



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN

**LA REPRESENTACIÓN COGNOSCITIVA DE LAS EMOCIONES COMO
ELEMENTO QUE POTENCIA LA EFICACIA EN LA TOMA DE DECISIONES
DE UN AGENTE PEDAGÓGICO**

**TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTORA EN CIENCIAS (COMPUTACIÓN)**

**PRESENTA:
MARTHA MORA TORRES**

**DRA. ANA LILIA CONCEPCIÓN LAUREANO CRUCES
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA – POSGRADO EN
OPTIMIZACIÓN Y POSGRADO EN DISEÑO Y VISUALIZACIÓN DE LA
INFORMACIÓN
DR. FERNANDO GAMBOA RODRÍGUEZ
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
DR. JESÚS SAVAGE CARMONA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

MÉXICO, D. F. JULIO 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos y Reconocimientos

Reconocimiento especial y el agradecimiento a mis tutores: Dra. Ana Lilia Laureano Cruces, Dr. Fernando Gamboa Rodríguez y Dr. Jesús Savage Carmona; así como a los miembros del jurado: Dr. Sergio Marcellin Jacques y Dr. Eduardo Peñalosa Castro por el asesoramiento recibido de forma puntual y siempre dispuesta para el desarrollo de este trabajo de tesis.

El agradecimiento a la Mtra. Lourdes Sánchez Guerrero y a la D.G. Perla Velasco Santos por su experticia en el dominio de aprendizaje (Programación Estructurada) y diseño de interfaces, respectivamente. Y al equipo de trabajo que las asisten por su colaboración en la implementación de la interfaz gráfica del proyecto.

Al Dr. Javier Ramírez Rodríguez, por su colaboración en la comprensión matemática de las funciones umbral utilizadas en los mapas cognoscitivos difusos, técnica primordial en el sustento de este trabajo.

Y a todas aquellas personas que contribuyeron con su apoyo directa o indirectamente haciendo posible la realización de este trabajo.

Muy especialmente a mi familia y amistades. A todos ellos, mi agradecimiento filial y fraterno.

Mi reconocimiento al Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas y, en general, a la Universidad Nacional Autónoma de México, por haber albergado a nuestra generación con la atención requerida para el desarrollo de nuestro Doctorado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, mi reconocimiento por la beca otorgada y con la seguridad de que continuarán destinando más recursos al desarrollo científico de las nuevas generaciones que garanticen el crecimiento en este rubro para el país.

Un reconocimiento especial al personal administrativo de la coordinación del posgrado: A Lourdes González Lora, Amalia Arriaga Campos, Cecilia Mandujano Gordillo y Álvaro Saldaña Nava que conjuntamente con el coordinador Dr. Jorge L. Ortega Arjona llevan a cabo la organización de las actividades académicas, administrativas, culturales y sociales del posgrado.

ÍNDICE

Índice	<i>i</i>
Índice de Figuras	<i>v</i>
Índice de Tablas	<i>ix</i>
Resumen	<i>xiii</i>
Abstract	<i>xv</i>
Introducción	<i>xvii</i>

Capítulo 1

COMPUTACIÓN AFECTIVA

Introducción	2
1.1 Computación Afectiva	2
1.2 Teorías emocionales	4
1.3 Teoría OCC	5
1.4 Trabajos basados en la teoría OCC	7
1.5 Nuestra trabajo enmarcado en la computación afectiva	7

Capítulo 2

SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

Introducción	10
2.1 Sistemas tutores inteligentes	10
2.2 Sistema tutor inteligente (STI) y la computación afectiva	11
2.3 STI y la Teoría de la Motivación	13
2.4 Nuestro trabajo: un STI basado en una estructura afectivo-motivacional	15

Capítulo 3

RAZONAMIENTO DISTRIBUIDO Y PARALELO, Y LOS MAPAS COGNOSCITIVOS DIFUSOS

Introducción	18
3.1 Teoría del aprendizaje y el procesamiento distribuido y paralelo	18
3.2 Mapas cognoscitivos	20
3.3 Razonamiento y álgebra causal	25
3.4 MCD como técnica de representación de un sistema tutor inteligente	28

Capítulo 4

OBJETIVOS INSTRUCCIONALES, ESTRATEGIAS COGNOSCITIVAS/OPERATIVAS Y ESTRATEGIA INSTRUCCIONAL

Introducción	32
4.1 Objetivos instruccionales	32
4.2 Estrategias	34
4.3 Estrategia instruccional (Merrill)	35

Capítulo 5

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO COGNOSCITIVO A PARTIR DE UNA ESTRUCTURA AFECTIVO-MOTIVACIONAL RELACIONADA CON EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

Introducción	38
5 Metodología	39
5.1 Análisis del dominio	40
5.2 Modelado del dominio: modelo cognoscitivo a partir de una estructura afectivo-motivacional	44
5.3 Representación de la estructura afectivo-motivacional mediante los MCD	58

Capítulo 6

EVALUACIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS, Y CONCLUSIONES

6.1	Caso de estudio	74
6.2	Evaluación del estudiante en un punto crítico de la tarea	75
6.3	Resultados	77
6.4	Conclusiones	80
6.5	Trabajos futuros	81

Referencias	83
-------------	----

Anexo I	Tareas del sistema tutor inteligente	89
---------	--------------------------------------	----

Anexo II	Tipos de errores en el sistema tutor inteligente	97
----------	--	----

Anexo III	Evaluación de la experiencia emocional del estudiante con el sistema tutor inteligente	101
-----------	--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

COMPUTACIÓN AFECTIVA

Figura 1.1	Modelos teóricos sobre la emoción	4
Figura 1.2	Estructura emocional descrita por la teoría OCC	6
Figura 1.3	Modelo afectivo-cognoscitivo ligado al modelo de enseñanza-aprendizaje	8

Capítulo 2

SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

Figura 2.1	Jerarquía de las cuatro fuentes de la motivación	14
-------------------	--	----

Capítulo 3

RAZONAMIENTO DISTRIBUIDO Y PARALELO, Y LOS MAPAS COGNOSCITIVOS DIFUSOS

Figura 3.1	Mapa Cognoscitivo que describe las relaciones políticas de la paz en Medio Oriente	22
Figura 3.2	Mapa cognoscitivo con etiquetas difusas en los arcos	23
Figura 3.3	Relación causal negativa	25
Figura 3.4	Relación causal positiva	25
Figura 3.5	Función Logística	27
Figura 3.6	Gráfica de $S(x)$ con diferentes valores de k	28

Capítulo 4

OBJETIVOS INSTRUCCIONALES, ESTRATEGIAS COGNOSCITIVAS/OPERATIVAS Y ESTRATEGIA INSTRUCCIONAL

-

-

-

Capítulo 5

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO COGNOSCITIVO A PARTIR DE UNA ESTRUCTURA AFECTIVO-MOTIVACIONAL RELACIONADA CON EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

Figura 5.1	Propuesta de un sistema tutor inteligente	38
Figura 5.2	Grafo genético del dominio de aprendizaje (didáctica de la programación estructurada)	41
Figura 5.3	Modelo mental del dominio de aprendizajes: didáctica de la programación estructurada	43 y 44
Figura 5.4	Teoría OCC aplicada al proceso de E-A	49
Figura 5.5	Metas de la estructura	52
Figura 5.6	Acciones del estudiante y del tutor relacionadas con el rendimiento	52
Figura 5.7	Objetos	52
Figura 5.8	Estructura afectivo-motivacional	53
Figura 5.9	Acciones que pertenecen al diagnóstico afectivo-motivacional	55
Figura 5.10	Estructura afectivo-motivacional y la estrategia instruccional	58
Figura 5.11	Modelo mental del diagnóstico afectivo-motivacional del estudiante	61
Figura 5.12	MCD que permite inferir el estado afectivo-motivacional del estudiante	63
Figura 5.13	Teoría OCC aplicada al proceso de E-A del dominio de aplicación: Metas	65
Figura 5.14	Teoría OCC aplicada al proceso E-A del dominio de aplicación: acciones	65
Figura 5.15	Estructura afectivo-motivacional de la estrategia instruccional	66
Figura 5.16	Modelo mental de la selección de estrategias	68
Figura 5.17	MCD que permite la selección de las estrategias por parte del STI	69

Capítulo 6

EVALUACIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS, Y CONCLUSIONES

Figura 6.1	Página de Bienvenida al sistema tutor inteligente	75
Figura 6.2	Punto crítico de la tarea	76
Figura 6.3	Estilos de aprendizaje de los grupos evaluados	77
Figura 6.4	Elementos del proceso de E-A	78
Figura 6.5	Tipos de errores en los grupos evaluados	78
Figura 6.6	Renuncia en los grupos evaluados	79

Anexo I

TAREAS DEL SISTEMA TUTOR INTELIGENTE

Figura I.1	Tarea con categoría de aprendizaje: Tipo de (conocimiento previo) y nivel instruccional: Demostración	90
Figura I.2	Tarea con categoría de aprendizaje: Tipo de (variables y constantes) y nivel instruccional: Demostración	90
Figura I.3	Tarea con categoría de aprendizaje: Tipos de (variables y constantes) y nivel instruccional: Activación	91
Figura I.4	Tarea con categoría de aprendizaje: Procedimiento (variables y constantes) y nivel instruccional: Aplicación	91
Figura I.5	Tarea con categoría de aprendizaje: Qué sucede (variables y constantes, estructuras de control) y nivel instruccional: Integración	92
Figura I.6	Tarea con categoría de aprendizaje: Qué sucede (variables y contantes, estructuras de control) y nivel instruccional: Aplicación	92
Figura I.7	Tarea con categoría de aprendizaje: Tipos de (Estructuras de control) y nivel instruccional: Activación	93
Figura I.8	Tarea con categoría de aprendizaje: Qué sucede (Abstracciones) y nivel instruccional: Aplicación	94
Figura I.9	Tarea con categoría de aprendizaje: Qué sucede (Abstracciones) y nivel instruccional: Aplicación	95
Figura I.10	Tarea con categoría de aprendizaje: Qué sucede (Abstracciones) nivel instruccional: Integración	96

Anexo II

TIPOS DE ERRORES EN EL SISTEMA TUTOR INTELIGENTE

- - -

Anexo III

EVALUACIÓN DE LA EXPERIENCIA EMOCIONAL DEL ESTUDIANTE CON EL SISTEMA TUTOR INTELIGENTE

Figura III.1	Escala de valoración afectiva	105
Figura III.2	Escala de activación	105

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1

COMPUTACIÓN AFECTIVA

- - -

Capítulo 2

SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

- - -

Capítulo 3

RAZONAMIENTO DISTRIBUIDO Y PARALELO, Y LOS MAPAS COGNOSCITIVOS DIFUSOS

Tabla 3.1	Matriz de adyacencia E del MC de la Figura 3.1	21
Tabla 3.2	Matriz de adyacencia de un mapa cognoscitivo	24
Tabla 3.3	S(x) en función del valor de k	28

Capítulo 4

OBJETIVOS INSTRUCCIONALES, ESTRATEGIAS COGNOSCITIVAS/OPERATIVAS Y ESTRATEGIA INSTRUCCIONAL

Tabla 4.1	Indica el nivel instruccional y las categorías de aprendizaje	36
------------------	---	----

-

Capítulo 5

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO COGNOSCITIVO A PARTIR DE UNA ESTRUCTURA AFECTIVO-MOTIVACIONAL RELACIONADA CON EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

Tabla 5.1	Identificación del contenido del dominio	46 y 47
Tabla 5.2	Nomenclatura de los elementos del proceso E-A	54
Tabla 5.3	Niveles instruccionales y categorías de aprendizaje en el dominio de aprendizaje: didáctica de la Programación Estructurada	57
Tabla 5.4	Elementos relacionados y evaluados de la estructura afectivo-motivacional	62
Tabla 5.5	Matriz causal de la estructura afectivo-motivacional	62
Tabla 5.6	Evaluación de los elementos involucrados en la selección de estrategias	69
Tabla 5.7	Matriz causal de los elementos involucrados en la selección de estrategias	70
Tabla 5.8	Ejemplo de sentencias relacionadas con una estrategia elegida por el STI	71

Capítulo 6

EVALUACIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS, Y CONCLUSIONES

Tabla 6.1	Evaluación del estudiante por el sistema tutor inteligente	75
Tabla 6.2	Errores usando el sistema con y sin diagnóstico emocional	78

Anexo I

TAREAS DEL SISTEMA TUTOR INTELIGENTE

- - -

Anexo II

TIPOS DE ERRORES EN EL SISTEMA TUTOR INTELIGENTE

Tabla II.1	Errores de la categoría de aprendizaje: Tipos de datos	98
Tabla II.2	Tabla de errores de la categoría de aprendizaje: Estructuras de control	98
Tabla II.3	Tabla de errores de la categoría de aprendizaje: Abstracciones	99
Tabla II.4	Estrategias inferidas y sentencias relacionadas	99

Anexo III

EVALUACIÓN DE LA EXPERIENCIA EMOCIONAL DEL ESTUDIANTE CON EL SISTEMA TUTOR INTELIGENTE

Resumen

Actualmente existe evidencia de que las emociones son una parte activa de la inteligencia, especialmente, la percepción, el pensamiento racional, la toma de decisiones, la planificación y la creatividad. También se consideran como parte activa en las interacciones sociales, razón por la cual psicólogos y educadores han redefinido la inteligencia para incluir las habilidades emocionales y sociales (Reeve, 2001).

Aplicaciones más sofisticadas en áreas como el aprendizaje, la medicina o el entretenimiento, implican el reconocimiento de la representación cognoscitiva de las emociones (afectos) del usuario, el razonamiento con señales emocionales, y la comprensión de cómo responder de forma inteligente dada la situación del usuario.

Por lo anterior un problema a resolver en el área del aprendizaje es contar con un agente pedagógico capaz de elegir (toma de decisión) estrategias ad hoc al desarrollo de habilidades y competencias de un usuario (eficacia).

El trabajo plantea que: 1) es posible modelar una estructura afectivo-motivacional relacionada con el proceso de enseñanza-aprendizaje y 2) El uso de un agente pedagógico que integre una estructura afectivo-motivacional ligada al proceso de enseñanza-aprendizaje permite elegir las estrategias adecuadas para potenciar el desarrollo de habilidades del usuario. Para lograr ambos planteamientos, se fijó como objetivo: modelar una estructura afectivo-motivacional, específica para un agente pedagógico enfocado a la didáctica de la programación estructurada para estudiantes del nivel de Licenciatura.

Para lograr el objetivo se buscó enriquecer el modelo de didáctica general, a través de la creación de una estructura afectivo-motivacional que representó la conducta emocional del estudiante durante el proceso de enseñanza-aprendizaje. Fue necesario diseñar un modelo cognoscitivo que representara dicha estructura afectivo-motivacional, mediante los mapas cognoscitivos difusos.

La técnica de los mapas cognoscitivos difusos se eligió debido a que se trata de un problema complejo con diversos aspectos a considerar para la toma de decisiones con incertidumbre. Esta técnica permite tratar la información de forma paralela y distribuida lo cual representa una ventaja con respecto a otras técnicas como la probabilística o la creencia-deseo-intención que necesitan de gran cantidad de reglas para considerar todas las opciones en la conducta emocional de un estudiante.

La creación de la estructura afectivo-motivacional requirió del análisis conductual del estudiante durante el proceso de enseñanza-aprendizaje. De este análisis se obtuvieron dos mapas cognoscitivos: uno por cada etapa del proceso de enseñanza-aprendizaje: 1) diagnóstico del estado emocional del estudiante, 2) selección de las estrategias adecuadas al diagnóstico emocional del estudiante y el nivel instruccional del área de aprendizaje (programación estructurada).

El papel primordial que tienen las emociones en un proceso de toma de decisiones a través de la interfaz llamada consciencia, es la razón por la que se considera a las emociones la base para modelar la consciencia artificial como trabajo futuro, en el diseño de cualquier sistema que simule un comportamiento humano.

Abstract

There is now evidence that emotions are an active part of intelligence, especially perception, rational thinking, decision making, planning and creativity. Also considered as an active part in social interactions, which is why psychologists and educators have redefined intelligence to include emotional and social skills (Reeve, 2001).

More sophisticated applications in areas such as learning, medicine and entertainment, involving the user affect recognition, reasoning with emotional cues, and understanding of how to respond intelligently given the situation of the user.

Therefore problem solving in the area of learning is to have a pedagogical agent able to choose (decision making) ad hoc strategies to develop skills and competencies of a user (effectiveness).

The work proposes that; 1) it is possible to model an affective-motivational structure related to the teaching-learning process and 2) use of a pedagogical agent that integrates an affective-motivational structure linked to the teaching-learning lets you choose the appropriate strategies to enhance the development user skills. To achieve both approaches, set an objective: modeling a specific affective-motivational structure for a pedagogical agent focused on teaching structured programming to undergraduates.

To achieve the objective sought to enrich the overall educational model through the creation of an affective-motivational structure that represented the emotional behavior of the student during the teaching-learning process. It was necessary to design a cognitive model to represent such affective-motivational structure using fuzzy cognitive maps.

The technique of fuzzy cognitive maps was chosen because it is a complex issue with many aspects to decision making under uncertainty. This technique allows processing information in parallel and distributed which represents an advantage over other techniques such as probabilistic or belief-desire-intention that require lots of rules to consider all the options in the emotional behavior of a student.

The creation of the affective-motivational structure required of behavior analysis of the student during the teaching-learning process. One for each stage of the teaching-learning process: In this analysis, two cognitive maps were obtained 1) for diagnosis of the emotional state of the student, 2) for selecting appropriate strategies to emotional diagnosis of student and instructional strategy of learning area (structured programming).

The prime role of emotions in decision making process through the interface called consciousness is the reason why emotions are considered the basis for modeling the artificial consciousness as future work, the design of any system simulating human behavior.

Introducción

En la inteligencia artificial (IA) existe un área llamada computación afectiva, la cual explica la importancia de las emociones en aspectos de la cognición humana como la toma de decisiones (Loewenstein & Lerner, 2003), la percepción, la interacción humana y la inteligencia; por ello, aplicar este enfoque a los agentes tutores inteligentes es una parte esencial para potenciar la eficacia del mismo agente. Para hacer un agente emocional es necesario diseñarlo de manera que el comportamiento corresponda al estado emocional percibido.

El problema entonces a resolver fue contar con un agente pedagógico capaz de elegir (tomar decisiones) estrategias *ad hoc* al desarrollo de habilidades y competencias de un usuario a través de determinar su estado afectivo y su motivación.

El estado del arte de los agentes pedagógicos concebidos como la interfaz de los sistemas tutores inteligentes muestra aportaciones enfocadas a mejorar cada uno de los módulos que conforman a un sistema tutor inteligente (experto, estudiante, tutor e interfaz). La computación afectiva ha realizado aportes al respecto desde dos perspectivas: la biológica y la cognoscitiva. La perspectiva del presente trabajo es la segunda y como trabajo futuro se consideraría la perspectiva biológica. Lo anterior con el fin de proporcionar redundancia en el diagnóstico emocional, es decir, proporcionar dos fuentes de información que permitan un diagnóstico más robusto y asertivo.

Este trabajo centró su análisis y aportación en dotar al módulo del estudiante la capacidad de obtener el diagnóstico emocional del alumno. El diagnóstico está fundamentado en la teoría de Ortony, Clore y Collins (OCC). Lo anterior con el fin de proporcionar al módulo tutor con más información proveniente de la predicción de las emociones cognoscitivas y de esta forma ser más asertivos en el proceso de toma de decisiones que en el caso de estudio implica elegir una estrategia adecuada a dicho diagnóstico. Cabe mencionar que existen aportaciones de otros autores en el diagnóstico emocional utilizando la teoría OCC con una estructura distinta de la presentada en este trabajo y con técnicas de representación distintas de la aquí desarrollada.

El trabajo está organizado en 6 capítulos:

El **capítulo 1**, trata sobre la computación afectiva y las teorías emocionales, específicamente, la teoría OCC.

En el **capítulo 2** se abordan los sistemas de enseñanza inteligente, un breve resumen sobre su historia, el proceso de enseñanza inteligente y su relación con la teoría de la motivación.

El **capítulo 3** describe las técnicas de representación con características distribuidas y paralelas. Específicamente, se detallan los mapas cognoscitivos difusos realizándose una comparación entre las técnicas de representación utilizadas en otros modelos fundamentados en la teoría OCC (capítulo 1) y la propuesta de esta investigación. Los mapas cognoscitivos difusos son dígrafos utilizados para representar el razonamiento causal, además de potenciar una representación que permite el razonamiento distribuido paralelo. La parte difusa nos permite contar con grados de causalidad representados como enlaces entre los nodos de estos dígrafos, conocidos también como conceptos. La causalidad está representada como una relación difusa entre los nodos (Acevedo-Moreno, 2009, 2011; Darrel, 1996; Espinosa-Paredes, Laureano-Cruces, Nuñez-Carrera, Mora-Torres, 2007; Fernández-Alarcón, 2004; Konar, 2001; Konar, A., Jain, 2005; Kosko, 1986, 1992; Laureano-Cruces, 2000; Laureano-Cruces, De Arriaga-Gómez, García-Alegre, 2001; Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Mora-Torres, Espinosa-Paredes, 2006a; Laureano-Cruces, Santillán-González, Méndez-Gurrola, 2006b; Laureano-Cruces, Cabrera-López, Mora-Torres, 2009a; Laureano-Cruces, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez & Gamboa-Rodríguez, 2009b; Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Mora-Torres, de Arriaga & Escarela-Pérez, 2010a; Laureano-Cruces, Sánchez-Guerrero, Mora-Torres & Ramírez-Rodríguez, 2010b; Laureano-Cruces, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, Gamboa-Rodríguez, 2010c; Laureano-Cruces, Guadarrama-Ponce, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, 2011a; Laureano-Cruces, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez & de Arriaga-Gómez, 2011c; Méndez-Gurrola, 2007; Mora-Torres, 2007; Mora-Torres, Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez & Espinosa-Paredes, 2009; Mora-Torres, Laureano-Cruces y Velasco-Santos, 2011; Mora-Torres, 2011; Mora-Torres, Laureano-Cruces, Gamboa-Rodríguez, Ramírez-Rodríguez, Sánchez-Guerrero, 2014).

En el **capítulo 4** se describen los objetivos instruccionales como el conjunto de habilidades, capacidades y conocimientos que se busca desarrollar durante la interacción del sistema tutor inteligente con el usuario mientras se lleva el proceso de enseñanza-aprendizaje correspondientes al dominio de aprendizaje de la Programación Estructurada a nivel Licenciatura. Además se describen las estrategias y su clasificación en cognoscitivas y operativas como acciones que el sistema tutor inteligente lleva a cabo durante la interacción con el usuario. Cuando dichas estrategias buscan proporcionar el andamiaje necesario para alcanzar los objetivos instruccionales, correspondientes al dominio de aprendizaje de la Programación Estructurada, se indica que siguen una estrategia instruccional. Este trabajo basó la instruccional en la propuesta de Merrill (2006 y 2007).

En el **capítulo 5** se desarrolla el modelo de una estructura afectivo-motivacional relacionada con el proceso de enseñanza-aprendizaje. La metodología utilizada comprende inicialmente, un análisis cognoscitivo de la conducta del tutor y del estudiante durante el proceso de enseñanza-aprendizaje (E-A) del dominio de aplicación. De este análisis se obtuvieron los elementos que forman parte del proceso de E-A. La teoría OCC conjuntamente con la teoría motivacional permitió organizar y relacionar estos elementos en una estructura, denominada estructura afectivo-motivacional. Por otro lado se utilizan los mapas cognoscitivos difusos

como técnica de representación del conocimiento. Se construyó el motor de inferencia de un sistema tutor inteligente capaz de: 1) diagnosticar el estado emocional del alumno, y en consecuencia 2) elegir la estrategia adecuada al diagnóstico obtenido.

En el **capítulo 6** se contrastan los resultados obtenidos con un sistema tutor inteligente basado en un modelo cognoscitivo afectivo-motivacional y un sistema tutor inteligente que incluye también un modelo cognoscitivo pero sin explicitar el afectivo-motivacional del estudiante. Finalmente se presentan las conclusiones.

En el **Anexo I**, se indican las tareas propuestas (Sánchez-Guerrero, 2009) por el sistema tutor inteligente desarrollado con base en la estructura afectivo-motivacional. Las tareas están clasificadas de acuerdo al nivel instruccional y la categoría de aprendizaje de acuerdo a la estrategia instruccional propuesta por Merrill (2006, 2007).

El **Anexo II** contiene una clasificación de los tipos de errores (Sánchez-Guerrero, 2009, Laureano-Cruces, Sánchez-Guerrero, Mora-Torres, & Ramírez-Rodríguez, 2010) que se pueden presentar en cada una de las tareas propuestas por el STI.

El **Anexo III** contiene el material utilizado para la evaluación de la experiencia emocional del estudiante con el sistema tutor inteligente (Fernández-Abascal, Martínez-Sánchez, 2006).

Capítulo 1

COMPUTACIÓN AFECTIVA

El presente capítulo comprende la computación afectiva, así como las diferentes teorías emocionales, específicamente la teoría de Ortony, Clore y Collins, denominada también Teoría OCC por las siglas de sus autores.

INTRODUCCIÓN

Actualmente tenemos evidencia de que las emociones son una parte activa de la inteligencia, especialmente, la percepción, el pensamiento racional, la toma de decisiones, la planificación y la creatividad. También se consideran como parte activa en las interacciones sociales, razón por la cual psicólogos y educadores han redefinido la inteligencia para incluir las habilidades emocionales y sociales (Reeve, 2001).

Picard (2000), señala que las computadoras requieren de habilidades afectivas para funcionar con inteligencia y sensibilidad hacia los seres humanos, especialmente si el usuario muestra frustración, miedo o disgusto por algo que la computadora puede cambiar. Dar a las computadoras capacidades afectivas es un esfuerzo por hacer razonables y equilibradas sus habilidades lógicas.

Sin embargo, la misma Picard señala "*las emociones no son una panacea, por lo que existen áreas donde se recomienda el uso de sistemas afectivos como son el entretenimiento, el aprendizaje, el desarrollo social y la medicina preventiva. Las aplicaciones dedicadas al aprendizaje y la medicina preventiva pueden ser diseñadas con emociones sintéticas usando la tecnología actual, por ejemplo, emoticonos visuales y de audio y expresiones emocionales de agentes animados. Aplicaciones más sofisticadas implican el reconocimiento del afecto del usuario, el razonamiento con señales emocionales, y la comprensión de cómo responder de forma inteligente dada la situación del usuario*".

1.1 Computación Afectiva

La computación afectiva tiene aplicaciones que van desde los videojuegos hasta el manejo de frustración de una persona, pasando por el modelado de conductas inteligentes en personajes dramáticos, robots capaces de interactuar socialmente, en orientar y guiar lo mismo a usuarios interesados en el aprendizaje de un tema académico que a pacientes que solicitan un servicio o diagnóstico médico remoto. En efecto, la computación afectiva se aplica tanto en productos de consumo como para aumentar la comprensión de las emociones humanas. Los trabajos que a continuación se mencionan constituyen apenas una muestra de lo que actualmente se está realizando en los diferentes centros de investigación.

Herb Simon (1967) hizo hincapié en que una teoría general del pensamiento y resolución de problemas debe incorporar las influencias de las emociones.

Carroll Izard (Izard, 1993), citado en Picard, 2000, por su parte, indica que la emoción es "una motivación y una fuerza orientadora en la percepción y la atención".

Reilly (1994) propone la construcción de personajes emocionales para dramas interactivos.

Daniel Goleman (1995), citado en Picard, 2000, argumenta que las habilidades emocionales son más importantes que el tradicional IQ para predecir el éxito en la vida. La inteligencia emocional está relacionada con factores tales como la auto-motivación, empatía, conciencia de sí mismo, control de los impulsos, la persistencia y habilidad social.

Klein, Moon y Picard (2002) diseñaron un sistema de interacción humano-computadora para apoyar activamente a los usuarios en su habilidad para manejar y recuperarse de estados emocionales negativos. Específicamente, crearon un agente interactivo para apoyo en situaciones donde el usuario siente frustración.

Gratch y Marsella (2004) proponen el marco para diseñar sistemas que incluyan comportamiento afectivo independiente del dominio, el modelo permite obtener el estado emocional así como las expresiones faciales y la comprensión y reacción social.

Kapoor y Picard (2005) del laboratorio de medios del Instituto Tecnológico de Massachusetts, propusieron un sistema multi-sensorial para reconocer afectos y evaluar la clasificación de interés (o desinterés) de los niños tratando de resolver un rompecabezas educativo en la computadora.

Breazeal (2005), por su parte, también del laboratorio de medios del Instituto Tecnológico de Massachusetts, modela la conducta de los robots para hacerlos socialmente inteligentes.

Hermann, Melcher, Rank, y Trappl (2007) del Instituto Austriaco de Investigación para la Inteligencia Artificial, plantearon los juegos de estrategia en tiempo real como un reto para el diseño de Agentes Virtuales Inteligentes. Para ello, incorporaron un modelo emocional simple ya existente al script del juego de estrategia de Microsoft, en tiempo real, "Age of Mythology". El modelo emocional se basa en el "Big Five" y el modelo conexionista de la emoción. Evaluaron cuatro variantes del juego, cada una con diferentes parámetros de la personalidad con el fin de evaluar de qué manera variaba la fuerza del juego. Una de las variantes fue diseñada para mostrar un comportamiento "neurótico". Los resultados de la evaluación indican un aumento significativo en la fuerza de juego, por parte del "neurótico".

D'Mello, Jackson, Craig, Morgan, Chipman, White, Person, Kort, el Kaliouby, Picard, and Graesser (2008), del Instituto para Sistemas Inteligentes de la Universidad de Memphis y del laboratorio de medios del Instituto Tecnológico de Massachusetts crean un sistema tutor inteligente sensible al afecto llamado AutoTutor. El AutoTutor detecta los afectos (aburrimiento, participación, confusión, frustración) de un usuario mediante el control de señales de conversación, el lenguaje corporal, y los rasgos faciales. También es consciente de los estados afectivos y cognoscitivos de los alumnos por la selección de sus movimientos y del diálogo pedagógico y de motivación. Por último, el AutoTutor sintetiza las respuestas afectivas a través de expresiones faciales animadas y el lenguaje modulado en un avatar.

Colombo, Dossena, Balzarotti, & Spadola, (2010), realizan un estudio exploratorio sobre los blogs, tomando como base la relación significativa entre el uso de los blogs (entendida como multimedia y productos interactivos) y la mejora de estrategias cognoscitivas: la gestión de un blog puede ser utilizado para explorar el procesamiento de información multimedia. Por otra parte, la información emocional es capaz de captar la atención y mejorar la memoria en las tareas cognoscitivas. El estudio exploratorio tuvo como objetivo estudiar la relación entre el procesamiento de blogs, multimedia y emociones por medio de la tecnología de seguimiento ocular. Se crearon cinco tipos de blogs, cada uno incluyendo un mensaje neutro y uno emocional. A veinticuatro estudiantes se les pidió que exploraran los blogs, mientras se les hacía un seguimiento ocular. Luego se les pidió responder a cuestionarios sobre el estilo cognoscitivo, las emociones y las preguntas de memoria. Los resultados mostraron que el texto mayormente fijado en la memoria correspondió a los relacionados con las imágenes y los mensajes emocionales más que los relacionados con los neutros.

Diversas son las aplicaciones de las emociones y diversas son también las teorías emocionales en las que se fundamentan.

1.2 Teorías emocionales

La historia de las teorías de la emoción se remonta a los antiguos griegos como Platón y su debate sobre cognición-emoción (alma tripartita: cognición, emoción, motivación). Más tarde vendría Descartes y el debate mente-cuerpo, así como también vendría Darwin y el debate biología versus cultura, describiendo la expresión de la emoción en el hombre y los animales. Finalmente como parte de la historia antigua, tenemos a James y el debate centro-periférico (partes del cuerpo), que concibe un estado emocional debido a eventos internos (pensamientos, memoria y sensaciones) o externos (acciones de otros, cambio de situación) Scherer (2000).

Actualmente existen dentro de la "Psicología de la emoción", varias teorías cuyas diferencias fundamentales se relacionan con la definición de **emoción** y su conceptualización. Sin embargo, se hace notar que los elementos de la definición de emoción muestran cierto grado de convergencia entre los diferentes teóricos. La figura 1 muestra la clasificación de las teorías emocionales de acuerdo a Scherer (2000). Esta clasificación resalta los principios comunes de cada modelo de acuerdo a su categoría.

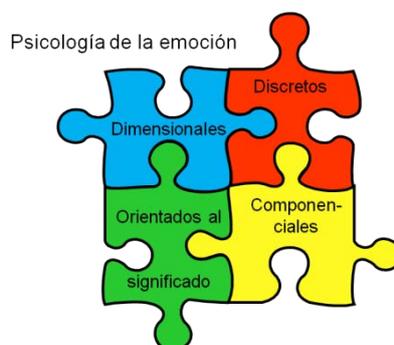


Figura 1.1. Modelos teóricos sobre la emoción

Cada tipo de modelo responde a un enfoque del proceso emocional, a continuación se describen brevemente dichos modelos.

Dimensionales

En los modelos dimensionales el estado emocional se obtiene por aproximación-evasión a las dimensiones emocionales tales como la valencia y la activación. Los modelos unidimensionales sólo se enfocan en la valencia, o sólo en la activación. En los modelos multidimensionales la naturaleza del estado emocional es determinado por la posición respecto a varias dimensiones independientes, como se describe en el modelo de Wundt, el cual cuenta con tres dimensiones: placer-desagrado, reposo-activación y relajación-atención.

Discretos

Los modelos emocionales discretos se enfocan en la expresión motriz o patrones de comportamiento adaptativo, obtienen el estado emocional por configuración de estímulos. Dentro de los modelos discretos se encuentran los llamados modelos de circuito. Este enfoque de la emoción se aproxima al sistema neuropsicológico, es decir, que el número de emociones fundamentales y su diferenciación son determinados por circuitos neuronales desarrollados evolutivamente (Cannon, 1927; Papez, 1937; Arnold, 1960; Panksepp, 1982 y 1989; Gray, 1990) citados en Scherer, 2000.

Como parte de los modelos discretos también se encuentran los modelos de emociones básicas, cuya conceptualización indica la existencia de emociones

básicas o fundamentales como ira, miedo, alegría, tristeza y desagrado. Los teóricos sugieren que durante el curso de la evolución (semejante a los modelos de circuito) se desarrollaron estrategias emocionales adaptativas, por lo general entre siete y catorce estrategias de emociones básicas. Cada una de las cuales tiene sus propias condiciones para ser detectadas, además de un patrón de comportamiento, expresivo y psicológico.

Orientados al significado

Los modelos orientados al significado se enfocan en las descripciones verbales de emociones subjetivas y obtienen el estado emocional mediante patrones de interpretación cultural. Dentro de los modelos orientados al significado están los denominados modelos léxicos, cuyo principio básico es que los términos lingüísticos utilizados en un estado emocional permiten descubrir la estructura subyacente del fenómeno psicológico (Oatley y Johnson-Laird 1987). Otros modelos de la emoción orientados al significado son los sociales constructivistas, los cuales pregonan que el significado de la emoción generalmente es constituido o construido por patrones de comportamiento y valor determinados socioculturalmente (Averill, 1980; Harré, 1986; Shweder, 1983) citados en Scherer, 2000.

Componenciales

Los teóricos de los modelos componenciales asumen que las emociones son detectadas por medio de una evaluación cognoscitiva (no necesariamente consciente o controlada). Estos modelos se enfocan en la relación entre los antecedentes a la evaluación de una emoción y los diferentes patrones de reacción que resultan de esta evaluación. La evaluación la realizan a través de criterios universalmente válidos influidos por diferencias individuales y culturales. Los patrones de reacción pueden ser motrices y fisiológicos. El modelo más restrictivo dentro de los componenciales es el de Lazarus (1968 y 1991) que junto con Arnold, (1960) fueron pioneros de la idea de la evaluación subjetiva. Otros modelos componenciales son los propuestos por Scherer (1982, 1984, 1993), Ellsworth (1991), Frijda (1986, 1987), Roseman, Wiest y Swartz (1994), Smith (1989).

El modelo propuesto por la teoría OCC, se sitúa entre los modelos componenciales por contar con criterios de evaluación, aun cuando también puede incluir aspectos comunes a los modelos orientados al significado. La estructura afectiva ligada al proceso de enseñanza-aprendizaje está basada en el modelo cognoscitivo de esta teoría porque los criterios de evaluación que proporciona permitirán establecer las relaciones causales entre los afectos (representación cognoscitiva de las emociones) y los eventos (acontecimientos) del proceso de enseñanza-aprendizaje.

