

Agentes Pedagógicos para la Enseñanza de las Redes Neuronales

Guillermo Choque Aspiazu
gchoque@correo.umsa.bo

Resumen

Multitud de especialistas de la pedagogía y la informática investigan actualmente el desarrollo de los sistemas tutoriales inteligentes como sistemas flexibles, interactivos y adaptativos que utilizan técnicas estadísticas y de inteligencia artificial, como el razonamiento basado en casos, redes bayesianas, teoría de la probabilidad, factores de certidumbre, lógica difusa, etc. para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje asistido por computadora. Los agentes pedagógicos no son más que agentes especializados que “residen” en entornos interactivos de aprendizaje. Estos entornos son utilizados por alumnos para formarse en una materia particular, y el objetivo de los agentes pedagógicos es potenciar ese aprendizaje. Para ello, adaptarán su comportamiento según las necesidades del estudiante y el estado actual del entorno, proporcionando una realimentación continua a sus acciones. Algunos sistemas más sofisticados pueden admitir varios estudiantes simultáneamente en el mismo entorno de aprendizaje, e incluso un número variable de agentes pedagógicos, creando así un escenario de aprendizaje colaborativo. La diferencia más significativa entre los sistemas tutoriales inteligentes y los entornos de aprendizaje que dispone un agente pedagógico es la práctica habitual de encerrar a estos últimos en una representación visual para construir lo que a menudo se conoce como agente pedagógico animado. En este artículo se propone la construcción de agentes pedagógicos para el proceso de enseñanza aprendizaje de la temática asociada a un área de la inteligencia artificial conocida como: redes neuronales artificiales.

Palabras clave: agente pedagógico, modulo pedagógico, modelo estudiante, conocimiento del dominio, red neuronal.

1. INTRODUCCION

Son numerosas las aplicaciones educativas que se apoyan en las capacidades actuales de la multimedia y en diversos recursos gráficos para mostrar los contenidos de diferentes temáticas al estudiante. Este tipo de aplicaciones sigue un esquema pasivo y lineal muy parecido a lo que constituye la lectura de un libro, y aunque la animación multimedia en la presentación de los contenidos pueda sorprender inicialmente, la misma puede llegar a cansar provocando desmotivación y abandono por parte del alumno.

Una gran cantidad de especialistas de la pedagogía y la informática investigan actualmente el desarrollo de los Sistemas Tutoriales Inteligentes (STI) como sistemas flexibles, interactivos y adaptativos que utilizan técnicas estadísticas y de inteligencia artificial, como el razonamiento basado en casos, redes bayesianas, teoría de la probabilidad, factores de certidumbre, lógica difusa, etc. para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje asistido por computadora (Anderson, 1988) (Van Lehn, 1988). Actualmente, cuenta con mucho auge la enseñanza a distancia o teleformación, debido a la escasez de tiempo de que disponen los profesionales y la masificación de los educandos, por lo que sería necesario invertir bastantes recursos para la enseñanza tradicional. La teleformación proporciona un método de enseñanza sin restricciones de tiempo, ni de espacio. Los alumnos pueden aprender por ellos mismos, a su ritmo y a la vez, trabajar y colaborar con otras personas ubicadas en diferentes ámbitos geográficos (ARIADNA, 2007).

En este artículo se propone la construcción de agentes pedagógicos para el proceso de enseñanza aprendizaje de la temática asociada a un área de la inteligencia artificial conocida como: redes neuronales artificiales, ofreciendo a las personas interesadas en esta área, nuevas posibilidades para llevar a cabo el proceso de aprendizaje continuado utilizando técnicas contemporáneas de la inteligencia artificial.

2. SISTEMAS TUTORIALES INTELIGENTES

Los sistemas de Instrucción Asistida por Computadora (CAI) sufren una serie de problemas que les impiden proporcionar una enseñanza similar a la que suministrarían tutores reales (Rodríguez, 2000). Por ejemplo, no poseen “conocimiento real”, simplemente son capaces de mostrar material al usuario, pero no de utilizar las nociones que pretenden enseñar para deducir las dificultades que pueden estar atravesando en un momento dado los alumnos. Éstos, por su parte, tienen disponible únicamente una interacción muy limitada basada, principalmente, en la selección de una respuesta entre varias posibles.

