

Desarrollo e Integración de un Modelo de Comportamiento Afectivo a un Sistema Tutor Inteligente

Yasmín Hernández Pérez, L. Enrique Sucar Succar, Gustavo Arroyo-Figueroa

Title—Development and Integration of an Affective Behavior Model into an Intelligent Tutoring System.

Abstract—We have developed an affective behavior model for intelligent tutoring systems that considers the affective and the pedagogical state of the student; and based on both selects the tutorial actions to be presented to the student. The model establishes the affective student state with base on the OCC model by means a dynamic Bayesian network. To select the tutorial action the model uses a dynamic decision network designed with base on the opinions of knowledgeable teachers. The results of a pilot study show that the actions selected by the tutor are in general in agreement with the students' expectations.

Index Terms—Intelligent tutoring system, affective behavior model, affective tutor, Bayesian networks, dynamic decision networks.

I. INTRODUCCIÓN

LA importancia de las emociones en la motivación y en el aprendizaje ha sido reconocida por diversos autores [8], [11] y se ha establecido la hipótesis que establece que si las emociones se consideran en los procesos de tutoría, se pueden obtener mejores resultados en el aprendizaje. Una muestra del interés creciente en la integración de las emociones en la arquitectura de los sistemas tutores inteligentes son los trabajos presentados en [7], [13], [15]. Con este objetivo, hemos desarrollado un modelo de comportamiento afectivo para sistemas tutores inteligentes. El modelo de comportamiento afectivo tiene dos componentes principales: un modelo afectivo del estudiante y un modelo afectivo del tutor.

El modelo afectivo del estudiante está basado en el modelo cognitivo de emociones OCC [14] y en el modelo de los cinco factores de la personalidad [5], así como en la intuición. El

modelo afectivo del estudiante está representado por medio de una red bayesiana dinámica.

El modelo afectivo del tutor permite seleccionar las acciones tutoriales tomando en cuenta el estado afectivo del estudiante además del estado pedagógico; para este fin utiliza una red de decisión dinámica con una medida de utilidad en aprendizaje y en afecto. El diseño de la estructura del modelo afectivo del tutor se basa en la literatura, la intuición y las opiniones de profesores. Para refinar y parametrizar el modelo, así también para comprobar nuestras hipótesis llevamos a cabo una investigación con un grupo de profesores con experiencia en pedagogía y en robótica. En este estudio participaron nueve profesores de diferentes niveles académicos.

Actualmente, el modelo de comportamiento afectivo está en proceso de integración a un sistema tutor inteligente para aprender robótica móvil para estudiantes universitarios. Sin embargo, antes de terminar la integración del modelo de comportamiento afectivo realizamos una evaluación inicial del desempeño del modelo de comportamiento afectivo en el sistema tutor inteligente. Llevamos a cabo un estudio piloto con 20 estudiantes. Este estudio consistió en una simulación tipo Mago de Oz.

Aunque los resultados de esta evaluación inicial no son concluyentes, si nos permiten apreciar que el modelo de comportamiento afectivo tiene un buen desempeño al fomentar un mejor estado afectivo en los estudiantes, así como al ayudar a aprender. En las siguientes secciones se describe el modelo de comportamiento afectivo y los estudios llevados a cabo.

II. MODELO DE COMPORTAMIENTO AFECTIVO

Con el objeto de mejorar el proceso de aprendizaje hemos desarrollado un modelo de comportamiento afectivo (MCA) para sistemas tutores inteligentes (STI). En el contexto de este trabajo por comportamiento afectivo entendemos: i) inferir el estado afectivo del estudiante (modelo afectivo del estudiante) y ii) establecer las acciones tutoriales considerando el afecto del estudiante (modelo afectivo del tutor). El MCA tiene dos componentes: el modelo afectivo del estudiante y el modelo afectivo del tutor. En la Fig. 1 se presenta un diagrama de bloques del MCA y se esquematiza el flujo del conocimiento en torno al mismo.

Yasmín Hernández Pérez pertenece a la Gerencia de Sistemas Informáticos del Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, 62490, México (teléfono: +52 777 362 3811 ext. 7502; fax: +52 777 362 3811 ext. 7139; e-mail: myhp@iie.org.mx).

L. Enrique Sucar Succar pertenece al Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Puebla, México (e-mail: esucar@inaoep.mx).

Gustavo Arroyo-Figueroa pertenece al Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, 62490 México (e-mail: garroyo@iie.org.mx).

DOI (Digital Object Identifier) Pendiente.

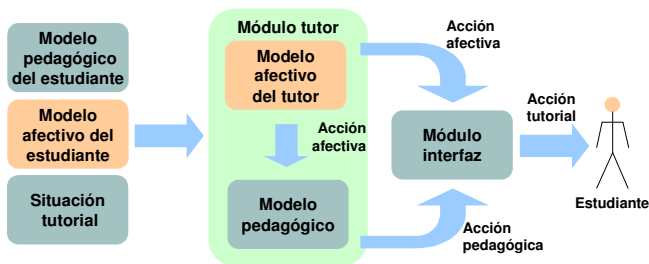


Fig. 1. Modelo de comportamiento afectivo. El MCA se compone del modelo afectivo del estudiante y del modelo afectivo del tutor. El MCA ayuda al módulo tutor a establecer la siguiente acción tutorial, con base en el modelo afectivo del estudiante, el modelo pedagógico del estudiante y la situación tutorial actual.

El MCA recibe información de tres componentes: el modelo afectivo del estudiante, el modelo pedagógico del estudiante y la situación tutorial; y traduce estos tres componentes en acciones afectivas hacia el módulo tutor y el módulo interfaz. La acción afectiva contiene conocimiento acerca de la situación general que ayuda al modelo pedagógico del tutor a determinar la siguiente acción pedagógica para el estudiante, y también ayuda al módulo interfaz a expresar la respuesta (realización física) en una manera adecuada para el estado del estudiante. De esta manera el estudiante recibe una acción tutorial compuesta por una acción afectiva y por una acción pedagógica.

La estrategia de seleccionar la acción afectiva primero, y usarla para guiar la selección de las acciones pedagógicas, es una hipótesis de este trabajo. Esta suposición se comprobó en cierto grado por medio de la retroalimentación de los profesores que participaron en nuestros estudios; la mayoría de ellos expresaron que primero evalúan como se sienten los estudiantes y después establecen las acciones pedagógicas que llevarán a cabo.