1.3. Teoría OCC (Ortony, Clore & Collins, 1988 & 1996)

Esta teoría propone una *estructura general* en la que se especifica que existen tres grandes clases de emociones, resultado de centrarse sobre cada uno de los tres aspectos destacados del mundo:

- Acontecimientos y sus consecuencias
- Agentes y sus acciones
- Objetos puros y simples

Para ello establece como criterios de valoración:

- Metas para evaluar los acontecimientos.
- Normas para evaluar la acción de los agentes.
- Actitudes para evaluar los objetos.

Las tres grandes clases de emociones especificadas son:

- Emociones basadas en acontecimientos: Se especifican las metas relacionadas con los acontecimientos.

- Emociones de atribución: atribuyen responsabilidad a los agentes sobre sus acciones en función de normas.
- Emociones de atracción: basadas en actitudes con respecto a los objetos.

La intensidad de las emociones se puede ver afectada por las denominadas variables locales y globales. De esta manera los afectos también se ven modificados.

Las locales son variables que afectan sólo a un tipo de emoción, por ejemplo, en el caso de las emociones basadas en acontecimientos, la variable local que afecta su intensidad es la **deseabilidad** de los acontecimientos y sus consecuencias en relación a las metas. En el caso de las emociones de atribución, la variable local correspondiente es la **plausibilidad** (aprobación o desaprobación) de las acciones del agente de acuerdo a las normas. Por último, las emociones de atracción se ven afectadas en su intensidad por la **capacidad de atraer** de los objetos.

Las variables globales, como su nombre lo indica, son variables que afectan la intensidad de todo tipo de emoción y por ende de afecto, estas variables son: 1) **proximidad**: Con ella se intenta reflejar la proximidad psicológica (en tiempo o espacio) del acontecimiento, agente u objeto que induce la emoción, 2) **sentido de la realidad**: 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, 3) **excitación**: el nivel existente de excitación afecta la intensidad de las emociones y con ello su reacción afectiva y 4) **lo inesperado**: se refiere a que las cosas positivas inesperadas se evalúan más positivamente que las esperadas y las cosas negativas inesperadas más negativamente que las esperadas.



Figura 1.2. Estructura emocional descrita por la teoría OCC

Las metas se clasifican de acuerdo a Ortony, et al (1988 & 1996) en **metas de persecución activa** (MA), **metas de interés** (MI) y **metas de relleno** (MR). Las MA "representan el tipo de cosas que *uno quiere tener hechas*" y comprenden metas establecidas por Schank y Abelson (1977) denominadas metas de **consecución** ("para conseguir ciertas cosas"), metas de **entretenimiento** ("para disfrutar de ciertas cosas"), metas **instrumentales** (constituyen el "instrumento para realizar otras metas") y metas de **crisis** ("para manejar las crisis cuando las metas de preservación están amenazadas"). Las MI "representan el tipo de cosas que *uno desea que sucedan*" y por ello pueden generar MA para fomentar que sucedan. Las MI comprenden las metas de **preservación** ("para preservar ciertos estados de cosas"). Las MR son cíclicas por ello, aun cuando se alcanzan, no se abandonan. Estas metas comprenden las establecidas por Schank y Abelson (1977) como metas de **satisfacción** ("satisfacen ciertas necesidades"). En el caso de Ortony, et al,

(1988 & 1996), las necesidades pueden ser biológicas o de cualquier otro tipo que sean cíclicas.

1.4. Trabajos basados en la teoría OCC

Conati y MacLaren (2005)

Estas autoras han propuesto un modelo fundamentado en la teoría OCC, manejando 6 de las 22 emociones que propone esta teoría. Se trata de un modelo probabilístico emotivo del estudiante basado en redes bayesianas dinámicas, diseñado para detectar múltiples emociones.

Su modelo se enfoca en las reacciones afectivas relacionadas con los objetivos o metas que se persiguen en los juegos didácticos. Nuestro trabajo, en cambio, buscó explicitar las reacciones afectivas de las emociones ligadas al modelo del proceso de enseñanza-aprendizaje fundamentándonos también en la teoría OCC pero no sólo las emociones relacionadas con las metas, sino también las relacionadas con las normas y con la atracción de los usuarios respecto a los acontecimientos, agentes y sus acciones, y objetos puros y simples del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Jacques y Viccari (2007)

Estas autoras describen el uso de estados mentales basándose en el modelo Creencia-Deseo-Intención para implementar el proceso de diagnóstico afectivo en un sistema de software educativo. Utilizan el modelo propuesto por la teoría OCC con el objetivo de obtener el estado emocional del estudiante (usuario) a partir de su comportamiento reflejado por sus acciones en la interfaz. El agente deduce la reacción afectiva del estudiante por razonamiento sobre la evaluación que hace del mismo.

Nuestro trabajo también infiere la reacción afectiva a partir de una evaluación del comportamiento del usuario en la interfaz pero a diferencia del modelo de Jacques y Viccari, la implementación del modelo se realizó con los mapas cognoscitivos difusos. Esta última red causal, es ligada a la red causal establecida para el proceso de enseñanza-aprendizaje inspirada en un tutor de didáctica general.

Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Terán-Gilmore, (2004), Laureano-Cruces, Terán-Gilmore & de Arriaga, (2004), Laureano-Cruces, Sánchez-Guerrero, Mora-Torres & Ramírez-Rodríguez, (2008) y Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Mora-Torres, de Arriaga & Escarela-Pérez, (2010)

Finalmente en el trabajo de Laureano-Cruces, et al, se pretende adaptar la conducta de la intervención tutorial del sistema de aprendizaje inteligente dentro de la conducta de un *avatar*, sintonizando el modelo de las intervenciones cognoscitivas con las conductas que se desea exhiba el *agente pedagógico*. Lo anterior con base en un modelo de intervención tutorial que contempla los aspectos de un tutor de didáctica general constituido por los siguientes eventos: gusto por seguir, necesidad de ayuda, uso de incentivos. Además de los errores específicos del dominio.

1.5 Nuestro trabajo enmarcado en la computación afectiva

Nuestro trabajo se planteó el desarrollo de una estructura afectivo motivacional utilizando el modelo de la teoría OCC y la teoría motivacional, ligadas ambas teorías al proceso de enseñanza-aprendizaje descrito en Laureano-Cruces et al (2004a, 2008 y 2010). Además conjuga las intervenciones afectivo-cognoscitivas (estrategias) para de esta forma potenciar la eficacia del agente pedagógico de un sistema tutor inteligente al interactuar con el estudiante. La interacción con el estudiante se diseñó siguiendo la estrategia instruccional de Merrill para cumplir

con los objetivos instruccionales del dominio de aprendizaje: *didáctica de la Programación Estructurada a nivel Licenciatura*. La aportación de este trabajo al campo de la computación afectiva se enfoca en la metodología utilizada para diseñar y representar una estructura afectivo-motivacional basada en las teorías de OCC y motivacional, además de seguir una estrategia instruccional de Merrill a través de la técnica de inteligencia artificial: Mapas Cognoscitivos Difusos, porque tratándose de la representación de un comportamiento complejo con incertidumbre como lo es el proceso de enseñanza-aprendizaje, era necesario desarrollar la metodología enfocada a este proceso. La metodología se detalla en el capítulo 5.

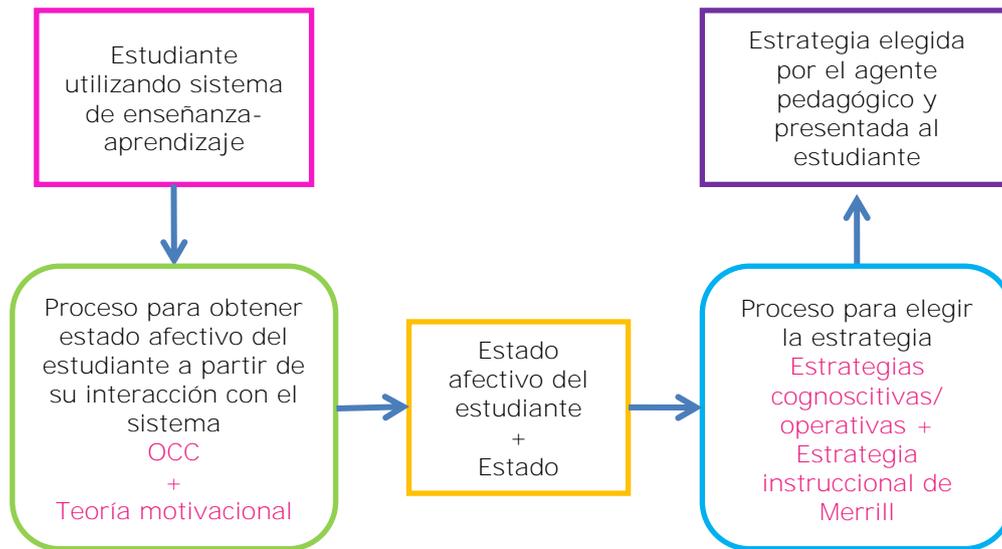


Figura 1.3. Modelo afectivo-cognoscitivo ligado al modelo de enseñanza-aprendizaje

Capítulo 2

SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

En este capítulo se describen los inicios y desarrollo de los sistemas tutores inteligentes.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas tutores inteligentes (STI) son el resultado del desarrollo y evolución de otros sistemas concebidos a principios de los 60: los llamados sistemas de instrucción asistidos por computadora (SIAC). Los SIAC, tal como fueron concebidos, no incluían técnicas de inteligencia artificial (IA) en sus mecanismos de inferencia por lo que no se adaptaban a la interacción que el usuario tenía con los mismos. Este tipo de sistemas cuentan con un contenido era que consistía en una serie de preguntas o ejercicios que el usuario realizaba sin otra intervención del sistema más que la de presentar el material y evaluar las respuestas del usuario. (Ayala y González, 2003)

Los STI, también llamados Sistemas de enseñanza inteligentes (SEI), en cambio, pueden ser vistos como agentes activos que adaptan sus estrategias de enseñanza basándose en las respuestas que percibe del usuario durante el proceso de aprendizaje (Laureano-Cruces, 2000 y Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Mora-Torres, De Arriaga y Escarela-Pérez, 2010).

Los STI se han desarrollado para diferentes dominios de aprendizaje y las técnicas de inteligencia artificial que incorpora son diversas, en función del tipo de conocimiento a representar para un dominio de conocimiento dado. Así se tienen por ejemplo: 1) las redes bayesianas basadas en la teoría de la probabilidad para la representación del conocimiento del dominio de aplicación del sistema (Conati & Maclaren, 2005); 2) la técnica de creencias, deseos e intenciones (BDI por sus siglas en inglés: *Belief, Desire, Intentions*), para tomar decisiones entre las creencias que se tienen acerca del entorno (información del entorno) y los deseos (motivaciones y objetivos instruccionales) para elaborar un plan que ejecute (intenciones) el deseo elegido de acuerdo a las condiciones del sistema (Jacques & Viccari, 2007); 3) los sistemas multiagentes que cuentan con un modelo que controla la percepción del entorno a través de los llamados agentes autónomos. Estos agentes son especialistas en un aspecto del dominio del entorno a supervisar y colaboran entre sí para resolver un mismo problema, adaptándose así al mundo dinámico del entorno (Laureano-Cruces, 2000); 4) los mapas cognoscitivos difusos (Laureano-Cruces, et al., 2010) que modelan el proceso de enseñanza inteligente a través de conceptos involucrados en dicho proceso y sus relaciones de causalidad.

2.1. Sistemas Tutores Inteligentes

Los STI conciben el proceso de aprendizaje como una cooperación entre el tutor y el alumno. En esta cooperación el tutor toma la decisión de qué estrategia es la adecuada, de acuerdo a los parámetros que percibe del usuario, como errores cometidos, estilo de aprendizaje, conocimientos dominados. (Laureano-Cruces, 2000 y Laureano-Cruces, et al. 2010).

Para el desarrollo de los STI se consideran principalmente las áreas de Ciencias de la computación responsable de proporcionar técnicas de inteligencia artificial para la implementación del sistema; Pedagogía, involucrada en el diseño y evaluación de estrategias y metodologías educativas, y; Psicología cognoscitiva, área que facilita los modelos cognitivos de la conducta humana y las emociones necesarias para el diseño del sistema. Una metodología muy utilizada en el análisis de procesos cognoscitivos complejos es el denominado análisis cognoscitivo de tareas. Esta metodología consiste, básicamente, en detallar un proceso en términos de las tareas más simples que lo conforman.

Un STI se puede considerar como un sistema experto (SE) con fines didácticos, ya que de acuerdo a Marcellin (2010) un SE es *un sistema basado en computadora que integra bases de datos, memorias, mecanismos de razonamiento, agentes,*

algoritmos, heurísticas, para adquirir, representar, almacenar, generar y difundir conocimientos, inicialmente adquiridos a través de varios expertos humanos dentro de un dominio específico llamado "nube". Con un SE, se pueden dar recomendaciones y/o tomar acciones en las áreas de análisis, diseño, diagnóstico, planeación y control, dar solución a problemas, aplicar técnicas de enseñanza o en general recomendar, actuar y explicar las acciones que hay que tomar en actividades en las cuales normalmente, se requiere del conocimiento o saber de expertos humanos dentro de una nube específica.

Tanto los SE con fines didácticos como los STI coinciden en su diseño en integrar el conocimiento de un experto en mecanismos de razonamiento que permiten tomar decisiones y acciones en el dominio de aplicación de dicho sistema. Por lo anterior, los STI pueden ser considerados como un SE especializado en el ámbito pedagógico.

El STI también puede considerarse como un sistema de instrucción apoyado por computadora, pero la inclusión de técnicas de inteligencia artificial para adaptar la respuesta del sistema al tipo de usuario creó un nombre más apropiado: Sistema Tutor Inteligente; si bien hay autores que lo han denominado Sistema de instrucción inteligente apoyado por computadora. (Ayala y González 2003)

La investigación en el área de los STI, ha estado centrada en diferentes aspectos, desde la inspección de cada uno de sus módulos constituyentes, hasta la elaboración de arquitecturas genéricas, así como el aprendizaje automático y la construcción de ayudas de diseño de sistemas de enseñanza (Laureano-Cruces, 2000).

Por su parte, los sistemas de aprendizaje inteligente (SAI) enfocan el proceso de aprendizaje como una cooperación entre el sistema inteligente y el usuario. En ellos el tutor decide, a partir de determinar el estado cognoscitivo del usuario, qué estrategia es la adecuada. Estas estrategias son elegidas con base en la medida de parámetros como: errores cometidos, estilo de aprendizaje, conocimientos dominados y el estado afectivo-motivacional (Laureano-Cruces & De Arriaga, 2000; Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez & Terán-Gilmore, 2004; Laureano-Cruces, et al, 2010 y Partala & Surakka, 2004).

2.2 Sistema tutor inteligente y la computación afectiva

A finales de los 90 nació una nueva área dentro de la inteligencia artificial llamada "Computación afectiva" (Picard, 1995). Es a partir de esta fecha que las emociones adquieren relevancia para producir sistemas más confortables para el usuario en su estructura e interacción (Partala & Surakka, 2004).

Los STI creados desde la perspectiva de la computación afectiva integran implícita o explícitamente los aspectos cognoscitivos y afectivos, debido a que son estos aspectos los elementos que permiten inferir el estado afectivo y motivacional del usuario y predecir el rendimiento de su ejecución. De acuerdo a Castañeda (2006), en la medida en que un sistema integre ambos aspectos, el cognoscitivo y afectivo, será capaz de construir el andamiaje necesario para dar mayor apoyo al usuario al inicio de su interacción, para después, conforme se avance en las tareas del dominio, este apoyo del tutor se desvanezca y con ello se dé lugar a una mayor exhibición de habilidades cognoscitivas adquiridas por el usuario.

La integración de los aspectos afectivos y cognoscitivos en los STI, desde el punto de vista computacional, se ha realizado tomando en cuenta principalmente, tres puntos:

- a) El origen de los afectos: biológico y/o cognoscitivo.
- b) Enfoques de integración del aspecto afectivo al cognoscitivo: Análisis (diagnóstico) y/o síntesis de los aspectos afectivos.
- c) La técnica de representación del conocimiento aplicada en el diseño.

a) Origen biológico y/o cognoscitivo:

De acuerdo al enfoque biológico o cognoscitivo de los afectos, dentro de los modelos computacionales se consideran parámetros físicos y fisiológicos. Estos parámetros son el movimiento ocular, el reconocimiento de gestos y posturas, la detección del ritmo cardiaco, temperatura de la piel y la entonación de la voz, así como la presión que algunas partes del cuerpo humano pueden ejercer sobre superficies como el sillón que se utiliza al interactuar con el sistema, o bien, la presión que ejerce la mano sobre dispositivos como el teclado y el ratón. Para detectar este tipo de parámetros se utilizan cámaras de video, micrófonos y biosensores (Picard, 1998).

Junto con los parámetros para el diagnóstico de los afectos, se consideran los parámetros cognoscitivos propios del dominio de aplicación como el tipo de error, el tiempo de respuesta y la complejidad de la tarea propuesta por el sistema. Como parte del origen cognoscitivo de los afectos, se considera la valoración de metas propuestas y los aspectos de la motivación (selección, latencia, etc.).

b) Análisis y/o síntesis:

Los sistemas educativos pueden percibir afectos mediante el análisis de parámetros (éstos pueden ser cognoscitivos o físicos), reconociendo la relación de parámetros con diferentes afectos. Al mismo tiempo se analizan los aspectos cognoscitivos durante la realización de la tarea propuesta por el sistema. Estos aspectos pueden ser los aciertos, errores, tiempos de respuesta, objetivos instruccionales, etc.

Los sistemas educativos también pueden expresar afectos mediante expresiones verbales, gestuales y corporales, sintetizados en un avatar. Este avatar también es utilizado para atender los aspectos cognoscitivos que son analizados durante la realización de la tarea propuesta por el sistema. La atención de los aspectos cognoscitivos consiste en orientar al usuario proporcionando pistas sobre los conceptos involucrados para resolver la tarea propuesta.

c) Técnicas de representación del conocimiento:

Dentro de las técnicas de representación del conocimiento que se utilizan para integrar los aspectos afectivos y cognoscitivos en los sistemas educativos se encuentran las siguientes:

Sistemas basados en reglas: El análisis realizado para el diagnóstico afectivo y cognoscitivo es utilizado para la creación de reglas. Las reglas indican las acciones que el sistema debe proporcionar de acuerdo a los parámetros de entrada percibidos (aspectos cognoscitivos y/o físicos).

Sistemas basados en el modelo Creencia-Deseo-Intención: utilizan el enfoque de los estados mentales para implementar el proceso del diagnóstico afectivo en un ambiente educativo. Las creencias representan la información sobre el estado del medio ambiente. Los deseos son el estado motivacional del sistema. Tienen información sobre los objetivos a lograr. El agente lleva a cabo un proceso deliberativo en el que se enfrenta a sus deseos y creencias, y elige una serie de

deseos que pueden ser satisfechos. La intención es un deseo que fue elegido para ser ejecutado. (Jacques & Viccari, 2007).

Sistemas basados en el modelo probabilístico de Bayes: modelan las dependencias probabilísticas entre las posibles causas de diferentes estados emocionales y las expresiones físicas de los usuarios (Conati 2002).

Nuestro sistema utiliza la técnica de los mapas cognoscitivos difusos (MCD) para integrar ambos aspectos: afectivos y cognoscitivos. Los mapas son una representación gráfica de conceptos y las relaciones de causalidad entre ellos. Utilizando herramientas de la psicología cognoscitiva como el análisis cognoscitivo de tareas y los modelos mentales, se realiza el análisis del proceso de enseñanza-aprendizaje para seleccionar los conceptos y sus relaciones de causalidad, con el fin de ser representados a través del MCD. Este MCD se formaliza a través de una matriz de relaciones de causalidad.

Los sistemas basados en reglas necesitan de un gran número de reglas para obtener resultados confiables, lo cual puede complicar el manejo de las diferentes reglas para obtener las acciones correspondientes.

En cuanto a los sistemas basados en el modelo creencia, deseo, intención, el problema se tendría en el proceso de deliberación entre los deseos y las creencias, de manera que la ejecución del deseo seleccionado mejore la interacción entre el sistema y el usuario.

Respecto a los sistemas basados en modelos probabilísticos, es importante mencionar que existe cierta incertidumbre inherente al proceso de enseñanza-aprendizaje que un sistema probabilístico podría estar limitado cuando no se cuenta con la información necesaria para obtener las probabilidades de las dependencias entre las causas de los diferentes estados y las expresiones físicas de los usuarios.

El aspecto afectivo integrado al aspecto cognoscitivo en la computadora no se debe limitar a un guión para generar un estado afectivo o perturbaciones al azar en vías de otro sistema basado en reglas sino que debe estar acoplado en la inteligencia de la máquina: capaz de aprender, de demostrar interacción afectiva con un humano.

Hacer explícito el aspecto afectivo que está ligado al aspecto cognoscitivo en un sistema educativo, potencia la eficacia en la toma de decisiones del mismo sistema, para elegir la mejor estrategia operativa y cognoscitiva.

Utilizando la técnica de los MCD, se infiere el estado siguiente del estado cognoscitivo y afectivo del usuario. Lo anterior debido a la causalidad distribuida de los aspectos considerados (cognoscitivos y afectivos). Esta inferencia permite potenciar la eficacia en la toma de decisiones del sistema.

2.3. STI y la teoría de la motivación

La teoría de la motivación permite explicar el porqué de un comportamiento, de aquí la importancia que tiene esta teoría para nuestro trabajo porque nos permite explicar cómo el modelo del proceso de Enseñanza-aprendizaje (que incluye como uno de sus elementos a la motivación) tiene correspondencia con el modelo del comportamiento del tutor de acuerdo al comportamiento emocional inferido del estudiante. Este comportamiento emocional está relacionado directamente con la motivación, como lo explica la teoría, debido a que las emociones constituyen una de las fuentes de la motivación.

De acuerdo a Reeve (2001), *El estudio de la motivación se relaciona con procesos que proporcionan energía y dirección a la conducta*, siendo el concepto de

energía un indicador de la intensidad y persistencia de la motivación así como el concepto de dirección indica el propósito (metas) del comportamiento. Esta energía de la motivación proviene del individuo (motivación interna) y del ambiente (motivación externa) y son cinco las fuentes: tres de ellas corresponden a la motivación interna y dos a la motivación externa como se muestra en la Figura 4.

Las tres fuentes de la motivación interna son las necesidades fisiológicas y psicológicas, la cognición y la emoción. Cada una afecta al resto de ellas, por ejemplo una necesidad fisiológica como el hambre influye en las emociones que el individuo experimenta así como también las emociones influyen en la cognición.

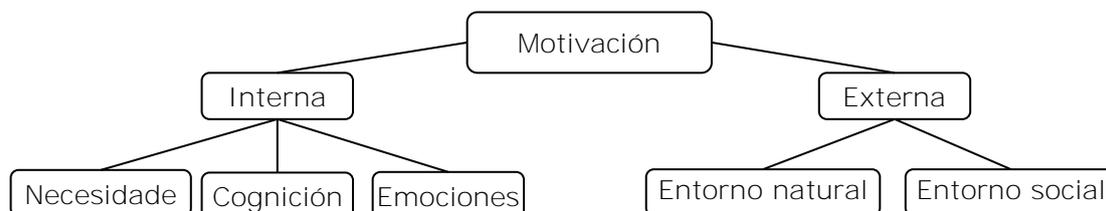


Figura 2.1 Jerarquía de las cuatro fuentes de la motivación

Las fuentes de la motivación externa son el entorno natural (clima) y el entorno social.

La fuente de la motivación en la que basamos nuestro trabajo son las emociones. Estas emociones son consideradas a través de su reacción afectiva (afectos). Los afectos son establecidos de acuerdo a la teoría OCC.

La teoría de la motivación explica además cómo inferir la motivación a partir principalmente de 1) observar las manifestaciones de la conducta motivada (aspectos de la conducta), por ejemplo, el hambre hace comer más rápido, y 2) Poner atención a los antecedentes conocidos, por ejemplo, una amenaza origina el miedo. El problema de la segunda forma de inferencia es que no siempre se conocen los antecedentes. Por esta razón nos enfocaremos en los aspectos de la conducta.

De acuerdo a Atkinson y Birch, (1970 y 1978); Bolles, (1975) y Ekman & Friesen, (1975) citados todos ellos en Reeve, (2001), existen siete aspectos de la conducta que revelan la presencia y la intensidad de la motivación y son: el esfuerzo, la latencia, la persistencia, la elección, la probabilidad de respuesta, las expresiones faciales y la expresión corporal.

Esfuerzo

Se refiere a la extensión del trabajo extenuante aplicado cuando se intenta completar una tarea, es decir, en la medida que la demanda aumente, la persona utilizará una mayor parte de su capacidad total para enfrentar un reto de forma efectiva (Kahneman, 1973) citado en Reeve, (2001).

El esfuerzo está relacionado con la complejidad de la tarea, en la medida que ésta demande más conocimientos previos elaborados.

Latencia

Es el tiempo que una persona retrasa una respuesta a un acontecimiento estimulante. En la medida que la latencia disminuye, la presencia e intensidad de la motivación aumenta.

En nuestro caso, la latencia es medida mediante el tiempo que tarda el usuario para iniciar una acción de respuesta a una tarea propuesta (tutor de didáctica general descrito en Laureano-Cruces, et al, (2004) y Laureano-Cruces, et al, (2010)).

Persistencia

Es el tiempo que transcurre desde el inicio de una respuesta hasta su terminación. La persistencia es proporcional a la intensidad de la motivación para una determinada actividad e inversamente proporcional a la intensidad de la motivación para actividades alternativas.

Este aspecto está relacionado con la **renuncia** (tutor de didáctica general descrito en Laureano-Cruces, et al, (2004) y Laureano-Cruces, et al, (2010)), esto significa que si se produce la renuncia, la persistencia habrá sido mínima.

Elección

La elección o preferencia por una acción u otra al tener dos o más opciones.

La elección o preferencia está relacionada con la elección de las tareas propuestas sobre un mismo tema del dominio.

Probabilidad de respuesta

Es el número de veces que se da una respuesta durante determinado número de oportunidades en que esta respuesta puede darse. Lansing & Heyns, (1959) citados en Reeve, (2001), ejemplificaron este aspecto contabilizando las veces que una persona habla por teléfono a sus amistades con respecto a otra que lo hace menos veces, aun estando ambas en condiciones similares. Expresando con esto una necesidad de afiliación más intensa en un caso con respecto al otro.

La probabilidad, en nuestro caso está ligada en caso de fallar, al número de intentos que el usuario realiza para llevar a cabo una tarea, antes de cancelarla.

Expresiones faciales

De acuerdo a Ekman & Friesen, (1975); Ekman & Rosenberg, (1997), citados en Reeve, (2001) los movimientos de los músculos faciales comunican emociones específicas. Moviendo en forma distinta los mismos músculos faciales cuando está enojado que cuando está temeroso.

Expresión corporal

De la misma manera que las expresiones faciales, la expresión corporal también comunica emociones, deseos y preferencias a través de la postura, de la distribución del peso del cuerpo y los movimientos de piernas, brazos y manos.

2.4 Nuestro trabajo: Un STI basado en una estructura afectivo-motivacional.

En nuestro trabajo, la motivación se infiere a partir de los aspectos de la conducta con excepción de las expresiones faciales y la expresión corporal ya que no se cuenta con información visual del individuo.

A partir de la motivación se infiere el **interés** y el **deseo de continuar**, ambos elementos forman parte del tutor de didáctica general descrito en Laureano-Cruces, et al, (2004) y Laureano-Cruces, et al, (2010).

La teoría OCC permite generar una estructura afectiva que explica las emociones que subyacen y dirigen, es decir, que motivan, la conducta humana durante un proceso determinado, caracterizado por metas planteadas en el proceso y los eventos que favorecen o impiden esas metas; por normas de los agentes (en el sentido de cualquier ente capaz de actuar) involucrados en el proceso descrito y las acciones que realizan durante el proceso; así como por las actitudes de atracción hacia determinados objetos.

En nuestro caso, el **proceso** que deseamos explicitar en términos de las emociones que se producen durante su desarrollo es el de la **enseñanza-aprendizaje (E-A)** y particularmente en el dominio de aprendizaje: didáctica de la Programación

Estructurada. Tal proceso consta de **metas** a alcanzar en forma de **objetivos instruccionales** y los **eventos** que pueden beneficiar u obstaculizar el cumplimiento de las metas propuestas son por ejemplo el intento de **renuncia**, el cometer **errores**, contar con el **conocimiento previo**, disponer de la **ayuda** adecuada y otros eventos que se detallan en el *Capítulo 5*. Respecto a las **normas**, éstas se refieren a las normas de **rendimiento** y las **actitudes** se refieren al **gusto o preferencia** por determinados tareas a realizarse (parte de una estrategia instruccional que permita evidenciar las habilidades adquiridas durante el proceso E-A) o combinación de colores en las pantallas desplegadas.

La estructura afectiva obtenida basada en la teoría OCC es considerada por la teoría de la motivación, como la fuente que alimenta la conducta motivada durante el proceso E-A. Por esta razón, se denomina estructura afectivo-motivacional.

La propuesta es utilizar esta estructura afectivo-motivacional como base para modelar un sistema tutor inteligente (STI) que sea capaz de realizar un diagnóstico afectivo motivacional del estudiante durante su interacción con el mismo, de manera que el STI sea capaz de elegir las estrategias cognoscitivo-afectivas adecuadas al estado percibido del estudiante y su entorno en el proceso E-A y por consiguiente, sus intervenciones sean coherentes con una experiencia de usuario confortable.

La aportación de nuestro modelo con respecto a los modelos ya existentes, basados también en la teoría OCC, es la metodología del diseño y representación del modelo cognoscitivo afectivo-motivacional, a través de los MCD como técnica de la inteligencia artificial para su implementación. Ya que esta técnica permite la integración de los diferentes aspectos cognoscitivos y afectivos que caracterizan el entorno del proceso E-A en forma paralela como un todo sin la necesidad de contar con gran número de reglas como el modelo probabilístico para obtener resultados confiables, lo cual puede complicar el manejo de las diferentes reglas. En cuanto a los sistemas basados en el modelo creencia, deseo, intención, el problema se tendría en el proceso de deliberación entre los deseos y las creencias, de manera que la ejecución del deseo seleccionado mejore la interacción entre el sistema y el usuario.

Otro punto que cabe mencionar es el manejo de la incertidumbre inherente al proceso E-A y que un modelo probabilístico estaría limitado para manejarla cuando no se cuenta con información completa, en cambio la técnica de los MCD permite manejar esta incertidumbre debido a su capacidad para inferir a partir de las relaciones causales distribuidas y paralelas entre los elementos que caracterizan el proceso de E-A. Esta inferencia es la que permite potenciar la eficacia en la toma de decisiones del sistema.

La metodología para desarrollar, modelar e implementar la estructura afectivo-motivacional a través de los MCD se detalla en el *Capítulo 5*.

Capítulo 3

RAZONAMIENTO DISTRIBUIDO Y PARALELO, Y LOS MAPAS COGNOSCITIVOS DIFUSOS

En este capítulo se describe el razonamiento distribuido y paralelo, así como las características de los mapas cognoscitivos difusos (MCD). Asimismo se argumentan los motivos por los que decidimos utilizar esta técnica. Finalmente, se describe el álgebra causal difusa como herramienta para modelar la incertidumbre, misma que permite entender los principios de razonamiento de los MCD.

INTRODUCCIÓN

Los MCD constituyen un nuevo enfoque al modelo del comportamiento y operación de sistemas complejos. Fueron introducidos por Bart Kosko en 1986 para describir el comportamiento de un sistema en términos de conceptos y relaciones causales entre dichos conceptos (Kosko, 1986 y 1992; Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Terán-Gilmore, 2004a; Stylios, Groumpos, 1999).

Los MCD parten de un modelo cognoscitivo, dicho modelo constituye la representación de un sistema cognoscitivo.

La palabra cognoscitivo tiene relación con el proceso de cognición. Este proceso se refiere a actividades mentales que: 1) lidian con información abstracta que provienen del mundo real, 2) su representación, y 3) la forma en que se tiene acceso a esta información desde la memoria.

Por lo anterior, un sistema cognoscitivo debe dar un marco que una las partes de nuestro conocimiento, formando una unidad cohesionada. Un sistema cognoscitivo debe ser un cuerpo de información **estructurado**, organizado de acuerdo a principios taxonómicos y explicativos que unan esa información en un todo coordinado con bases racionales (Rescher, 1981).

De acuerdo a Simon (2006), un sistema cognoscitivo logra simular la realidad, adaptándose a ella en relación a objetivos; en nuestro trabajo la adaptación a la realidad se hace a través de la representación de las relaciones de causalidad que existen entre los elementos del modelo desarrollado para inferir la toma de decisiones de una estrategia adecuada al estado cognoscitivo y motivacional del usuario.

La simulación puede ofrecer conocimiento nuevo a través de dos vías relacionadas entre sí: La más obvia es que, aun disponiendo de premisas correctas, descubrir lo que éstas implican puede resultar verdaderamente difícil. Es característico de muchos tipos de problemas de diseño que su sistema interno esté formado por componentes cuyas leyes de comportamiento fundamentales son bien conocidas. La dificultad del problema suele consistir, en realidad, en predecir cómo se comportará la interacción de tales componentes. La cuestión más interesante y sutil es si una simulación puede sernos de ayuda cuando, de entrada, no sabemos mucho acerca de las leyes naturales que gobiernan el comportamiento del sistema interno.

El objetivo, por tanto, de un modelo cognoscitivo es desarrollar una efectiva simulación de la solución del problema en un determinado dominio desde el punto de vista del humano. En esta técnica el conocimiento se divide en componentes que guardan una relación directa con la forma en que el humano los clasifica y los utiliza (Laureano-Cruces, 2000).

3.1 Teoría del aprendizaje y el procesamiento paralelo distribuido

Particularmente, los mapas cognoscitivos proceden de la teoría del aprendizaje de signos (García, Reyes y Morales, 2002; Konar, 2001; Konar, Jain, 2005) de Edward C. Tolman (1886-1956), quien en su análisis de la conducta del hombre, considera el aprendizaje como la interconexión de conceptos que de alguna manera se relacionan entre sí, donde el cerebro del educando se considera como una sala de control de mapas donde éstos se reorganizan constantemente a fin de producir nuevas respuestas de conducta (cogniciones).

A su vez y por otro lado, la lógica difusa, nos provee de los MCD, que son estructuras de grafos difusos utilizados para representar razonamiento causal y que han sido empleados en sistemas controlados computacionalmente y que también sirven para representar el conocimiento de un experto.

Tolman, (1932) argumenta que los organismos aprenden las relaciones entre estímulos anteriores, respuestas y consecuencias de tal forma que permite a la conducta ocurrir cuando los eventos ambientales apropiados coinciden con estado emocional o demanda para cierta consecuencia. Tolman consideraba que la conducta como tal es un fenómeno **emergente** que tiene propiedades descriptivas y definitorias por sí mismas y a estas propiedades se les considera de **propósito y cognición**.

El aprendizaje de signos de Tolman.

La teoría de Edward C. Tolman se denominó conductismo propositivo en su principal trabajo sistemático, conductismo propositivo en animales y en el hombre (Tolman, 1932; Konar, Jain, 2005). Más tarde el propio autor y otros investigadores le llamaron teoría de signo Gestalt o de la esperanza.

La idea principal de Tolman consiste en proponer que la conducta está dirigida a una meta, es dócil y varía de acuerdo a las circunstancias ambientales en la búsqueda de una meta dada, como acercarse o alejarse de algo. La conducta actual está guiada por lo que el sujeto cree que será su consecuencia o resultado, a lo que llama esperanza, por ejemplo: el gato salta tratando de salir de la caja, el carpintero golpea un clavo tratando de reparar una silla y el profesor intenta enseñar una habilidad a su alumno.

Otra idea de Tolman es que los organismos adquieren conocimientos acerca de su medio ambiente, en donde están localizadas sus metas importantes, y de la forma de ir de un lugar a otro. La unidad de conocimiento es la relación entre dos o más eventos de estímulo o entre un estímulo y la respuesta asociada a él.

También argumenta que los sujetos utilizan "Objetos ambientales" y desarrollan "Objetos medios" para llegar a su meta, lo considera como sinónimo de cogniciones. En otras palabras el organismo **aprende qué conduce a qué**.

Otro de sus argumentos es el de la docilidad o manejabilidad de la conducta y como ésta se da en términos de aprendizaje; esto es, el organismo aprende qué respuesta ejecutar con el fin de alcanzar su objetivo. Con base en lo anterior elegirá el que considera es el camino más corto hacia su objetivo. Así, de acuerdo a Tolman, la docilidad son ensayos en la selección de la respuesta adecuada para la consecución de la meta.

Tolman define así **las conexiones o disposiciones medios-fin** (aprendizaje: de qué conduce a qué), como la existencia de **creencias**:

Si se reacciona mediante un tipo de respuesta a un tipo de situación (estímulo) ENTONCES tendremos un caso de situación-estímulo anterior o un caso de situación-estímulo.