Para intentar superar todos estos problemas, en los años 1970 empiezan a aparecer los que posteriormente se conocerán como sistemas de tutores inteligentes (ITS), que se basan en la inclusión en los sistemas CAI de ciertas ideas importadas del campo de la inteligencia artificial. Esto proporciona mayor flexibilidad en la representación del material y en la reacción ante las respuestas de los estudiantes, que actualmente pueden ser de muy diversos tipos.

Los sistemas CAI centraban su enseñanza en la exposición de un temario, y en la presentación de problemas que eran contestados por el usuario seleccionando una de las respuestas suministradas. Los sistemas ITS suelen estar más cercanos al enfoque cognitivista de la enseñanza, de tal manera que permiten a los estudiantes practicar sus habilidades ejecutando tareas en entornos de aprendizaje interactivos, para los que el sistema es capaz de proporcionar ayuda personalizada. Además, las acciones del usuario son monitorizadas de modo que es posible tener más información sobre los conocimientos del usuario que el conseguido por medio de preguntas en los CAI, lo que permite adaptar el curso, a través de explicaciones y ejercicios, de una manera mucho más adecuada a las necesidades de cada alumno (Ong & Ramachandran, 2000). Según esto, los ITS suelen ser más apropiados para enseñar materias en las que “aprender haciendo” es la mejor forma de instrucción, donde la información es objetiva y existe una clara diferenciación entre respuestas válidas e inválidas (Stottler et al., 2001).

El funcionamiento de estos sistemas se fundamenta en la inclusión de tres tipos de conocimiento: información sobre el dominio que se enseña, modelo del usuario para almacenar información sobre lo que un usuario sabe y lo que no, e información pedagógica (estrategia docente) que, junto al modelo del usuario, se utiliza para decidir los pasos siguientes.

El conocimiento del dominio añadido a los ITS es una de sus partes más importantes pues, sin él, no sabría qué enseñarse. La inclusión de esta información no es en absoluto una tarea sencilla, y suele apoyarse en las técnicas de Inteligencia Artificial usadas para la representación del conocimiento. Debido a que estos sistemas suelen estar enfocados a la resolución de problemas, el conocimiento a almacenar consiste casi siempre en el modo de solucionarlos. Para eso, algunos ITS almacenan reglas, que son utilizadas por un motor de inferencia para la resolución de los problemas, o para la interpretación de los pasos que da el estudiante durante

la realización de un ejercicio, de modo que el sistema es capaz de “comprender” lo que el alumno pretende hacer para ayudarlo cuando se equivoca (Schulze et al., 2000).

Aunque mediante el uso de reglas de producción es posible construir ITS muy poderosos, tienen la gran desventaja de su dificultad. Desarrollar un sistema experto que cubra por completo la materia que se desea enseñar es muy complicado, supone mucho tiempo, es muy caro e, incluso, no siempre es posible.

Como ya se ha dicho, los ITS suelen basar su enseñanza en la resolución de ejercicios en lo que en ocasiones se conoce como paradigma de la enseñanza basada en escenarios (Stottler et al., 2001). Una forma alternativa a las reglas para almacenar el conocimiento en estos sistemas consiste en incluir en cada ejercicio (escenario) su propia solución. Esto es posible para aquellos tutores inteligentes que enseñen tareas procedimentales, de modo que cada escenario almacena aquellos pasos que el alumno tiene que dar para solucionarlo. Gracias a esto, se evita la necesidad de construir un sistema experto que sea capaz de resolver todos los posibles escenarios, aunque obliga a los constructores de escenarios a dar la solución correcta. Naturalmente, el sistema deberá ser capaz de comparar las acciones realizadas por el usuario con las establecidas como solución del ejercicio, para poder evaluarlo (Stottler & Vinkavich, 2000).

Junto con el conocimiento del dominio, los sistemas ITS almacenan información sobre los conocimientos que cada alumno individual posee de la materia que se está enseñando, en lo que se conoce como modelo de usuario. Esto permite adaptar el curso a cada estudiante en función de lo que éste ya ha aprendido.