A. Modelo Afectivo del Estudiante

El modelo afectivo del estudiante se basa en el modelo cognitivo de emociones OCC [14] para establecer las emociones de los estudiantes. El modelo OCC establece que las emociones surgen como el resultado de una evaluación cognitiva de la situación actual con respecto a las metas de un individuo.

La estructura general del modelo afectivo del estudiante está basada en la estructura propuesta en [4]. El modelo afectivo del estudiante consiste en una red bayesiana dinámica que se presenta en la Fig. 2., la cual es una representación de alto nivel del modelo afectivo del estudiante; por lo tanto cada uno de los nodos de la red bayesiana representan un conjunto de nodos en el modelo detallado. Por ejemplo, para el caso del nodo *estado afectivo*, éste se descompone en tres nodos, uno para cada uno de los estados afectivos que se incluyen en el modelo afectivo del estudiante (Una descripción más detallada del modelo afectivo del estudiante se encuentra en [10]).

Las emociones incluidas en el modelo son un subconjunto de las emociones propuestas por el modelo OCC: alegría, tristeza, orgullo, vergüenza, admiración y reproche. En este

trabajo consideramos cada par de estas emociones como complementarias entre sí con respecto a un mismo evento; por ejemplo, entre más alegría sienta una persona hacia el evento A, menos tristeza siente hacia ese mismo evento A. De esta manera en la representación detallada del modelo afectivo del estudiante tenemos tres variables para el estado afectivo: *alegría-tristeza*, *orgullo-vergüenza* y *admiración-reproche*.

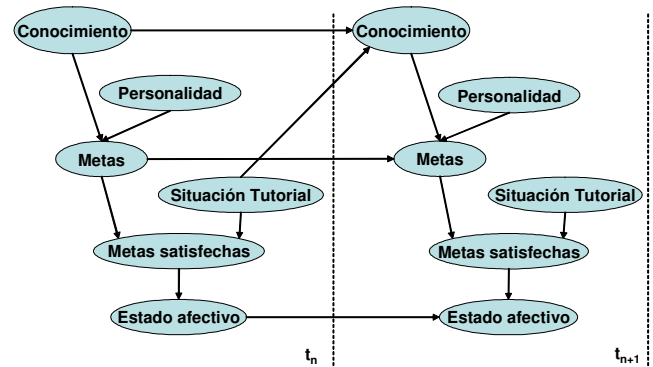


Fig. 2. Modelo afectivo del estudiante. El modelo afectivo del estudiante está representado por medio de una red bayesiana dinámica que modela la evolución del estado afectivo del estudiante en el tiempo. Esta evolución se representa mediante la liga entre los nodos *estado afectivo* y la liga entre los nodos *metas*. En el modelado del dinamismo en el afecto intervienen dos segmentos de tiempo t_n y t_{n+1} . Se presenta una representación de alto nivel del modelo.

El estado afectivo no es estático sino que cambia a lo largo del tiempo como un resultado del ambiente cambiante y de la interpretación particular de la situación de cada individuo. La red bayesiana dinámica modela la naturaleza dinámica del estado afectivo y su influencia en el siguiente estado. La red incluye dos periodos de tiempo en cualquier momento dado. Cada vez que el estudiante lleva a cabo una acción se desecha un periodo de tiempo y se añade otro periodo de tiempo.

Para inferir el estado afectivo en el tiempo t_n usamos el estado de conocimiento del estudiante, la situación tutorial y los rasgos de personalidad del estudiante, y éste se usa para inferir el afecto del estudiante en el tiempo t_{n+1} .

La apreciación del estudiante sobre la situación actual dadas sus metas (modelo OCC) está representada por la relación entre los nodos *metas* y *situación tutorial* a través del nodo *metas satisfechas*. La influencia del proceso de evaluación en el afecto del estudiante está representada por la liga entre el nodo *metas satisfechas* y el nodo *estado afectivo*.

De acuerdo con el modelo OCC, las metas son fundamentales para determinar el estado afectivo. En nuestro modelo, las metas se infieren de fuentes indirectas de evidencia. Usamos los rasgos de personalidad del estudiante y el conocimiento del estudiante sobre la materia, para predecir las metas del estudiante. En el modelo, los rasgos de personalidad están basados en el modelo de los cinco factores que considera 5 dimensiones de la personalidad [1], [5]. Sin embargo, en nuestro modelo solamente incluimos dos de ellas: *minuciosidad* y *neuroticismo*, ya que se ha establecido una liga entre estas dos dimensiones con el aprendizaje [9].

La información para los nodos *conocimiento* y *situación tutorial* viene del modelo pedagógico del estudiante y de los resultados de la acción del estudiante. Las relaciones de dependencia en la red bayesiana dinámica se establecieron tomando como base en la literatura [1], [9], en la intuición y en cuestionarios que se aplicaron a profesores expertos [10].

B. Modelo Afectivo del Tutor

Una vez que el estado afectivo del estudiante se ha establecido, el tutor tiene que responder de manera adecuada con dicho estado. El tutor necesita un modelo afectivo que establezca parámetros que realicen un mapeo de los estados afectivo y pedagógico del estudiante hacia acciones del tutor.

Las acciones tutoriales se componen de una acción afectiva y una acción pedagógica. La acción afectiva tiene como objetivo promover un estado afectivo positivo en el estudiante, y la acción pedagógica tiene como objetivo presentar al estudiante el conocimiento que necesita tener.

Consideramos como acciones afectivas la manera en que el contenido pedagógico se entrega al estudiante; por ejemplo, la expresión facial, los colores o el sonido que se incluye en el mensaje. En el trabajo que aquí se presenta, una acción afectiva es una animación de un agente pedagógico animado que hace las veces de un tutor al presentar las acciones tutoriales a los estudiantes; y una acción pedagógica es una lección acerca de los temas actuales en la sesión de tutoría.

Nuestra hipótesis principal es que la acción del tutor tiene una influencia directa en el aprendizaje y en el estado afectivo del estudiante; y que al seleccionar la acción tutorial adecuada (esto es, de acuerdo con el estado actual del estudiante), el tutor podría mejorar el proceso de aprendizaje, y el estado afectivo de los estudiantes.

