, *Intelligent Environment for Training of Power Systems Operators*, En memorias de **Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference 2008**, CERMA 2008, Cuernavaca, México, Septiembre 30-Octubre 3, 2008, pp. 27-32.
4. Hernández, Y, E. Sucar y G. Arroyo, *Evaluating a Probabilistic Model for Affective Behavior in an Intelligent Tutoring System*, En memorias de **The 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies**, ICALT 2008, Santander, Cantabria, España, 1-5 Julio 2008, pp. 408-412.
5. Hernández, Y, E. Sucar y C. Conati, *An affective Behavior Model for Intelligent Tutors*, En memorias de **The 9th International Conference on Intelligent Tutoring Systems**, ITS'08, Montreal, Canadá, 23-27 de Junio 2008, pp. 819-821.
6. Hernández, Y., G. Arroyo-Figueroa y L. E. Sucar, *Intelligent Tutoring System with affective behavior*, En memorias de **The 6th Mexican International Conference on Artificial Intelligence**, MICAI 2007, Aguascalientes, México, Noviembre 4-10, 2007, pp. 352-362.
7. Hernández, Y. y E. Sucar, *User study to evaluate an affective behavior model in an educational game*, En memorias de **The 13th International Conference on Artificial Intelligence in Education**, AIED 2007, Taller: Modeling and scaffolding affective experiences to impact learning, Marina del Rey, California, EUA, Julio 9-13, 2007, pp. 57-66.
8. Hernández, Y., J. Noguez, E. Sucar y G. Arroyo-Figueroa, *Incorporating an Affective Model to an Intelligent Tutor for Mobile Robotics*, En memorias de **The 36th Annual Frontiers in Education Conference**, FIE 2006, San Diego, California, EUA, Octubre 28-31, 2006, pp. 22-27.
9. Noguez, J., E. Espinosa y Y. Hernández, *Affective models for collaborative learning*, En memorias de **The 36th Annual Frontiers in Education Conference**, FIE 2006, San Diego, California, EUA, Octubre 28-31, 2006, pp. 15-16.
10. Arroyo-Figueroa, G., Y. Hernández, y E. Sucar, *Intelligent Environment for Training of Power Systems Operators*, En memorias de **The 10th International Conference on Knowledge-Based & Intelligent Information & Engineering Systems**, KES 2006, Bournemouth, Inglaterra, Octubre 9-11, 2006, pp. 943-950.
11. Hernández, Y., J. Noguez, E. Sucar y G. Arroyo-Figueroa, *A Probabilistic Model of Affective Behavior for Intelligent Tutoring Systems*, En memorias de **The fourth Mexican International Conference on Artificial Intelligence**, MICAI 2005, Monterrey, México, Noviembre 14-18, 2005, pp. 1175-1184.

12. Hernández, Y., J. Noguez, E. Sucar y G. Arroyo-Figueroa, *An Affective Model for Semi-open Learning Environments*, En memorias de **The 10th International Conference on User Modeling**, UM'05, Taller: Adapting the Interaction Style to Affective Factors, Edimburgo, Reino Unido, Julio 24-29, 2005.
13. Hernández, Y. y J. Noguez, *Affective Behavior in Intelligent Tutoring Systems for Virtual Laboratories*, En memorias de **The 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education**, AIED 2005, Amsterdam, Países Bajos, Junio 18-22, 2005, pp. 960-962.
14. Hernández, Y., G. Arroyo-Figueroa y E. Sucar, *Advanced Training Systems for Thermal Power Plant Operators*, En memorias del **Coloquio Internacional de Telecomunicaciones e Informática para la Industria Eléctrica**, Cuernavaca, México, Junio 8-10, 2005.
15. Hernández, Y., R. Morales y O. Mayora, *Modeling Affective Responses in Intelligent Tutoring Systems*, En memorias de **The 4th International Conference on Advanced Learning Technologies**, ICALT 2004, Joensuu, Finlandia, Agosto 30-Septiembre 1, 2004, pp. 747-749.
16. Hernández, Y., R. Morales y O. Mayora, *Modeling Affective Responses in Intelligent Tutoring Systems*, En memorias de **The 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems**, Student Track, ITS 2004, Maceio, Alagoas, Brasil, Agosto 30-Septiembre 3, 2004.