Hay principalmente dos modos de almacenar el modelo de un usuario: las plantillas (overlay), y las redes Bayesianas. Las primeras son el método más habitual, y consisten en dividir, con una cierta granularidad, el dominio a enseñar en diferentes partes, y marcar cada una como conocida o no. De ese modo, el conocimiento completo del estudiante será un subconjunto del poseído por un supuesto experto en el dominio. El segundo método para el modelado de usuario son las redes bayesianas, que almacenan la probabilidad de que el estudiante sepa cada una de las partes en las que se ha dividido el conocimiento, y que son actualizadas con las acciones del usuario (Beck et al., 1996).

El último tipo de conocimiento añadido a los ITS es la información pedagógica que es, naturalmente, utilizada por el módulo pedagógico. Éste es en realidad el sustituto de las reglas condición-acción poseídas por los CAI, pues su cometido es también adaptar el curso a cada alumno. Sin embargo su modo de proceder es más sofisticado y el ajuste del contenido puede amoldarse mucho más a cada estudiante. Para eso, este módulo hace uso de la información pedagógica, del modelo del usuario y del conocimiento del dominio para decidir el paso siguiente, ya sea presentar nuevo material, o revisar el ya explicado.

El usuario es el responsable de decidir si practicar conceptos fallados recientemente, o practicar conceptos nuevos. En función de eso, el sistema decide qué concepto hay que practicar, busca en la base de escenarios algún ejercicio que ponga a prueba el concepto seleccionado, y lo ejecuta (Stottler & Vinkavich, 2000). Una solución para evitar que sea el usuario quien decida si repasar o aprender nuevos conceptos es organizarlos de menor a mayor dificultad, de modo que el propio módulo pedagógico decida cuando pasar a conceptos más complicados en función de la destreza del alumno con los antiguos (Stottler et al., 2001).

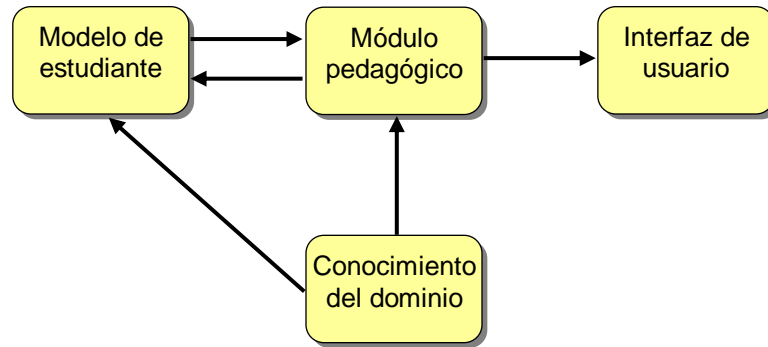


Fig. 1. Arquitectura genérica de un ITS
Fuente: (Stottler et al., 2001)

Según lo descrito, una posible arquitectura de alto nivel de un ITS podría ser la que se observa la Figura 1. No obstante, cada sistema particular tiene su propia organización con sus relaciones particulares, aunque en general todos tienen el módulo pedagógico, el conocimiento del dominio y el modelo del estudiante.

3. AGENTES INTELIGENTES

Los agentes inteligentes son programas software con características peculiares, que los distinguen de los tradicionales programas de computadora. Para reconocerlos, lo más sencillo sería ofrecer una definición genérica del término. Sin embargo, dada la diversidad de áreas de investigación y desarrollo que los han adoptado, no es posible identificarlos con una definición única, más bien, son particularizados con base en ciertas características. Wooldridge (1999), al referirse al concepto de agente, lo describe como algo que se encuentra en un entorno, que toma entradas por medio de sensores en dicho entorno, y que produce como salida acciones que afectan al mismo. En la descripción antes presentada, se puede identificar una primera característica relacionada con el concepto de agente inteligente: el entorno, o mejor dicho, el tipo de entorno sobre el que los sistemas que utilizan el concepto de agente inteligente se desempeñan (Russell & Norvig, 1995). La Figura 2 ilustra el concepto de agente antes descrito.