Con base en esta hipótesis, queremos ayudar a los estudiantes a aprender y al mismo tiempo fomentar un estado afectivo positivo a través de un modelo afectivo del tutor. Para el diseño del modelo afectivo del tutor, usamos la teoría de decisiones [3] y la teoría de utilidad de atributos múltiples [13]. El modelo afectivo del tutor hace un balance entre aprendizaje y estado afectivo.

En la Fig. 3, se presenta una representación de alto nivel del modelo afectivo del tutor por medio de una red de decisión dinámica (RDD). La red bayesiana dinámica implícita en la RDD se usa para predecir la manera en que la acción tutorial influye en el estado afectivo y pedagógico del estudiante considerando los estados afectivo y pedagógico actuales. La predicción se usa para establecer la utilidad de cada acción tutorial para el estado actual.

Consideramos los efectos de las acciones tutoriales en el aprendizaje y en el afecto de manera individual, y después consideramos un efecto general en el proceso de tutoría. La RDD establece la acción tutorial considerando dos medidas de utilidad, una en aprendizaje y otra en afecto, que se combinan para obtener una utilidad global por medio de una combinación lineal pesada.

En el tiempo t_n , tenemos el estado actual del estudiante y las posibles acciones tutoriales. Cuando el estudiante lleva a cabo

una acción (esto es, cuando se actualiza el modelo del estudiante), se añade un nuevo periodo de tiempo siguiente.

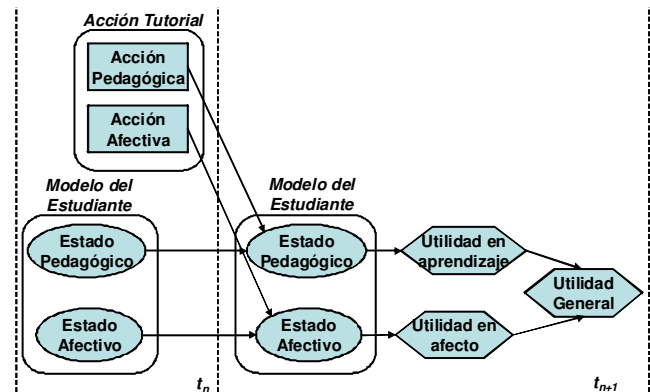


Fig. 3. Modelo afectivo del tutor. El modelo afectivo del tutor está representado por medio de una red de decisión dinámica. Intervienen dos segmentos de tiempo que se utilizan para predecir cómo las acciones tutoriales influyen en el estado afectivo y pedagógico del estudiante en el siguiente segmento de tiempo (t_{n+1}), considerando el estado afectivo y pedagógico actual (t_n). Cada posible estado del estudiante tiene una utilidad que se usa para establecer la acción tutorial óptima.

En el tiempo t_{n+1} , tenemos la predicción sobre como las acciones tutoriales influyen en el afecto y en el aprendizaje del estudiante, de estas predicciones se estiman las utilidades individual y global.

Los nodos *estado afectivo* y *estado pedagógico* en la RDD de alto nivel en el tiempo t_n (Fig. 3) representan redes bayesianas. La red bayesiana para el estado afectivo se describió en la sección anterior. La influencia de cada acción tutorial en el estado afectivo y pedagógico y la utilidad de la acción pedagógica y de la acción afectiva se establecen dadas las preferencias del tutor, que a su vez se basan en la experiencia de un grupo de profesores; este estudio se describe más adelante.

Por el lado del aprendizaje, medimos la utilidad en términos de cuánto puede aumentar el aprendizaje con la acción tutorial dado el estado pedagógico actual. La utilidad en aprendizaje es siempre un número más grande o igual que cero; esto se debe a que actualmente el modelo no incluye el concepto de *olvidar*. De la misma manera, por el lado del afecto, medimos la utilidad en términos de cuánto podría mejorar el afecto con la acción tutorial dado el estado afectivo actual. En este caso, la utilidad puede ser un número menor que cero porque la acción tutorial puede tener un efecto negativo en el estado afectivo del estudiante. Finalmente, tenemos que la utilidad general es la suma pesada de la utilidad en aprendizaje y de la utilidad en afecto. De esta manera, el tutor calcula la utilidad para cada acción tutorial considerando el estado actual, y selecciona la acción tutorial con la máxima utilidad esperada.

Cuando se selecciona la acción tutorial, la RDD finaliza su trabajo, y el periodo de tiempo t_{n+1} se elimina. Esto se debe a que actualmente, la RDD que selecciona la acción tutorial no se usa para actualizar el modelo del estudiante sino que se usa solamente para predecir el impacto de la acción tutorial en aprendizaje y en el afecto del estudiante. En este punto, el

tutor entrega la acción seleccionada al estudiante, espera la siguiente acción del estudiante, se actualiza el modelo del estudiante y se presenta una nueva acción tutorial al estudiante. De esta manera, el ciclo se repite para cada acción del estudiante (ver Fig. 4).

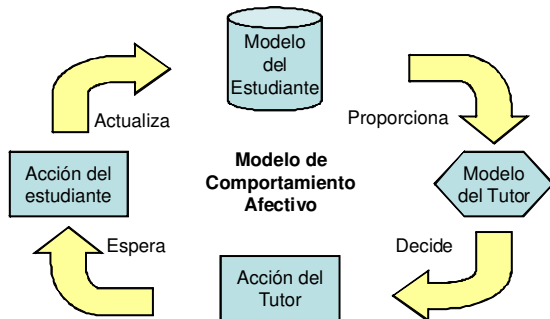


Fig. 4. Ciclo del modelo de comportamiento afectivo. Cada vez que el estudiante lleva a cabo una acción, se actualiza el modelo del estudiante, el modelo del tutor selecciona la acción tutorial adecuada de acuerdo con el estado del estudiante, ésta se entrega al estudiante y se espera por la siguiente acción del estudiante.