Además las creencias y disposiciones se almacenan juntas en el sistema nervioso, y cuando se les activa en forma de expectativas tienden a interactuar y a consolidarse entre sí.

Otra propuesta de Tolman radica en la suposición de que el pensamiento de los seres humanos no es en esencia más que una interacción activada entre las expectativas en relación con las nuevas disposiciones medios-fin.

Finalmente para Tolman existen dos construcciones cognoscitivas importantes: 1) las disposiciones medios-fin, y 2) las esperadas.

Procesamiento paralelo distribuido

La llegada del procesamiento paralelo distribuido (PDP) propuesto por los investigadores Rumelhart, McClelland y sus asociados abren una nueva frontera en el aprendizaje computacional. A diferencia de los otros modelos de memoria cognoscitivos, el acercamiento PDP descansa sobre las características del comportamiento de una sola neurona celular.

Los partidarios del PDP, consideran que el sistema cognoscitivo es una estructura organizada de neuronas, las cuales juntas conforman una red neuronal. Tal red tiene una inmensa capacidad de aprendizaje y de almacenamiento de información y conocimiento para su uso subsecuente.

Esta corriente puede explicar el comportamiento de la memoria cognoscitiva, pero no puede explicar las perspectivas psicológicas de la cognición. Por ejemplo no puede hacer una diferencia entre las memorias de corto y largo plazo, aunque evidencias experimentales soporten su co-existencia. ***Aún con lo anterior esta corriente tiene un significado especial en la simulación de la cognición en las máquinas.*** Las características fundamentales de esta corriente son:

- Es un trabajo pionero en cognición al ver la memoria biológica como una colección distribuida de únicas neuronas celulares que pueden ser entrenadas de forma paralela cada vez.
- Demuestra la posible realización de cognición en máquinas.
- Para entradas similares de patrones la red neuronal puede tener respuestas similares. Mientras que para entradas de patrones con suficientes diferencias, las respuestas son suficientemente diferentes.

Esta es una observación significativa que nos lleva a una nueva clase de reconocimiento de patrones por aprendizaje supervisado. En esta clase de aprendizaje existe un entrenamiento que proporciona la salida deseada para un conjunto dado de patrones de entrada.

- El PDP, ***satisface el direccionamiento del contenido de la memoria (content addressable memory)***, más que el direccionamiento de la memoria.

En computadoras convencionales se localiza la información utilizando acceso aleatorio donde encontramos el contenido, una vez que la dirección es localizada. Pero en el cerebro biológico los humanos algunas veces recuerdan parte de una información y a partir de esta se trae el TODO, después de un rato. Traer toda la información a partir de una parte, se hace usualmente por ***satisfacción del contenido de la memoria (content addressable memory)***.

3.2 Mapas cognoscitivos

Los mamíferos desarrollan razonamiento basándose en estructuras especializadas llamadas mapas cognoscitivos, localizados en la región del hipocampo de su cerebro.

En el campo de inteligencia artificial, los mapas cognoscitivos tienen un significado más amplio, *ellos incluyen la codificación del conocimiento con respecto a eventos causales y la forma en la que es activada*. Modelar mapas cognoscitivos utilizando lógica difusa parece natural, debido a la inherente incertidumbre que se encuentra en las bases de datos y conocimiento del mundo real.

En este trabajo nos referiremos a los MCD, como representaciones causales entre conocimiento/datos para representar relaciones de eventos. Por ejemplo una alta en la temperatura de un motor causa un severo daño en todo el sistema, en el caso de otros tipos de representación del conocimiento este tipo de causalidad no puede ser descrita ya que conllevan limitaciones cuando se trata de describir relaciones de causalidad.

Los MCD han sido recién introducidos por Bart Kosko, quien le da significado a esta nueva representación como un grafo capaz de codificar conocimiento empleando lógica difusa. A continuación se presenta una breve explicación de diferentes modelos de MCD, para así llegar a la descripción del MCD utilizado para modelar el proceso de razonamiento del trabajo objeto de estudio.

Mapa cognoscitivo de Axelrod

Axelrod introduce los mapas cognoscitivos (MC) en 1970 con el fin de representar conocimiento científico social. Estos MC son grafos dirigidos con signo, donde los nodos denotan conceptos tales como: inestabilidad social y la dirección de los arcos denota conexiones causales. Los arcos van acompañados de un signo positivo o negativo que denota un incremento o disminución respectivamente. Por ejemplo en el caso de un arco positivo (negativo) del nodo A al nodo B, implica que A causalmente aumenta (reduce) al nodo B.

Además empleó una matriz de adyacencia para representar a los MC. Dejemos que e_{ij} sea un arco que describe la relación causal entre los conceptos de c_i hacia c_j .

Entonces:

- $e_{ij} : 1$, si c_i causa incremento a c_j
- $e_{ij} : -1$, si c_i causa decremento a c_j
- $e_{ij} : 0$, si c_i no involucra causalidad a c_j .

y así para el MC de la Figura 3.1 tenemos una matriz de adyacencia representada en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Matriz de adyacencia E del MC de la Figura 3.1.

Desde/Para	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	0	-1	1	0	0	0
C2	0	0	0	1	0	0
C3	0	0	0	0	1	0
C4	0	0	0	0	0	-1
C5	0	0	0	-1	0	-1
C6	0	0	0	0	0	0

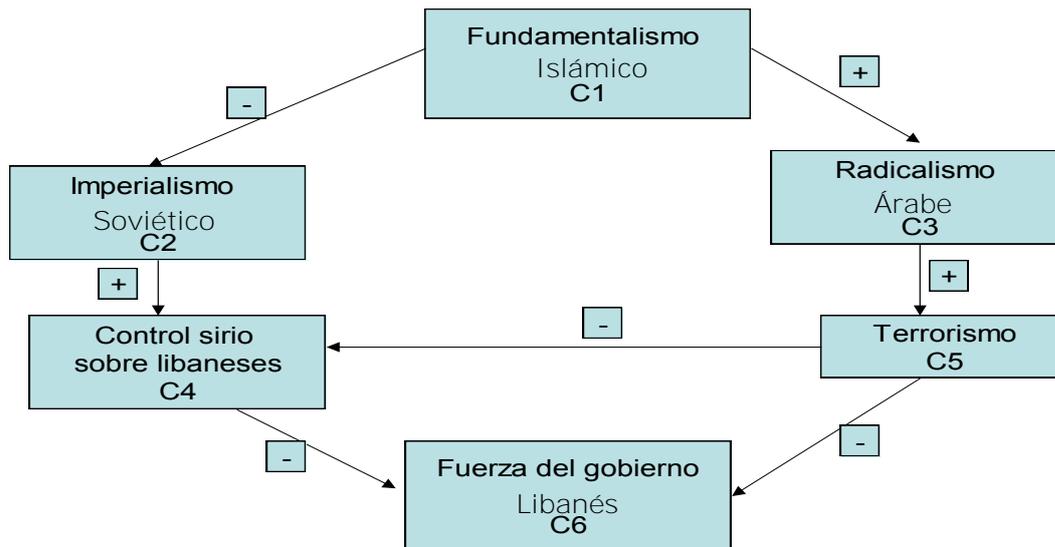


Figura 3.1. Mapa Cognoscitivo que describe las relaciones políticas de la paz en Medio Oriente

Una pregunta que nos llega naturalmente es la siguiente: ¿de qué nos sirve la matriz de adyacencia E? Supongamos que deseamos saber cuál es el efecto de los nodos C1 y C4, en este caso lo que debemos hacer es multiplicar el vector donde aparezca un uno en estos nodos [1 0 0 1 0 0] por la matriz E.

$$C = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0]$$

C1 C2 C3 C4 C5 C6

Entonces

$$CE = [0 \quad -1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad -1]$$

C1 C2 C3 C4 C5 C6

Este resultado indica el efecto de C1 en C2 y C3, y el efecto de C4 en C6.

Mapa cognoscitivo de Kosko

Kosko formaliza la relación de la causalidad proponiendo un MCD. Uno de los objetivos al incluir la lógica difusa es satisfacer una relación dirigida de forma parcial con respecto al **operador \leq entre dos nodos. Así que de acuerdo a este autor tenemos:**

C_i = un concepto

Q_i = a un conjunto de etiquetas lingüísticas (mucho C_i , más o menos C_i , etc.) para C_i

Entonces para dos conceptos C_i y C_j , C_i causa C_j ssi

1. $Q_i \subset Q_j$ y $\neg Q_i \subset \neg Q_j$
2. $Q_i \subset \neg Q_j$ y $\neg Q_i \subset Q_j$

En el caso de la regla 1, la causalidad de C_i aumenta C_j . Y en la regla 2, la causalidad de C_i reduce C_j .

Ahora supongamos que deseamos expresar el siguiente conocimiento:

1. de forma amplia el fundamentalismo islámico aumenta el fundamentalismo masivo árabe.

2. de forma amplia el fundamentalismo islámico causa una severa caída en el imperialismo árabe.

Se consideran etiquetas lingüísticas para expresar esto tomando en consideración las anteriores reglas. Por ejemplo deje que el siguiente conjunto

$P = \{\text{ninguno} \leq \text{algo} \leq \text{mucho} \leq \text{demasiado}\}$, sea un conjunto ordenado de etiquetas para los arcos. Entonces para el mapa de la Figura 3.2 encontramos el efecto causal de C_1 sobre C_5 , en este caso el efecto se da a través de 3 caminos.

1. $C_1 - C_2 - C_4 - C_5$
2. $C_1 - C_3 - C_5$
3. $C_1 - C_3 - C_4 - C_5$

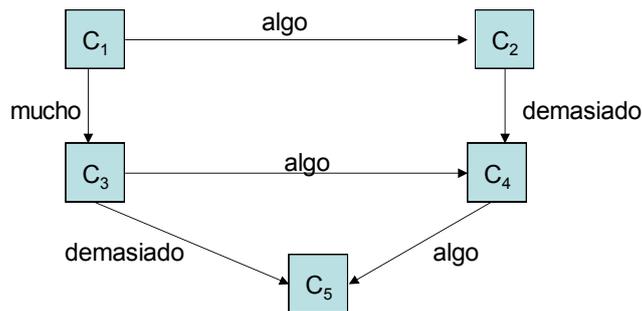


Figura 3.2. Mapa cognoscitivo con etiquetas difusas en los arcos

En este caso el efecto causal es determinado tomando en consideración el valor mínimo de las etiquetas que conforman cada uno de los tres caminos.

1. $C_1 - C_2 - C_4 - C_5 \text{Min} \{e_{12}, e_{24}, e_{45}\} = \{\text{alguno}, \text{demasiado}, \text{alguno}\} = \text{alguno}$
2. $C_1 - C_3 - C_5 \text{Min} \{e_{13}, e_{35}\} = \{\text{mucho}, \text{demasiado}\} = \text{mucho}$
3. $C_1 - C_3 - C_4 - C_5 \text{Min} \{e_{13}, e_{34}, e_{45}\} = \{\text{mucho}, \text{alguno}, \text{alguno}\} = \text{alguno}$

Y finalmente para determinar el efecto total de C_1 sobre C_5 , tomamos el valor máximo de los tres caminos que en este caso es mucho. Lo que significa que C_1 imparte mucha causalidad a C_5 .

En este modelo se busca encontrar el máximo beneficio de cada una de las aristas del camino al menor costo posible (por lo general, el camino más corto o con menor número de aristas) que garantiza la obtención del camino óptimo (que es la mejor solución al problema). Este problema también puede ser visto como un caso especial del problema de transporte de la Investigación de Operaciones.

Mapa cognoscitivo de Kosko extendido

Kosko extendió el modelo básico de Axelrod incluyendo una función no lineal. En este caso dejemos que $E_{(n \times n)}$ represente a la matriz de incidencia de un mapa cognoscitivo y que C_t sea un vector dado del estado del sistema en un instante dado. En este caso C_{ti} , que es el i -ésimo componente del vector C_t , denota la fuerza del concepto, de aquí que el siguiente vector de estado pueda ser evaluado como:

$$C(t+1) = S [C(t) * E] \tag{1}$$

Donde:

S: es una función no lineal aplicada de forma individual sobre los componentes del producto de la matriz.

t : denota el tiempo

hay que tener en consideración que la inclusión de la no linealidad, algunas veces fuerza al mapa cognoscitivo a reciclarse a través de los estados.

Supongamos la matriz de adyacencia de la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Matriz de adyacencia de un mapa cognoscitivo

Desde/Para	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0	1	0	-1	0
C2	0	0	1	0	-1
C3	0	-1	0	1	-1
C4	1	0	-1	0	1
C5	-1	1	0	-1	0

Ahora sea S una función no lineal de tipo binario, donde:

$$S(a) = \begin{cases} 1 & \text{para } a > 0 \\ 0 & \text{para } a \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Entonces para un estado inicial encontramos un estado límite de comportamiento a través de los siguientes estados:

$$\begin{aligned} C_1 - C_5 &= (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1) \\ C_2 &= (0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0) \\ C_3 &= (0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0) \\ C_4 &= (0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0) \\ C_1 - C_5 &= (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1) \end{aligned}$$

Al incluir la función no lineal estamos acotando la distribución de los valores de salida e intentando que sea la misma que los valores de entrada, en este caso nos referimos al **desempeño del razonamiento**, en otras palabras, al mismo tiempo se está dotando al mapa cognoscitivo con una auto evaluación, en el sentido de saber qué tan bien se razona con respecto al diseño de los enlaces de la matriz de adyacencia. Existen diferentes tipos de funciones como la logística, la tangente hiperbólica, el arco seno, o el arco tangente (Patel, Kosko, 2006); y cada una de ellas de forma particular se adapta a cada tipo de problema (razonamiento del proceso). Hay que hacer notar que la función logística es la mejor en el sentido que conlleva el aprendizaje-estadístico perfecto (Vapnik, 1988).

Mapa cognoscitivo utilizado en el caso de estudio

En el caso de estudio, el MCD utilizado fue el de Kosko extendido, y es representado por un diagrama, en el que los nodos son conceptos que describen las principales características del proceso, y las aristas entre los nodos establecen las relaciones causales (positivas o negativas) entre los conceptos. Esta representación gráfica ilustra la influencia que cada uno de los conceptos tiene sobre el resto como se puede observar en la Figura 3.1 (Laureano-Cruces, et al, 2004a).

Los conceptos en un MCD toman valores que cambian en el tiempo y se originan en el sistema. Estos valores están dentro del intervalo [0,1]; y los pesos de interconexión entre dichos conceptos, toman valores dentro del intervalo [-1,1], para mayor detalle consultar (Khan, Chong, Quaddus, 1987; Laureano-Cruces, et al, 2004a). La causalidad positiva implica una relación directamente proporcional entre uno y otro concepto, es decir, que si uno aumenta su posibilidad de presentarse el otro también se aumenta de manera proporcional, y si esta posibilidad reduce en

uno de ellos, entonces también reduce la posibilidad del otro de manera proporcional; en cambio, la negativa implica una relación inversamente proporcional, es decir, que si la posibilidad de que se presente uno de ellos crece, entonces la posibilidad del segundo elemento decrece de forma proporcional; y en caso contrario, si la posibilidad de uno decrece entonces la posibilidad del segundo elemento crece en forma proporcional.

3.3 Razonamiento y álgebra causal

La estructura del MCD permite la propagación de la causalidad hacia delante y hacia atrás permitiendo que la base de conocimiento aumente al aumentar nodos y enlaces entre ellos. La causalidad está representada como una relación difusa entre los nodos.

El MCD, en general, está representado por una matriz de relaciones denominada también como matriz de adyacencia, \square cuyos elementos (e_{ij}) son la dimensión y el efecto de cada relación causal, es decir, el peso entre uno (C_i) y otro concepto (C_j). De manera que el valor del peso 1 y -1 significan una relación totalmente positiva y totalmente negativa respectivamente; mientras que un 0 significa que no hay efecto causal entre ellos. El resto de los valores del intervalo $[1, -1]$ corresponden a diferentes niveles difusos de efecto causal (causalidad difusa) (Khan, Chong, Quaddus, 1987).

De acuerdo a Kosko, (1986, 1992), Von Raesfeld-Porras, (2000), Konar, (2001) y Konar & Jain, (2005), las relaciones de causalidad entre los nodos puede definirse como:

Causalidad positiva: C_i aumenta causalmente a C_j si y solo si $Q_i \subset Q_j$ y $\neg Q_i \subset \neg Q_j$,
 Causalidad negativa: C_i reduce causalmente a C_j si y solo si $Q_i \subset \neg Q_j$ y $\neg Q_i \subset Q_j$

donde, C_i = un concepto

Q_i = a un conjunto de etiquetas lingüísticas (mucho C_i , más o menos C_i , etc.) para C_i

Además, la causalidad negativa puede ser definida en términos de una causalidad positiva, tal como se ejemplifica con las Figuras 3.3 y 3.4.

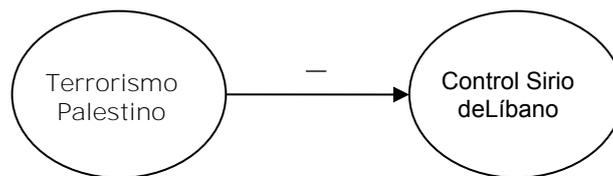


Figura 3.3. Relación causal negativa

Es equivalente a la relación positiva causal de la Figura 3.4.

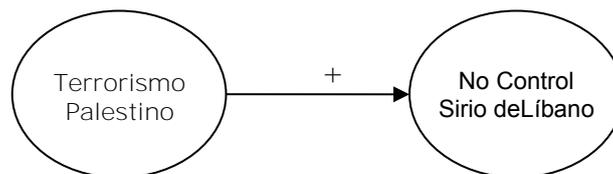


Figura 3.4. Relación causal positiva

Lo anterior, constituye la regla general de reemplazo en la construcción de un MCD y queda definida como:

$C_i \subset C_j$ con peso negativo puede reemplazarse por $C_i \subset -C_j$ con peso positivo, y viceversa.

Los MCD son por tanto, dígrafos utilizados para representar el razonamiento causal. La parte difusa nos permite contar con grados de causalidad representados como enlaces entre los nodos de estos dígrafos.

Para este tipo de representación se ha desarrollado el álgebra causal que permite obtener el cálculo del efecto total de causalidad sobre un concepto C_i mediante las operaciones de multiplicación y adición (Kosko, 1986, 1992; Laureano-Cruces, et al, 2004a; Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Mora-Torres, de Arriaga & Escarela-Pérez, 2010a; Stylios, Groumpos, 1999; Von Raesfeld-Porras, 2000), como se ejemplificó con el mapa cognoscitivo de la Figura 3.2.

Función umbral

El enfoque cualitativo de la matriz de relaciones nos permite observar el comportamiento general del sistema. Sin embargo, se debe hacer una cuantificación con respecto a la relación causal en el mapa definido previamente.

El estado de un nodo dado se obtiene de todos los nodos que lo afectan. Estos estados se multiplican por el peso de la arista entre los dos nodos y la suma se toma como entrada de una función umbral (dada por la Ecuación 4), transmitiendo una entrada no acotada en una señal acotada, lo que permite comparar los nodos (Kosko, 1992).

La suma de efectos de cada nodo i para $j=1,2,3,\dots,n$; siendo n el número de nodos) y que se toma como entrada de una función umbral, se obtiene de acuerdo a la Ecuación 3:

$$N_j = \sum_{k=1}^n (V_{e_{j,k}} M_{k,j}) \quad (3)$$

donde

$V_{e_{j,k}}$ es el vector de entrada

$M_{k,j}$ es el valor de cada elemento de la matriz de relaciones (ej. Tabla 3.2)

n es el número de elementos

Se pueden usar diversas funciones umbral (binomial, trinomial, logística), en nuestro caso se utilizó la función señal logística (Kosko, 1992; Laureano-Cruces, et al, 2004a; Laureano-Cruces, Terán-Gilmore, de Arriaga, 2004b; Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Mora-Torres, Espinosa-Paredes, 2006a; Laureano-Cruces, Santillán-González, Méndez-Gurrola, 2006b; Laureano-Cruces, et al, 2010a; Laureano-Cruces, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, Gamboa-Rodríguez, 2010c; Laureano-Cruces, Guadarrama-Ponce, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, 2011a; Laureano-Cruces, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, de Arriaga-Gómez, 2011c) representada por la Ecuación 4:

$$S(x) = \frac{1}{1 + e^{-\kappa x}} \quad (4)$$

donde:

$S(x)$ = Es la función logística y representa el estado siguiente del vector de entrada.

X = Suma de efectos entre los nodos
 K = Constante de escalamiento=5 (Laureano-Cruces, et al, 2010a).

La razón por la que se elige la señal logística es que tratándose de una función sigmoidea proporciona una salida dentro de un rango continuo de 0 a 1. Además, presenta un comportamiento aumentador o reductor dependiendo del valor que tome k (positivo o negativo).

La función logística $S(x)$ se deriva del libro de Kosko de 1994 (Darrel, (1996). La curva de dicha función está centrada sobre los ejes x-y. Para valores negativos de k , el trazo de $S(x)$ va desde un máximo sobre el lado izquierdo a un mínimo sobre el lado derecho. Para valores positivos de k , los valores de $S(x)$ van desde un mínimo sobre el lado izquierdo hasta un máximo sobre el lado derecho. En la Figura 3.5 se muestra la gráfica de la función logística.

El $|k|$ más pequeño es el que extiende la curva simétricamente alrededor del punto $(0,0.5)$. Mientras que el $|k|$ más grande logra que la transición en la inclinación se de en $S(x) = 1/2$.

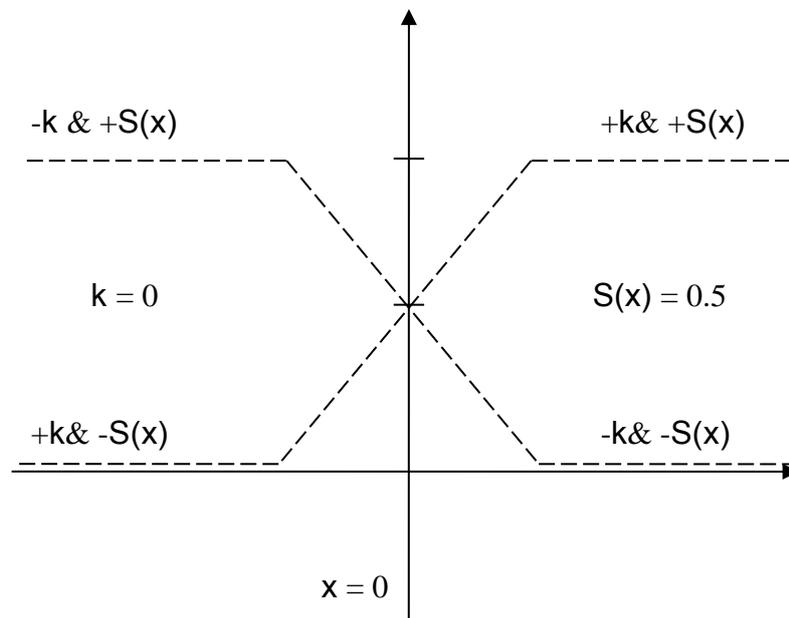


Figura 3.5. Función Logística

S(x) Como función de k y su análisis

k cumple con el papel de detener el crecimiento exponencial que en principio tiene la función, por lo que equivale a una especie de amortiguador para estabilizar los valores de $S(x)$. Por ello, con valores pequeños de k , mayores a 1 pero menores a 5, $S(x)$ dibuja un pico antes de estabilizarse; en cambio a partir de $k = 5$, $S(x)$ tiene un comportamiento muy bien acotado para dibujar un trapecoide. El comportamiento $S(x)$ en función de k puede observarse en la gráfica de la Figura 3.6. El valor de k indica el porcentaje de crecimiento de la función, por ello se le conoce como la constante de escalamiento.

La selección de una técnica particular depende de dos cosas: de la naturaleza de la aplicación y de la elección del usuario, en este caso se seleccionaron los MCD para representar la conducta. La conducta a modelar se centra en el proceso de toma de decisiones, cuyo razonamiento implica alcanzar un objetivo predefinido, a partir de

uno o más estados iniciales, por lo que entre menor sea el número de transiciones para alcanzar el objetivo final, el sistema de razonamiento será más eficiente.

Tabla 3.3. $S(x)$ en función del valor de k

X	k =2	k =3	k =4	k =5	k =6	k =10
-4	-0.000335575	-6.14425E-06	-1.1254E-07	-2.0612E-09	-3.7751E-11	-4.2484E-18
-3	-0.002484912	-0.000123425	-6.1443E-06	-3.059E-07	-1.523E-08	-9.3576E-14
-2	-0.01865736	-0.002484912	-0.00033558	-4.5402E-05	-6.1443E-06	-2.0612E-09
-1	-0.156517643	-0.052395696	-0.01865736	-0.00678365	-0.00248491	-4.5402E-05
1	1.156517643	1.052395696	1.01865736	1.00678365	1.00248491	1.0000454
2	1.01865736	1.002484912	1.00033558	1.0000454	1.00000614	1
3	1.002484912	1.000123425	1.00000614	1.00000031	1.00000002	1
4	1.000335575	1.000006144	1.00000011	1	1	1

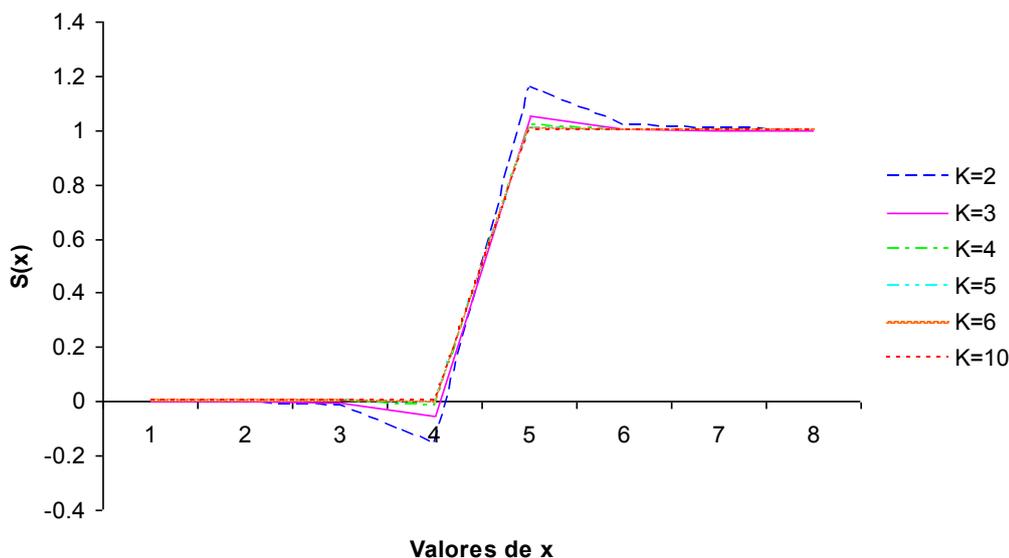


Figura 3.6. Gráfica de $S(x)$ con diferentes valores de k

Así, aumentar la eficiencia implica minimizar los estados intermedios, lo cual queda representado en la organización de la base de conocimiento. Lo anterior se traduce en una implementación del motor de inferencia eficiente y rápida, en otras palabras se cierra de forma más rápida el circuito entre la percepción y la acción (Konar, 2001). Los mapas cognoscitivos nos permiten la representación de muchas reglas de forma eficiente a través de los enlaces.

3.4 MCD como técnica de representación de un sistema tutor inteligente (STI)

Este trabajo utiliza los MCD para modelar la conducta de un agente pedagógico en la toma de decisiones para elegir una estrategia (Khan, Chong, Quaddus, 1987) de acuerdo al estado emocional del usuario percibido.

Para ello, como primer paso detectamos a través de un análisis conductual los elementos que generan esa conducta y su proceso (las relaciones causales entre los elementos). Los elementos están representados por los nodos de la representación gráfica en el MCD y la conducta se representa a través de los enlaces entre estos nodos (Acevedo-Moreno, 2009, 2011; Darrel, 1996; Konar, 2001; Konar, A., Jain, 2005; Kosko, 1986, 1992; Laureano-Cruces, 2000; Laureano-Cruces, De Arriaga-Gómez, García-Alegre, 2001; Laureano-Cruces, et al, 2006a; Laureano-Cruces, et al, 2006b; Laureano-Cruces, Cabrera-López, Mora-Torres, 2009a; Laureano-Cruces, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez & Gamboa-Rodríguez, 2009b; Laureano-Cruces, et al, 2010a; Laureano-Cruces, Sánchez-Guerrero, Mora-Torres & Ramírez-Rodríguez, 2010b; Laureano-Cruces, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, Gamboa-Rodríguez, 2010c; Laureano-Cruces, Guadarrama-Ponce, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, 2011a; Laureano-Cruces, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez & de Arriaga-Gómez, 2011c; Méndez-Gurrola, 2007; Mora-Torres, 2007; Mora-Torres, Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez & Espinosa-Paredes, 2009; Mora-Torres, Laureano-Cruces y Velasco-Santos, 2011; Mora-Torres, 2011; Mora-Torres, Laureano-Cruces, Gamboa-Rodríguez, Ramírez-Rodríguez, Sánchez-Guerrero, 2014).

En la representación del STI propuesto, el proceso a representar es el proceso de E-A del dominio de aprendizaje: didáctica de la Programación Estructurada a nivel Licenciatura. Los nodos del MCD, considerados como elementos que generan la conducta del agente pedagógico en la percepción y diagnóstico del estado afectivo-motivacional del estudiante y la toma de decisiones en la selección de estrategias adecuadas al estado percibido del estudiante en su interacción con el STI, están determinados por la estructura afectivo-motivacional basada en la teoría OCC y la teoría motivacional (*Capítulo 3*) así como en la estrategia instruccional de Merrill (*Capítulo 4*). Por lo anterior, los elementos representados en el MCD son los considerados en la arquitectura afectivo-motivacional y son: las **metas** a alcanzar en forma de **objetivos instruccionales** y los **eventos** que pueden beneficiar u obstaculizar el cumplimiento de las metas propuestas son por ejemplo el intento de **renuncia**, el cometer **errores**, contar con el **conocimiento previo**, disponer de la **ayuda** adecuada y otros eventos que se detallan en el *Capítulo 5*. Respecto a las **normas**, éstas se refieren a las normas de **rendimiento** y las **actitudes** se refieren al **gusto o preferencia** por determinados tareas a realizarse (parte de una estrategia instruccional que permita evidenciar las habilidades adquiridas durante el proceso E-A) o combinación de colores en las pantallas desplegadas.

El desarrollo paso a paso de la metodología que se siguió en el caso de estudio se ve con mayor detalle en el *capítulo 5*.

Capítulo 4

OBJETIVOS INSTRUCCIONALES, ESTRATEGIAS COGNOSCITIVAS / OPERATIVAS Y ESTRATEGIA INSTRUCCIONAL

En este capítulo se describen las estrategias cognoscitivas / operativas de acuerdo a la clasificación propuesta por Gutiérrez-Serrano y la estrategia instruccional de Merrill utilizada para cumplir con los objetivos instruccionales del dominio de aprendizaje: programación estructurada.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de las habilidades cognoscitivas puede y debe influir no sólo en lo que se enseña, sino también en cómo se enseña. Por esta razón se enfatiza su utilidad en la monitorización del proceso educativo. Además genera evidencias necesarias que permiten inferir las capacidades desarrolladas (Castañeda, García y González, 2006).

Determinar los objetivos, conocimientos, habilidades y tareas que conforman el universo a ser evaluado comprende el análisis de los objetivos instruccionales (OI), que representan las subhabilidades y capacidades cognoscitivas que el tutor desea transmitir al estudiante (Laureano-Cruces, et al, 2000; Laureano-Cruces, Terán-Gilmore, de Arriaga y El Alami, 2003; Laureano-Cruces, Terán-Gilmore & Rodríguez-Aguilar, 2005; Laureano-Cruces, Sánchez-Guerrero, Mora-Torres & Ramírez-Rodríguez, 2008).

La interacción del estudiante con el sistema, a través de explicaciones, comentarios o ejemplos gráficos, que corresponden a los OI, provee continuidad durante la sesión instruccional y es administrada por las intervenciones del agente pedagógico (Lester & Stone, 1997; Lester, Callaway, Grégoire, Stelling, Towns & Zettlemoyer, 2001; Laureano-Cruces, 2004; Laureano-Cruces, et al., 2005; Velasco-Santos, Laureano-Cruces, Mora-Torres, Sánchez-Guerrero, 2008) a través de las diferentes estrategias elegidas por el mismo.

4.1 Objetivos instruccionales

La estructura de un OI (Castañeda, García y Gonzáles, 2006) consta básicamente de un verbo que representa operaciones cognoscitivas subyacentes a la acción y sustantivos que representan conocimientos donde se manifiestan las operaciones cognoscitivas.

Por lo anterior, es necesario el uso de dos taxonomías para analizar los OI:

- 1) para identificar la operación cognoscitiva subyacente en el OI y
- 2) para identificar el tipo de conocimiento que está implícito en el OI.

Taxonomía de operaciones cognoscitivas: Compuesta por tres categorías de operaciones cognoscitivas.

1ra Categoría: comprender y organizar conocimiento

Capacidad para identificar, clasificar, ordenar temporalmente, organizar y jerarquizar conceptualmente la información y resumirla coherentemente.

2da Categoría: aplicar conceptos, principios y procedimientos

Representa la capacidad cognitiva para aplicar el conocimiento a situaciones cotidianas como utilizar conceptos, principios, procedimientos, técnicas e instrumentación de tareas académico-profesionales–iniciales o avanzadas-de acuerdo al nivel técnico-científico.

3ra Categoría: resolver problemas

Representa la capacidad cognoscitiva para evaluar e integrar conceptos, principios, métodos, técnicas, procedimientos, estructuras de tareas, y/o planes de acción; y para identificar y corregir errores en soluciones preestablecidas. Cada categoría consta de operaciones que corresponden a demandas específicas.

Taxonomía de tipos de conocimiento:

De acuerdo a Castañeda, et al., (2006) los tipos de conocimiento implícitos en el OI están clasificados en categorías y son:

1ra Categoría: Conocimientos declarativos

Factual: El contenido es información de naturaleza específica que no permite mayor generalización. Implican terminología, detalles específicos y símbolos como: hechos, nombres, lugares y fórmulas.

Conceptual: incluye interrelaciones entre elementos básicos que constituyen la esencia de un campo de dominio de aprendizaje específico además representa un nivel de abstracción mayor al factual. Implican clasificaciones y categorías, principios y generalizaciones (teoremas y leyes) y teorías, modelos y estructuras: conceptos, principios, reglas y la definición de procedimientos.

La medición de esta categoría implica valorar el ***éxito o fracaso*** debido a la ***organización y estructuración conceptual*** coherentemente integrada.

2da Categoría: Conocimientos procedimentales

Procedimientos para reconocer patrones de diversa índole (motores perceptuales, formas bi y tridimensionales específicas, etc.).

Procedimientos para seguir secuencias de acciones con diferentes niveles de complejidad. Son conocimientos acerca de habilidades específicas del dominio como: algoritmos, técnicas y métodos específicos para determinar cómo hacer algo en cuanto a qué acciones seguir (procedimiento) de acuerdo a la complejidad para resolver una tarea.

La medición de esta categoría implica identificar si los estudiantes han aprendido qué acciones realizar bajo determinadas condiciones.

3ra categoría: Conocimientos autorregulatorios

Estos conocimientos se refieren a la cognición en general, conciencia y conocimiento sobre la propia cognición, autoconocimiento. El conocimiento estratégico, contextual y condicional para entender la naturaleza de la tarea y para administrar los recursos-personales y del medio ambiente-necesarios y disponibles.

Los conocimientos autorregulatorios comprenden los conocimientos:

del Estudiante: se refiere a cómo se percibe él mismo en cuanto a su eficacia, contingencia y autonomía y, su orientación a la ***aprobación externa***.

de la Tarea de Aprendizaje: Se refiere a la ***orientación de la tarea*** y la orientación al ***logro***.

de los Materiales de ***ayuda***: la evaluación y regulación del material que se le proporciona.

Evaluar los conocimientos autorregulatorios implica entender la relación entre el aprendizaje y la motivación.

4.2 Estrategias

Las estrategias son acciones realizadas por el agente pedagógico. Se ofrece una clasificación de los distintos tipos de estrategias que se pueden utilizar, para enriquecer y volver más eficaz y confortable la interacción con los usuarios (Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Mora-Torres, de Arriaga & Escarela-Pérez, 2010a).