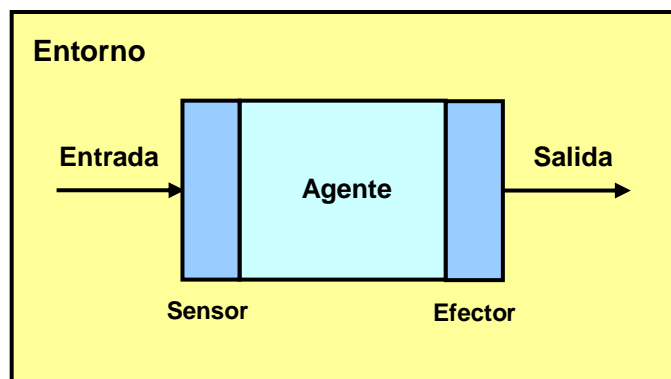


Fig. 2. Representación del concepto de agente
Fuente: (Wooldridge, 1999)

Franklin y Graesser (1996), luego de analizar una serie de definiciones relacionadas con el concepto de agente, de manera natural incorporan una segunda característica, la cual permite distinguirlos de los programas tradicionales. Es la autonomía, y es posible identificarla como la más consensuada entre los investigadores en el área. *“Un agente autónomo es un sistema situado dentro y como parte de un entorno, que siente del entorno y actúa sobre él a lo largo del tiempo, lo anterior, en busca de su propia agenda, así como de los efectos que éste sentirá en un futuro”*.

La autonomía, en este caso, se relaciona con la no dependencia para la realización de algo, y con respecto de alguien. Wooldridge y Jennings (1995), al referirse a este concepto, describen que los agentes operan sin la intervención directa de los humanos u otros agentes, y que tienen alguna clase de control sobre sus acciones (deciden si actúan o no), y estados internos. Al parecer, la capacidad de autonomía por sí sola no basta para considerar a los agentes como entidades inteligentes, si no más bien es su capacidad para responder de manera adecuada ante las situaciones cambiantes en el entorno.

Wooldridge (1999) describe a esta capacidad de flexibilidad como una cualidad poseedora de tres propiedades, las cuales, aparte de la de autonomía, representan características básicas de los agentes inteligentes:

1. *Reactividad*. Mediante la cual los agentes, al percibir su entorno, tienden a reaccionar apropiadamente a los cambios que ocurren en él.
2. *Pro-actividad*. Se fundamenta en la idea de que los agentes no simplemente actúan en respuesta a su entorno, si no que son capaces de exhibir un comportamiento orientado al objetivo, pero de una manera en la cual son ellos los que toman la iniciativa.
3. *Habilidad social*. Se dice que los agentes requieren de comunicarse, e interactuar con otros agentes, para la consecución de sus objetivos, incluso en algunos casos deben ser capaces de negociar, y cooperar con ellos.

Existen otras características, como la movilidad, el carácter, la capacidad de aprendizaje, etc., que pueden ser atribuibles a los agentes inteligentes, sin embargo, son precisamente las cuatro antes descritas las que permiten diferenciarlos de los demás productos software.

4. AGENTES PEDAGOGICOS

Según la metodología constructivista, el papel del profesor es ayudar al estudiante durante el proceso de construir su propia perspectiva interna del mundo exterior. Para eso, la interacción entre ambos, profesor y alumno, es de vital importancia. No sólo es necesario que el profesor exponga la teoría, si no que es necesaria una cierta comunicación entre ambos para que el alumno pueda recibir una realimentación sobre las acciones que realiza (Rodríguez, 2000).

Algunos ITS carecen de buena parte de esa interacción. En cierto modo, muchos heredan el funcionamiento de los sistemas CAI en los que se realiza una exposición, se pone al alumno a prueba, y se decide que hacer para ayudarlo a superar los problemas que ha mostrado. La diferencia con los sistemas anteriores está en el tipo de ejercicios, ahora más sofisticados que simples pruebas, y en el incremento de la cantidad de conocimiento poseída por el sistema. Pero a pesar de estas mejoras, en muchas ocasiones el alumno no puede recibir ayuda mientras realiza los ejercicios. Si el entrenamiento se hubiera realizado con el método tradicional de un profesor particular, casi con seguridad éste habría corregido los problemas que hubieran surgido durante el ejercicio, y explicado al alumno las razones por las que su solución no era correcta.