III. REFINAMIENTO DEL MODELO DE COMPORTAMIENTO AFECTIVO

Actualmente estamos en el proceso de integrar el MCA en un STI de robótica móvil. En este sistema los estudiantes interactúan con el tutor a través del desarrollo de experimentos con un robot móvil en un laboratorio virtual. El tutor proporciona a los estudiantes instrucción con base en una representación probabilística del estado de conocimiento de los estudiantes. Las acciones pedagógicas consisten en explicaciones acerca de los temas relacionados con el experimento que se encuentran desarrollando en el laboratorio virtual.

Para comprobar nuestras suposiciones y refinar el MCA, llevamos a cabo una investigación con nueve profesores de diferentes niveles académicos, con experiencia en pedagogía y con conocimientos de robótica móvil. Los profesores que participaron dan clases en los departamentos de computación y de electrónica. La distribución de los profesores participantes en el estudio se presenta en la Tabla I.

TABLA I
DISTRIBUCIÓN DE LOS PROFESORES PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO CON EL STI DE ROBÓTICA MÓVIL

Profesor	Años Exp.	Imparte clases en:			
		Bach.	Univ.	Maestría	Doct.
Prof. 1	16		Si	Si	Si
Prof. 2	7	Si	Si		
Prof. 3	13		Si		
Prof. 4	7		Si		
Prof. 5	12		Si	Si	
Prof. 6	12		Si	Si	
Prof. 7	7			Si	Si
Prof. 8	20		Si		
Prof. 9	18		Si		

El objetivo del estudio fue conocer: i) qué acciones llevan a cabo los profesores de acuerdo con el estado afectivo y de conocimientos del estudiante; ii) cuáles son las razones por las que seleccionan tales acciones; y iii) seleccionar un personaje animado y las animaciones apropiadas del mismo personaje para incluirlos en el funcionamiento del STI.

El estudio consistió de tres partes. En la primera parte se presentó a los profesores cuatro personajes de *Microsoft Agent* [12], así como sus animaciones; lo anterior con el objeto de que pudieran apreciar el potencial de cada uno de los personajes, y seleccionar el personaje que consideraran adecuado para ser incluido en el STI y hacer las veces del tutor. En la Fig. 5 se presentan los personajes de *Microsoft Agent* que se incluyeron en el estudio, de izquierda a derecha: *Robby*, *Genie*, *Peedy* y *Merlín*.

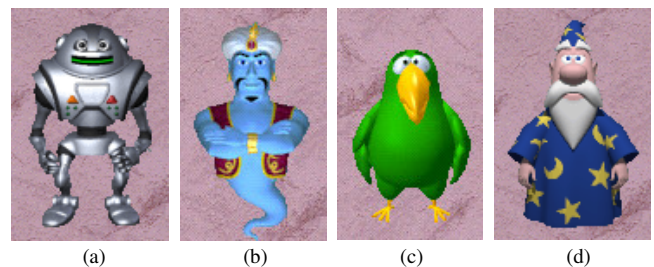


Fig. 5. Personajes de *Microsoft Agent* que se incluyeron en el estudio: (a) *Robby*, (b) *Genie*, (c) *Peedy* y (d) *Merlín*. Los profesores pudieron seleccionar las animaciones de cada uno de los personajes las veces necesarias para poder apreciar la expresividad de cada personaje.

Los personajes fueron presentados a través de un programa en el que los profesores podían seleccionar los personajes así como las animaciones que deseaban ver, las veces que fuera necesario. En la Fig. 6 se presenta la interfaz de este programa. En esta fase del estudio, los profesores seleccionaron un personaje para presentar las acciones tutoriales dentro del STI. Además, los profesores seleccionaron las animaciones que consideran son adecuadas para presentarse a los estudiantes como una acción afectiva.

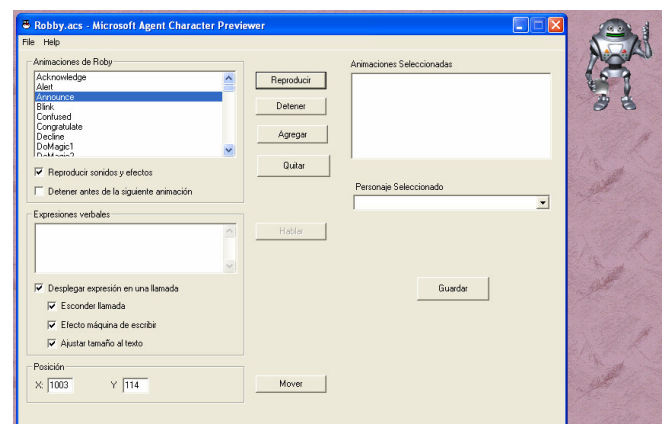


Fig. 6. Pantalla del programa para visualizar los personajes de *Microsoft Agent* y las animaciones disponibles. Se muestra al personaje *Robby*. En este programa los profesores pudieron ver el potencial de cada uno de los personajes animados.

En la segunda parte del estudio, los profesores observaron un video de estudiantes interactuando con el STI. Los profesores tenían la facilidad de ver el video tantas veces como fuera necesario, así también tenían facilidades para regresar y adelantar el video cuando así lo deseaban. En este punto del estudio se solicitó a los profesores que establecieran la acción pedagógica y afectiva que consideraban adecuada para los estados afectivo y pedagógico actuales del estudiante. Las respuestas de los profesores fueron solicitadas para cada uno de los experimentos desarrollados por los estudiantes en el laboratorio virtual y que se presentaron en el video. En la Fig. 7 se presenta la interfaz del programa utilizado en esta fase del estudio.

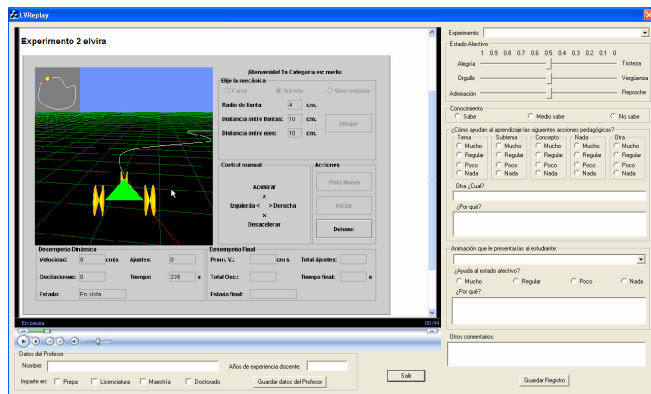


Fig. 7. Pantalla del programa para reproducir el video utilizado en el estudio y en donde los profesores ingresan las respuestas a las preguntas del estudio para cada uno de los experimentos presentados en el video.