Las estrategias se clasifican en cognoscitivas y operativas de acuerdo a Gutiérrez-Serrano, (1994) y Laureano-Cruces, et al, (2010a):

Las estrategias cognoscitivas se refieren a las acciones que pertenecen al diagnóstico cognoscitivo del estudiante:

- **Estrategias para la presentación del material instruccional:**
 - Dar una explicación de un concepto: 1) general, 2) breve, 3) detallada (paso a paso).
 - Mostrar ejemplos de operación experta
 - Proponer un ejercicio práctico: 1) operación de un procedimiento, 2) análisis de un fallo.
- **Estrategias para evaluar el conocimiento y las capacidades adquiridas por el usuario:**
 - Evaluar mediante un test
 - Evaluar mediante un ejercicio práctico
- **Estrategias para el tratamiento de errores**
 - Estrategias para la descripción de errores
 - Explicación del error: a nivel superficial, a nivel detallado
- **Estrategias para la corrección de errores**
 - Informar: explicación de conocimiento
 - Consolidar: explicación de comportamiento
- **Estrategias para remediar error**
 - Rehacer un ejercicio práctico
 - Mostrar remedio
 - Proponer un ejercicio similar

Las estrategias operativas: son las acciones que pertenecen al diagnóstico afectivo-motivacional del estudiante:

- **Estrategias para situar (contextualizar al usuario)**
 - Presentar la sesión al usuario
 - Acabar la sesión
 - Informar al usuario: 1) siguiente(s) acciones a realizar, 2) acción que se está realizando, 3) última(s) acción(es) realizadas
 - Repasar: 1) un concepto, 2) la sesión anterior, 3) los prerrequisitos de un concepto dado.
- **Estrategias para motivar al usuario**
 - Felicitar al usuario
 - Animar al usuario
- **Estrategias para guiar la actuación de un usuario**
 - Aconsejar
 - Prevenir

- Realizar una pregunta indirecta
- Ayudar

- **Estrategias para captar la atención del usuario**

Capturar la Atención del Usuario

4.3 Estrategia instruccional (Merrill)

La estrategia instruccional de Merrill se especifica para un agente pedagógico enfocado a generar estrategias cognoscitivas y operativas adecuadas al dominio de aprendizaje que consiste en la didáctica de la programación estructurada para estudiantes del nivel de Licenciatura.

Las estrategias son acciones a desarrollar con base en un objetivo instruccional. Por lo anterior, estas estrategias son denominadas estrategias instruccionales.

El nivel de las estrategias instruccionales pueden ser correlacionadas con el nivel de rendimiento afectivo y eficiente sobre tareas complejas siempre y cuando este nivel sea determinado por el grado en que se implementen los principales principios de la instrucción (Merrill, 2006 y 2007; Peñalosa Castro, 2010; Peñalosa Castro y Castañeda Figueiras, 2010).

Los principios de la estrategia instruccional, de acuerdo a Merrill son:

- o Centrado en el problema: resolución de tareas del dominio
- o Activación: conocimiento previo, experiencia
- o Demostración: estructura de soporte, estructura de guía
- o Aplicación: cuestionamientos, retroalimentación, soporte (asesoría)
- o Integración: integrarlo a las actividades diarias

De acuerdo a los principios de la estrategia instruccional, se establecen los niveles:

- Nivel 0: presentación de la información con o sin preguntas directas
- Nivel 1: añade demostración a la información proporcionada en el nivel 0, escala el rendimiento a un mayor nivel de complejidad en la tarea. Mayor guía en la ejecución de las tareas compleja.
- Nivel 2: aplicación con retroalimentación correctiva de tareas complejas, disminuyendo gradualmente la asistencia por parte del tutor.
- Nivel 3: enfocarse en una tarea que incluya componentes que demuestren la aplicación de habilidades en el dominio, que permitan alcanzar el objetivo instruccional.

Las estrategias son las acciones a realizar en cada nivel instruccional relacionadas con el tipo de conocimiento o habilidad involucrada en la tarea propuesta para alcanzar el objetivo instruccional.

Merrill establece que en cada nivel instruccional existen habilidades de acuerdo a categorías de aprendizaje. En la Tabla 4.1 se resumen estas habilidades en cada nivel instruccional para cada categoría de aprendizaje. Cada uno de los niveles está representado por las columnas Presentar, Recordar, Demostrar y Aplicar. En la primera columna se indican las categorías de aprendizaje involucradas en la tarea.

La Tabla 4.1 indica el nivel instruccional y las categorías de aprendizaje

CATEGORÍAS DE APRENDIZAJE	NIVEL INSTRUCCIONAL				
	Activar		Demostrar (Muestra)	Aplicar (Realiza)	Integrar
	Presentar (Enuncia)	Recordar (Pregunta)			
Tipos de	Definición	Recordar definición	Mostrar ejemplos	Clasificar nuevos ejemplos	Genera nuevos ejemplos
Cómo se hace (procedimiento)	Pasos y secuencia	Recordar pasos y secuencia	Mostrar procedimientos en varias situaciones	Realizar procedimiento en nuevas situaciones	Resuelve integrando los procedimientos
Qué sucede	Indica condiciones y consecuencias que participan en el proceso	Recordar condiciones y consecuencias	Mostrar el proceso en varias situaciones diferentes	Predecir una consecuencia o encontrar fallas en las condiciones	Resuelve y corrige las fallas

Capítulo 5

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO COGNOSCITIVO A PARTIR DE UNA ESTRUCTURA AFECTIVO-MOTIVACIONAL RELACIONADA CON EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

En este capítulo se describe metodología utilizada para crear un modelo cognoscitivo a partir de una estructura afectivo-motivacional relacionada con el proceso de enseñanza-aprendizaje. Asimismo se describe la implementación del modelo utilizando mapas cognoscitivos difusos para manejar la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a LeDoux, (1996), Ohman, (2001) y Whalen (1998), la emoción puede captar la atención y perjudicar la ejecución de una tarea, pero también puede facilitar el procesamiento de la atención. Por su parte Hansen & Hansen, (1998) y Ohman, (2001), señalan que las tareas de atención que se ven facilitadas por la emoción requieren de estímulos señalizados (Picard, 2000). De aquí la importancia de realizar un diagnóstico emocional con base en una estructura afectivo-motivacional como la propuesta (Figura 5.1)

Nuestro trabajo fue modelar una estructura afectivo-motivacional relacionada con el proceso de enseñanza-aprendizaje que permitiera integrar el estado afectivo del estudiante y fuera capaz de generar estrategias cognoscitivas/operativas basadas en la clasificación de Gutiérrez-Serrano (**Sección 4.2**). Además considerar la estrategia instruccional de Merrill (**Sección 4.3**) que busca alcanzar los objetivos instruccionales correspondientes al dominio de aprendizaje de la programación estructurada.

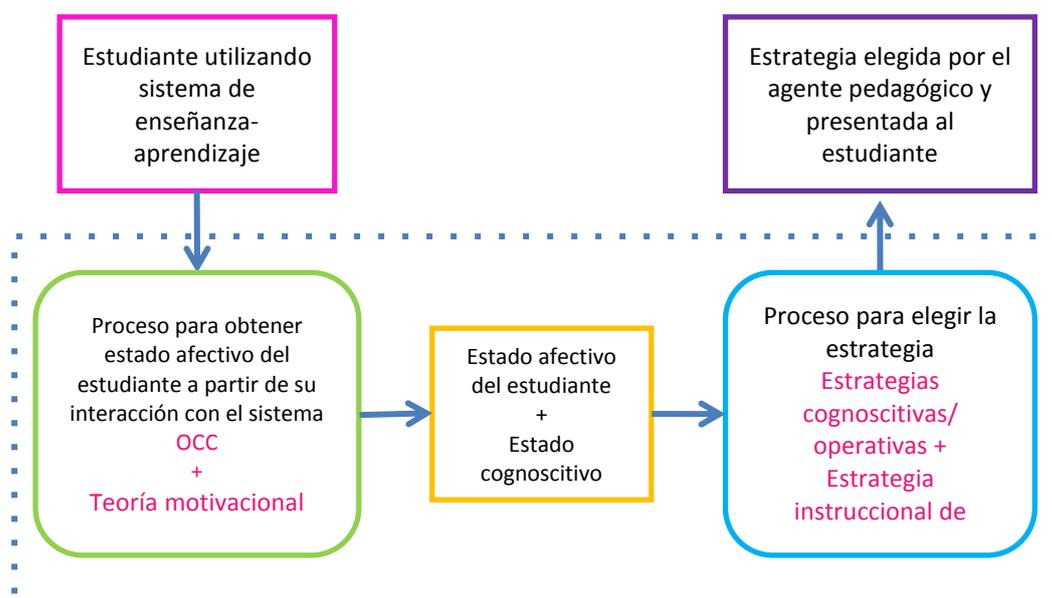


Figura 5.1. Propuesta de un sistema tutor inteligente

Justificación

El problema que se planteó resolver con nuestro trabajo fue contar con un agente pedagógico capaz de elegir (toma de decisión) las estrategias ad hoc al desarrollo de habilidades y competencias de un usuario (eficacia). Para ello se planteó como hipótesis que es posible modelar una estructura afectivo-motivacional relacionada con el proceso de Enseñanza-aprendizaje y que el uso de un agente pedagógico que integre dicha estructura afectivo-motivacional ligada al proceso de enseñanza-aprendizaje, permite elegir las estrategias adecuadas para potenciar el desarrollo de habilidades del usuario. Las teorías que fundamentan esta propuesta son la teoría OCC y la teoría motivacional para generar la estructura afectivo-motivacional, ambas teorías están ligadas debido a que la motivación capaz de explicar una conducta tiene como una de sus fuentes de energía a las emociones. En nuestro trabajo la conducta que modelamos es la del agente pedagógico de un sistema tutor inteligente en el dominio de aprendizaje de la didáctica de la Programación Estructurada a nivel licenciatura. Por lo anterior, utilizamos el análisis

de los objetivos instruccionales (OI) propuesto por Castañeda, García y González, (2006), y la estrategia instruccional de Merrill (Merrill, 2006 y 2007; Peñalosa Castro, 2010; Peñalosa Castro y Castañeda Figueiras, 2010). El análisis de los OI hace explícita la relación del aprendizaje con la motivación y por ende con las emociones, representadas cognoscitivamente como afectos en el proceso de E-A del dominio de aprendizaje de la didáctica de la Programación estructurada.

Los objetivos que se plantearon para el desarrollo de nuestro trabajo fueron:

Objetivo general: Modelar una estructura afectivo-motivacional, específica para un agente pedagógico enfocado a la didáctica de la programación estructurada para estudiantes del nivel de Licenciatura.

Objetivos específicos: Enriquecer el modelo de didáctica general (Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Mora-Torres, de Arriaga, & Escarela-Pérez, (2010) a través de la creación de una representación del comportamiento emocional, que consiste en una estructura afectivo-motivacional y diseñar un modelo cognoscitivo afectivo-motivacional implementando, mediante los mapas cognitivos difusos, la estructura afectivo-motivacional creada.

5 Metodología

El razonamiento, frente a un conocimiento incierto del mundo real, genera grados de creencias en lugar de certezas acerca de las oraciones relevantes que del mundo real se hagan. La presencia de incertidumbre cambia radicalmente el modo en que se toman decisiones, es decir, que una acción puede seleccionarse o rechazarse dependiendo no solo del objetivo sino también de las consecuencias de tal decisión (Russell & Norvig, 2004.).

Por lo anterior, el proceso de toma de decisiones bajo incertidumbre requiere de analizar la mejor metodología para manejar dicha incertidumbre porque de otra manera, se podría llegar a generar inferencias inexactas (Konar, 2001; Reyes-Saldaña y García-Flores, 2005).

De acuerdo a Castañeda, (1993), Castañeda y Martínez (1999), Laureano-Cruces (2000) y Laureano-Cruces & de Arriaga, (2000), el procedimiento para diseñar un modelo cognoscitivo, consiste principalmente de tres etapas:

- 1) El análisis del dominio que permite identificar y acotar el conocimiento y las habilidades que se desea desarrollar. En esta etapa es necesario contar con las herramientas proporcionadas por la psicología cognoscitiva como son: los modelos mentales, el análisis cognoscitivo de tareas y los grafos genéticos;
- 2) El Modelado del dominio, donde se determina si el sistema es para principiantes o avanzados y se especifican las tareas que permitirán obtener evidencias del avance en los estudiantes. Para esta etapa es necesario el análisis de los objetivos instruccionales (IO) y considerar la estrategia instruccional de Merrill ya que permite establecer el nivel de demanda adecuado para licenciatura;
- 3) Construir la base de conocimientos del dominio, para lo que es necesario contar con una representación del problema mediante alguna de las técnicas de representación de la inteligencia artificial que permitan el manejo de incertidumbre. En este trabajo se utilizan los mapas cognoscitivos difusos (MCD). Cabe mencionar que el modelo cognoscitivo es enriquecido por modelos mentales afectivo-motivacionales que reflejan eficiencia procedimental.

5.1 Análisis del dominio

El dominio de aplicación para el diseño del sistema tutor inteligente (STI) propuesto comprende el dominio de aprendizaje de la didáctica de la programación estructurada. Esta didáctica se desarrolla a lo largo de una serie de tareas propuestas por el STI al estudiante.

De acuerdo a (Laureano-Cruces et al. 2003), el estudiante deber ser capaz de:

- 1) acotar el uso de los distintos tipos de datos de acuerdo a las características del problema.
- 2) definir la clase de estructura de control sea *ad-hoc* al objetivo del módulo que se pretende estructurar y 3) comprender el uso de las distintos tipos de abstracción que nos proporciona el paradigma de la programación estructurada (tipos de paso de parámetros y tipos de abstracción: funcional y procedural).

El dominio es descrito de acuerdo con Sánchez-Guerrero, Laureano-Cruces, Mora-Torres & Ramírez-Rodríguez, (2009) donde se utiliza la herramienta de la psicología cognoscitiva denominada grafo genético (GG) para describir el dominio de aprendizaje.

Citando textualmente a Laureano-Cruces (2000):

“El grafo genético (GG), es una herramienta para representar el conocimiento que nació de la inspiración de Ira Goldstein. Basada en la epistemología genética de Jean Piaget. En una descripción general el GG nos muestra el conocimiento (de cualquier tipo) agrupado en islas y enlaces para relacionarlas. Estos enlaces pueden ser de orden o de inclusión, como en el caso de las jerarquías anidadas de Gagné. También se puede registrar la historia y el estilo de aprendizaje de un estudiante, tomando en cuenta las islas visitadas y la predilección de enlaces utilizados en el recorrido del estudiante durante el aprendizaje... Los enlaces que se utilizan en el grafo son y pueden ser ampliados según las necesidades del dominio a modelar.”

Con ayuda de expertos en el dominio de aprendizaje de la didáctica de la programación estructurada (Sánchez-Guerrero, 2009) se obtuvo el grafo genético de la Figura 5.2. *En este caso sólo desarrollamos las propiedades de representación del conocimiento y su tipo de enlace, así como el orden de presentación de las habilidades.*

- 1 Clase
- 2 Subclase
- 3 Antes
- 4 Después
- 5 Compuesto de
- 6 EsDel o EsUn

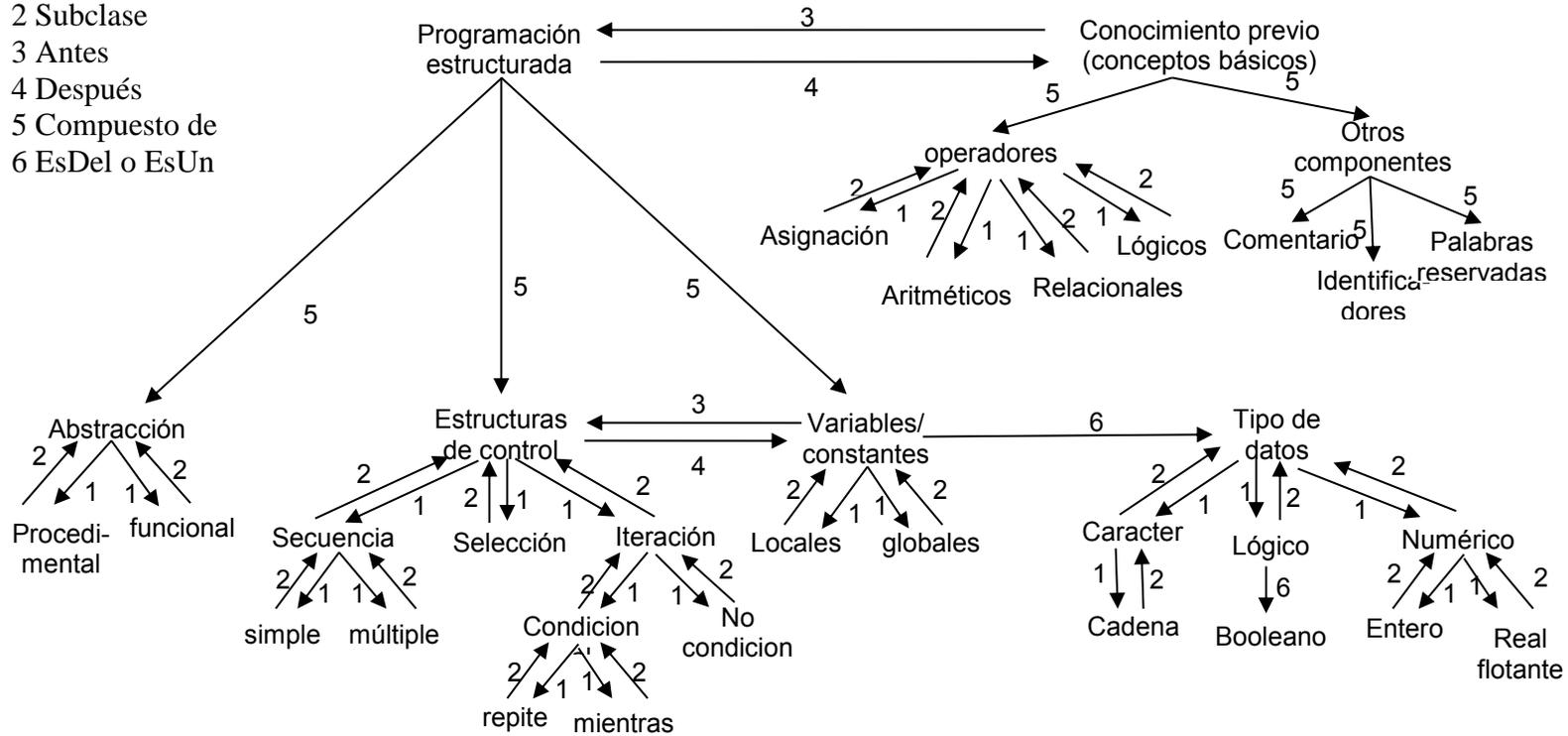


Figura 5.2. Grafo genético del dominio de aprendizaje (didáctica de la programación estructurada)

Además utilizamos el modelo mental como una herramienta más de la psicología cognoscitiva para el análisis del dominio de aprendizaje.

De acuerdo a Laureano-Cruces (2000), los modelos mentales emergen como un intento de dar sentido a las inferencias de forma implícita y explícita. En el mismo sentido Johnson-Laird mencionado en Wild (1996) citado en Laureano-Cruces (2000) argumenta que *un modelo mental permite explicitar aquellos objetos o entidades, así como propiedades y relaciones, que son relevantes para potenciar las acciones. De manera que cada entidad es representada por las propiedades de sus componentes. Las relaciones entre estas entidades están representadas por las relaciones entre estos componentes.*

Existen dos grandes tipos de modelos mentales:

Perceptuales: dependen de los sentidos de percepción humanos. Para estos modelos mentales son importantes dos aspectos: la forma del mundo y la forma en cómo está el que lo percibe.

Conceptuales representan aspectos abstractos.

Ambos pueden reflejar: una posible situación, una situación imaginaria o una situación verdadera.

Los modelos mentales mantienen la conciencia con respecto a la situación global del trabajo, y se pueden encontrar inferencias en el dominio de la tarea, de aquí su importancia en el análisis cognoscitivo de tareas complejas.

Durante el análisis del dominio de aprendizaje no se obtiene un modelo mental exacto de un experto en la didáctica de la programación estructurada, pero se obtiene un conjunto de características que pueden ser utilizadas como un marco para la enseñanza del dominio de aprendizaje, que en este caso está enfocado a la didáctica de la programación estructurada.

Un modelo mental es representado como instrucciones, y puede evidenciar clara y exitosamente las restricciones y características de la tarea a realizar por el STI que en este caso se trata de la didáctica de la programación estructurada; con frecuencia está representado en varios niveles de abstracción.

El formato de un modelo puede ser gráfico como mapas, diagramas de Venn, diagramas de flujo, diagramas estructurados o pseudocódigo. La Figura 5.3 muestra el modelo mental del dominio de aprendizaje de la didáctica de programación estructurada del STI propuesto utilizando pseudocódigo.

En el dominio específico de aprendizaje el modelo mental contiene e integra:

Conocimiento conceptual sobre el papel del STI en el proceso de E-A del dominio de aprendizaje de la didáctica de la programación estructurada.

Conocimiento procedimental sobre cómo interactúa el STI con el estudiante durante el proceso de E-A del dominio de aprendizaje de la didáctica de la programación estructurada.

Habilidades de toma de decisiones para inferir el estado afectivo-motivacional del estudiante durante el proceso de E-A del dominio de aprendizaje de la didáctica de la programación estructurada.

Conocimiento estratégico que permite al STI tomar decisiones sobre cuándo y cómo aplicar estrategias a partir de las relaciones de los componentes del proceso de E-A.

```
INICIO
  abandonar= 0
  fin=0
  salir=0
  ayuda=0
  conocimiento previo= 1
  punto crítico=0
  MIENTRAS ¬abandonar
  {
    SI conocimiento previo ENTONCES
    {
      MIENTRAS ¬ayuda o ¬salir o ¬final
      {
        Realizar Tarea
        SI punto crítico ENTONCES
          Evaluar
        }
      SI ayuda ENTONCES
        Desplegar ayuda del tema
      SINO
        SI final ENTONCES
          SI ¬rendimiento ENTONCES
            conocimiento previo=0
          SINO
            SI salir ENTONCES
            {
              renuncia=1
              SI confirmación ENTONCES
                abandonar=1
            }
          }
        }
      SINO
      {
        desplegar tema de repaso
        conocimiento previo=1
      }
    }
  }
FIN
```

```
Realizar tarea
{
  CASO Tarea
  0: INICIO
  SI respuesta1 o respuesta3 o respuesta5 ENTONCES
  {
    punto crítico=1
    nivel instruccional=1
    categoría de aprendizaje=1
  }
  SI respuesta8 ENTONCES
  final=1
  FIN
  1: INICIO
  SI respuesta2 o respuesta4 o respuesta7 ENTONCES
  {
    punto crítico=1
  }
}
```

```

        nivel instruccional=2
        categoría de aprendizaje=2
    }
    SI respuesta9 ENTONCES
        final=1
    FIN
2: INICIO
    SI respuesta 3 o respuesta 8 o respuesta 10 ENTONCES
    {
        punto crítico=1
        nivel instruccional=3
        categoría de aprendizaje=3
    }
    SI respuesta12 ENTONCES
        final=1
    FIN
}

Evaluar
{
    SI respuesta incorrecta ENTONCES
    {
        error=1
        información del error
    }
    SI tiempo > tiempo establecido ENTONCES
        latencia=1
    SI Aciertos >= 80% ENTONCES
        rendimiento=1
        punto crítico=0
        diagnóstico emocional*
        elegir estrategia*
}

```

* Se describen en el modelado de la estructura afectivo-motivacional

Figura 5.3. Modelo mental del dominio de aprendizajes: didáctica de la programación estructurada

5.2 Modelado del dominio: Modelo cognoscitivo a partir de una estructura afectivo-motivacional

De acuerdo a Castañeda (2006) la ejecución compartida de una tarea promueve en el estudiante un sentido de orientación a la meta (objetivos) en la medida en que el aprendizaje se ajusta a requerimientos y recursos. De manera que el diseño de la didáctica del tutor se realiza de acuerdo a los objetivos instruccionales del dominio de aprendizaje que en nuestro caso es la didáctica de la *programación estructurada*.

En esta etapa se establece el nivel de demanda del STI y la transformación del estudiante de novato a experto por ello es necesario determinar los objetivos, conocimientos, habilidades y tareas que conforman el universo a ser evaluado, de aquí la importancia del análisis de los objetivos instruccionales (OI) (*Sección 4.1*).

Operaciones cognoscitivas y tipos de conocimiento del dominio de aplicación

En la Tabla 5.1, se encuentran resumidas las operaciones cognoscitivas y el tipo de conocimiento necesario de acuerdo a las capacidades requeridas en el dominio (programación estructurada) (Sánchez-Guerrero, 2009 y Sánchez-Guerrero, et al., 2009) y a las taxonomías para analizar los OI (Castañeda, et al., 2006; González, Castañeda y Maytorena, 2009). En esta tabla las columnas están representadas por los siguientes contenidos:

- Categoría de operación cognoscitiva: compuesta por tres categorías de operaciones cognoscitivas revisadas en la **Sección 4.1**:
 - 1) comprender y organizar conocimiento,
 - 2) aplicar conocimiento a situaciones cotidianas, y
 - 3) resolver problemas.

- Operación cognoscitiva: acciones necesarias para el tratamiento del conocimiento involucrado en el dominio específico.

- En las siguientes columnas se indica el tipo de conocimiento del dominio de aprendizaje de la didáctica de la programación estructurada:
 - 1) factual; referente a los hechos,
 - 2) conceptual; referente al conocimiento contextualizado en un dominio específico,
 - 3) procedimental; referente al conocimiento que involucra un orden específico, y
 - 4) autorregulatorio; referente a la cognición en general y a la conciencia y el conocimiento sobre la propia cognición, es decir, a la capacidad con que cuenta el usuario para darse cuenta de su aprendizaje visto a través de lo que ha aprendido y lo que ha aprendido mal y es necesario corregir.

Es relevante señalar, para el desarrollo de nuestro trabajo (modelo cognoscitivo a partir de una estructura afectivo-motivacional), la importancia de este último conocimiento: el Autorregulatorio porque es a través de él como se establece la relación entre el aprendizaje y la motivación y por consiguiente con las emociones y sus representaciones cognoscitivas correspondientes denominadas afectos.

Tabla 5.1 Identificación del contenido del dominio

Categoría	Operación Cognoscitiva (OC)	Tipos de conocimiento			
		Factual	Conceptual	Procedimental	Autorregulatorio
COMPRENDER Y ORGANIZAR	<i>Identificar</i>	Conocimiento previo: Operadores y otros componentes. Elementos de la programación estructurada.	Abstracción, estructuras de control, variables/constantes, Tipos de datos.	Reglas de sintaxis que aplican para cada concepto de acuerdo a los lenguajes imperativos	Usuario: eficacia Tarea: orientación al logro Materiales: evaluación y regulación
	<i>Clasificar</i>	Operadores: asignación, aritméticos, relacionales, lógicos. Otros componentes: comentarios, identificadores y palabras reservadas. Elementos de la programación estructurada.	Abstracción: Procedimental y funcional; estructuras de control: Secuencia, selección e iteración. Variables/ constantes: locales y globales; Tipos de datos: Caracter, lógico y numérico.	Clasifica los elementos de la sintaxis de lenguajes imperativos a través del pseudocódigo. Con lo anterior se pretende una comprensión libre de sintaxis.	Usuario: eficacia Tarea: orientación al logro Materiales: evaluación y regulación
	<i>Traducir</i>	Elementos a pseudocódigo	Conceptos en Pseudocódigo	Procedimientos en pseudocódigo	Usuario: eficacia Tarea: orientación al logro Materiales: evaluación y regulación
APLICAR CONOCIMIENTO	<i>Analizar</i>	Tipos de datos, y tipos de estructuras de control existentes	Conceptos a analizar: variable, constante, cadena, 46arácter, entero, flotante, booleano, secuencia, selección, iteración, abstracción	Analiza los procedimientos para cada concepto	Usuario: eficacia Tarea: orientación al logro Materiales: evaluación y regulación
	<i>Inferir</i>	El tipo de estructura de control o tipo de dato a utilizar	Infiere qué conceptos están involucrados	Infiere qué procedimientos es mejor en cada caso	Usuario: eficacia Tarea: orientación al logro Materiales: evaluación y regulación
	<i>Comparar</i>	Elementos a comparar:	Diferencias y similitudes	Compara los resultados	Usuario: eficacia Tarea: orientación

		tipos de estructuras, tipos de datos	entre los tipos de conceptos: entre abstracción procedimental y funcional; entre la secuencia simple y múltiple; entre la iteración condicional y no condicional; entre variables y constantes; local y global; entre carácter, lógico, booleano; y numérico entero y flotante	obtenidos con cada procedimiento : Si es abstracción procedimental o funcional; si es una secuencia simple o múltiple, si es una iteración: condicional (<i>mientras o hacer ...mientras</i>), o <i>progresión aritmética</i>	al logro Materiales: evaluación y regulación
RESOLVER	<i>Tomar decisiones</i>	Tipos de datos y tipos de estructuras de control utilizadas para resolver un requerimiento	Conceptos involucrados en el procedimiento que decide utilizar	Decide utilizar uno de los procedimientos de acuerdo a la tarea propuesta	Usuario: eficacia Tarea: orientación al logro Materiales: evaluación y regulación
	<i>Evaluar</i>	Tipos de datos y tipo de estructura de control evaluada	Concepto involucrado en la evaluación del procedimiento	Evalúa el resultado obtenido con el procedimiento utilizado	Usuario: eficacia Tarea: orientación al logro Materiales: evaluación y regulación
	<i>Corregir errores</i>	Tipos de datos	Declaración de tipos de datos	Cambiar de procedimiento si éste no fue el adecuado y en su caso, añadir las estructuras de control necesarias para satisfacer las condiciones para utilizar el procedimiento elegido	Usuario: eficacia Tarea: orientación al logro Materiales: evaluación y regulación

El modelo cognoscitivo del dominio comprende el desarrollo de la estructura que relaciona la conducta del estudiante con el sistema tutor inteligente (STI) y la tarea a realizar durante el proceso de enseñanza-aprendizaje (E-A), propuesta por el STI. Dicha estructura se fundamenta en la teoría de la motivación que nos explica la conducta de un individuo (el estudiante) en un contexto determinado (el proceso de E-A) y la teoría emocional de Ortony, Clore y Collins (1988 & 1996) (Teoría OCC)

que explica cómo se construye una estructura afectiva necesaria para explicar la conducta motivada del estudiante debido a las emociones que constituyen una de las fuentes de energía de dicha motivación.

Cabe mencionar que la relación entre el proceso de E-A y la motivación está definida por el conocimiento autorregulatorio del estudiante (**Sección 4.1**) debido a que la percepción de aprobación externa, por el logro o fracaso alcanzado en la realización de la tarea propuesta, genera los afectos de **orgullo** o **vergüenza**, **alegría** o **tristeza**, **congoja/frustración** o **alivio**, **decepción** o **confirmación de temores** en el estudiante.

También se considera el conocimiento autorregulatorio de la tarea y los materiales ya que está relacionado con los afectos de **admiración** o **rechazo**, **amor** u **odio**, debido a la evaluación y regulación de la tarea.

La **motivación** es aquello que proporciona energía (intensidad) y dirección (meta) a una conducta (Reeve, 1992). El proceso de enseñanza-aprendizaje (E-A) es un proceso orientado a metas y está intrínsecamente motivado (Castañeda, et al., 1999). Lo anterior significa que es a través de los aspectos de la motivación que se hace evidente si una conducta está o no motivada. Los aspectos son: **elección** (poder elegir una tarea entre varias propuestas por el STI), **expresión corporal** (este aspecto no se consideró para la estructura porque el STI no cuenta con información visual), **probabilidad** (el número de intentos que dispone para realizar una tarea), la **expresión facial** (este aspecto no se consideró para la estructura porque el STI no cuenta con información visual), **esfuerzo** (esfuerzo requerido por la tarea acorde con categoría de aprendizaje y nivel instruccional), **latencia** (el tiempo que tarda en empezar la tarea propuesta) y **persistencia** (no renuncia a terminar la tarea propuesta).

La investigación en el área cognoscitiva ha acumulado evidencia del impacto de la evaluación en el proceso de enseñanza aprendizaje, de manera que puede guiar la cantidad de esfuerzo invertido por el estudiante, la realimentación informativa (**errores**, **tipo de errores**, **estrategias**) para estimular la creencia positiva del estudiante sobre su capacidad de aprender y la percepción de control sobre su éxito o fracaso.

El proceso de enseñanza-aprendizaje implica ejercer el control personal del estudiante para mantenerse interesado (interés y motivación).

La Teoría OCC especifica una estructura psicológica de las emociones de acuerdo a descripciones personales e interpersonales de situaciones. Además constituye la base para modelar una estructura afectiva que puede ser formalizada computacionalmente. En otras palabras, es posible crear un modelo cognoscitivo afectivo-motivacional que puede ser utilizado en los sistemas de IA y ligarlo al sistema de razonamiento con el fin de que se potencie el desempeño del agente tutor.

La estructura afectiva de acuerdo a la teoría OCC se desarrolla atendiendo los tres criterios: metas, normas y actitudes tal como se muestra en la Figura 5.4.

En nuestro caso la meta es adquirir la habilidad propuesta por el sistema (por ejemplo entender las estructuras control de programación estructurada), para ello, es necesario cumplir con los objetivos instruccionales y entender los contenidos. Un acontecimiento indeseable que impide el logro de las metas es la renuncia, es decir, salir del sistema sin finalizar las tareas.

Respecto a las normas, se consideran aquellas que indiquen el rendimiento del usuario. Lo anterior tiene una relación con el nivel de compromiso que se tiene con el estudio: 1) porcentaje cubierto de entrega de tareas, 2) porcentaje de asistencia, 3) material cubierto en un determinado tiempo, entre otros.

En cuanto a las actitudes nos referimos a las preferencias hacia un tipo de tareas o estrategias de acuerdo a los estilos de aprendizaje.

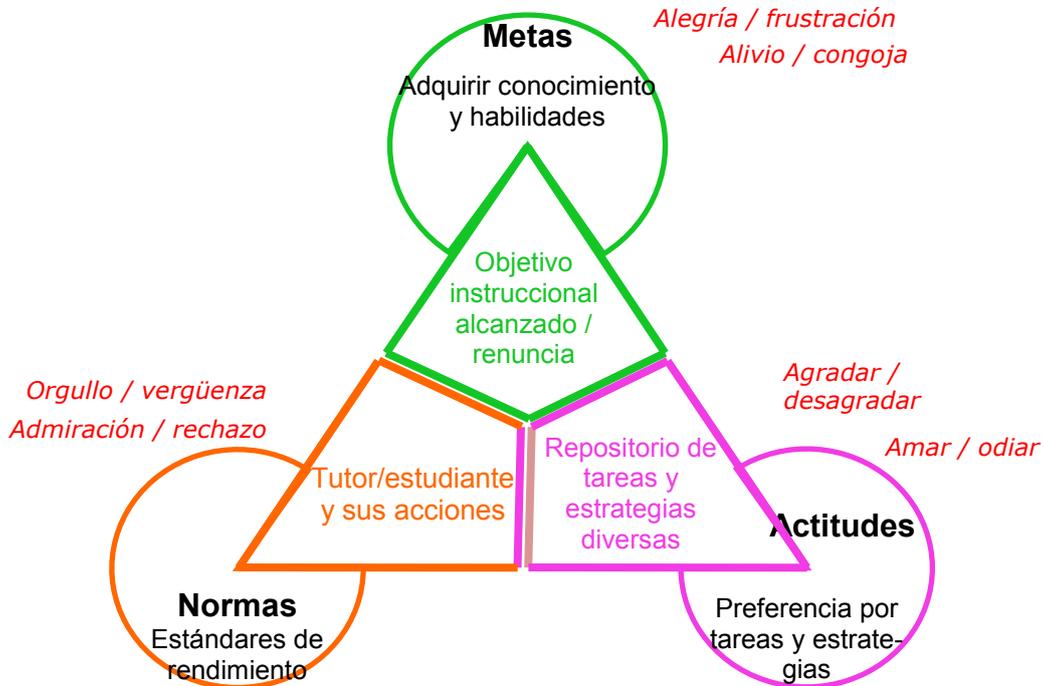


Figura 5.4. Teoría OCC aplicada al proceso de E-A

Partiendo de lo anterior, se especifican los tres tipos de emociones: 1) emociones basadas en acontecimientos, 2) emociones de atribución y 3) emociones de atracción. Las emociones tienen reacciones afectivas que pueden ser inferidas por los aspectos de la conducta.