Los creadores de algunos ITS se dieron cuenta de ello, y el resultado son sistemas que permiten al alumno pedir ayuda en cualquier momento. Cuando el alumno ejecuta cualquier paso para tratar de solucionar el problema actual, el sistema responde automáticamente indicándole si el paso que ha dado es o no correcto mediante pistas visuales basadas en colores. Esta característica es muy apreciada por los alumnos, pues les evita perder tiempo ante equivocaciones. Además, es posible solicitar ayuda al sistema en cualquier momento, pidiéndole consejos sobre los pasos siguientes, o información sobre por qué el último paso realizado es incorrecto. Para una misma situación, los STI deben disponer de varios niveles de ayuda. Quizá, el primero proporcionando información muy general, pero relevante en el contexto actual. El último da ayuda muy concreta, describiendo completamente el siguiente paso a realizar. De este modo cuando los alumnos encuentran dificultades ante un problema, pueden solicitar ayuda y aprender a superarlas. Naturalmente tanta ayuda puede ser un arma de doble filo, pues los estudiantes pueden utilizarla continuamente para resolver los ejercicios sin entender realmente qué es lo que están haciendo (Shelby et al., 2001).

Esta idea de *ayuda continua al estudiante* se ha hecho común en el siguiente paso de la evolución de los sistemas de enseñanza por computadora, denominados agentes pedagógicos. La idea de agente comenzó a hacerse popular a principio de los años 1990, entendiéndose como agente a un sistema autónomo que es capaz de realizar tareas y lograr objetivos en entornos dinámicos y cambiantes. Para eso, han de observar el entorno, “comprenderlo”, y actuar dentro de él para lograr sus objetivos, adaptándose a sus cambios. En ocasiones, los agentes pueden convivir con otros agentes para colaborar entre ellos con la intención de alcanzar los objetivos comunes (Johnson, 1998).

Los agentes pedagógicos no son más que agentes especializados que “residen” en entornos interactivos de aprendizaje. Estos entornos son utilizados por alumnos para formarse en una materia particular, y el objetivo de los agentes pedagógicos es potenciar ese aprendizaje. Para ello, adaptarán su comportamiento según las necesidades del estudiante y el estado actual del entorno, proporcionando una realimentación continua a sus acciones. Sistemas más sofisticados pueden admitir varios estudiantes simultáneamente en el mismo entorno de aprendizaje, e incluso un número variable de agentes pedagógicos, creando así un escenario de aprendizaje colaborativo (Gómez et al., 2002).

Seguramente la diferencia más significativa entre los sistemas ITS y los entornos de aprendizaje que disponen de un agente pedagógico es la práctica habitual de *encerrar* a estos últimos en una representación visual para construir lo que a menudo se conoce como agente pedagógico animado. Esto hace que el alumno “vea” al agente que le está enseñando a través de una figura en movimiento que crea la ilusión de tener vida, lo que a menudo tiene repercusiones positivas en la motivación. En general, se cree que los agentes pedagógicos animados capturan la imaginación de los estudiantes, lo que les hace sentirse atraídos por el entorno de aprendizaje (Lester et al., 1997).

Los agentes pedagógicos heredan todas las dificultades de implementación tanto de los agentes como del software educativo. Si además se utiliza una representación animada para mostrarlo, aparecen problemas nuevos. En primer lugar, los agentes deben mostrar un comportamiento coherente, coordinando su comportamiento con el de otros agentes, y respondiendo de forma lógica a los estímulos de su entorno, incluyendo dentro de éstos a las acciones del usuario. Además, necesitan poseer el conocimiento sobre el dominio que el

estudiante está aprendiendo. En general los agentes comunes tienen cierto grado de inteligencia que les permite desenvolverse en su entorno para conseguir sus objetivos. En el caso de los agentes pedagógicos esa inteligencia no consiste en poder resolver los ejercicios que deben solucionar los estudiantes, sino ser capaz de *explicar* cómo se resuelven, dando consejos y ayuda contextualizada. Esto requiere una profunda comprensión de las relaciones entre cada una de las acciones necesarias para solucionar el problema (Johnson, 1998).