Como resultado de este estudio, obtuvimos que el personaje *Robby* fuera seleccionado por siete profesores y el personaje *Merlín* fue seleccionado por dos profesores; el resto de los personajes no fueron seleccionados por ninguno de los profesores. Sin embargo, aún cuando los profesores seleccionaron al personaje *Robby*, expusieron que el personaje *Merlín* es mucho más expresivo que el personaje *Robby*, pero que consideran que el personaje *Robby* es más adecuado para el dominio, robótica móvil, y para la edad de los estudiantes (estudiantes universitarios).

Como otro de los resultados del estudio, obtuvimos que los profesores seleccionaron ocho animaciones para ser utilizadas por el MCA de acuerdo con el estado afectivo del estudiante. En la Tabla II se presentan las animaciones que seleccionaron los profesores y los promedios de los estados afectivos para cada animación. Las emociones están calificadas del 1 al 100, donde 100 representa la emoción positiva en cada dimensión de emoción y el 0 representa la emoción negativa en cada dimensión de emoción. Es decir, el 100 representa: *alegría*, *orgullo* o *admiración*. Mientras que el 1 representa la emoción negativa de la dimensión de emoción, es decir, el 1 representa *tristeza*, *vergüenza* o *reproche*.

La información que se obtuvo de este estudio se utilizó para establecer las probabilidades condicionales de la RDD del modelo afectivo del tutor para integrarlo en el STI de robótica móvil.

En la Fig. 8 se muestra imágenes de las animaciones de *Robby* que fueron seleccionadas por los profesores: a) reconocimiento (*acknowledge*), b) aviso (*announce*), c) confusión (*confused*), d) felicitación (*congratulate*), e) explicación (*explain*), f) llamar la atención (*getAttention*), g) pensando (*think*) y h) sugerencia (*suggest*). Las palabras en inglés que se encuentran entre paréntesis corresponden al nombre de la animación en *Microsoft Agent*.

TABLA II
ANIMACIONES SELECCIONADAS POR LOS PROFESORES PARA UTILIZARSE EN EL MODELO DE COMPORTAMIENTO AFECTIVO EN EL SISTEMA TUTOR INTELIGENTE DE ROBÓTICA MÓVIL

Acción afectiva	Alegría/ Tristeza	Orgullo/ Vergüenza	Admiración/ Reproche
Reconocimiento	62.25	54.00	52.25
Aviso	60.00	73.00	50.00
Felicitación	72.69	72.31	70.00
Confusión	26.43	29.57	28.57
Llamar la atención	54.33	55.67	54.67
Explicación	77.00	70.00	50.00
Sugerencia	55.29	52.86	56.86
Pensando	42.67	35.33	46.33

En este estudio también obtuvimos comentarios sobre las razones por las cuales los profesores consideran adecuadas las diferentes acciones pedagógicas (lecciones) y las acciones afectivas (animaciones) para el estado de conocimientos y el estado afectivo de los estudiantes. Por ejemplo, cuando el estudiante se equivoca al realizar un experimento, y el estudiante parece no conocer los temas del experimento, en estos casos la mayoría de los profesores seleccionaron presentar una lección general sobre los temas del experimento, y como acción afectiva seleccionaron la animación explicación (*explain*).

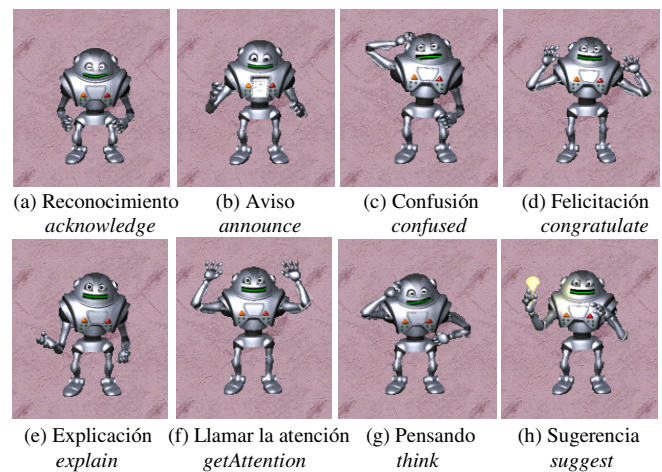


Fig. 8. Acciones afectivas en el modelo de comportamiento afectivo para el STI de robótica móvil. Se presentan las ocho acciones afectivas seleccionadas por los profesores.

En la siguiente y última fase del estudio se presentó a los profesores participantes en el estudio un cuestionario con tres preguntas generales acerca de cómo perciben la relación del aprendizaje con las emociones de los estudiantes. Las

preguntas que se hicieron a los profesores son las siguientes:

- 1) A la hora de impartir clase ¿Tomas en cuenta el estado pedagógico y el estado afectivo? ¿Por qué?
- 2) ¿Qué es más importante para ti, el estado afectivo o el estado pedagógico? ¿Por qué?
- 3) ¿Podrías clasificar en categorías las acciones que usas para enseñar?

Las respuestas de los profesores a las preguntas 1 y 2 del cuestionario se presentan en la Tabla III.

TABLA III

RESPUESTAS DE LOS PROFESORES A LAS PREGUNTAS 1 Y 2 DEL CUESTIONARIO GENERAL DEL ESTUDIO PARA REFINAR EL MODELO DE COMPORTAMIENTO AFECTIVO.

Prof.	Toma en cuenta		Cuál es más importante		
	Conocimiento	Afecto	Conocimiento	Afecto	Iguales
1	Si	Si			X
2	Si	Si			X
3	Si	Si			X
4	Si	Si			X
5	Si	Si			X
6	Si	Si			X
7	Si	Si			X
8	Si	No	X		
9	Si	Si	X		

De las respuestas de los profesores obtuvimos que el 89% de los profesores consideran que ambos estados son importantes para establecer las acciones que les presentaran a los estudiantes. Podemos observar que solamente un profesor considera que el estado afectivo de los estudiantes no es importante al momento de impartirles la clase. También podemos observar que 8 profesores consideran ambos estados al momento de dar clase o tutoría. Esto significa que el 89% de los profesores está de acuerdo con la hipótesis de este trabajo. Esto es, que tanto el estado pedagógico como el estado afectivo deben ser considerados al momento de enseñar para mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

De los 8 profesores que consideran ambos estados importantes en el aprendizaje, tenemos que un profesor considera que el estado pedagógico es más importante, mientras que 7 consideran que ambos estados son igualmente importantes.