Las denominadas emociones basadas en acontecimientos, están relacionadas con la deseabilidad del acontecimiento descrito, con la previsión de resultados según el esfuerzo y el bienestar que producen. De acuerdo a la deseabilidad de los acontecimientos como por ejemplo adquirir habilidades o tener aciertos habrá como reacción afectiva contento o descontento al producirse o no dichos acontecimientos. Respecto a las previsiones de los resultados debido a la probabilidad y esfuerzo-realización de los mismos, se presentan afectos como esperanza/miedo, alivio/decepción, satisfacción/confirmación de temores. Por ejemplo, al realizar las tareas propuestas se espera haber desarrollado habilidades y competencias en el dominio. De acuerdo a esta expectativa, primero se presenta la esperanza de que se produzca, o el miedo de que no suceda así; posteriormente, al producirse el acontecimiento, se puede experimentar el alivio de que el temor no se confirmó o la decepción de que la expectativa no se alcanzó. También puede ocurrir la satisfacción por la expectativa alcanzada o simplemente la confirmación del temor. Las emociones que producen estos afectos se denominan por ello, basadas en previsiones y forman parte de las emociones de vicisitudes del yo (Ortony, et al, 1988 & 1996). Los afectos producidos por las emociones de bienestar son el júbilo o la congoja. Por ejemplo, al acertar se experimenta el júbilo como bienestar, pero por el contrario, si se yerra, se experimenta la congoja.

Las emociones de atribución, por su parte, están relacionadas con la reacción de aprobación o desaprobación de las acciones de los agentes. En nuestra aplicación un agente puede referirse a 1) el tutor, o 2) el usuario. Debido a la plausibilidad (aprobación o desaprobación), el usuario puede aprobar o desaprobado los contenidos en su presentación (estrategias). De acuerdo a la fuerza de la unidad (grado en que el agente pedagógico está en unidad cognoscitiva con el usuario, es decir, la percepción que el usuario tiene del sistema para considerarlo parte de un equipo de trabajo), se pueden experimentar emociones cuya reacción afectiva puede ser: 1) orgullo/vergüenza, y 2) admiración/reproche. Para medir esta fuerza es necesario considerar la desviación de las expectativas. Por ejemplo, se experimenta orgullo o vergüenza por desarrollar las tareas propuestas acertadamente o no de acuerdo a las expectativas, en tal caso, el usuario califica su propia actuación. Se experimenta admiración o reproche hacia la intervención del agente pedagógico por las estrategias utilizadas en el desempeño de las tareas. También se puede sentir complacencia o remordimiento por alcanzar o no el objetivo propuesto, ya sea entender un tema del contenido, realizar una tarea, etc. Además se puede experimentar gratitud o enojo hacia el tutor por el tema, contenido o tarea propuesta.

Por último, las emociones de atracción están relacionadas con la actitud de agrado o desagrado que el usuario pueda tener por los objetos, los cuales en nuestro caso se relacionan con: las estrategias, los contenidos, diseño de la interfaz (Velasco-Santos, Laureano-Cruces, Mora-Torres y Sánchez-Guerrero, 2008). Debido a la capacidad de atraer se experimentan emociones cuya reacción afectiva es el agrado o desagrado por estos últimos. Respecto a la familiaridad se experimenta el amor o el odio hacia el agente pedagógico y la interfaz de desarrollo. Lo anterior se basa en la medida en que al usuario le resulta efectiva la ayuda proporcionada por el agente pedagógico, y la facilidad del entorno de aprendizaje.

Efecto de las variables locales y globales en el entorno afectivo

Variables locales:

La **deseabilidad** afecta la intensidad de las emociones basadas en los acontecimientos como **solicitar ayuda, cometer errores, o renunciar** y se ve reflejada directamente en los **afectos** como **la alegría, el alivio, la decepción (frustración) o confirmación de los temores (congoja)** de acuerdo a la posición de la meta a la que están asociados dichos acontecimientos y afectos en la macro-estructura de valoración. Es decir, cumplir una meta **superior** es más deseable que cumplir una meta **inferior**. Sin embargo, es menos deseable no cumplir una meta **necesaria** que una **suficiente** debido a que la **necesaria** representa la imposibilidad para continuar escalando la macro-estructura para alcanzar la meta **superior**, la **general**.

La **plausibilidad** afecta la intensidad de las emociones de atribución y se ve reflejada directamente en los **afectos** como el **orgullo, la vergüenza, el rechazo o la admiración** de acuerdo a si se alcanza una meta que cumple con las normas de rendimiento del usuario (concluir aciertos de errores) o de efectividad del tutor al aplicar estrategias.

La **capacidad de atraer** afecta la intensidad de las emociones de atracción y se ve reflejada directamente en los **afectos** como el **agrado, desagrado, amor u odio**. Esto depende del cumplimiento de una meta (**realizar tarea, concluir aciertos de errores**) relacionada con el efecto que provoca la aplicación de las estrategias por parte del tutor.

Variables globales:

La **proximidad** afecta la intensidad de cualquier tipo de emoción y se ve reflejada en los **afectos** de todas las metas de la macro-estructura. De manera que entre más **próxima** se encuentre la meta **superior**, la intensidad de los afectos es mayor y la posibilidad de **renunciar** es menor. De forma contraria, entre más **alejada** se encuentre la meta **superior**, la intensidad de los afectos es menor y la posibilidad de **renunciar** es mayor.

La **excitación** no se incluye debido a que no tenemos evidencia de los antecedentes fisiológicos, es decir, si hubo ejercitación física que mantuviera al usuario en un estado de excitación previo a la interacción con el sistema.

Lo **inesperado** afecta la intensidad de todo tipo de emoción y se ve reflejada en los afectos de **decepción** (que puede convertirse en **frustración**) o de **alivio** (que puede convertirse en **alegría**) de acuerdo a la motivación del usuario. Lo anterior significa que en un usuario motivado, los acontecimientos como solicitar ayuda o cometer errores pueden causar un efecto menos intenso que en uno desmotivado.

El **sentido de la realidad** no se incluye debido a que no tenemos forma de medir el grado de percepción de la realidad de cada usuario, sin embargo, esta variable está relacionada con la variable de **proximidad**.

Los criterios de valoración como las normas y las actitudes (OCC) son expresados en la estructura afectivo-motivacional en términos de metas, debido a que obedecer una norma o una actitud se convierte en una meta más que se pretende alcanzar dentro de una estructura motivacional.

Metas y submetas de la estructura afectivo-motivacional

La estructura tiene como meta superior (general), el adquirir la habilidad propuesta por el sistema, es decir, entender los elementos de la programación estructurada: (1) tipos de datos, variables y constantes 2) estructuras de control, 3) abstracciones procedimentales y funcionales y como meta inferior tener conocimiento previo. Los acontecimientos indeseables son la renuncia o cometer los mismos errores una y otra vez, esto último significaría alejarse de la meta superior. Para alcanzar las metas es necesario establecer submetas denominadas metas instrumentales (más específicas). Estas metas se enlazan unas respecto a otras como necesarias, suficientes, facilitadoras o inhibitorias.

Dentro de estructura, se encuentran las metas (Figura 5.5) **cumplir objetivo instruccional** y **entender elementos de programación estructurada**, ambas son metas de persecución **activa** porque dependen del usuario. Como metas **cíclicas** están: **realizar la tarea** propuesta por el tutor y **evaluar y analizar errores**. Además se tienen como metas de **interés**: **mantener el interés y el deseo de continuar**, **concluir aciertos** a partir de los **errores cometidos** (debido a que el usuario desea que esto ocurra para preservar el estado de avance continuo una vez que el tutor aplica las estrategias), **recibir estrategias adecuadas** y **ayuda útil**.

Atendiendo al criterio de las normas, vistas como metas de rendimiento (Figura 5.6), en la estructura se especifican como acciones no plausibles del estudiante: la **renuncia** y la **latencia prolongada**, como acciones no plausibles si se realizan frecuentemente: **cometer errores** y **solicitar ayuda**; y como acciones plausibles están: por parte del estudiante, **cumplir estándares de rendimiento** y por parte del tutor, **brindar ayuda útil** y **elegir la estrategia adecuada**.

Desde el punto de vista de los objetos, se tiene un banco de tareas disponibles para su realización (Figura 5.7).

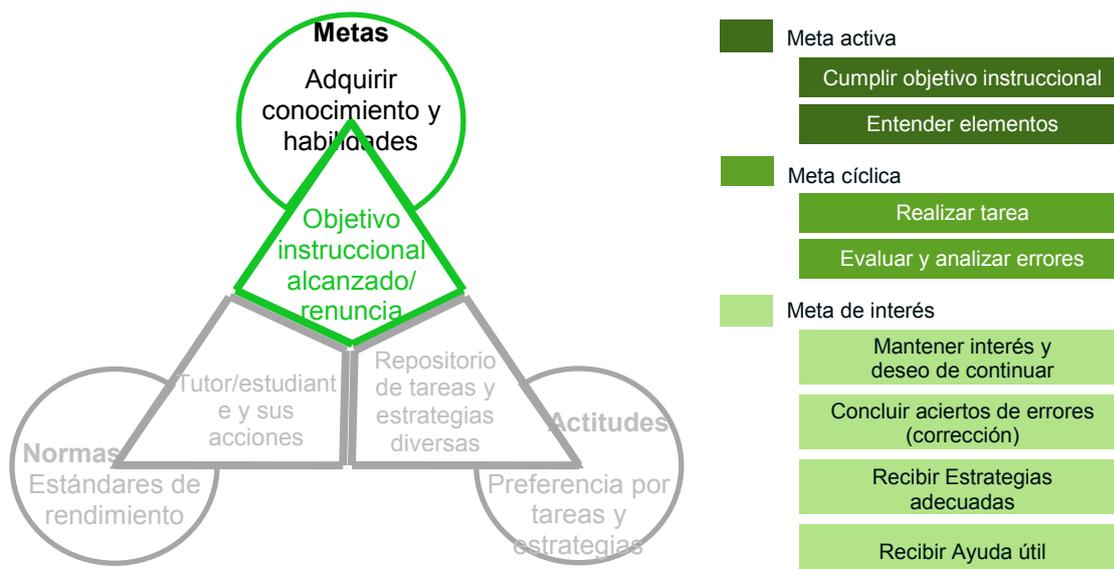


Figura 5.5. Metas de la estructura

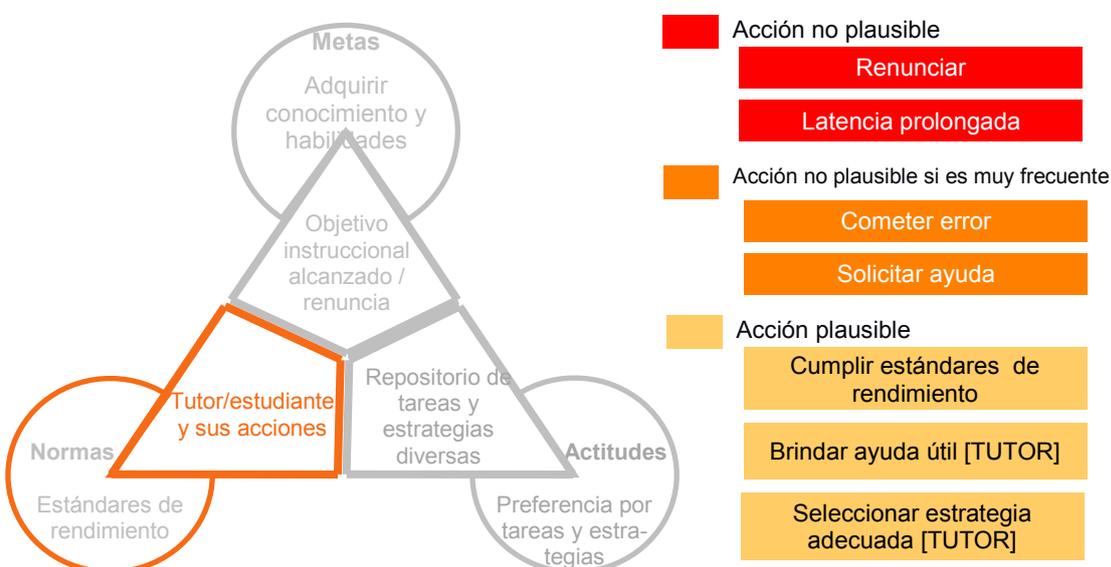


Figura 5.6. Acciones del estudiante y del tutor relacionadas con el rendimiento

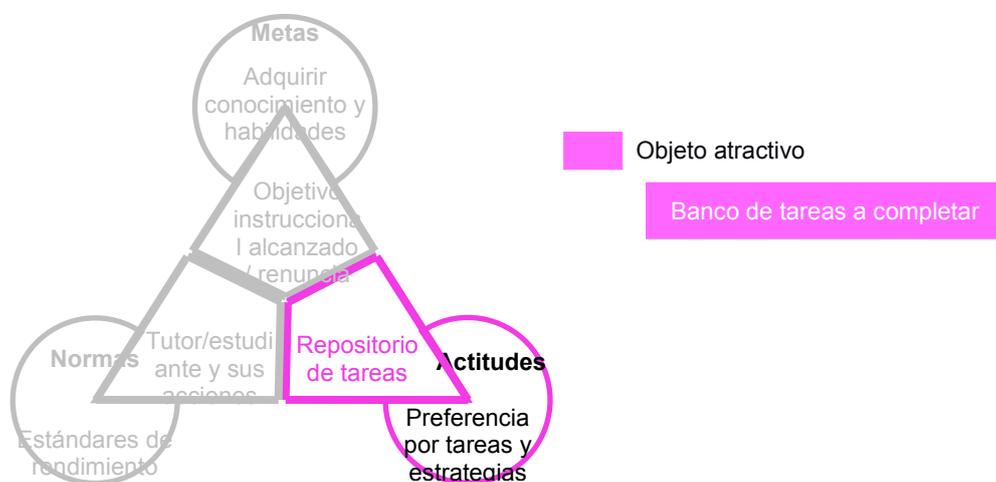


Figura 5.7. Objetos

Representación cognoscitiva de las emociones en la estructura de valoración

El proceso de valoración de los acontecimientos deseables o indeseables, de las acciones del usuario o del tutor, y de los contenidos (tareas, textos vistos como objetos), es realizado de acuerdo a las metas, incluyendo las metas de cumplir con las normas de rendimiento y con la actitud. A partir de este proceso surgen las emociones respectivas: basadas en acontecimientos, de atribución y de atracción, cada una de ellas tiene como reacción los denominados afectos o representación cognoscitiva de las emociones.

Las emociones basadas en acontecimientos se presentan dependiendo de la realización de las tareas y de la expectativa, provocando afectos como la alegría si se cumplió con la expectativa o de alivio si no se cumplió el temor, o en caso contrario, se manifiesta la decepción al no cumplirse la expectativa, la congoja o la confirmación de los temores. Las emociones de atribución provocan afectos de rechazo, admiración, orgullo o vergüenza y se experimentan al evaluar la acción del tutor (estrategias utilizadas) o del propio usuario al realizar las tareas propuestas de acuerdo o no a la meta: **cumplir con las normas de rendimiento** (cubrir un porcentaje del material en un tiempo determinado). Respecto a las emociones de atracción, se experimentan afectos de agrado, desagrado, amor u odio al evaluar las tareas de acuerdo a la meta **cumplir con la preferencia** (actitud hacia las tareas vistas como objetos). La Figura 5.8 muestra las metas, acciones y objetos que intervienen en el proceso de E-A.

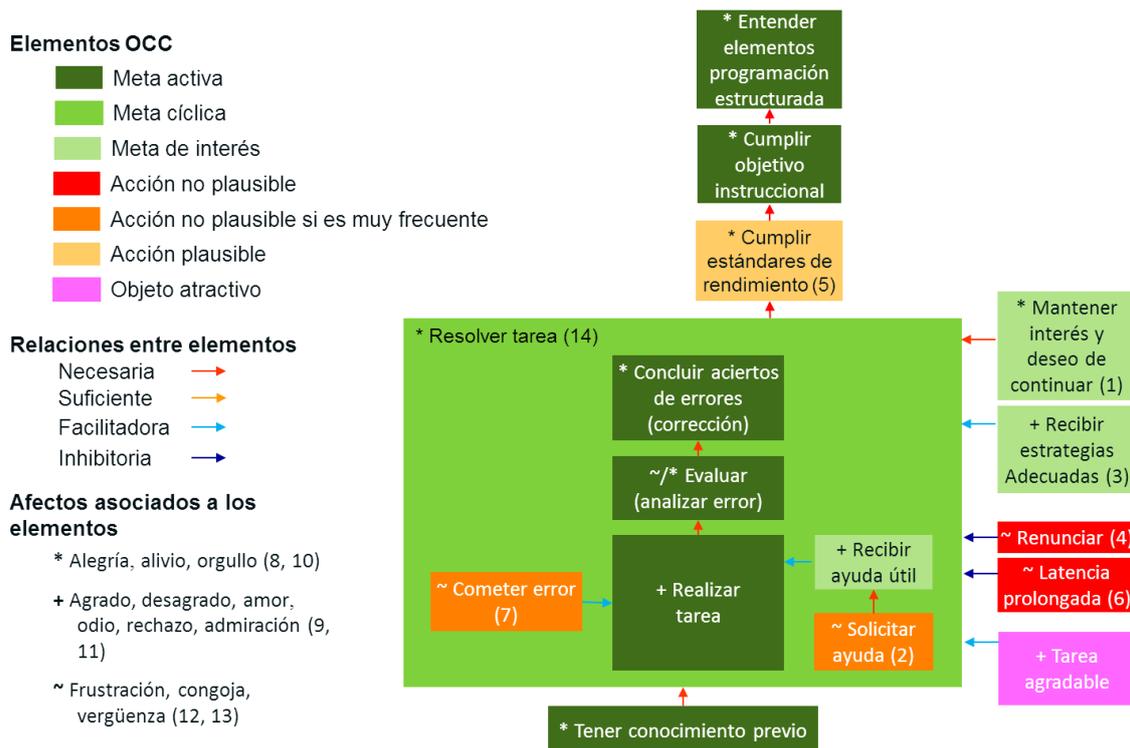


Figura 5.8. Estructura afectivo-motivacional

Los números corresponden a los conceptos identificados mediante la nomenclatura de la Tabla 5.2. Por ejemplo el número 1 corresponde a la nomenclatura ID y se refiere al concepto: interés y el deseo de continuar.

Tabla 5.2 Nomenclatura de los elementos del proceso E-A

Afectos y elementos del proceso E-A					
1	ID	Interés y Deseo	8	AO	Alegría, Orgullo
2	Ay	Ayuda	9	A3	Admiración, agrado, amor
3	Es	Estrategias cog-ope	10	Al	Alivio
4	R	Renuncia	11	Do	Desagrado, odio, rechazo
5	Rd	Estándares de Rendimiento	12	Fc	Decepción (Frustración), confirmación, temor (congoja)
6	Lt	Latencia	13	V	Vergüenza
7	Er	Errores	14	Pr	Proximidad

Estrategias cognoscitivas/operativas y la estrategia instruccional de Merrill en la estructura afectivo-motivacional

La interacción del estudiante con el STI, a través de explicaciones, comentarios o ejemplos gráficos, provee continuidad durante la sesión instruccional y es administrada por las intervenciones del agente pedagógico a través de la aplicación de estrategias cognoscitivas/operativas (**Sección 4.2**) (Lester & Stone, 1997; Lester, Callaway, Grégoire, Stelling, Towns & Zettlemyer, 2001; Laureano-Cruces, 2004; Laureano-Cruces, et al., 2005; Velasco-Santos, Laureano-Cruces, Mora-Torres, Sánchez-Guerrero, 2008).

La interacción producida durante la ejecución compartida permite desarrollar definiciones de competencia, en la medida que se observan otros razonamientos y se recibe realimentación de sus propios esfuerzos para resolver problemas, así como aprenden la facultad de dar y aceptar **ayuda** y estímulo. De aquí que en el diseño del STI se considera como parte del modelo, la **ayuda** y las **estrategias cognoscitivas y operativas** que logren interacciones que promuevan internalizar formas de razonamiento y estándares conceptuales asociados al dominio del conocimiento específico que se está aprendiendo.

El modelo cognoscitivo que representa la estructura afectivo-motivacional mediante un MCD es capaz de inferir estados futuros de los conceptos involucrados en el proceso de E-A. Parte esencial de la inferencia es elegir la mejor estrategia para interactuar con el usuario.

Las estrategias operativas correspondientes al diagnóstico afectivo-motivacional del estudiante de acuerdo a la clasificación de Gutiérrez-Serrano (1994) y Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Mora-Torres, de Arriaga & Escarela-Pérez, (2010a) son acciones para:

captar la atención del estudiante: El STI aplica para ello la **estrategia para agradar (EG)**. Esta estrategia consistió en mensajes enmarcados en pantallas diseñadas de acuerdo a la teoría del color y relacionada con el estilo de aprendizaje del estudiante (Velasco-Santos, et al., 2008 y Velasco-Santos, Sánchez-Guerrero, Laureano-Cruces, Mora-Torres, 2009).

contextualizarlo y guiarlo: El STI aplica para este propósito, la **estrategia para aliviar (EA)**. Esta estrategia consistió en proporcionar mensajes sobre todo durante la solicitud de ayuda por parte del usuario.

motivarlo: El STI aplica en este caso, la estrategia de **admirar logros (EL)** y la estrategia de **reconocer el esfuerzo (ER)**. Estas estrategias consisten en presentar mensajes al estudiante con los logros obtenidos y felicitarlo por el esfuerzo que implica la realización de las tareas propuestas.

La Figura 5.9 indica las diferentes estrategias operativas que el STI aplica y que, de acuerdo a la teoría OCC, están catalogadas como objetos con capacidad de atraer.

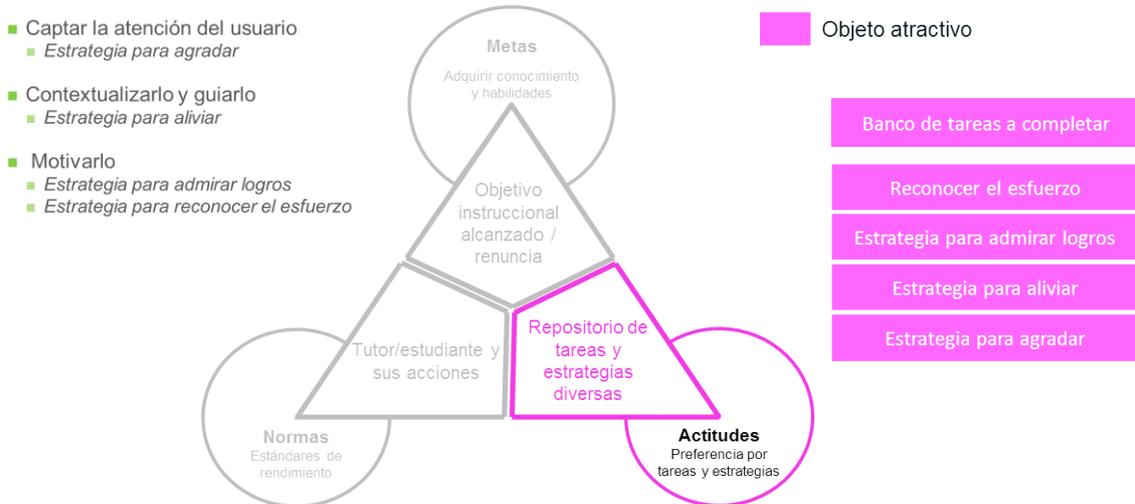


Figura 5.9. Acciones que pertenecen al diagnóstico afectivo-motivacional

La interacción del STI está diseñada para realizarse con base en la estrategia instruccional de Merrill (*Sección 4.3*) de manera que el STI proporcione el andamiaje necesario para alcanzar los objetivos instruccionales correspondientes al dominio de aprendizaje. Lo anterior implicó relacionar el análisis de los objetivos instruccionales, realizado de acuerdo a Castañeda (Castañeda, et al., 2006; González, Castañeda y Maytorena, 2009) y resumido en la Tabla 5.1., con los niveles instruccionales y categorías de aprendizaje de Merrill.

Las relaciones entre el análisis de los OI y la estrategia instruccional de Merrill son:

- Las categorías de operaciones cognoscitivas que Castañeda describe (*Sección 4.1*) tiene correspondencia con los niveles instruccionales de Merrill, de manera que:
 - o La primera categoría: **Comprender y organizar** que contiene las operaciones cognoscitivas: identificar, clasificar y traducir, corresponde a los niveles instruccionales **activar y demostrar** porque identificar, clasificar y traducir son operaciones cognoscitivas necesarias para activar el conocimiento y hacer la demostración como resultado de haber organizado y comprendido la información que fue presentada.
 - o La segunda categoría: **Aplicar conocimiento** que contiene las operaciones cognoscitivas: analizar, inferir y comparar, corresponde al nivel instruccional **aplicar** ya que la realización de una tarea en este nivel instruccional implica la aplicación de las operaciones cognoscitivas analizar, inferir y comparar.
 - o La tercera categoría: Resolver que contiene las operaciones cognoscitivas: tomar decisiones, **evaluar y corregir errores**, corresponde al nivel instruccional integrar, porque para resolver un problema es necesaria la integración de las habilidades adquiridas en los niveles anteriores y los conocimientos que permitan tomar decisiones, evaluar y corregir.
- Los tipos de conocimientos que Castañeda describe están relacionados con las categorías de aprendizaje de Merrill. Las relaciones son:

- o Los tipos de conocimiento *factual* y *conceptual* están relacionados con la categoría *Tipos de* porque esta categoría se refiere a la clasificación de conceptos y para ello es necesario el conocimiento factual y conceptual.
- o El tipo de conocimiento *procedimental* está relacionado con la categoría de aprendizaje *Cómo hacerlo*, porque esta categoría se refiere a los procedimientos necesarios para hacer algo.
- o El tipo de conocimiento *autorregulatorio* está relacionado en cierta forma con la categoría *Qué sucede* porque esta categoría se refiere a aprender y el conocimiento autorregulatorio se refiere a tomar conciencia sobre los recursos con los que contamos en cualquier situación para entender qué está pasando. Solo que este tipo de conocimiento es más amplio que saber qué pasa respecto a la situación planteada, ya que incluye la reflexión sobre el metaconocimiento, es decir que además del conocimiento sobre el funcionamiento de la situación planteada, se considera el conocimiento sobre los recursos cognoscitivos con los que uno cuenta para aprender.

Realizar esta reflexión sobre sí mismo y las capacidades que se tienen da lugar a la evaluación del material disponible y de uno mismo, lo que por consiguiente dará lugar a la exhibición de un estado afectivo-motivacional respecto a la situación planteada (tarea planteada en nuestro caso) y respecto a uno mismo. Por lo anterior, este tipo de conocimiento fue relevante para nuestro trabajo porque **relaciona el estado afectivo-motivacional al proceso de E-A**. Merrill también considera a las emociones como algo presente en todo momento durante la estrategia instruccional pero como algo implícito. **El aspecto interesante para nuestro trabajo, acerca del análisis de OI propuesto por Castañeda, fue explicitar esta relación a través de la teoría OCC y la teoría motivacional.**

En la tabla 5.3 se resume el contenido de los niveles instruccionales en cada categoría de aprendizaje de acuerdo al dominio de la didáctica de la programación estructurada y relacionada con el análisis de los OI propuesto por Castañeda, et al., 2006 y González, Castañeda y Maytorena, 2009.

Tabla 5.3. Niveles instruccionales y categorías de aprendizaje en el dominio de aprendizaje: didáctica de la Programación Estructurada relacionado con el análisis de OI.

		NIVEL INSTRUCCIONAL				
		Activar		Demostrar (Muestra)	Aplicar (Realiza)	Integrar
CATEGORÍAS		Presentar (Enuncia)	Recordar (Pregunta)			
Cognoscitivas de aprendizaje		Comprender y organizar (identificar, clasificar y traducir)			Aplicar (analizar, inferir y comparar)	Resolver (tomar decisiones, evaluar, corregir errores)
	Tipos de (Factual y conceptual)	Definición de: tipos de datos, estructuras de control y abstracciones	Recordar definición de los tipos de datos, estructuras de control y abstracciones	Mostrar ejemplos de tipos de datos, estructuras de control y abstracciones	Clasificar nuevos ejemplos de tipos de datos, estructuras de control y abstracciones	Genera nuevos ejemplos de tipos de datos, estructuras de control y abstracciones
	Cómo se hace (Procedi-Mental)	Pasos y secuencia de tipos de datos, estructuras de control y abstracciones	Recordar pasos y secuencia de tipos de datos, estructuras de control y abstracciones	Mostrar procedimientos de tipos de datos, estructuras de control y abstracciones	Realizar procedimientos de tipos de datos, estructuras de control y abstracciones	Resuelve integrando los procedimientos de tipos de datos, estructuras de control y abstracciones
	Qué sucede si (autorregulatorio que implica la autoevaluación además de la situación y los recursos materiales)	Indica condiciones y consecuencias que participan en el proceso de aprender tipos de datos, estructuras de control y abstracciones	Recordar condiciones y consecuencias de tipos de datos, estructuras de control y abstracciones	Mostrar el proceso de tipos de datos, estructuras de control y abstracciones	Predecir una consecuencia o encontrar fallas en las condiciones de tipos de datos, estructuras de control y abstracciones	Resuelve y corrige las fallas en las condiciones de tipos de datos, estructuras de control y abstracciones
		evaluación de los recursos propios (metacognoscitivo) y materiales				

La Figura 5.10 Muestra la estructura afectivo-motivacional integrando la estrategia instruccional, por ello se indica que la resolución de la tarea es de acuerdo a la clasificación de Merrill, además se indican las estrategias proporcionadas por el STI como objetos capaces de agradar.

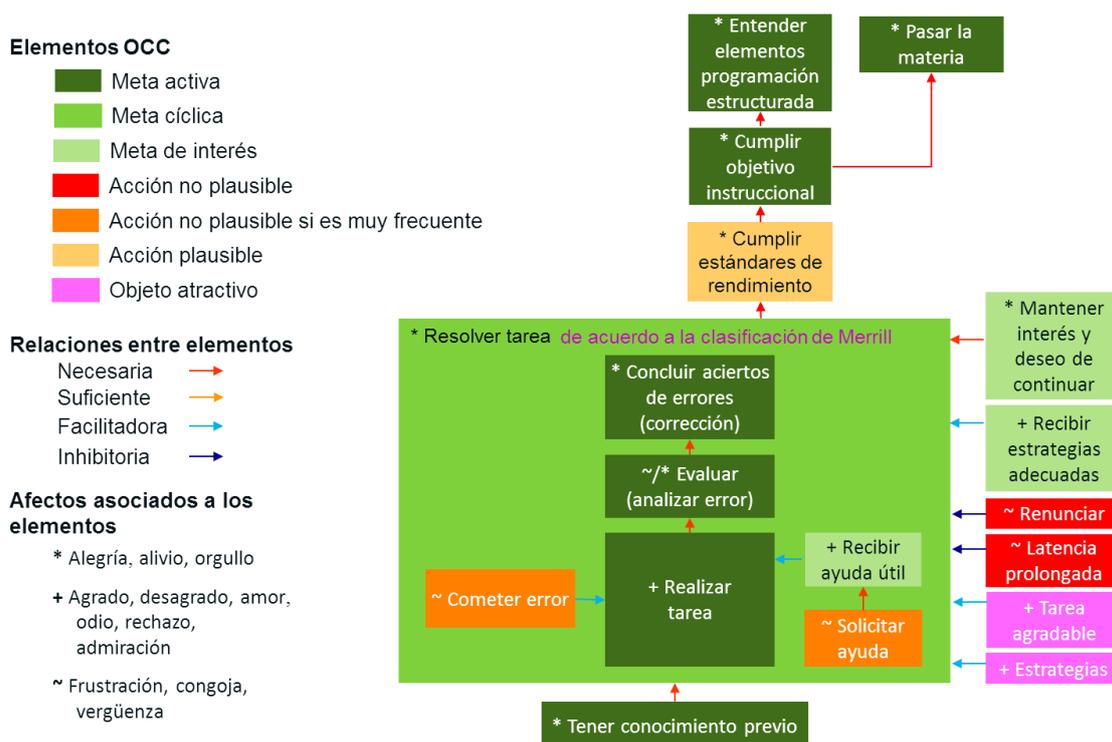


Figura 5.10. Estructura afectivo-motivacional y la estrategia instruccional

5.3 Representación de la estructura afectivo-motivacional mediante los MCD.

Los MCD (*Capítulo 3*) permiten describir el comportamiento de un sistema complejo (análisis en paralelo) e incluyen el tratamiento de la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones, y la imprecisión en los datos (Konar, 2001). El sistema se describe en términos de conceptos y relaciones causales entre dichos conceptos (García, Reyes y Morales, 2002; Khan, Chong, Quaddus, 1987; Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Terán-Gilmore, 2004a; Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Mora-Torres, Espinosa-Paredes, 2006a; Laureano-Cruces, Santillán-González, Méndez-Gurrola, 2006b; Patel, Kosko, 2006; Peláez & Bowles, 1995; Peláez & Bowles, 1996; Ramírez-González, 2006).

De acuerdo al modelo afectivo-motivacional propuesto (Figura 5.1) primero es necesario obtener el estado afectivo-motivacional del estudiante, para después elegir la estrategia adecuada a dicho estado y al entorno del proceso de Enseñanza-Aprendizaje (E-A). Debido a lo anterior decidimos realizar la representación del modelo a través de dos MCD:

- 1) que representa el diagnóstico afectivo-motivacional del estudiante y
- 2) que representa la generación de estrategias cognoscitivas/operativas que consideren dicho estado afectivo-motivacional y la estrategia instruccional de Merrill.

Ambos MCD consideran la evaluación del entorno del proceso de Enseñanza-Aprendizaje (E-A) enfocado en el dominio de aprendizaje correspondiente a la didáctica de la programación estructurada.

Evaluación del entorno del proceso de Enseñanza-Aprendizaje

La evaluación del entorno consiste en realizar lecturas de los parámetros observables que describen el proceso de enseñanza-aprendizaje. Es decir, el MCD que pretende representar el proceso de E-A está conformado por elementos que

pueden ser medidos directamente en el entorno y el resto de ellos son inferidos a partir de los observados y el efecto de cada uno sobre el resto.

Medición de los elementos del primer MCD

La medición de los elementos que describen el proceso de E-A (Tabla 5.2) ya sea de los elementos observables directamente o de los inferidos se representa con valores 0 y 1 para indicar la ausencia/no información o presencia, respectivamente, del elemento en el entorno:

El **interés y deseo** (ID): Este elemento es inferido por el efecto causal del resto de los elementos. Inicialmente $ID = 0$; por no contar con información del efecto causal.

La **ayuda** (Ay): consiste en la solicitud de ayuda por parte del usuario. $Ay=1$ si el usuario solicita ayuda, de lo contrario es igual a 0.

Estrategias (Es): se refiere a la presencia de estrategias aplicadas por el agente pedagógico.

- Inicialmente $Es = 0$;
- $Es=1$; si el agente aplica una estrategia cognitiva/operativa

Renuncia (R): se refiere a la activación, por parte del usuario, del botón **salir**. Aparece una ventana de confirmación, antes de salir definitivamente. $R=1$ cuando el usuario intenta salir de la tarea que está realizando sin haberla terminado. $R=0$ mientras no se haya activado el botón **salir**.

Estándares de rendimiento (Rd): se refiere a la realización correcta de la tarea, para ello se considera un puntaje de acuerdo al tipo de aciertos. El puntaje de 80% a 100% se acepta como evidencia de Rd. Es decir, $Rd=1$ si el puntaje está dentro del rango de un buen desempeño (80%-100%).

Latencia (Lt): se activa cuando se supera el tiempo definido por el experto para comenzar la tarea. Se han realizado pruebas con un tiempo de 30 segundos para comenzar la tarea. Se reajustaron los tiempos de acuerdo al tipo de tarea según su complejidad.

- $Lt = 1$; si tiempo > Tiempo variable según la complejidad de la tarea (seg);
- $Lt = 0$; si tiempo < Tiempo variable según la complejidad de la tarea (seg).

La medición de los parámetros se realiza de dos maneras, de acuerdo al tipo de tarea:

a) El entorno es evaluado cada **t**. Donde **t** se refiere al tiempo para tomar mediciones del estado de los elementos que describen el entorno de enseñanza-aprendizaje del usuario y el sistema y está determinado por:

$$t = T_{totEst}/3;$$

donde T_{totEst} se refiere al tiempo total estimado para realizar la tarea y $T_{totEst} = 2T_{totExp} + Cte$.

donde T_{totExp} se refiere al tiempo establecido por el experto para realizar la tarea de acuerdo a su complejidad. El rango es de 10 a 30 minutos. $Cte = \text{Tiempo de consulta ayuda} = 10min$

Esta observación se establece arbitrariamente de manera que el agente intervenga mínimo 3 veces durante la realización de la tarea.

b) El entorno es evaluado cuando se alcancen puntos críticos de la tarea definidos por el experto.

Errores (E_r): indica que el usuario ha cometido error, de manera que $E_r = 1$.

Los afectos como la *Alegría, Orgullo (AO)*; *Admiración, agrado, amor (A3)*; *Alivio (Al)*; *Desagrado, odio, rechazo (Do)*; *Decepción o Frustración, confirmación de los temores o congoja (Fc)*; *Vergüenza (V)*, son inferidos por el efecto del resto de los elementos.