En la pregunta 3 se solicitó a los profesores que trataran de clasificar las acciones que llevan a cabo al momento de enseñar. Sin embargo, las respuestas a esta pregunta fueron muy generales y amplias por lo que fue difícil obtener una clasificación para las acciones que llevan a cabo los profesores.

IV. EVALUACIÓN DEL MODELO DE COMPORTAMIENTO AFECTIVO

Después de analizar los resultados del estudio descrito en la sección anterior y de incluirlos en el MCA, quisimos evaluar el desempeño del MCA antes de llevar a cabo la integración completa del modelo en el STI de robótica móvil. Para este fin

llevamos a cabo un estudio del tipo Mago de Oz con un grupo de estudiantes. El objetivo de los estudios Mago de Oz es obtener información (para diseño y evaluación) sobre prototipos o sobre sistemas que aún no han sido terminados [6]. En el estudio participaron 20 estudiantes universitarios, de maestría y de doctorado. La distribución de los estudiantes se muestra en la Tabla IV.

TABLA IV

DISTRIBUCIÓN DE LOS ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO DE USUARIO CON EL SISTEMA TUTOR INTELIGENTE DE ROBÓTICA MÓVIL

Nivel académico	No. de estudiantes	Edad promedio
Licenciatura	1	21.00
Maestría	16	26.44
Doctorado	3	41.67
	20	29.70

Para poder obtener las metas de los estudiantes en el modelo afectivo del estudiante, los estudiantes contestaron un cuestionario de personalidad basado en el modelo de los cinco factores de la personalidad [2], el cuestionario está compuesto por 50 adjetivos y el estudiante tiene que calificar que tanto le aplica cada uno de los adjetivos.

El estudio consistió en presentar a los estudiantes tres diferentes escenarios de tutoría y las acciones afectiva y pedagógica seleccionadas por el MCA considerando el estado afectivo y de conocimientos del estudiante. Las acciones tutoriales fueron presentadas a los estudiantes por el personaje animado *Robby* (personaje que seleccionaron los profesores en la primera fase del estudio).

Cada vez que los estudiantes observaron los experimentos en el laboratorio virtual, los estudiantes calificaron su estado afectivo antes y después de recibir las acciones tutoriales. Además tuvieron que establecer si las acciones pedagógicas les ayudaron a aprender y porque pensaban de esa manera.

La evaluación tuvo dos fases: la evaluación el modelo afectivo del estudiante y la evaluación del modelo afectivo del tutor. Para la primera fase comparamos el estado afectivo reportado por los estudiantes con el estado afectivo establecido por el modelo afectivo del estudiante. De este análisis obtuvimos que en el caso de la dimensión de emoción *alegría-tristeza*, el modelo estableció el estado afectivo correctamente en el 72% de los casos; en el caso de la dimensión de emoción *orgullo-vergüenza*, el modelo estableció el estado afectivo de manera correcta en el 70% de los casos; mientras que en el caso de la dimensión de emoción *admiración-reproche*, el modelo estableció el estado afectivo de manera correcta en el 55% de los casos. Los resultados anteriores se esquematizan en la tabla V.

La emoción *alegría-tristeza* es la emoción que el estudiante tiene hacia la actividad. La emoción *orgullo-vergüenza* es la emoción del estudiante hacia sí mismo. La emoción *admiración-reproche* es la emoción del estudiante hacia el tutor. Como podemos ver, en este estudio el modelo afectivo del estudiante fue preciso al establecer las emociones *alegría-tristeza* y *orgullo-vergüenza*; sin embargo en el caso de la

emoción *admiración-reproche*, el modelo no fue muy preciso. Tenemos la suposición de que las emociones de los estudiantes hacia los profesores surgen más lentamente, y además también tenemos la suposición de que los estudiantes piensan que ellos aprenden y no que los profesores les están enseñando. Estas suposiciones coinciden con los comentarios de los profesores quienes establecieron en la mayoría de las ocasiones que las emociones de los estudiantes hacia ellos son negativas. Otra posible razón para este resultado puede ser que los estudiantes no tuvieron que contestar exámenes de conocimientos, y por lo tanto, no tuvieron manera de saber cómo estaban sus conocimientos sobre la materia, lo que a su vez podría haber influido en su emoción hacia el tutor. Sin embargo, tenemos que llevar a cabo otras investigaciones para probar o rechazar estas suposiciones y para refinar el MCA. Estamos considerando incluir exámenes de conocimientos en la siguiente evaluación del modelo.

TABLA V

NÚMERO DE CASOS DE COINCIDENCIAS Y DISCREPANCIAS EN EL ESTADO AFECTIVO REPORTADO POR EL ESTUDIANTE Y EL ESTADO AFECTIVO ESTABLECIDO POR EL MODELO DE COMPORTAMIENTO AFECTIVO PARA CADA DIMENSIÓN DE EMOCIÓN.

	Alegría- Tristeza	Orgullo- Vergüenza	Admiración- Reproche
Coincidencias	43	33	42
Conflictos	17	27	18
% de Coincidencias	72%	55%	70%

Para evaluar el modelo afectivo del tutor, es decir para evaluar la efectividad de las acciones tutoriales, como ya mencionamos, en este estudio solicitamos a los estudiantes calificar su estado afectivo antes y después de recibir las acciones tutoriales. Con las respuestas de los estudiantes pudimos evaluar el impacto de las acciones tutoriales en el estado afectivo de los estudiantes al comparar el estado afectivo que reportaron los estudiantes antes de recibir la acción tutorial contra el estado afectivo reportado por el estudiante después de recibir la acción tutorial. En la tabla VI se muestran los resultados del análisis anterior en porcentajes de estudiantes.

TABLA VI

IMPACTO DE LAS ACCIONES TUTORIALES ESTABLECIDAS POR EL MODELO DE COMPORTAMIENTO AFECTIVO EN EL ESTADO AFECTIVO DE LOS ESTUDIANTES. SE PRESENTAN PORCENTAJES DE ESTUDIANTES.

Estado Afectivo	Mejor Estado	Igual Estado	Peor Estado
Alegría-tristeza	45%	40%	15%
Orgullo-Vergüenza	55%	20%	25%
Admiración-reproche	55%	30%	15%

En el estudio se solicitó a los estudiantes que establecieran el impacto de las acciones tutoriales establecidas por el MCA en su estado de conocimiento. La Tabla VII muestra las respuestas de los estudiantes en porcentajes de estudiantes.

Como última parte del estudio de usuario, los estudiantes contestaron un cuestionario general en donde se les solicitó calificar el desempeño del MCA, además se les preguntó sobre

la relación entre estado afectivo y aprendizaje. Las preguntas del cuestionario, así como los porcentajes de las respuestas de los estudiantes a cada una de las preguntas se presentan en la Tabla VIII.

TABLA VII

IMPACTO DE LAS ACCIONES TUTORIALES ESTABLECIDAS POR EL MODELO DE COMPORTAMIENTO AFECTIVO EN EL ESTADO DE CONOCIMIENTO DE LOS ESTUDIANTES. SE PRESENTAN PORCENTAJES DE ESTUDIANTES.

	Mejor Estado	Igual Estado	Peor Estado
Estado de conocimiento	90%	5%	5%

En la pregunta 1 podemos ver que el 40% los estudiantes consideran que los movimientos del agente animado ayudan muy poco a mejorar la motivación, mientras que un 10% opina que no ayuda en nada. Estas respuestas se pueden explicar con los comentarios de los estudiantes acerca de la expresividad del agente animado, la mayoría de los estudiantes consideró que las animaciones de *Robby* no expresaban de manera clara sus intenciones. Esto mismo fue expresado por los profesores participantes en el estudio para parametrizar el MCA (ver sección IV), los profesores seleccionaron a *Robby* porque consideran que *Robby* es adecuado para la materia y para la edad de los usuarios del STI, sin embargo, consideran que *Merlín* es más expresivo.

TABLA VIII

RESPUESTAS DE LOS ESTUDIANTES A LAS PREGUNTAS DEL CUESTIONARIO GENERAL.

Preguntas	Opciones de respuesta	Porcentajes de respuesta
Pregunta 1: ¿Los movimientos del agente animado ayudan a mejorar la motivación del estudiante?	Mucho-5	5%
	4	10%
	3	35%
	2	40%
	Nada-1	10%
Pregunta 2: ¿La instrucción/tutoría que se presentó es útil para aprender?	Mucho-5	0%
	4	5%
	3	30%
	2	40%
	Nada-1	25%
Pregunta 3: ¿Te gustó el agente pedagógico animado?	Si	75%
	No	25%
Pregunta 4: ¿Te gustó la instrucción?	Si	70%
	No	30%
Pregunta 5: ¿Cuando estás en clase/tutoría te gusta que el profesor/tutor tome en cuenta tu estado afectivo al momento de darte la clase/tutoría?	Si	100%
	No	0%

En la pregunta 2 se observa que el 40% de los estudiantes considera que las acciones pedagógicas que se presentaron no fueron casi nada útiles para mejorar en el desempeño de los experimentos, mientras que un 25% considera que no fue nada útil. Esto se puede deber a que los estudiantes se quejaron de que el contenido de las explicaciones fue muy matemático, muy poco intuitivo y que hacía falta ejemplos que tuvieran relación con el desarrollo del experimento. Además, algunos estudiantes opinaron que la instrucción fue muy monótona.

Las respuestas a las preguntas 3 y 4 son muy alentadoras, al 75% de los estudiantes les gustó el agente pedagógico animado y al 70% les agradó la instrucción que se les presentó.

Las respuestas a la pregunta 5 comprueban la hipótesis de que el estado afectivo debe considerarse al momento de establecer las acciones que se presentarán a los estudiantes.

Los resultados del estudio de evaluación son motivadores, la percepción de los estudiantes muestra un resultado positivo en términos del estado afectivo y del estado de conocimiento. Sin embargo, estos resultados no son concluyentes ya que están basados en una simulación. La siguiente etapa es terminar la integración del modelo de comportamiento afectivo con el STI y llevar a cabo un estudio controlado de usuario.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Desarrollamos un modelo de comportamiento afectivo para sistemas tutores inteligentes. Uno de los componentes de dicho modelo es el modelo afectivo del estudiante que se basa en el modelo cognitivo de emociones OCC y está representado por medio de una red bayesiana dinámica. El otro componente del MCA es el modelo afectivo del tutor, que selecciona las acciones tutoriales tomando en cuenta el estado afectivo y pedagógico del estudiante; este modelo está representado por medio de una red de decisión dinámica con una medida de utilidad en aprendizaje y en afecto. La parametrización del MCA se basa en los resultados de una investigación en la que participaron profesores con amplia experiencia en pedagogía. Los resultados de dicho estudio ayudaron a establecer las acciones afectivas y pedagógicas así como a establecer los parámetros del modelo.

Realizamos una evaluación del MCA en el dominio de robótica móvil mediante un experimento Mago de Oz. Los resultados, aunque no son concluyentes, son motivadores, ya que muestran un relativamente alto porcentaje de concordancia entre los estados afectivos establecidos por el modelo con los estados afectivos establecidos por los estudiantes. Además, en general, la percepción de los estudiantes es que el tutor mejora su estado afectivo y su estado de conocimiento. El siguiente paso es completar la integración del MCA con el sistema tutor inteligente de robótica móvil y llevar a cabo otro estudio de usuario.

La contribución principal del trabajo es el desarrollo del modelo afectivo del tutor que selecciona las acciones tutoriales tomando en cuenta los estados afectivo y pedagógico del estudiante; así también una contribución es el diseño y la parametrización del modelo con base en las opiniones de un grupo de profesores con experiencia en el dominio y en pedagogía.