Proximidad (Pr): la *proximidad* es 1 si la meta está cercana a alcanzarse. Inicialmente se consideró como meta terminar la tarea propuesta. Ahora se considera como meta lograr una categoría de aprendizaje. Por lo anterior, $Pr = 1$; si se han desarrollado el 80% de las tareas que conforman una categoría de aprendizaje, con un desempeño dentro del rango de puntaje promedio 80%-100%. Los porcentajes de desempeño son propuestos por los expertos del dominio de aplicación.

Relaciones causales de los elementos que conforman el primer MCD

Los conceptos de la estructura afectivo-motivacional están ligados a los elementos de la estructura del proceso de enseñanza-aprendizaje a través de los aspectos de la motivación (esfuerzo, latencia, persistencia, elección). El interés y el deseo por ejemplo, están relacionados especialmente con la persistencia y el esfuerzo. Los afectos positivos (alegría, admiración, orgullo, agrado, amor) por su parte, son los que proporcionan la energía de la motivación. La ayuda está relacionada con la elección y el afecto que alimenta dicha elección es el alivio. Las estrategias están relacionadas con la elección. Los afectos de agrado, desagrado, amor, odio, rechazo, admiración alimentan dicha elección. La renuncia está relacionada inversamente con la persistencia, es decir, que entre mayor persistencia, menor posibilidad de renuncia y viceversa (menor persistencia, mayor posibilidad de renuncia). El rendimiento está relacionado con todos los aspectos de la motivación. Los afectos positivos (alegría, orgullo, alivio, agrado, amor, admiración) son los que alimentan la motivación. La latencia tiene como fuente de energía al afecto alivio. Los errores están relacionados con el esfuerzo (complejidad de la tarea), la persistencia y la probabilidad de respuesta. Los afectos que se experimentan en esta etapa del proceso son decepción (frustración), confirmación de temores (congoja) y vergüenza.

Las relaciones causales (*Sección 3.3*) describen la influencia que un elemento causa en el resto de los elementos, de manera que un elemento tiene una relación directa con otro elemento cuando la mayor o menor posibilidad de que uno se presente causa mayor o menor posibilidad de que se presente el otro, respectivamente, y se denomina relación causal positiva (+). Por el contrario, un elemento tiene una relación inversa cuando la mayor o menor posibilidad de que uno se presente causa menor o mayor posibilidad de que se presente el otro, respectivamente, y se denomina relación causal negativa (-).

Las relaciones entre los diferentes elementos identificados en la estructura afectivo-motivacional se detallan a través del modelo mental representado en la Figura 5.11. Por ejemplo **ID**, de acuerdo a la nomenclatura de la Tabla 5.2, se refiere al elemento *Interés y Deseo* y se relaciona causalmente de manera positiva con el *Rendimiento (Rd)*, la *Alegría, el Orgullo (AO)* y la *Admiración, Agrado, Amor (A3)*; y, de manera negativa con la *Renuncia (R)*, el *Error (Er)* y el *Desagrado, el odio y el rechazo (Do)*. Lo anterior significa que si se presenta el Interés y Deseo entonces aumenta la posibilidad de que se presente el *Rendimiento (Rd)*, la *Alegría, el Orgullo (AO)* y la *Admiración, Agrado, Amor (A3)*; mientras que se reduce la posibilidad de que se presente la *Renuncia (R)*, el *Error (Er)* y el *Desagrado, el odio y el rechazo (Do)*.



Figura 5.11. Modelo mental del diagnóstico afectivo-motivacional del estudiante

Las relaciones causales positivas y negativas del primer MCD se encuentran resumidas en la Tabla 5.4.

Estas relaciones de causalidad se representan con una matriz de causalidades mostrada en la Tabla 5.5 de acuerdo a la descripción de la relación positiva y la relación negativa. En esta matriz se observan los efectos de cada concepto sobre el resto. De manera que se tiene representado el proceso E-A a través de todas las relaciones que se pueden establecer entre todos los elementos que lo conforman, incluyendo los afectivo-motivacionales.

Tabla 5.4. Elementos relacionados y evaluados de la estructura afectivo-motivacional

<i>Elementos</i>		<i>Evaluación del elemento</i>
1	ID Interés y Deseo	Se infiere a partir de +[AO, A3, Rd] y -[R, Er, Do]
2	Ay Ayuda*	1 si solicitud de ayuda por parte del estudiante, 0 si no
3	Es Estrategias cognitive*	Inicialmente 0, 1 cuando el agente aplica una estrategia
4	R Renuncia*	1 si activación del botón "Salir", 0 si no
5	Rd Rendimiento*	1 si el puntaje está dentro del rango 80 a 100%, 0 si no
6	Lt Latencia*	1 si Lt > al tiempo definido para iniciar la tarea, 0 si no
7	Er Errores*	1 si el usuario comete un error, 0 si no
8	AO Alegría, Orgullo	Se infiere a partir de +[ID, Rd, A3] y -[Lt, , Do]
9	A3 Admiración, agrado, amor	Se infiere a partir de +[ID, Es] y -[R, Lt, Do]
10	AI Alivio	Se infiere a partir de +[Es, Rd, Pr] y -[R, Fc]
11	Do Desagrado, odio, rechazo	Se infiere a partir de +[Es, R, Lt, Er, Fc] y -[ID, Rd, A3, AI]
12	Fc Decepción(Frustración), confirmación de temores (congoja)	Se infiere a partir de +[R, Er, Lt, Do, V, Pr] y -[Rd, AO, A3, AI]
13	V Vergüenza	Se infiere a partir de +[Es, R, Er, Do, Fc] y -[ID, Rd, AO, A3]
14	Pr Proximidad*	1 si se ha desarrollado el 80% de las tareas que conforman una categoría de aprendizaje con Rd = 1, 0 si no

* Elementos que pueden ser evaluados directamente en el entorno

Tabla 5.5. Matriz causal de la estructura afectivo-motivacional

	ID	Ay	Es	R	Rd	Lt	Er	AO	A3	AI	Do	Fc	V	Pr
ID	0	0	0	-1	1	0	-1	1	1	0	-1	0	0	0
Ay	0	0	1	0	0	1	-1	0	0	1	0	0	0	0
Es	1	0	0	-1	1	0	-1	0	1	0	-1	0	0	0
R	-1	0	-1	0	-1	0	1	-1	-1	-1	0	1	1	0
Rd	1	0	1	-1	0	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	0
Lt	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0
Er	-1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
AO	1	0	0	0	1	-1	-1	0	1	0	-1	0	0	0
A3	1	0	1	-1	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	0
AI	0	0	1	-1	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	1
Do	-1	0	1	1	-1	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0
Fc	0	0	0	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	0	1	1
V	-1	0	1	1	-1	0	1	-1	-1	0	1	1	0	0
Pr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Mapa cognoscitivo difuso (MCD)

La figura 5.12 muestra el MCD que representa la matriz de causalidades del proceso E-A integrado con los aspectos motivacionales y afectivos.

El siguiente estado de un nodo dado se obtiene a partir de todos los nodos que lo afectan: los estados de estos nodos se multiplican por el peso de la arista (efecto de la relación causal) entre los dos nodos y se suman. La suma se toma como entrada de una función umbral, transmitiendo una entrada no acotada en una señal acotada, lo que permite comparar los nodos.

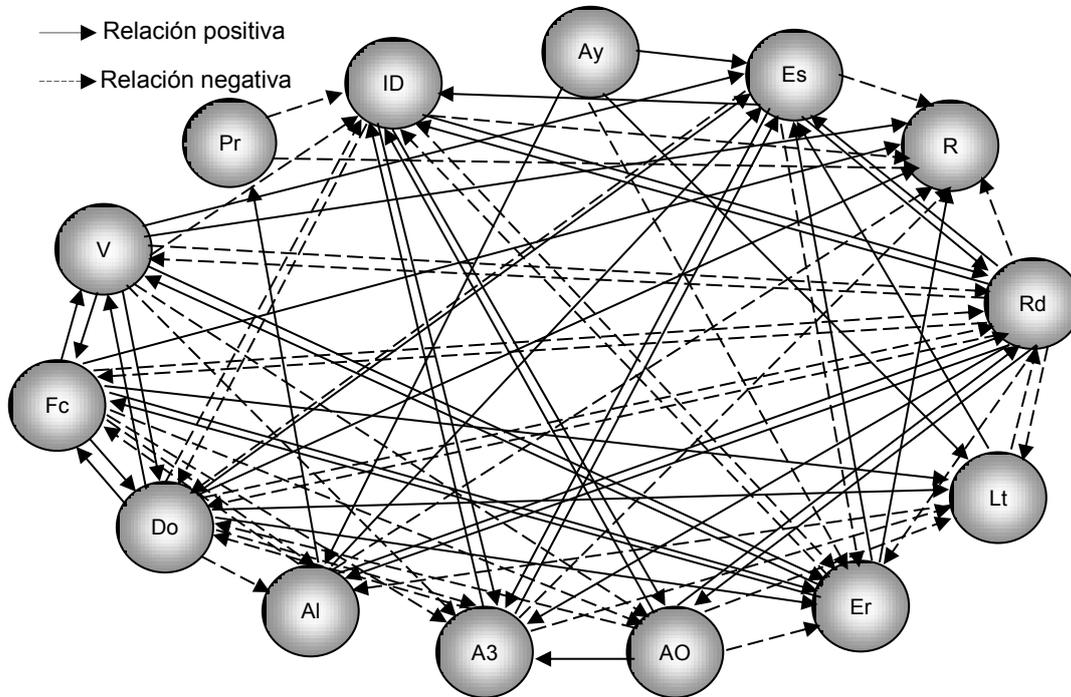


Figura 5.12 MCD que permite inferir el estado afectivo-motivacional del estudiante

La inferencia se hace a partir de un vector de entrada con los valores medidos de cada uno de los elementos que conforman el MCD.

Como resultado de la inferencia se obtiene un vector de salida cuyos valores corresponden al estado siguiente de cada uno de los elementos del MCD.

El valor de cada uno de los elementos del MCD se obtiene de la suma de efectos que el resto de los elementos tiene sobre él. Los efectos se obtienen de multiplicar el valor del vector de entrada por la matriz causal que define la naturaleza del efecto, es decir, el tipo y el valor de la causalidad.

El resultado es acotado dentro del rango [0, 1] a través de una función umbral, que en nuestro caso utilizamos la función logística porque es la mejor en el sentido que conlleva el aprendizaje-estadístico perfecto (Vapnik, 1988).

El proceso de inferencia se describe en forma detallada en la **Sección 3.3.**, y se ejemplifica en la **Sección 6.2.**

La suma de efectos de cada nodo i para $j=1,2,3,...n$; siendo n el número de nodos) y que se toma como entrada de una función umbral, se obtiene de acuerdo a la Ecuación 1:

$$N_j = \sum_{k=1}^n (Ve_{j,k} M_{k,j}) \quad (1)$$

donde

$Ve_{j,k}$ es el vector de entrada =

ID | Ay Es R Rd Lt Er AO A3 Al Do Fc V Pr

$M_{k,j}$ es el valor de cada elemento de la matriz de relaciones (Tabla 5.5)

n es el número de elementos = 14

Se pueden usar diversas funciones umbral (binomial, trinomial, logística), en nuestro caso se utilizó la función señal logística (Kosko, 1992; Laureano-Cruces, et al, 2004a; Laureano-Cruces, Terán-Gilmore, de Arriaga, 2004b; Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Mora-Torres, Espinosa-Paredes, 2006a; Laureano-Cruces, Santillán-González, Méndez-Gurrola, 2006b; Laureano-Cruces, et al, 2010a; Laureano-Cruces, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, Gamboa-Rodríguez, 2010c; Laureano-Cruces, Guadarrama-Ponce, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, 2011a; Laureano-Cruces, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, de Arriaga-Gómez, 2011c) representada por la Ecuación 2:

$$S(x) = \frac{1}{1 + e^{-Kx}} \quad (2)$$

donde:

S(x) = Es la función logística y representa el estado siguiente del vector de entrada.

X = Suma de efectos entre los nodos. Se obtiene con la ecuación (1).

K = Constante de escalamiento=5 (Laureano-Cruces, et al, 2010a).

Elementos del segundo MCD

La implementación de las estrategias operativas de la estructura afectivo-motivacional consiste en realizar un motor de inferencia capaz de elegir la estrategia de acuerdo al 1) tipo de error diagnosticado, 2) nivel de instrucción y categoría de aprendizaje en el que se encuentra el error y 3) al afecto inferido.

El diagnóstico del error comprende indicar si éste es un error grave o fatal de acuerdo al tema del dominio de aprendizaje involucrado en la categoría de aprendizaje y al nivel de instrucción de la tarea en la que ocurrió el error (Laureano-Cruces, Sánchez-Guerrero, Mora-Torres & Rodríguez-Ramírez, 2010b).

El nivel de instrucción está determinado por las habilidades exhibidas según las categorías del aprendizaje de cada tarea del dominio de aprendizaje: didáctica de la programación estructurada.

El afecto inferido es proporcionado por el modelo cognoscitivo afectivo-motivacional de acuerdo a la estructura afectivo-motivacional.

En resumen, los conceptos involucrados en la selección de las estrategias son: los diferentes tipos de error (grave y fatal), los niveles instruccionales (activación, demostración, aplicación e integración), los afectos inferidos (agrado, desagrado, alivio, angustia, admiración, rechazo, orgullo, vergüenza, amor, odio) y las estrategias operativas (afectivo-motivacionales): agradecer, aliviar, admirar logros y reconocimiento al esfuerzo.

La Figura 5.13 muestra las metas de la estructura afectivo-motivacional según OCC y se indica la clasificación de la tarea de acuerdo a la clasificación de Merrill: por categoría de aprendizaje y nivel instruccional.

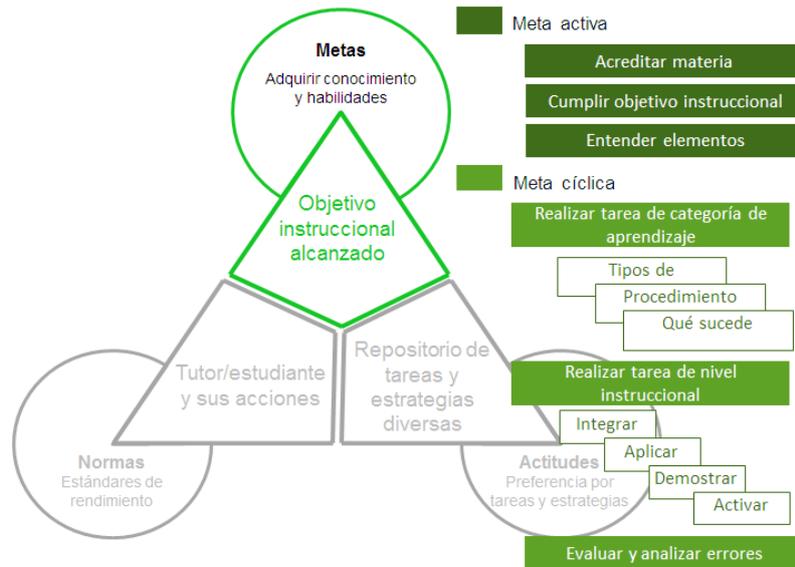


Figura 5.13. Teoría OCC aplicada al proceso de E-A del dominio de aplicación: Metas

La Figura 5.14 muestra las acciones del estudiante según OCC y especifica los diferentes tipos de error



Figura 5.14. Teoría OCC aplicada al proceso E-A del dominio de aplicación: acciones

El modelo cognoscitivo para seleccionar la estrategia en el proceso de E-A se construye mediante la representación de la estructura afectivo-motivacional de la estrategia instruccional a través de la técnica de los MCD.

La Figura 5.15 muestra la estructura de la valoración afectivo-motivacional de la estrategia instruccional.

Las estrategias consideradas por el STI para aplicarlas en su interacción con el estudiante son: estrategia para agrandar (EG), estrategia para aliviar (EA), estrategia para admirar logros (EL), estrategia para el reconocimiento del esfuerzo (ER).

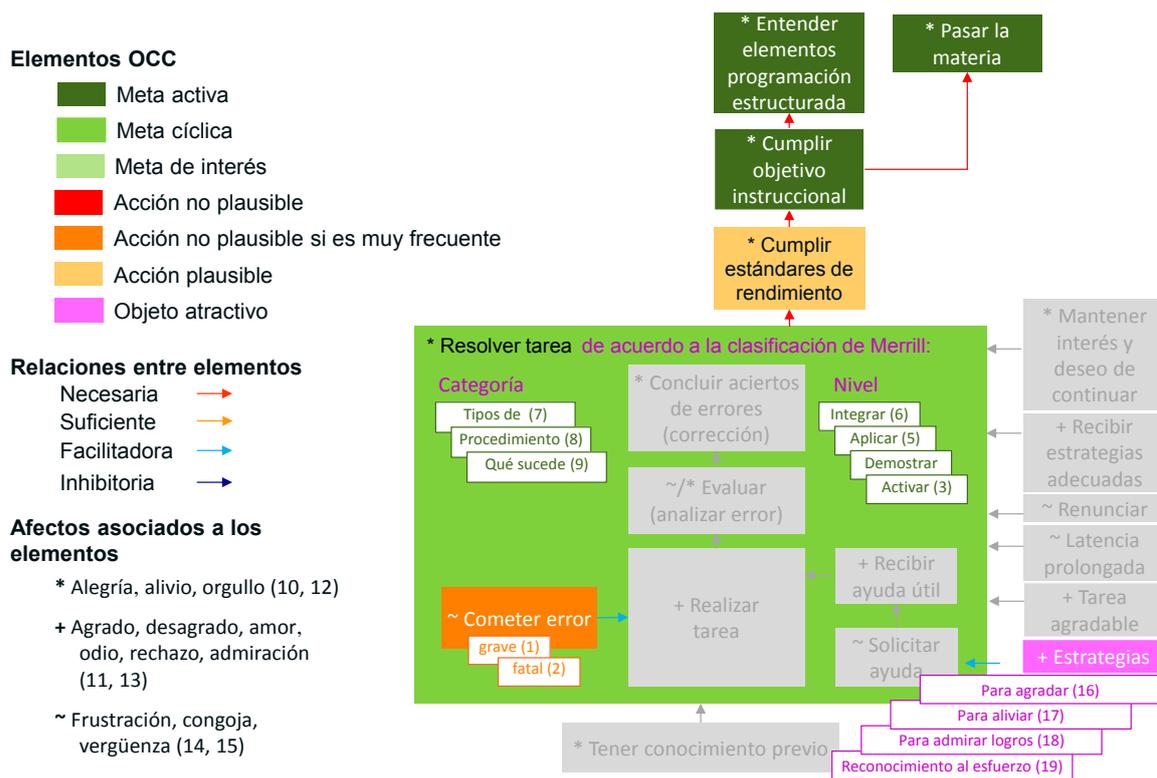


Figura 5.15. Estructura afectivo-motivacional de la estrategia instruccional

Los elementos del segundo MCD representan Los conceptos involucrados en la selección de estas estrategias y son: los tipos de error, los niveles instruccionales y las categorías de aprendizaje de la tarea a realizar por el usuario y los afectos inferidos del usuario en su interacción con el sistema.

Los errores se clasifican en:

error grave, (G): lo cual implica una falla sustancial de la conceptualización, lo que lleva al fracaso en la aplicación de las estructuras de control.

error fatal, (F), se refiere a una falta total de conocimiento, con la que se considera imposible continuar.

Las tareas están clasificadas de acuerdo a:

nivel instruccional: **Activación (Ac), Demostración (Dm), Aplicación (Ap), Integración (I).**

categoría de aprendizaje: **Tipo de: datos, estructuras, abstracciones (TD), Procedimientos: de tipos de datos, estructuras de control y abstracciones (PC), Qué sucede con tipos de datos, estructuras de control, abstracciones (QS).**

Todos ellos correspondientes al dominio de aprendizaje de la didáctica de la programación estructurada.

Los afectos considerados son los diagnosticados en el primer MCD: **alegría-orgullo (AO), admiración-agrado-amor (A3), alivio (Al), desagrado-odio-rechazo (Do), decepción (frustración) - confirma temor (congoja) (Fc), vergüenza (V).**

Evaluación del entorno, la medición de los elementos del segundo MCD y las relaciones entre ellos.

La evaluación del entorno consiste en indicar la presencia o ausencia/no información de los diferentes elementos que conforman el MCD. Algunos elementos son observados directamente en el entorno y otros son inferidos.

Los tipos de errores, la categoría de aprendizaje y el nivel instruccional son elementos observados directamente en el entorno debido a que cada tarea está catalogada en una categoría de aprendizaje y nivel instruccional. Además cada tarea tiene indicado el tipo de error que se puede cometer en cada reactivo. De manera que cuando se comete un error, se sabe directamente el tipo de error, la categoría de aprendizaje y el nivel instruccional en que se cometió el error.

Los afectos son los inferidos durante el diagnóstico del estado afectivo-motivacional del estudiante a través del primer MCD.

Las estrategias son inferidas por el resto de los elementos del segundo MCD.

Las relaciones de causalidad entre los elementos del segundo MCD, al igual que en el primer MCD, pueden ser positivas o negativas.

Estas relaciones de causalidad se detallan a través del modelo mental representado en la Figura 5.16. Por ejemplo el elemento **G** que se refiere a que ocurrió un *Error grave*, se relaciona causalmente de manera positiva con el *Desagrado, odio y rechazo (Do)*, con la *Decepción/Frustración y la confirmación de temores/congoja (Fc)*, así como con la *Vergüenza (V)*, *las Estrategias para Aliviar y Reconocer el esfuerzo*. Además se relaciona causalmente de manera negativa con la *Alegría, el orgullo (AO)*, la *Admiración, el agrado, el amor (A3)* y el *Alivio (AI)*. Lo anterior significa que cuando se presenta un Error grave (G) entonces aumenta la posibilidad de que se presente el *Desagrado, odio y rechazo (Do)*, la *Decepción/Frustración y la confirmación de temores/congoja (Fc)*, así como la *Vergüenza (V)*, *las Estrategias para Aliviar y Reconocer el esfuerzo*; mientras que se reduce la posibilidad de que se presente la *Alegría, el orgullo (AO)*, la *Admiración, el agrado, el amor (A3)* y el *Alivio (AI)*.

La implementación con los MCD permite una acción distribuida y paralela para evaluar la interacción del estudiante con el STI durante el proceso de E-A y con ello infiere su estado afectivo-motivacional de acuerdo a la estructura afectivo-motivacional desarrollada con base en la teoría OCC. Además conjuga las intervenciones afectivo-cognoscitivas (estrategias instruccionales) considerando también de forma paralela la evaluación del desempeño del estudiante durante el proceso de E-A para de esta forma potenciar la eficacia del agente.

La Figura 5.17 muestra el MCD que representa al modelo cognoscitivo para elegir la estrategia adecuada al diagnóstico afectivo-motivacional del estudiante, durante el proceso de E-A del dominio de aprendizaje *programación estructurada*.

Las relaciones de causalidad, indicadas en el MCD con flechas, se representan a través de una matriz causal mostrada en la Tabla 5.7.

En la matriz causal: las relaciones de causalidad negativa toman valores en el rango $[-1, 0)$, mientras que las relaciones de causalidad positiva toman valores en el rango $(0, 1]$. La ausencia de relación entre dos elementos o la no información al respecto se representa con el valor 0.

<p>SI G ENTONCES AO reduce A3 reduce AI reduce Do aumenta Fc aumenta V aumenta EA aumenta ER aumenta FIN_IF</p>	<p>SI F ENTONCES G aumenta AO reduce A3 reduce AI reduce Do aumenta Fc aumenta V aumenta EA aumenta ER aumenta FIN_SI</p>	<p>SI Ac ENTONCES EG aumenta FIN_SI</p>	<p>SI Dm ENTONCES AI aumenta EG aumenta EA aumenta FIN_SI</p>
<p>SI Ap ENTONCES F reduce AO aumenta AI aumenta EG aumenta EA aumenta EL aumenta FIN_SI</p>	<p>SI I ENTONCES G reduce F reduce AO aumenta A3 aumenta AI aumenta EG aumenta EA aumenta EL aumenta ER aumenta FIN_SI</p>	<p>SI TD ENTONCES EA aumenta FIN_SI</p>	<p>SI PC ENTONCES G aumenta EA aumenta EL aumenta FIN_SI</p>
<p>SI QS ENTONCES G aumenta F aumenta EA aumenta EL aumenta ER aumenta FIN_SI</p>	<p>SI AO ENTONCES V reduce EL aumenta ER aumenta FIN_SI</p>	<p>SI A3 ENTONCES V reduce EA aumenta FIN_SI</p>	<p>SI AI ENTONCES V reduce EA aumenta FIN_SI</p>
<p>SI Do ENTONCES A3 reduce AI reduce FIN_SI</p>	<p>SI Fc ENTONCES A3 reduce AI reduce FIN_SI</p>	<p>SI V ENTONCES AO reduce A3 reduce AI reduce FIN_SI</p>	<p>SI EG ENTONCES Ac aumenta Dm aumenta Ap aumenta I aumenta A3 aumenta FIN_SI</p>
<p>SI EA ENTONCES G aumenta F aumenta Dm aumenta Ap aumenta I aumenta A3 aumenta TD aumenta PC aumenta QS aumenta AI aumenta FIN_SI</p>	<p>SI EL ENTONCES Ap aumenta I aumenta PC aumenta QS aumenta AO aumenta Do reduce V reduce FIN_SI</p>	<p>SI ER ENTONCES I aumenta QS aumenta AO aumenta Do reduce V reduce FIN_SI</p>	

Figura 5.16. Modelo mental de la selección de estrategias

La Tabla 5.6 resume la evaluación de estos elementos.

Tabla 5.6. Evaluación de los elementos involucrados en la selección de estrategias.

	Elementos	Evaluación del elemento
1	G Error grave *	Tipo de error cometido
2	F Error fatal *	Tipo de error cometido
3	Ac Activación *	Nivel instruccional de la tarea según Merrill
4	Dm Demostración *	Nivel instruccional de la tarea según Merri
5	Ap Aplicación *	Nivel instruccional de la tarea según Merrill
6	I Integración *	Nivel instruccional de la tarea según Merrill
7	TD Tipo de *	Categoría de aprendizaje
8	PC Procedimientos *	Categoría de aprendizaje
9	QS Qué sucede con *	Categoría del aprendizaje
10	AO Alegría, Orgullo	Inferido en el primer MCD
11	A3 Admiración, agrado, amor	Inferido en el primer MCD
12	Al Alivio	Inferido en el primer MCD
13	Do Desagrado, odio, rechazo	Inferido en el primer MCD
14	Fc Decepción (Frustración), confirma temor (congoja)	Inferido en el primer MCD
15	V Vergüenza	Inferido en el primer MCD
16	EG Estrategia para agradar	Estrategia elegida a partir de $+0.5[Ac, Dm, Ap, I]$, $+0.5A3$
17	EA Estrategia para aliviar	Estrategia elegida a partir de $+0.5[G, F]$, $+0.5[Dm, Ap, I, TD, PC, QS]$ y Al
18	EL Admirar Logros	Estrategia elegida a partir de $+0.5[Ap, I, PC, QS]$, AO] y $-[Do, V]$
19	ER Reconocimiento al esfuerzo	Estrategia elegida a partir de $+ [I, QS, AO]$ y $- [Do, V]$

*Elementos observables directamente.

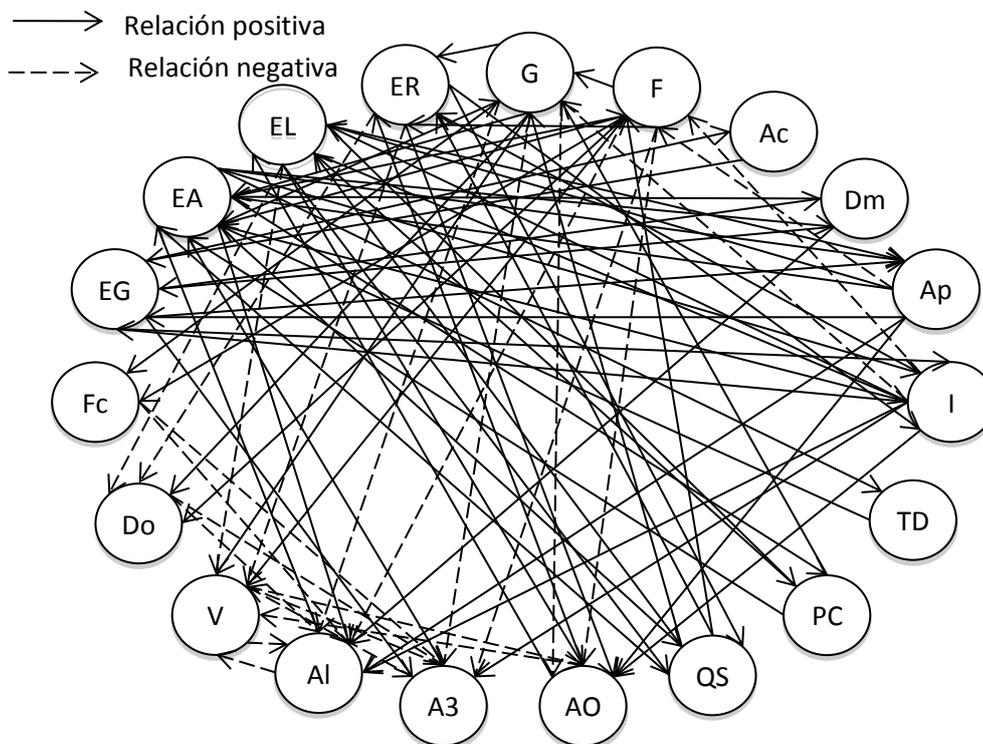


Figura 5.17. MCD que permite la selección de las estrategias por parte del STI

Tabla 5.7. Matriz causal de los elementos involucrados en la selección de estrategias

	G	F	Ac	Dm	Ap	I	TD	PC	QS	AO	A3	AI	Do	Fc	V	EG	EA	EL	ER
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	-0.5	-1	0.5	0.5	0.5	0	1	0	1
F	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	1	1	1	0	1	0	1
Ac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Dm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
Ap	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0
I	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.5	1	0	0	0	1	1	1	1
TD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PC	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
QS	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
AO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	1
A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0
AI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0
Do	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
Fc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
EG	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
EA	0.5	0.5	0	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
EL	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0.5	0.5	1	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0
ER	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0

Al igual que en el primer mapa, la inferencia en el segundo mapa para elegir la estrategia, se hace a partir de un vector de entrada con los valores medidos de cada uno de los elementos que conforman el MCD.

Como resultado de la inferencia se obtiene un vector de salida cuyos valores corresponden al estado siguiente de cada uno de los elementos del MCD.

El valor de cada uno de los elementos del MCD se obtiene de la suma de efectos que el resto de los elementos tiene sobre él. Los efectos se obtienen de multiplicar el valor del vector de entrada por la matriz causal (Tabla 5.7) que define la naturaleza del efecto, es decir, el tipo y el valor de la causalidad.

El resultado es acotado dentro del rango [0, 1] a través de una función umbral, que en nuestro caso utilizamos la función logística porque es la mejor en el sentido que conlleva el aprendizaje-estadístico perfecto (Vapnik, 1988).

El proceso de inferencia se describe en forma detallada en la **Sección 3.3.**, y se ejemplifica en la **Sección 6.2.**

La suma de efectos de cada nodo i para $j=1,2,3,...n$; siendo n el número de nodos) y que se toma como entrada de una función umbral, se obtiene de acuerdo a la Ecuación 1:

$$N_j = \sum_{k=1}^n (Ve_{j,k} M_{k,j}) \tag{1}$$

donde

$Ve_{j,k}$ es el vector de entrada =

G | F Ac Dm Ap I TD PC QS AO A3 AI Do Fc V EG EA EL ER

$M_{k,j}$ es el valor de cada elemento de la matriz de relaciones (Tabla 5.7)

n es el número de elementos = 19

Se pueden usar diversas funciones umbral (binomial, trinomial, logística), en nuestro caso se utilizó la función señal logística (Kosko, 1992; Laureano-Cruces, et al, 2004a; Laureano-Cruces, Terán-Gilmore, de Arriaga, 2004b; Laureano-Cruces, Ramírez-Rodríguez, Mora-Torres, Espinosa-Paredes, 2006a; Laureano-Cruces, Santillán-González, Méndez-Gurrola, 2006b; Laureano-Cruces, et al, 2010a; Laureano-Cruces, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, Gamboa-Rodríguez, 2010c; Laureano-Cruces, Guadarrama-Ponce, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, 2011a; Laureano-Cruces, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, de Arriaga-Gómez, 2011c) representada por la Ecuación 2:

$$S(x) = \frac{1}{1 + e^{-Kx}} \quad (2)$$

donde:

S(x) = Es la función logística y representa el estado siguiente del vector de entrada.

X = Suma de efectos entre los nodos. Se obtiene con la ecuación (1).

K = Constante de escalamiento=5 (Laureano-Cruces, et al, 2010a).

Una vez elegida la estrategia, el STI la utiliza para interactuar con el estudiante de manera que le pueda proporcionar el soporte operativo (andamiaje) requerido para realizar cada una de las tareas propuestas por el STI.

La Tabla 5.8 muestra un ejemplo de cada tipo de estrategia elegida por el STI y relacionada con una sentencia. Además se indica la imagen correspondiente del avatar a cada sentencia. La estrategia operativa (afectiva) elegida es acompañada por una estrategia cognoscitiva destinada a tratar el error si es el caso.

Algunas de las tareas que el STI propone al estudiante siguiendo la estrategia instruccional de Merrill para alcanzar los objetivos instruccionales correspondientes al dominio de aprendizaje de la didáctica de la Programación Estructurada, se encuentran en el Anexo I.

La evaluación del STI que incluye un modelo cognoscitivo basado en una estructura afectivo-motivacional se realiza en el **Capítulo 6**.

Tabla 5.8. Ejemplo de sentencias relacionadas con una estrategia elegida por el STI

Estrategias	Sentencias*	
Reconocimiento al esfuerzo	¡Felicitaciones por el esfuerzo realizado, sigue así!	
Admirar logros	¡Estás obteniendo muy buen progreso en esta tarea!	
Para aliviar	¡Buen momento para expresar dudas! Este tema no es del todo sencillo. <i>(Cuando se solicita ayuda por parte del usuario)</i>	
Para agradecer	¿Te gustaría saber más de esto?	

* Las sentencias son acompañadas de la retroalimentación de acuerdo al diagnóstico del tipo de errores cometidos en la realización de la tarea.

Capítulo 6

EVALUACIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS, Y CONCLUSIONES

En este capítulo se describe la evaluación y el análisis de los resultados así como las conclusiones del proyecto de investigación.

6.1 Caso de Estudio

Se eligió como dominio de aprendizaje la programación estructurada por ser una asignatura básica en varias licenciaturas y de difícil comprensión.

Se propuso un sistema tutor inteligente (STI) que asiste al tutor humano para alcanzar objetivos instruccionales (**Sección 4.1**) establecidos en el currículo.

Los aspectos que se consideraron para evaluar el desempeño del sistema fueron:

- Rendimiento alcanzado por los alumnos (1 si los aciertos en la tarea > 80%)
- Solicitud de ayuda
- Latencia prolongada
- Intento de renuncia
- Errores

Se contrastaron los resultados obtenidos haciendo una comparación con el uso del mismo entorno de aprendizaje en un caso con un motor de inferencia que incluye la detección del estado afectivo (**Sección 5.2 y 5.3**) para la aplicación de sus estrategias cognoscitivas y operativas (**Sección 4.2**) y en otro caso sin la detección del estado afectivo.

Diseño de Evaluación

Se realizaron dos pruebas, cada una con un grupo de 60 alumnos. Cada grupo realiza una tarea durante su clase de laboratorio. Para ello se dispusieron de 20 computadoras para entrar al sistema, por lo que la prueba se realizó en tres fases, durante la misma clase. A cada alumno se le permitió, una vez ingresado al sistema, elegir una de las tareas correspondientes al nivel **Aplicación** y a la categoría **Qué sucede (Abstracciones)**. El tiempo para realizar la tarea fue de 45 minutos.

Se tomaron lecturas de los elementos de ambos mapas cognoscitivos difusos (**Sección 5.3**) en cada punto crítico de la tarea, de manera que:

- Se infirió el estado afectivo del alumno por parte del tutor
- Se aplicaron estrategias operativas de acuerdo al estado afectivo
- Se aplicaron estrategias cognoscitivas correspondientes al tratamiento del error, en caso de que lo hubiera

Actividades del alumno

- Entrar a la página de registro del sistema (se proporciona la dirección: ver Figura 6.1).
- Registrarse en el sistema
- Contestar cuestionario CHAEA Honey-Alonso (Alonso-García, C. M., Gallego-Gil, D. J., 2006) para obtener su estilo de aprendizaje
- Elegir la tarea sobre Abstracciones, específicamente una tarea que pertenece a la categoría de aprendizaje Qué sucede
- Elegir el nivel instruccional **Aplicación**
- Elegir la tarea a resolver de las que están disponibles
- Llevar a cabo la tarea
- Una vez finalizada la tarea, salir del sistema



Figura 6.1. Página de Bienvenida al sistema tutor inteligente

6.2. Evaluación del estudiante en un punto crítico de la tarea

La evaluación del alumno por el STI consiste en una serie de actividades realizadas por el alumno y las respuestas que el STI proporciona. Ambas actividades se encuentran resumidas en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Evaluación del estudiante por el sistema tutor inteligente.