REFERENCIAS

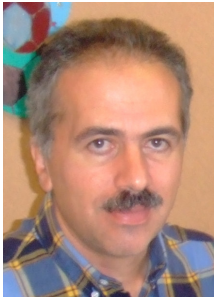
- [1] G. Boeree. (2005, Febrero). *Personality Theories*. Libro electrónico. 1998. Disponible: <http://www.ship.edu/~cgboeree>
- [2] G. Boeree. (2005, Febrero). *Big Five Minitest*, Prueba en línea. Disponible: <http://www.ship.edu/~cgboeree/>
- [3] R.T. Clemen. *Making hard decisions*. Belmont, CA: Duxbury Press, 2000.
- [4] C. Conati, C. y X. Zhou, "Modeling students' emotions from Cognitive Appraisal in Educational Games" en *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, S.A. Cerri, G. Gouardères y F. Paraguaçu, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2002, pp. 944-954.
- [5] P.T. Costa y R.R. McCrae, "Four Ways Five Factors are Basic", *Personality and Individual Differences*, vol. 13(1), pp. 653-665, 1992.
- [6] S. Dow y B. MacIntyre, "New Media Collaboration through Wizard-of Oz Simulations" en *Supplementary Proceedings of Computer-Human Interaction Conference 2007*, 2007.
- [7] J. Faivre, R. Nkambou y C. Frasson, "Toward Empathetic Agents in Tutoring Systems" en *Proceedings of the FLAIRS Conference 2003*, I. Russell y S. Haller, Ed. AAAI press, 2003, pp. 161-165.
- [8] A.C. Graesser, G.T. Jackson y B. McDaniel (2007). "AutoTutor holds conversations with learners that are responsive to their cognitive and emotional states", *Educational Technology*, vol. 47, pp. 19-22, 2007.
- [9] J. Heinström. (2000, Abril) The impact of personality and approaches to learning on information behaviour, *Information Research*, Revista electrónica, Vol. 5, No. 3. Disponible: <http://informationr.net/ir>
- [10] Y. Hernández, J. Noguez, E. Sucar y G. Arroyo-Figueroa, "A Probabilistic Model of Affective Behavior for Intelligent Tutoring Systems", *Proceedings of the fourth Mexican International Conference on Artificial Intelligence*, 3789, A.F. Gelbukh, A. de Albornoz, H. Terashima-Marín, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 1175-1184.
- [11] W. L. Johnson, J. W. Rickel y J. C. Lester, "Animated Pedagogical Agents: Face-to-Face Interaction in Interactive Learning Environment", *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 11, 2000, pp. 47-78.
- [12] Microsoft Corporation (2005 Noviembre). *Microsoft Agent*, Web site, Disponible: <http://www.microsoft.com/msagent/default.asp>
- [13] R.C. Murray y K. VanLehn, "DT Tutor: A Decision-theoretic, Dynamic Approach for Optimal Selection of Tutorial Actions", en *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, G. Gauthier, C. Frasson y K. VanLehn, vol. 1839, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp 153-162.
- [14] A. Ortony, A., G.L. Clore y A. Collins, *The Cognitive Structure of Emotions*, Cambridge University Press, 1988.
- [15] K. Zakharov, A. Mitrovic y L. Johnston, "Towards Emotionally-Intelligent Pedagogical Agents" en *Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, B. Woolf, E. Aïmeur, R. Nkambou y S. Lajoie, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 19-28.



Yasmín Hernández Pérez nació en Tampico, Tam. México. Tiene un doctorado en ciencias computacionales por el ITESM, Cuernavaca, Mor., México, 2008; una maestría en ciencias computacionales por el Cenidet, Cuernavaca, Mor., México, 1997; y es ingeniera en sistemas computacionales por el Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Cd. Madero, Tam., México, 1993.

Es investigadora en la Gerencia de Sistemas Informáticos del Instituto de Investigaciones Eléctricas desde 1998. Ha participado en diversos proyectos para la industria energética de México. Es autora de diversas publicaciones en revistas y en memorias de conferencias.

La Dra. Hernández es miembro de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial. Sus áreas de interés son: sistemas tutores inteligentes, agentes animados y computación afectiva.



L. Enrique Sucar Succar (M'82–SM'09) tiene un doctorado en computación por el Imperial College, Londres, Inglaterra, 1992; una maestría en ingeniería eléctrica por la Universidad de Stanford, California, EUA, 1982; y es ingeniero en electrónica y comunicaciones por ITESM, Monterrey, México, 1980.

Ha sido investigador en el Instituto de Investigaciones Eléctricas y profesor en el ITESM Cuernavaca, es actualmente investigador titular del INAOE, Puebla, México. Ha sido profesor invitado en la Universidad de British Columbia,

Canadá; Imperial College, Londres; e INRIA, Francia. Tiene más de 100 publicaciones en revistas y conferencias, y ha dirigido 14 tesis doctorales.

El Dr. Sucar es miembro del Sistema Nacional de Investigadores y de la Academia Mexicana de Ciencias. Ha sido presidente de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, miembro del Comité Asesor del IJCAI, es miembro de la AAAI y es Editor Asociado de las revistas *Computación y Sistemas*, y *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*. Sus áreas de interés son: razonamiento probabilista, visión computacional, robótica móvil y sistemas tutores inteligentes.



Gustavo Arroyo-Figueroa tiene un doctorado en ciencias computacionales por el ITESM, Cuernavaca, Mor., México, 1999; una maestría en ciencias químicas por el Instituto Tecnológico de Celaya, Celaya, Guanajuato, México; y es ingeniero industrial químico por el Instituto Tecnológico de Celaya, Celaya, Guanajuato, México.

Ha trabajado en el grupo ICA y en la Empresa SIMEX. Ha sido investigador en la Gerencia de Supervisión de Procesos del Instituto de Investigaciones Eléctricas y actualmente se desempeña como Gerente de Sistemas Informáticos del Instituto de Investigaciones Eléctricas. Es autor de más de 100 publicaciones en revistas y conferencias y ha dirigido diversas tesis doctorales.

El Dr. Arroyo-Figueroa pertenece al Sistema Nacional de Investigadores, es miembro de la mesa directiva de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, IEEE Computer Society y CIGRE, y miembro del comité de plantas eléctricas del IASTED. Ha sido editor de memorias de congresos. Sus áreas de interés son: manejo de incertidumbre y sistemas inteligentes.