<i>Alumno</i>	<i>Sistema</i>
Inicia tarea	Proporciona ayuda si es solicitada (Ay=1) Mensaje de confirmación si intenta renunciar (R=1) Mensaje si latencia prolongada (Lt=1)
Desarrollo de la tarea	Proporciona ayuda si es solicitada (Ay=1) Mensaje de confirmación si intenta renunciar (R=1) Mensaje si latencia prolongada (Lt=1)
Al contestar un reactivo señalado como "crítico" por el experto.	Toma lecturas de los siguientes aspectos: latencia, errores (grave y fatal), ayuda, renuncia y proximidad. Infiere estado afectivo del alumno. Selecciona estrategias operativas de acuerdo al estado afectivo inferido, tipo de error, nivel instruccional y categoría de aprendizaje. Aplica estrategias operativas y cognoscitivas.
Continúa con la siguiente tarea. Cierra su sesión a los 45 minutos.	Presenta la siguiente tarea, de acuerdo con la estrategia seleccionada. P. ej.: ¿Te gustaría saber más de esto?

En un punto crítico de la tarea, se lleva a cabo el proceso de evaluación del entorno y se obtiene como resultado la elección de una estrategia por parte del STI. El proceso de evaluación consiste en:

- 1) tomar la lectura de los elementos que se pueden tomar directamente del entorno
- 2) evaluar del estado inicial de los elementos a través del modelo cognoscitivo para obtener el estado afectivo-motivacional del estudiante
- 3) tomar la lectura de los elementos que se pueden observar directamente en el entorno para poder elegir la estrategia adecuada

4) evaluar el estado afectivo-motivacional del estudiante a través del modelo cognoscitivo (**Sección 5.2**) capaz de elegir la estrategia adecuada.

La Figura 6.2 muestra el proceso realizado en un punto crítico de la tarea

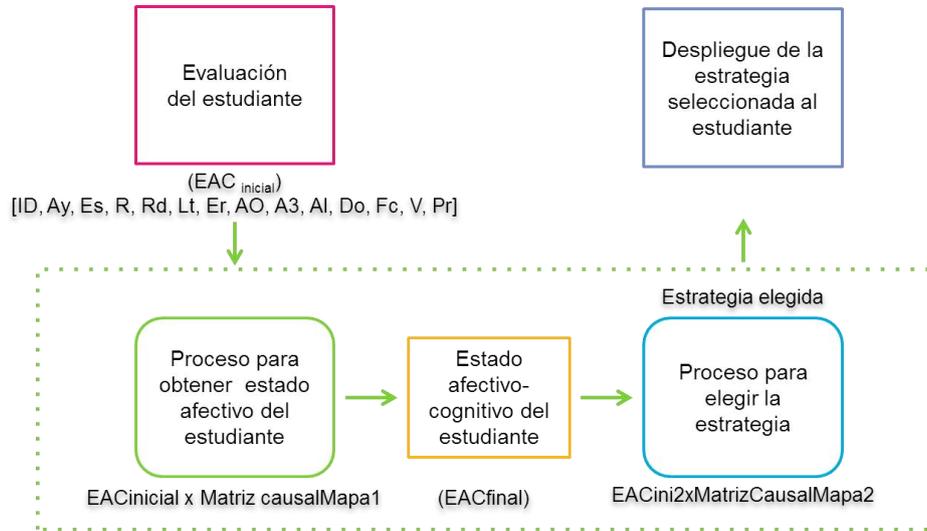


Figura 6.2. Punto crítico de la tarea

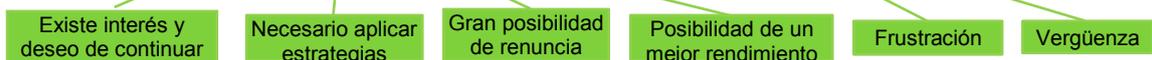
- El usuario solicita ayuda (Ay=1), ha cometido errores (Er=1) y está próximo a alcanzar el objetivo instruccional (Pr=1). Del resto de los elementos del mapa no se tiene información (=0).

- EAC_{inicial}: ID, **Ay**, Es, R, Rd, Lt, **Er**, AO, A3, AI, Do, Fc, V, **Pr**

- EAC_{inicial} = 0, **1**, 0, 0, 0, 0, 0, **1**, 0, 0, 0, 0, 0, 0, **1**

- EAC_{inicial} x Matriz causalMapa1

- EAC_{final} = **0.9, 0.5, 1, 0.9, 0.9, 0, 0, 0.5, 0.4, 0.5, 0, 0, 0.9, 0.9, 0.5**



- El alumno ha cometido un error **grave** (G=1), el nivel instruccional es **Aplicación** (Ap=1), el tema del dominio es Abstracción y pertenece a la categoría de aprendizaje **Qué pasa si** (QP=1) y los afectos inferidos del alumno son **frustración** (Fc) y **vergüenza** (V=1).

- EAC_{ini2} = **G**, F, Ac, Dm, **Ap**, I, TD, EC, **QP**, AO, A3, AI, Do, **Fc**, **V**, EG, EA, EL, ER

- EAC_{ini2} = **1**, 0, 0, 0, **1**, 0, 0, 0, **1**, 0.4, 0.5, 0, 0, **0.9, 0.9**, 0, 0, 0, 0

- EAC_{ini2} x MatrizCausalMapa2

- EAC_{fin2} = 0, 0, **-1, -1, -1, -1**, 0, 0, 0, **-1, -1, -1**, 0, 0, **1, -1, 1, 1, 1**



6.3. Resultados

Los resultados obtenidos durante la evaluación de la tarea propuesta por el STI y realizada por el estudiante se contrastaron por grupos: a) los obtenidos por los estudiantes que utilizaron el STI que incluyó diagnóstico emocional con b) los obtenidos por los estudiantes que utilizaron el STI que no incluyó diagnóstico emocional.

Los puntos a evaluar fueron:

- Los estilos de aprendizaje cuyos resultados se muestran en la Figura 6.3.
- El rendimiento, la solicitud de ayuda, intento de renuncia y la latencia excesiva (Figura 6.4).
- Tipos de errores cometidos por los estudiantes (Figura 6.5).
- Renuncia y terminación de la tarea (Figura 6.6).

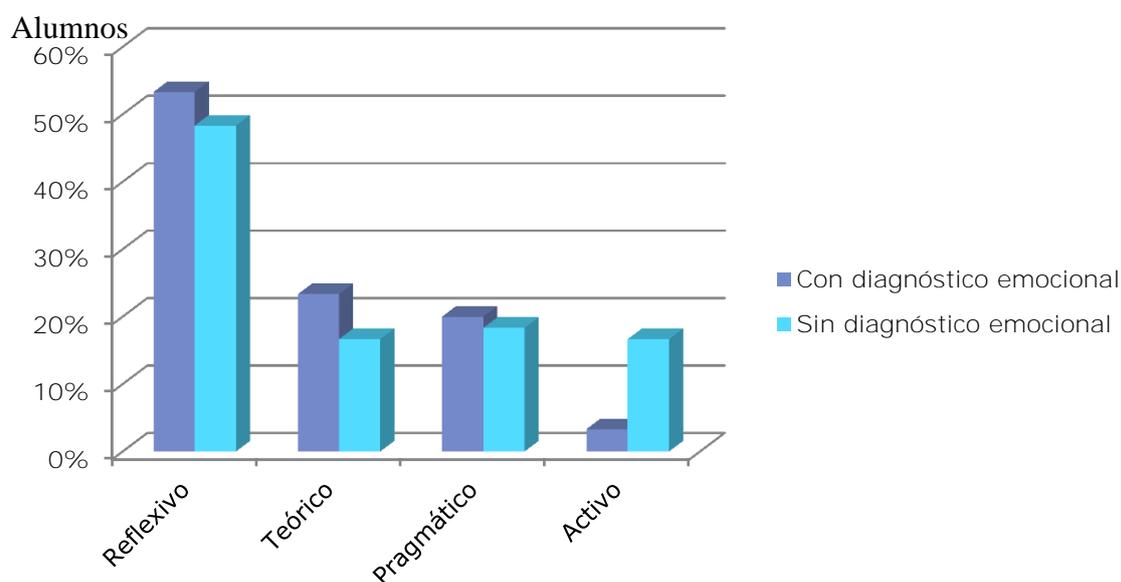


Figura 6.3. Estilos de aprendizaje de los grupos evaluados

La distribución de los estilos de aprendizaje en ambos grupos es muy similar, sólo el porcentaje del estilo de aprendizaje Activo es mayor en el grupo que utilizó el sistema sin diagnóstico emocional.

El rendimiento de los estudiantes que utilizaron el sistema con diagnóstico emocional mejora en un porcentaje pequeño respecto del rendimiento obtenido por los estudiantes que utilizaron el sistema sin diagnóstico emocional.

El porcentaje de estudiantes *que solicitaron ayuda* aumenta en el sistema con diagnóstico emocional comparado con el porcentaje de los estudiantes que lo hicieron en el sistema sin diagnóstico emocional.

El intento de renuncia es casi el mismo en ambos grupos.

La *gran diferencia en los resultados de ambos grupos es en la latencia*. El grupo que utilizó el sistema con diagnóstico emocional tardó más en comenzar la tarea que el grupo que utilizó el sistema sin diagnóstico emocional. Se considera que este comportamiento se debió a las intervenciones del STI Sin embargo este resultado no afectó el porcentaje en el rendimiento.

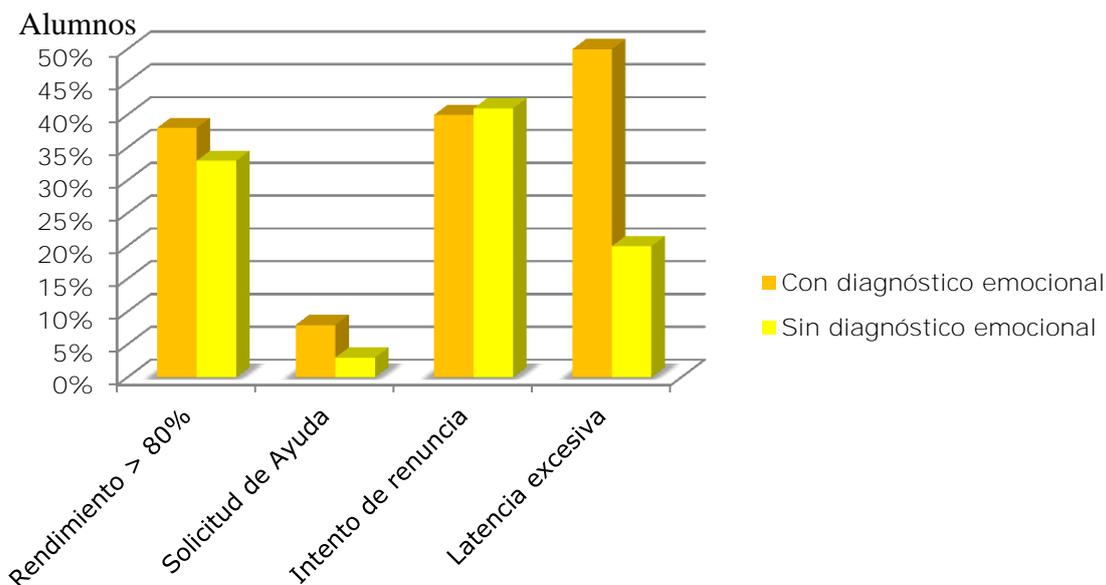


Figura 6.4. Elementos del proceso de E-A

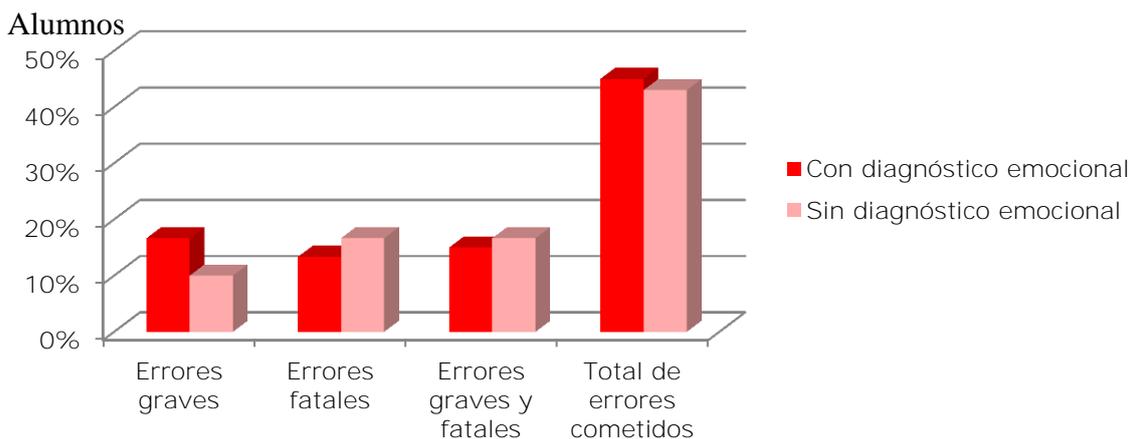


Figura 6.5. Tipos de errores en los grupos evaluados

Los porcentajes de los tipos de errores se resumen en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Errores usando el sistema con y sin diagnóstico emocional.

Errores	Con diagnóstico emocional	Sin diagnóstico emocional
Graves	16.66%	10%
Fatales	13.33%	16.66%
Graves y fatales	15%	16.66%
Total	45%	43%

El *porcentaje de errores cometidos* por ambos grupos se diferencia en el tipo de errores cometidos por cada grupo: los estudiantes el grupo que utilizó el sistema

con diagnóstico emocional cometió *más errores graves que fatales*, mientras que el grupo que utilizó el sistema sin diagnóstico emocional cometió *más errores fatales que graves*.

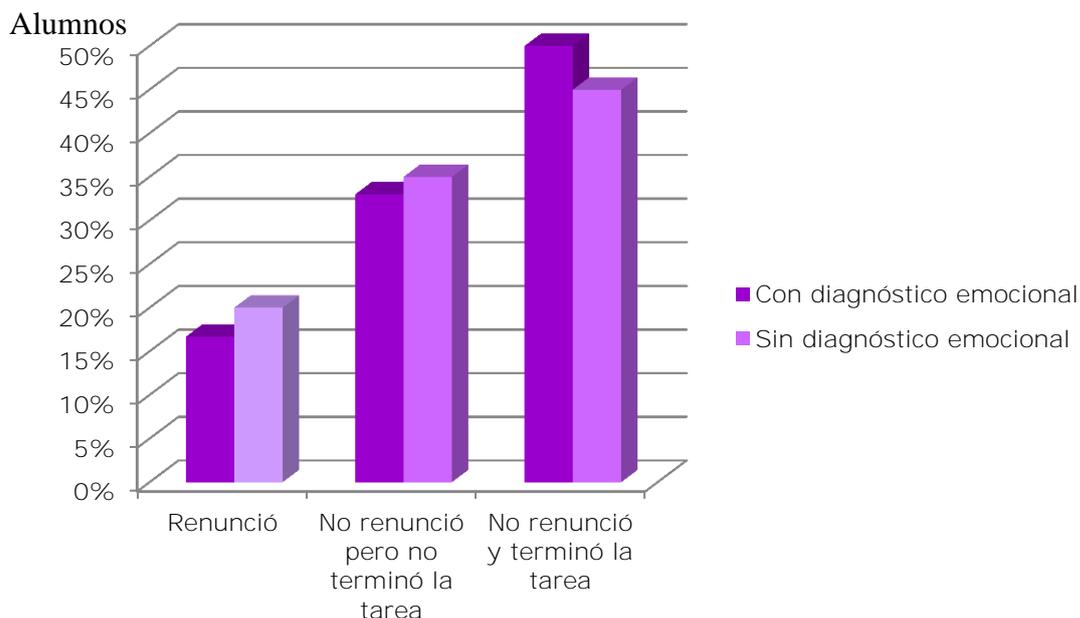


Figura 6.6 Renuncia en los grupos evaluados

Los resultados *en la renuncia mejoraron ligeramente en el grupo que utilizó el sistema con diagnóstico emocional*:

- Renunciaron menos utilizando el diagnóstico emocional
- El porcentaje de estudiantes que no renunciaron pero no terminaron la tarea fue menor en el grupo que utilizó el sistema con diagnóstico emocional que en el grupo que utilizó el sistema sin diagnóstico emocional.
- El porcentaje de estudiantes que no renunciaron y sí terminaron la tarea fue mayor en el grupo que utilizó el sistema con diagnóstico emocional que en el grupo que utilizó el sistema sin diagnóstico emocional.

Para evaluar la experiencia con el sistema con diagnóstico emocional se aplicó un cuestionario adaptado al proceso de enseñanza-aprendizaje. El cuestionario está basado en las preguntas de un sistema experto emocional (Fernández-Abascal, Martínez-Sánchez, 2006), desarrollado como material de prácticas de la Universidad Nacional de Educación a Distancia de España. El resultado de la evaluación en los casos con mejores resultados (menos errores), fue el orgullo, y en los casos donde se cometieron más errores, el sentimiento que se experimentó de acuerdo a la evaluación, fue el de irritación e incluso vergüenza. Estos resultados coincidieron con el diagnóstico realizado por el sistema con diagnóstico emocional.

Además, se realizó una valoración de la experiencia con el sistema utilizando escalas gráficas para el aspecto afectivo y la activación (intensidad) de la emoción. En los casos donde se obtuvo como resultado el *orgullo*, la afectividad fue calificada en un rango de 5 a 7.5 en una escala del 1-9 (donde el 9 es mayor afectividad). Respecto a la intensidad, el rango fue de 1-7 en una escala del 1-9 (donde el 9 es la mayor intensidad). Coincidió que los casos con mayor número de aciertos la afectividad fue mayor, lo mismo que la intensidad. En los casos con menor número de aciertos, donde los afectos obtenidos fueron *irritabilidad* y *vergüenza*, la afectividad fluctuó en el rango de 3-8 y la intensidad fluctuó en el rango de 2-7.

Cabe mencionar que un caso donde se evaluó *irritabilidad*, la afectividad sin embargo fue calificada con 8 aunque la intensidad fue de 2. En otras palabras, a pesar de sentir irritabilidad por el desempeño obtenido, el sistema fue evaluado con afecto sin mucha intensidad.

6.4 Conclusiones

Se concluye que es posible modelar una estructura afectiva relacionada con el proceso de enseñanza-aprendizaje utilizando un marco teórico emocional, en este caso la teoría OCC. Lo anterior implica la elaboración de un análisis del proceso de enseñanza-aprendizaje (latencia, errores, solicitud de ayuda, objetivos instruccionales). *Para ello fue necesario relacionar los aspectos motivacionales (teoría motivacional) con los elementos del modelo de didáctica general (proceso de enseñanza-aprendizaje) a través del análisis de los objetivos instruccionales, específicamente el conocimiento autorregulatorio porque hace explícita la evaluación del entorno como recurso material y de sí mismo como recurso metacognoscitivo. Esto da pie a la estructura de evaluación que propusimos con base en la teoría OCC.*

La representación del modelo afectivo-motivacional utilizando los mapas cognoscitivos difusos permitió considerar los elementos, provenientes del análisis del proceso de toma de decisiones, en:

- la detección del estado afectivo-motivacional y cognoscitivo del alumno
- la selección de estrategias adecuada al estado afectivo percibido

Ambos enmarcados en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Fue necesario considerar en la selección de estrategias operativas, además del estado afectivo-motivacional, la clasificación de estrategias de Gutiérrez-Serrano, la estrategia instruccional de Merrill y la especificación del error para enfocarlo en el dominio de aprendizaje: didáctica de la programación estructurada.

Respecto a los estilos de aprendizaje, considerando que éstos son tipos de respuesta distintos (cognoscitivo, afectivo y fisiológico) ante los ambientes de aprendizaje (Keefe, 1988), la latencia prolongada, que se manifestó en alumnos con estilos de aprendizaje reflexivo y teórico, resultó ser un elemento favorable más que desfavorable para el desempeño de los estudiantes con estos estilos de aprendizaje, en el caso de estudio.

Los *estilos de aprendizaje reflexivo y teórico resultaron ser los estilos favorecidos para obtener un mejor desempeño*, tanto en un ambiente afectivo positivo como negativo para estudiantes del caso de estudio.

El sistema infiere que *los estudiantes con estilo de aprendizaje reflexivo en un ambiente afectivo positivo, obtienen un mejor desempeño que los estudiantes con estilo teórico.*

Los resultados pueden no ser significativos en el sentido numérico, si se comparan con los obtenidos por el sistema que no incluyó un diagnóstico afectivo *pero sí lo es, respecto a explicitar (modelar), formalizar y automatizar un proceso complejo como lo es la selección de estrategias dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje.*

Los más recientes descubrimientos científicos demuestran que las emociones juegan un papel esencial en: 1) la toma racional de decisiones, 2) la percepción, 3) el aprendizaje y varias otras funciones cognoscitivas. *La evidencia muestra que un equilibrio emocional sano es primordial para la inteligencia y para la solución creativa y flexible de problemas.*

De acuerdo con Rosalind Picard (1998), tener la capacidad de reconocer, expresar y tener emociones conforman la *inteligencia emocional* para simular comportamientos inteligentes que se adaptan y se relacionan naturalmente con los seres humanos.

De esta forma y de acuerdo a Johnson-Laird y Shafir (citados en Picard, 1998) el papel de las emociones resulta esencial para el proceso de razonamiento, ya que resulta imposible determinar por lógica, dadas ciertas premisas, y un número infinito de conclusiones, cuáles de estas resultan razonables. Aun tomando en cuenta el paralelismo masivo del cerebro humano resulta imposible registrar todas las posibilidades relacionadas con nuestras decisiones.

Se hace hincapié en que los mapas cognoscitivos difusos permite registrar todas las posibilidades relacionadas con la toma de decisiones para elegir una estrategia adecuada al entorno evaluado; dada su capacidad para implicar paralelismo y distribución en el proceso de toma de decisiones.

6.5 Trabajo Futuro

Las líneas de investigación del trabajo futuro de este proyecto estarían enfocadas a:

La integración del aspecto fisiológico de las emociones: integrar sensores fisiológicos y cámara de video para obtener información sobre la temperatura, conductividad, pulso, gestos faciales y corporales que apoyen el diagnóstico afectivo-motivacional.

La continuidad para este trabajo sería modelar la *conciencia artificial*. La idea principal es que las emociones son distintas formas de pensar (Minsky, 2006), lo cual permite encontrar procesos que motivan la acción futura de acuerdo a la experiencia (memoria) y al sentir (afectos). Lo anterior es el objetivo de la consciencia. Integrar la conciencia artificial permitiría la creación de un agente autónomo.

Dentro de las distintas corrientes para modelar comportamientos humanos en IA hemos pasado por distintos diseños, entre los que se encuentran: 1) simbolismo, 2) sub-simbolismo y 3) combinación de ambos. En este instante se germina otra forma de diseño. Ya no deseamos comportamientos situados y ubicados con características reactivas, ni comportamiento puramente racionales. Deseamos generar un cierto grado de autonomía utilizando emociones. Las valencias de estas últimas son las que permiten generar distintas acciones, que ya no serán acciones del tipo estímulo-respuesta, sino que pasarán por el tamiz de las emociones y su afectación que proviene del entorno y las distintas sensaciones. Estas últimas podrán disponer de distintas descripciones de acuerdo a las distintas vivencias.

El papel primordial que tienen las emociones en un proceso de toma de decisiones a través de la interfaz llamada consciencia y que para nosotros representa un fenómeno, es la razón por la que se considera a las emociones la base para modelar el fenómeno de la consciencia artificial como trabajo futuro, en el diseño de cualquier sistema que simule un comportamiento humano.

REFERENCIAS

- Acevedo-Moreno, D. A. (2009). *Diseño de una Arquitectura para Incorporar Emociones en un Videojuego*. Master's Thesis. Universidad Nacional Autónoma de México. Retrieved from <http://ce.azc.uam.mx/profesores/clc/>
- Acevedo-Moreno, D. A. (2011) Diseño de una Arquitectura para Incorporar Emociones en un Videojuego. Journal *Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo de México*. Section Tesis de Posgrado: A4-0011-DF-2009-MT. Latindex ISSN: 2007-1310, Online: <http://pcti.mx>.
- Aleksander. I. (2005). *The World in my Mind, My Mind in the World*. IA Press.
- Alonso-García, C. M., Gallego-Gil, D. J. (2006). Cuestionario CHAEA Honey-Alonso de Estilos de Aprendizaje, Recuperado de <http://www.estilosdeaprendizaje.es/menuprinc2.htm> en octubre de 2009.
- Ayala, V., González, L. (2003). Instrucción asistida por computadora en *Herramienta para la generación de lecciones de Español bajo el esquema establecido por el CSLR*, Universidad de las Américas, Puebla.
- Breazeal, C. (2005). Socially intelligent robots, *Magazine Interactions – Robots*. 12-2, doi.10.1145/1052438.1052455.
- Castañeda, S. y Martínez, R. (1999) Enseñanza y aprendizaje estratégicos. Modelo integral de evaluación e instrucción. *Revista Latina de Pensamiento y Lenguaje. Monográfico: Cognición, educación y evaluación*. 4(2B) 251-278.
- Castañeda, S. (1993). Procesos cognitivos y educación médica. *Serie Seminarios*, No. 1. Facultad de Medicina – UNAM, México, D. F.
- Castañeda, S., García, R. y González, R. E. (2006). Diseñando exámenes, en Castañeda, S. (Ed). Evaluación del aprendizaje en el nivel universitario. (pp. 145-170). México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Colombo, B., Dossena, A., Balzarotti, S. & Spadola, M. (2010). Influences of Blogs' typologies and content on cognitive and emotional behavior. An exploratory study with Eye Tracker. In *Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2010* (pp. 1660-1665). Chesapeake, VA: AACE.
- Conati, C., & Maclaren H. (2005) Data-Driven Refinement of a Probabilistic Model of User Affect. *Springer-Verlag*, L. Ardissono, P. Brna, and A. Mitrovic (Eds.): UM 2005, LNAI 3538, 40 – 49.
- Conati, C., & Maclaren H. (2005) Data-Driven Refinement of a Probabilistic Model of User Affect. *Springer-Verlag*, L. Ardissono, P. Brna, and A. Mitrovic (Eds.): UM 2005, LNAI 3538, 40 – 49.
- Darrel, T. (1996). *Library of Fuzzy Logic Based Utilities*. Pleasant Crab Consulting
- D'Mello, S., Jackson, T., Craig, S., Morgan, B., Chipman, P., White, H., Person, N., Kort, B., el Kaliouby, R., Picard, R. and Graesser, A. (2008). AutoTutor Detects and Responds to Learners Affective and Cognitive States. *Workshop on Emotional and Cognitive Issues at the International Conference of Intelligent Tutoring Systems*, June 23-27, 2008, Montreal, Canada
- Fernández-Abascal, E. G., Martínez-Sánchez, F. (2006). La dimensión cognitiva de la emoción, Emoción y Motivación. Materiales para la realización de las prácticas. UNED, España.
- Fernández-Alarcón, V. (2004). *Relaciones encontradas entre las dimensiones de las estructuras organizativas y los componentes del constructo "capacidad de absorción": El caso de empresas ubicadas en el territorio español*. Tesis doctoral, Department d'Organització d'Empreses - Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España. http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-1214104-092520//01Vfa01de10.pdf
- García, H., Reyes C. y Morales, R. (2002). Diseño e Implementación de Mapas Cognoscitivos Difusos para Tutoriales Inteligentes. *Memorias del XV Congreso Nacional y I Congreso Internacional de Informática y Computación de la ANIEI*. Vol. I, 51–59.

- Gratch, J., & Marsella, S. (2004). A domain-independent framework for modeling emotion Action. *Cognitive Systems Research*. Ed: Paul Thagard 5, 269–306.
- Gutiérrez, J. (1994). *INTZA: un Sistema Tutor Inteligente para Entrenamiento en Entornos Industriales*. Tesis Doctoral (Tercer Ciclo) de la Universidad del País Vasco, San Sebastián.
- Hermann, C., Melcher, H., Rank, S. & Trappl, R. (2007). Neuroticism – A Competitive Advantage (Also) for IVAs?. *Intelligent Virtual Agents, Lecture Notes in Computer Science*, 4722/2007, 64-71, DOI: 10.1007/978-3-540-74997-4_7
- Hernández-González, D. E. (2011). *Influencia de las emociones en el proceso de toma de decisiones*. Master's Thesis en Ciencias de la Computación. Universidad Nacional Autónoma de México. Retrieved from <http://ce.azc.uam.mx/profesores/clc/>
- Hernández-González, D. E. (2011). Influencia de las emociones en el proceso de toma de decisiones. Journal *Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo de México*. Section Tesis de Posgrado: A4-0014-DF-2011-MT. Latindex ISSN: 2007-1310, Online: <http://pcti.mx>.
- Jacques, P. & Vicari, R. M. (2007). A BDI approach to infer student's emotions in an intelligent learning environment. *Computers & Education*, Elsevier Science Ltd. (Ed.) Oxford, UK, 49(2), 360-384.
- Kapoor, A., Picard, R. (2005). Multimodal affect recognition in learning environments. Proceeding en el 13th annual ACM international conference on Multimedia. ©2005 table of contents ISBN: 1-59593-044-2 doi>10.1145/1101149.1101300
- Khan, M.S., Chong, A., Quaddus, M. (1987). Fuzzy Cognitive Maps and Intelligent Decision Support – a Review. School of Information Technology, Murdoch University, Graduate School of Business, Curtin University of Technology, GPO Box U.
- Klein, J., Moon, Y., Picard, R. (2002). This computer responds to user frustration: Theory, design, and results. *Interacting with Computers*. Elsevier Science Ltd 14, 119-140
- Konar, A. (2001). *Artificial Intelligence and Soft Computing - Behavioral and Cognitive Modeling of the Human Brain* (ed.) CRC Press.
- Konar, A., Jain, L. (2005). *Cognitive Engineering: A Distributed Approach to Machine Intelligence*. Springer Verlag-London.
- Kosko, B. (1986). Fuzzy Cognitive Maps, *International Journal of Man-Machine Studies*. 24, 65-75.
- Kosko, B. (1992). *Neural Networks and Fuzzy Systems. A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Laureano-Cruces, A (2000). *Interacción Dinámica en Sistemas de Enseñanza Inteligentes*. Tesis Doctoral. Instituto de Investigaciones Biomédicas/UNAM. <http://delfosis.uam.mx/~ana/>
- Laureano-Cruces, A., & de Arriaga, F., (2000). Reactive Agent Design For Intelligent Tutoring Systems. *Cybernetics and Systems* (an International Journal ISSN: 0196-9722). 31(1), 1-47.
- Laureano-Cruces, A., De Arriaga-Gómez, F., García-Alegre, M. (2001). Cognitive task analysis: a proposal to model reactive behaviors. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence* 13 227-239.
- Laureano-Cruces, A., Terán-Gilmore, A. de Arriaga, F., y Alami, E. (2003). La Importancia De Las Estrategias Cognitivas en el Diseño del Curricula Didáctico. I, 35 – 41. *XVI Congreso Nacional y II Congreso Internacional de Informática y Computación de la ANIEI*. 22-24 de octubre. Zacatecas. <http://ce.azc.uam.mx/profesores/clc/>
- Laureano-Cruces, A., Ramírez-Rodríguez, J., Terán-Gilmore, A. (2004). Evaluation of the Teaching-Learning Process with Fuzzy Cognitive Maps. *Serie Lecture Notes in Artificial Intelligence*. ISBN: 3-540-23806-9. Vol. 3315. 922-931.

- Laureano-Cruces, A. (2004). Agentes Pedagógicos. *Memorias en CD, ISBN: 970-36-0155-3. En el XVII Congreso Nacional y III Congreso Internacional de Informática y Computación de la ANIEI*. 20-22 de octubre, Tepic, Nayarit. <http://delfosis.uam.mx/~ana/>
- Laureano-Cruces, A., Terán-Gilmore, A., J. & de Arriaga, F., (2004). A Learning Model Based on a Didactic Cognitive Approach: The Case Of Single-Degree-Of-Freedom Systems. *Computer Applications in Engineering Education*, 12(3), 152-164.
- Laureano-Cruces, A., Terán-Gilmore, A. & Rodríguez-Aguilar, R.M. (2005). Cognitive and Affective Interaction in a Pedagogical Agent. *Memorias en CD, ISBN: 970-31-0528-9. XVIII Congreso Nacional y IV Congreso Internacional de Informática y Computación de la ANIEI*, 26-28 de octubre, Torreón, Coah., <http://ce.azc.uam.mx/profesores/clc/>
- Laureano-Cruces, A., Ramírez-Rodríguez, J., Mora-Torres, M., Espinosa-Paredes, G. (2006). Modeling a Decision Making Process in a Risk Scenario: LOCA in a Nucleoelectric Plant Using Fuzzy Cognitive Maps. *Research in Computing Science*. 26, 3-13.
- Laureano-Cruces, A., Santillán-González, A., Méndez-Gurrola I. I. (2006). Mapas Cognitivos Difusos: Una Representación para Predecir los Efectos de las Supernovas. *Memorias en CD. XIX Congreso Nacional y V Congreso Internacional de Informática y Computación de la ANIEI*. ISBN: 970-31-0751-6. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 25-27 de octubre de 2006.
- Laureano-Cruces, A., Sánchez-Guerrero, L., Mora-Torres, M. & Ramírez-Rodríguez, J. (2008). Learning Objects and Personalized Instruction. In G. Richards (Ed.), *Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2008* (1728-1736). Chesapeake, VA: AACE. ISBN: 1-880094-66-5.
- Laureano-Cruces, A. L., Cabrera-López, J., Mora-Torres, M. (2009) Simulando el Camino de las Emociones, pp. 321-328. *In Proceedings en CD, XXII Congreso Nacional y VIII Congreso Internacional de Informatica y Computacion de la ANIEI. ISBN 978-607-7854-36-4*.
- Laureano-Cruces, A.L., Mora-Torres, M., Ramírez-Rodríguez, J. & Gamboa-Rodríguez, F. (2009). Emotions as an Element that Maximizes the Effectiveness of a Pedagogical Agent. In T. Bastiaens et al. (Eds.), *Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2009* (pp. 2817-2822). Chesapeake, VA: AACE. <http://www.editlib.org/p/32884>
- Laureano-Cruces, A., Ramírez-Rodríguez, J., Mora-Torres, M., de Arriaga, F. & Escarela-Pérez, R. (2010). Cognitive-Operative Model of Intelligent Learning Systems Behavior. *Interactive Learning Environments*. Vol.18, No. 1, pp. 11-38. ISSN: 0888-613X,
- Laureano-Cruces, A., Sánchez-Guerrero, L. Mora-Torres, M. & Ramírez-Rodríguez, J. (2010) Scenarios in application of cognitive didactics for an Intelligent Learning System (relation with the types of errors). In J. Sanchez & K. Zhang (Eds.), *Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2010* (pp. 322-327). ISBN 1-880094-83-5. Chesapeake, VA: AACE. Retrieved from <http://www.editlib.org/p/35561>.
- Laureano-Cruces, A. L., Mora-Torres, M., Ramírez-Rodríguez, J., Gamboa-Rodríguez, F. (2010). Implementation of an affective-motivational architecture tied to a teaching-learning process. In J. Sanchez & K. Zhang (Eds.), *Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2010* (pp. 1930-1938). ISBN 1-880094-83-5 Chesapeake, VA: AACE. Retrieved from <http://www.editlib.org/p/35837>
- Laureano-Cruces, A. L., Guadarrama-Ponce, C., Mora-Torres, M., Ramírez-Rodríguez, J. (2011). A Cognitive Model for the Red Baron: a Perspective

- Taking into Account Emotions. In *ICGST-Artificial Intelligence Machine Learning Journal*, Volume 11, Issue 2. pp. 5-13. ISSN: 1687-4846 Print, ISSN: 1687-4854 Online.
- Laureano-Cruces, A. L., Hegmann-Gonzalez, E. (2011). Maze Videogame that Adapts to the User's Emotions According to his Behavior. In *ICGST-Artificial Intelligence Machine Learning Journal*, Volume 11, Issue 2, pp. 21-25. **ISSN: 1687-4846 Print, 1687-4854 Online.**
- Laureano-Cruces, A. L., Mora-Torres, M., Ramírez-Rodríguez, J. & de Arriaga-Gómez, F. (2011). Operative Strategies Related to an Affective Motivational Architecture to Achieve Instructional Objectives. In *ICGST-Artificial Intelligence Machine Learning Journal*, Volume 11, Issue 2, pp. 15-20. ISSN: 1687-4846 Print, ISSN: 1687-4854 Online.
- Laureano-Cruces, A. L., Rodríguez-García, A. (2011). Design and implementation of an educational virtual pet using the OCC theory. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. DOI 10.1007/s12652-011-0089-4.
- Laureano-Cruces, A. Rodríguez-García, A. (2012). Design and Implementation of an Educational Virtual Pet Using the OCC Theory, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, Vol. 3, No. 1, pp. 61-71. <http://dx.doi.org/10.1007/s12652-011-0089-4>
- Laureano-Cruces, A., Acevedo-Moreno, D. Mora-Torres, M., Ramírez-Rodríguez, J., (2012). A Reactive Behavior Agent: Including Emotions for a Video Game, *Journal of Applied Research and Technology*, Vol. 10, No. 5, pp. 651-672. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47425122001>
- Lester, J.C. & Stone, B. A. (1997). Increasing Believability in Animated Pedagogical Agents. In *Memories Autonomous Agents 97*, Marina del Rey, California USA; 16-21. ISBN: 0-89791-877-0/97/02
- Lester, J., Callaway, Ch., Grégoire, J., Stelling, G., Towns, S., y Zettlemoyer, L. (2001). Animated Pedagogical Agents in Knowledge-Based Learning Environments. *Smart Machines in Education*. The MIT Press.
- Loewenstein, G., & Lerner. J. S. (2003). *The role of affect in decision making*. R. J. Davidson, H. H. Goldsmith & K. R. Scherer, eds., Handbook of Affective Science, Series in Affective Science, cap. 31, pags. 619-642. Oxford University Press, Oxford, New York.
- Marcellin-Jacques, S., Obregón-Sánchez, A., Flores-Illescas, C., Castillo-Barrera, F. E., Pérez-Luna, E. (1997). *Inteligencia Artificial, Aprendizaje y Sistemas Expertos*. Maestría en Ciencias de la Computación, UACPyP del CCH, con sede en el IIMAS-UNAM.
- Marcellín-Jacques, J. S. (2010), *Notas del Curso: Construcción de Sistemas Expertos*, Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación, UNAM.
- Méndez-Gurrola, I. I. (2007). *Sistema basado en el conocimiento para la predicción de los efectos de una supernova en el medio interestelar*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Computación, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. <http://newton.azc.uam.mx/mcc>.
- Merrill, M. D. (2006). Levels of instructional strategy. *Educational Technology* 46(4): 5-10.
- Merrill, M. D. (2007). First Principles of Instruction. In C. M. Reigeluth & A. Carr (Eds.), *Instructional Design Theories and Models III* (Vol. III). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Minsky, M. (2006). *The Emotion Machine*. Ed. Simon & Schuster Paperbacks
- Mora-Torres, M. (2007). *Sistema Experto en la Toma de Decisiones de un Escenario de Riesgo: LOCA Pequeño en una Planta Nucleoeléctrica*. MSc. Degree Thesis. Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación-Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado <http://ce.azc.uam.mx/profesores/clc/>
- Mora-Torres, M., Laureano-Cruces, A., Ramírez-Rodríguez, J. & Espinosa-Paredes, G. (2009) Analysis and Design of the Knowledge Representation for the Implementation of a Distributed Reasoning. *Revista de Matemática: Teoría y*

- Aplicaciones*. 16(2):267–281. Universidad de Costa Rica, San José. Indizada en Zentralblatt MATH. ISSN 1409-2433 y en Latindex 1409-2433.
- Mora-Torres, M., Laureano-Cruces, A. y Velasco-Santos, P. (2011). Estructura de las emociones dentro de un proceso de enseñanza-aprendizaje. *Perfiles educativos*. Vol XXXIII: 131, p.p. 64-79, enero – marzo 2011. ISSN: 0185-2698. 2011. México, D.F. UNAM. <http://www.iisue.unam.mx/seccion/perfiles/>
- Mora-Torres, M. (2011). Sistema Experto en la Toma de Decisiones de un Escenario de Riesgo: LOCA Pequeño en una Planta Nucleoeléctrica. *Journal Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo de México*. Section Tesis de Posgrado: A4-0013-DF-2007-MT. Latindex ISSN: 2007-1310, Online: <http://pcti.mx>.
- Mora-Torres, M., Laureano-Cruces, A. L., Gamboa-Rodríguez, F., Ramírez-Rodríguez, J., Sánchez-Guerrero, L. (2014). An affective-motivational interface for a pedagogical agent. *International Journal of Intelligence Science*, Vol.4, No.1, pp. 17-23. ISSN Print: 2163-0283, ISSN Online: 2163-0356.
- Ortony, A., Clore, G. L., and Collins, A. (1988). *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ortony, A. Clore, G.L., Collins, A. (1996). *La estructura cognitiva de las emociones*. Siglo XXI de España Editores, S.A.
- Partala T, Surakka V. (2004).The effects of affective interventions in human-computer interaction. *Interacting with Computers*, 16:295-309.
- Patel, A., Kosko, B. (2006). Mutual-Information Noise Benefits in Brownian Models of Continuous and Spiking Neurons. *2006 International Joint Conference on Neural Networks*. Sheraton Vancouver Wall Centre Hotel, Vancouver, BC, Canada July 16-21.
- Peláez, C. E. & Bowles, J. B. (1995). Applying Fuzzy Cognitive Maps Knowledge-Representation to Failure Modes Effects Analysis. IEEE Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, 450-456.
- Peláez, C. E., Bowles, J. B. (1996).Using Fuzzy Cognitive Maps as a System Model for Failure Modes and Effects Analysis. *Information Sciences* 88, 177-199.
- Peñalosa Castro, E. y Castañeda Figueiras, S. (2010). Análisis cuantitativo de los efectos de las modalidades interactivas en el aprendizaje en línea. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, Vol. 15, núm. 47, octubre-diciembre, 2010, pp. 1181-1222. ISSN (Versión impresa): 1405-6666. Consejo Mexicano de Investigación Educativa, D.F., México. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=14015564011>
- Peñalosa Castro, E. (2010). Evaluación de los aprendizajes y estudio de la interactividad en entornos en línea: un modelo para la investigación (learning assessment and interactivity analysis in online environments). RIED. I.S.S.N.: 1138-2783. 13: 1, 2010, pp 17-38
- Picard, R. W. (1995). *Affective Computing*. MIT Media Laboratory Perceptual Computing Section Technical Report N° 321.
- Picard, R. W. (2000). *Affective Computing*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press
- Ramírez González Tzitziki. *Algoritmo de Planificación Distribuido en un Sistema de Control Basado en una Arquitectura Multiagente en Tiempo Real* (2006). Tesis de Maestría en Ciencias de la Computación. Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco. <http://newton.azc.uam.mx/mcc>.
- Reeve, J. (2001). *Motivación y Emoción*. McGrawHill
- Reilly, S. (1994). Building Emotional Characters for Interactive Drama. Proceeding in *Association for the Advancement of Artificial Intelligence*. 281.
- Rescher, N. (1981). *Sistematización Cognoscitiva*. Ed. Siglo XXI
- Reyes-Saldaña, J. F. y García-Flores, R. 2005. Toma de decisiones mediante técnicas de razonamiento incierto. *Ingenierías*, Vol. VIII, No. 28, 32-42.
- Russell, S. J. y Norvig, P. (2004). *Inteligencia artificial un enfoque moderno*. Pearson Prentice Hall.

- Sánchez-Guerrero, L., Laureano-Cruces, A., Mora-Torres, M. & Ramírez-Rodríguez, J. (2009). An intelligent learning system within a learning object. In T. Bastiaens et al. (Eds.), *Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2009* (pp. 1917-1926). Chesapeake, VA: AACE. Retrieved from <http://www.editlib.org/p/32742>.
- Sánchez-Guerrero, (2009). *Sistema de Aprendizaje Inteligente con Objetos de Aprendizaje "ProgEst"*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Computación, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. <http://newton.azc.uam.mx/mcc>.
- Scherer, K. R. (2000). Psychological Models of Emotion, in Borod, J. C. (Ed.), *The Neuropsychology of Emotion* (pp. 137-162). New York. Oxford University Press.
- Simon, S. H. (1967). Models of Thought: Motivational and Emotional Controls of Cognition en *Psychological Review*. 74, 29-39
- Simon, H. A. (2006). *Las ciencias de lo artificial*. Ed. Comares (Granada, España) auspiciada por la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (México), la Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Cuajimalpa y el Institut de Dret y Tecnologia de la Universitat Autònoma de Barcelona (España).
- Stylios, C. D., Groumpos, P. P. (1999). Fuzzy Cognitive Maps: a model for intelligent supervisory control systems. *Computers in Industry* 39, 229-238.
- Tolman, E. C., (1932). *Purposive Behavior in Animals and Men*. University of California Press.
- Vapnik, N. V. (1998). *Statistical Learning Theory*. John Wiley & Sons.
- Velasco-Santos, P., Laureano-Cruces, A. Mora-Torres, M. y Sánchez-Guerrero, L. (2008). La Importancia del Diseño de una Interfaz en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje. *Memorias en CD, pp. 108-113. XXI Congreso Nacional y VII Congreso Internacional de Informática y Computación de la ANIEI*. 1-3 de octubre, Monterrey.
- Velasco-Santos, P., Sánchez-Guerrero, L., Laureano- Cruces, A., Mora-Torres, M. (2009). Un Diseño de Interfaz: Tomando en Cuenta los Estilos de Aprendizaje, *Memo- ria XXII Congreso Nacional y VIII Congreso Interna- cional de Informática y Computación de la ANIEI*, Ensenada, Baja, 21-23 October 2009, pp. 311-320. http://ce.azc.uam.mx/profesores/clc/02_publicaciones/material/InterfazYColor.pdf
- Von Raesfeld-Porras, P. A. (2000). *Campestre: Aplicación de mapas cognitivos difusos a VRML en un ambiente virtual*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería de Sistemas Computacionales; Universidad de las Américas, Puebla.

Anexo I

Tareas del sistema tutor inteligente

TAREAS

Este anexo contiene tareas específicas del dominio de aprendizaje: didáctica de la Programación Estructurada a nivel Licenciatura (Sánchez-Guerrero, 2009; Sánchez-Guerrero, Laureano-Cruces, Mora-Torres, Ramírez-Rodríguez, 2009) y su clasificación de acuerdo al nivel instruccional y a la categoría de aprendizaje. Estas tareas fueron diseñadas como parte del trabajo de tesis de maestría de Sánchez-Guerrero (2009).

Las Figuras del 1-10 muestran sólo algunas de las tareas propuestas por el sistema tutor inteligente, catalogadas con la categoría de aprendizaje y nivel instruccional correspondiente.

Sentencia o instrucción	Palabra reservada, identificador o comentario
Algoritmo: GRADOS A RADIANES	
/* Este algoritmo convierte de grados a radianes. Ejemplo de una Estructura Secuencial. */	<input type="text"/>
Constante PI 3.1416	<input type="text"/>
PRINCIPAL	<input type="text"/>
inicio	<input type="text"/>
flotante GRAD, RAD	<input type="text"/>
leer (GRAD)	<input type="text"/>
RAD GRAD * PI /180	<input type="text"/>
/* El símbolo * indica multiplicación*/	<input type="text"/>
imprimir (RAD)	<input type="text"/>
fin	<input type="text"/>

Figura Al.1. Tarea con categoría de aprendizaje: *Tipo de* (conocimiento previo) y nivel instruccional: *Demostración*

SENTENCIA	DEFINICION DE TIPO	Respuesta
X ← 25	El tipo de dato que debe tener la variables es flotante	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
Z ← 435.1890	El tipo de dato de Z es carácter	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
Letra ← 'a'	El tipo de dato de letra es entera	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
J ← 189.019	J es flotante	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
x ← 0.0	La variable es de tipo entero	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
Z ← falsa	El tipo de de la variable se definió de tipo booleana	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
Azul ← Azul + 1	El resultado de la operación debe de ser un valor de tipo flotante	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
R ← 25.0, s ← 4 m ← R * S	El tipo de m debe de ser de tipo entero	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
Azul ← 18	El tipo de datos de Azul es entero	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
solo ← 1	El tipo de variable se definió como booleana	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
gato ← 14	El tipo de variable se definió como booleana	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
c ← falso	La variable se definió como de tipo flotante	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
c ← 12.567	La variable debió ser definida de tipo de dato entero	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta

Figura Al.2. Tarea con categoría de aprendizaje: *Tipo de* (variables y constantes) y nivel instruccional: *Demostración*

TIPO DE VARIABLE	La definición de la variable es :	TIPO DE VARIABLE	La definición de la variable es :
entera Xvalor	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta	entera 30	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
caracter V_valor	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta	caracter 15costo	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
booleana 12sol	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta	entero &cost	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
flotante _cosas	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta	entero cost	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
flotante %valor	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta	caracter inicio	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
caracter *B	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta	booleana escribe	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
entera BB	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta	caracter mientras	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
flotante sol	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta	flotante 12sol	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta
entera 90sol	<input type="radio"/> Correcta <input type="radio"/> Incorrecta		

Figura AI.3. Tarea con categoría de aprendizaje: *Tipos de* (variables y constantes) y nivel instruccional: *Activación*

PREGUNTA	verdadero o falso
¿Una variable definida como entera tiene valores con punto decimal?	<input type="radio"/> verdadero <input type="radio"/> falso
Los tipos de una variable se pueden definir en cualquier parte del programa	<input type="radio"/> verdadero <input type="radio"/> falso
Los valores de una de tipo booleana son 0 o 1	<input type="radio"/> verdadero <input checked="" type="radio"/> falso
¿Es posible que el tipo de variables se definan al principio del algoritmo?	<input type="radio"/> verdadero <input type="radio"/> falso
El valor de una variable de tipo entero se le puede asignar la suma de un valor real y un entero	<input type="radio"/> verdadero <input type="radio"/> falso
Solo se puede definir una variable de tipo booleano cuando se necesita que la variable sea falso o verdadero	<input type="radio"/> verdadero <input type="radio"/> falso
El valor de una variable de tipo flotante permite valores con punto decimal	<input type="radio"/> verdadero <input type="radio"/> falso
En una variable de tipo carácter se permite asignarle valores de tipo entero	<input type="radio"/> verdadero <input type="radio"/> falso
El valor de una variable de tipo flotante permite valores de tipo carácter	<input type="radio"/> verdadero <input type="radio"/> falso
En una variable de tipo carácter solo se permite el valor de un carácter en código ASCII	<input type="radio"/> verdadero <input type="radio"/> falso
El tipo de dato flotante puede almacenar de números positivos y negativos	<input type="radio"/> verdadero <input type="radio"/> falso
Son los tipos de datos flotantes valores reales	<input type="radio"/> verdadero <input type="radio"/> falso
El tipo de datos de carácter es un tipo de datos que permite el almacenamiento de caracteres, puede almacenar cualquier carácter del código ASCII extendido, esto es entre 0 y 255.	<input type="radio"/> verdadero <input type="radio"/> falso
El tipo de datos enteros almacena solo enteros positivos	<input type="radio"/> verdadero <input type="radio"/> falso

Figura AI.4. Tarea con categoría de aprendizaje: *Procedimiento* (variables y constantes) y nivel instruccional: *Aplicación*

```

/* Este algoritmo calcula los números múltiplos de tres y calcula la suma, los números que no cumplan con esta característica los eleva al cuadrado y los suma, esta serie se calcula para un intervalo dado desde teclado */
Inicio
/* Declaración de los tipos de variables que */
entero inicial, final, cuadrado, suma_numeros, suma_multiplos
/* las variables son inicializadas con cero */
suma_numeros ← 0
suma_multiplos ← 0
/* aquí se leen los valores de inicio */
escribe ("Dame el intervalo inicial")
 ( inicial )
escribe("Dame el valor final del intervalo")
lee (final)
/* aquí inicia la estructura de ciclo donde se toma el valor inicial
y compara con el valor final si es menor o igual entonces continua el ciclo */
 (inicial<= )
multiplo_tres ← inicial modulo 3
si (  = 0)
  Inicio
  suma_multiplos ← suma_multiplos + inicial
  escribe ("la suma de los multiplos hasta este momento es:  )
  fin
  
  Inicio
  cuadrado ← inicial * inicial
  suma_numeros ← suma_numeros + cuadrado
  escribe ("la suma hasta este momento de los cuadrados es: " suma_numeros);
  fin
  inicial ←  + 1

escribe ("El valor final de la suma total de los múltiplos de tres es:", suma_multiplos, "en el intervalo",
inicial, "al", suma_multiplos);
 (El valor final de la suma de los valores del intervalo:", inicial "al", final, "es:", suma_numeros)
fin
    
```

1) inicial	7) escribe
2) si_no	8) inicio
3) lee	9) fin
4) final	10) algoritmo
5) suma_multiplos	11) mientras
6) cuadrado	12) multiplo_tres

Figura AI.5. Tarea con categoría de aprendizaje: *Qué sucede* (variables y constantes, estructuras de control) y *nivel instruccional*: Integración

```

/*Algoritmo determina_ números pares impares */
Principal
.....
100(mientras)<=n
  Inicio
  Modulo2x ← n
  x(0) si =
  escribe("el numero", n "es par")
  sino
  escribe("el numero", n "es impar")
  1n + ← n
  fin
    
```

Sentencia o instrucción	Seleccione la sentencia o instrucción correcta
100(mientras)<=n	<input type="text"/>
Modulo2x ← n	<input type="text"/>
x(0) si =	<input type="text"/>
1n + ← n	<input type="text"/>

El algoritmo anterior es necesario la estructura de para determinar si el dato es menor que 100, por lo anterior es necesario el valor del dato para volver a evaluar si es menor a 100.

La forma de evaluar si el dato es es por medio de una estructura de

Figura AI.6. Tarea con categoría de aprendizaje: *Qué sucede* (variables y contantes, estructuras de control) y *nivel instruccional*: *Aplicación*

1. El ciclo ejecuta una operación un cierto número de veces, especificando en un contador el incremento unitario desde un valor inicial hasta un valor final.
2. Una estructura de control , permite que las instrucciones que la constituyen se ejecuten una tras otra en el orden en que se listan.
3. A las estructuras secuencia, bifurcación condicional y ciclo se les denomina estructuras .
4. Las estructuras mientras, hacer-mientras, y desde son denominadas estructuras de control de .
5. La estructura de permite elegir una de dos opciones o alternativas posibles, dependiendo del resultado al evaluar una condición.
6. La estructura ejecuta al menos una vez la operación y después se evalúa la condición booleana.
7. Las determinan la secuencia en que deben ejecutarse las instrucciones de un algoritmo.
8. En el siguiente bucle:
desde (x=1; x<7;x++)
Inicio
cuerpo
Fin
el cuerpo del bucle se ejecutaría veces.

Figura AI.7. Tarea con categoría de aprendizaje: *Tipos de* (Estructuras de control) y nivel instruccional: *Activación*

Suponga que las chamarras para un equipo deportivo tiene tres niveles de precios dependiendo del número de prendas que se compran.

- a) 40 dólares cada una si la compra es de al menos 10 chamarras.
- b) 42 dólares cada una si la compra es de al menos 5 chamarras.
- c) 44 dólares cada una si la compra es de menos de 5 chamarras.

Se tiene el siguiente algoritmo chamarras donde se define la función CALCOST.

En el siguiente ejercicio es necesario llenar los espacios en blanco con las respuestas correctas

Algoritmo chamarras

/*este algoritmo usa la función para calcular el costo de n chamarras*/

entera funcion CALCOST(n)

Inicio */* inicio del algoritmo principal*/*

Enteras n, costo

imprime("Escriba el numero de chamarras")

lee(n)

Imprime(n, "chamaras cuestan \$", costo)

Fin */* del algoritmo principal */*

funcion entera CALCOST(entera n)

/* Función que calcula el costo de las chamarras*/

Inicio

si (n >= 10)

CALCOST=n* 40

si_no

si(n >= 5)

si_no

return CALCOST

fin */* de la función CALCOST*/*

Figura AI.8. Tarea con categoría de aprendizaje: *Qué sucede* (Abstracciones) y nivel instruccional: *Aplicación*

Analice el algoritmo y determine cuando es necesario el uso de un procedimiento y/o de una función.

1. El orden correcto del algoritmo y explique que hace el algoritmo
2. Determine el tipo de subalgoritmo se está aplicando en el programa

De la siguiente tabla determine el orden correcto del algoritmo, verifique que esta correcto el algoritmo haciendo la prueba de escritorio, páselo a lenguaje C y compílelo.

ORDEN	SENTENCIA O INSTRUCCIÓN
<input type="checkbox"/>	entero a, b, c /*declaración de variables */
<input type="checkbox"/>	si (a < b)
<input type="checkbox"/>	/* el programa inicia las comparaciones */
<input type="checkbox"/>	PRINCIPAL
<input type="checkbox"/>	intercambia(a, b);
<input type="checkbox"/>	si(a < c)
<input type="checkbox"/>	escribe("los números están en orden de mayor a menor");
<input type="checkbox"/>	Algoritmo mayor_menor
<input type="checkbox"/>	subprograma entero intercambia(entero z, entero w)
<input type="checkbox"/>	lee(a, b, c);
<input type="checkbox"/>	/*Este algoritmo ordena de mayor a menor 3 datos dados desde de teclado*/
<input type="checkbox"/>	Inicio
<input type="checkbox"/>	intercambia(a, c);
<input type="checkbox"/>	/*aquí inicia el subprograma intercambia los tres valores*/
<input type="checkbox"/>	regresa (z,w);
<input type="checkbox"/>	w ← temporal;
<input type="checkbox"/>	imprime("dame los datos a ordenar");
<input type="checkbox"/>	Inicio
<input type="checkbox"/>	Fin
<input type="checkbox"/>	intercambia(b, c);
<input type="checkbox"/>	Fin
<input type="checkbox"/>	z ← w;
<input type="checkbox"/>	Inicio
<input type="checkbox"/>	escribe(a, b, c);
<input type="checkbox"/>	entero temporal;
<input type="checkbox"/>	si(b < c)
<input type="checkbox"/>	Fin
<input type="checkbox"/>	temporal ← z;

Figura AI.9. Tarea con categoría de aprendizaje: *Qué sucede* (Abstracciones) y nivel instruccional: *Aplicación*

```

/* Este algoritmo calcula de un grupo n de alumnos el promedio de tres calificaciones*/
[ ] promedio (flotante a, flotante b, flotante c)
/*definición de la función promedio*/
principal
inicio
  /*definición de las variables globales*/
  flotante calf1, calf2,calf3,total,prom,promgen
  [ ] i,n
  total ← 0
  imprime ("Dame el No. de alumnos del grupo: ")
  lee( [ ] )
  desde (i=1;i<=n;i=i+1)
    inicio
      desde (p=0; p<=3; p=p+1)
        inicio
          lee (calf1,calf2,calf3)
        fin
        prom ← [ ] (calf1, calf2, calf3)
        /*aquí se hace llamada a la función promedio*/
        imprime("El promedio del alumno es:", prom)
      total ← total+prom
    fin
  promgen ← total/n
fin  imprime("el promedio general es:", promgen)

flotante promedio (flotante a, flotante b, flotante c)
/* declaración de la función promedio*/
inicio
  flotante suma
  suma ← (a + b+ c)/3
  regresa [ ]
fin

```

Figura AI.10. Tarea con categoría de aprendizaje: *Qué sucede* (Abstracciones) nivel instruccional: *Integración*

Anexo II

Tipo de errores en el sistema tutor inteligente

En este anexo se describe la clasificación los errores que pueden ocurrir durante la realización de las tareas propuestas.

De acuerdo a Sánchez-Guerrero, Laureano-Cruces, Mora-Torres & Ramírez-Rodríguez, (2009) y Sánchez-Guerrero, (2009), los errores se clasifican en:

- *error grave, (G)*: lo cual implica una falla sustancial de la conceptualización, lo que lleva al fracaso en la aplicación de las estructuras de control.
- error fatal, (F), se refiere a una falta total de conocimiento, con la que se considera imposible continuar

Las Tablas 1, 2 y 3 muestran los errores que corresponden al dominio de aprendizaje: didáctica de Programación Estructurada.

Tabla AII.1. Errores de la categoría de aprendizaje: Tipo de datos

Errores	Tipo de Datos
Error 1	No detecta el uso del tipo de datos (F)
Error 2	No detecta el uso de las variables (G)
Error 3	No detecta el uso de constantes (G)
Error 4	No detecta el uso del tipo de la constante (G)
Error 5	No detecta el uso de los diferentes tipos de variables (F)
Error 6	No detecta el uso de tipos datos de los numéricos (F)
Error 7	Confunde el uso de las variables de tipo entero y flotante (G)
Error 8	No detecta el uso del tipo carácter (F)
Error 9	No detecta el uso de las variables de tipo caracter (F)
Error 10	No detecta el uso de las constantes de tipo caracter (G)
Error 11	No detecta el uso de las cadenas de caracteres (F)
Error 12	No detecta el uso de las variables de tipo cadenas de caracter (F)
Error 13	No detecta el uso de las variables lógicas (F)
Error 14	No detecta el uso de las variables booleanas (G)

Tabla AII.2. Tabla de errores de la categoría de aprendizaje: Estructuras de control

Errores	Estructuras de control
Error 1	No detecta el uso de las estructuras de control (G)
Error 2	No detecta el uso estructura de control Secuencia (G)
Error 3	No detecta su uso de la estructura de control iteración (G)
Error 4	No detecta su uso de la estructura de control de selección (G)
Error 5	Confunde las estructuras de control (G)
Error 6	Confunde la estructura de control de selección con la estructura de iteración (G)
Error 7	No sabe en qué caso se aplican estructuras de control iteración y selección (G)
Error 8	No sabe usar la condición de la estructura (G)
Error 9	No sabe utilizar el alcance (inicio y fin) de la estructura (G)
Error 10	No define correctamente el uso de los operadores en la condición de la estructura (F)

Tabla AII.3. Tabla de errores de la categoría de aprendizaje: Abstracciones

Errores	Abstracciones
Error 1	No detecta el uso de las abstracciones y la necesidad de aplicarlas (F)
Error 2	No detecta el uso de los procedimientos (G)
Error 3	No detecta el uso de las funciones (G)
Error 4	Confunde el uso de funciones y procedimientos (F)
Error 5	No detecta el uso de parámetros (F)
Error 6	No detecta el uso de paso de parámetros en un procedimiento (F)
Error 7	No detecta el uso de paso de parámetros en una función (F)
Error 8	No usa en forma correcta el tipo en los parámetros del procedimiento (G)
Error 9	No usa en forma correcta el tipo de los parámetros en una función (G)
Error 10	No usa en forma correcta el regreso de los parámetros al programa principal o adonde fue invocado el procedimiento (G)
Error 11	No usa en forma correcta el regreso de los parámetros al programa principal o adonde fue invocado el procedimiento (G)
Error 12	No usa en forma correcta el lugar de definición de las funciones en el programa (G)
Error 13	No usa en forma correcta las variables globales y/o locales (G)
Error 14	No usa en forma correcta (inicio y fin) del procedimiento (G)
Error 15	No usa en forma correcta (inicio y fin) de la función (G)
Error 16	No usa en forma correcta el paso de parámetros por valor en una función (G)
Error 17	No usa en forma correcta el paso de parámetros por valor en el procedimiento (G)
Error 18	No usa en forma correcta el paso de parámetros por referencia en el procedimiento (G)
Error 19	No usa en forma correcta el paso de parámetros por referencia en la función (G)

Las estrategias inferidas de acuerdo al tipo de error, el nivel instruccional, la categoría de aprendizaje y las emociones percibidas, tienen relación con las sentencias que el agente muestra al usuario. La Tabla 4 muestra las estrategias y algunas sentencias.

Tabla AII.4. Estrategias inferidas y sentencias relacionadas

Estrategias	Sentencias*
Reconocimiento al esfuerzo	¡Felicitaciones por el esfuerzo realizado, sigue así!
Admirar logros	¡Estás obteniendo muy buen progreso en esta tarea!
Para aliviar	¡Buen momento para expresar dudas! Este tema no es del todo sencillo. (Cuando se solicita ayuda)
Agradar	¿Te gustaría saber más de esto?
Agradar	¿Quieres más consejos?
Admirar logros	¡Sigue intentando! ¡El éxito está en camino!
Admirar logros	¡Eres un triunfador! ¡Recuerda todos tus logros!
Admirar logros	El éxito en la realización de esta tarea muestra las nuevas habilidades adquiridas.
Para aliviar	Juntos podemos lograrlo. ¡Es importante seguir intentándolo!

* Las sentencias van acompañadas de una retroalimentación respecto al diagnóstico del tipo de errores que se van detectando.

Anexo III

Evaluación de la experiencia emocional del estudiante con el sistema tutor inteligente

Se indican dos formas de evaluar la experiencia del estudiante en su interacción con el sistema tutor inteligente.

En este anexo se incluye el cuestionario adaptado de las preguntas realizadas por el *sistema experto emocional* desarrollado por Fernández-Abascal y Martínez-Sánchez de la Universidad Nacional de Estudios a Distancia (UNED) en Madrid, España (Fernández-Abascal, E. G., Martínez-Sánchez, F., 2006)

Experiencia con el sistema

Instrucciones:

- Su tarea ahora, consiste en recordar cómo fue su experiencia como usuario del sistema y contestar una serie de cuestiones sobre ella.
- Marque el número de la opción que más se ajuste a su experiencia.

¿La duración de la realización de la tarea fue corta, justa o larga?

- 0.- No es pertinente
- 1.- Muy corta
- 2.- Corta
- 3.- Justa
- 4.- Larga
- 5.- Muy larga

¿La forma en que se vivió la experiencia con el sistema se debió a un suceso previo a la realización de la tarea o a lo que pasó durante la realización de la tarea o se esperaba que fuera así?

- 0.- No es pertinente
- 1.- Se debió a sucesos previos lejanos
- 2.- Se debió a sucesos previos recientes
- 3.- Se debió a la realización de la tarea en sí
- 4.- Se esperaba que fuera así

¿La experiencia con el sistema se considera agradable o desagradable?

- 0.- No es pertinente
- 1.- Muy desagradable
- 2.- Algo desagradable
- 3.- Indiferente
- 4.- Algo agradable
- 5.- Muy agradable

¿La experiencia con el sistema es relevante para su bienestar en general, necesidades o planes?

- 0.- No es pertinente
- 1.- No
- 2.- Un poco
- 3.- Algo
- 4.- Fuertemente
- 5.- Extremadamente

¿Esperaba el resultado obtenido antes de comenzar la tarea?

- 0.- No es pertinente
- 1.- Nunca
- 2.- Realmente no
- 3.- No lo excluí
- 4.- Un poco
- 5.- Sí lo esperaba

¿La experiencia con el sistema ayudó o impidió la satisfacción de sus necesidades, seguimiento de planes o logro de metas?

- 0.- No es pertinente
- 1.- Impidió mucho
- 2.- Impidió poco
- 3.- No tenía efecto
- 4.- Ayudó un poco
- 5.- Ayudó mucho

¿Las acciones por su parte, fueron las requeridas para realizar la tarea y obtener un resultado aceptable para usted?

- 0.- No es pertinente
- 1.- No
- 2.- Un poco
- 3.- Algo
- 4.- Muy requeridas
- 5.- Fuertemente

¿Fue responsable parcial o totalmente del resultado obtenido?

- 0.- No es pertinente
- 1.- No
- 2.- Un poco pero no lo esperaba
- 3.- Un poco pero lo esperaba
- 4.- Muy responsable pues supe lo que hacía
- 5.- Totalmente responsable sabía y lo esperaba

¿Otros factores fueron responsables de que el resultado fuera el obtenido?

- 0.- No es pertinente
- 1.- No
- 2.- Un poco pero no lo esperaba
- 3.- Un poco pero lo esperaba
- 4.- Muy responsables pues sabía que estaban presentes
- 5.- Totalmente responsables, sabía y lo esperaba

¿El resultado obtenido se debió principalmente a las circunstancias del momento?

- 0.- No es pertinente
- 1.- No
- 2.- Un poco pero nuestra acción fue el factor decisivo
- 3.- Un poco pero nuestra acción contribuyó
- 4.- Fuertemente
- 5.- Exclusivamente

¿La experiencia puede ser controlada o modificada por nosotros?

- 0.- No es pertinente
- 1.- No
- 2.- Un poco
- 3.- Algo
- 4.- Fuertemente
- 5.- Totalmente

¿Tenía la capacidad de realizar la tarea propuesta?

- 0.- No es pertinente
- 1.- No
- 2.- Un poco
- 3.- Algo
- 4.- Muy capaz
- 5.- Totalmente

¿Se siente bien con el resultado de la experiencia con el sistema, es decir, continuaría usándolo?

- 0.- No es pertinente
- 1.- No
- 2.- Con mucha dificultad
- 3.- Un poco
- 4.- Con bastante facilidad
- 5.- Sin ningún problema

¿Considera que a la mayoría de sus compañeros les parecería aceptable la experiencia con el uso del sistema para los estándares de rendimiento propuestos, es decir, recomendaría usarlo?

- 0.- No es pertinente
- 1.- No
- 2.- Probablemente no
- 3.- Probablemente sí
- 4.- Muy probablemente
- 5.- Sí

¿Si es personalmente responsable de la experiencia y resultado obtenidos, considera que corresponde con su rendimiento habitual?

- 0.- No es pertinente
- 1.- No soy responsable
- 2.- No corresponde
- 3.- Un poco
- 4.- Mucho
- 5.- Totalmente

Ahora le solicitamos realizar una valoración general de la experiencia con el sistema utilizando las siguientes escalas gráficas:

La escala de valoración afectiva está representada por 5 iconos que se muestran en la Figura AIII.1 que van desde el icono que representa a una persona infeliz hasta el icono que representa a una persona feliz. Debajo encontrará una escala numérica sobre la que debe marcar el número de la figura o espacio intermedio que corresponda con el estado afectivo que le produjo la experiencia con el sistema.

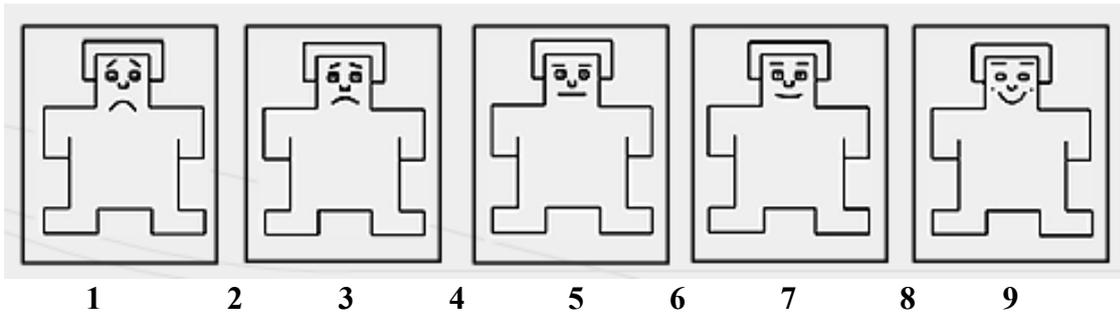


Figura AIII.1. Escala de valoración afectiva

La escala de activación tiene 5 iconos que se muestran en la Figura AIII.2 que van desde el icono que representa a una persona en calma hasta el icono que representa a una persona en estado de excitación. Debajo encontrará una escala numérica sobre la que debe marcar el número de la figura o espacio intermedio que corresponda con el estado de activación que le produce el sistema.

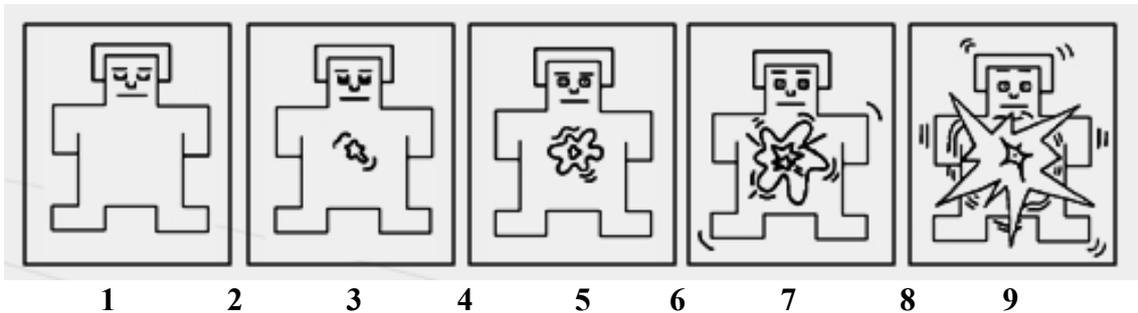


Figura AIII.2. Escala de activación