Si el agente pedagógico es animado, hay que conseguir una armonía entre sus explicaciones y su representación para hacerlo “creíble”. Con esto no sólo se hace referencia a conseguir una sincronización entre el movimiento de la boca y las palabras dichas cuando el agente habla, sino a producir un comportamiento natural y apropiado para el papel que juega dentro del entorno virtual (Gómez et al., 2002).

5. MODELO DE AGENTE PEDAGOGICO

Una de las metodologías con un mayor auge en la última década son los modelos de redes neuronales, que en esencia representan una nueva forma de computación inspirada en modelos biológicos. Las redes neuronales son estructuras formales de carácter matemático y estadístico con la propiedad de *aprendizaje*, es decir, la adquisición de conocimientos que en la mayoría de los casos es a partir de ejemplos (Hilera & Martínez, 1995).

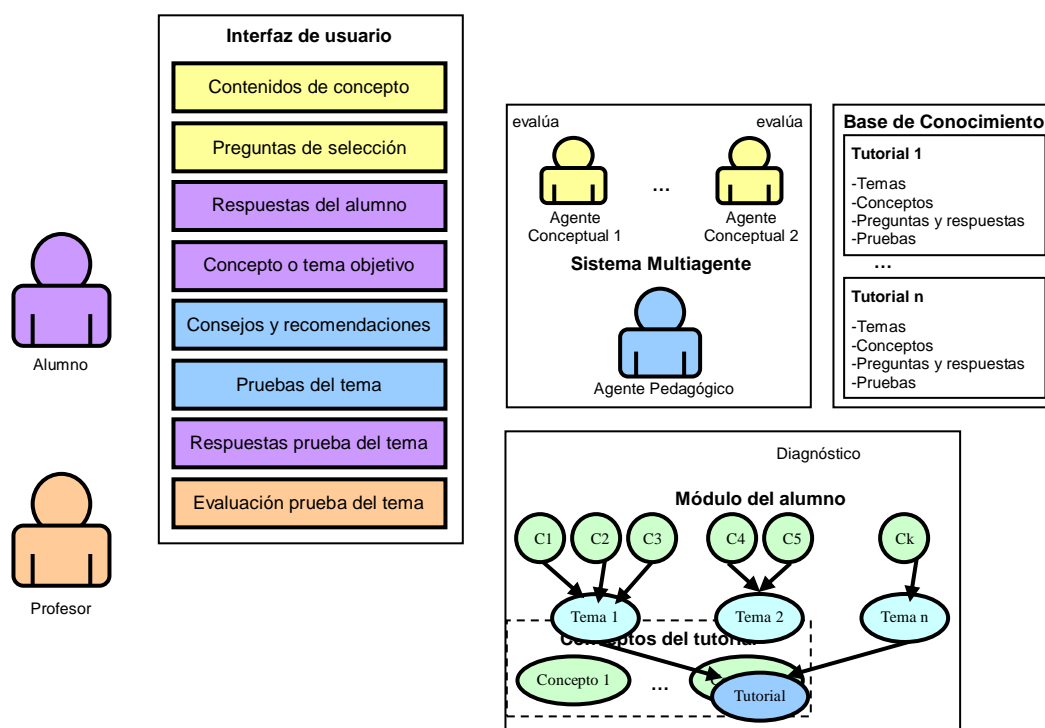


Fig. 3. Modelo de agente pedagógico
Fuente: modificado de (Johnson, 1998)

El punto de partida en el estudio del cerebro podría fijarse en pleno siglo XX con los trabajos de Santiago Ramón y Cajal, uno de los más grandes científicos. Fue él quien desarrolla la idea

de neurona como el componente más pequeño en la estructura del cerebro. En casi todos los textos sobre redes neuronales se establece una analogía entre estos elementos y los componentes básicos de una computadora: las puertas de silicio. En órdenes de velocidad las neuronas son en varios órdenes de magnitud más lentas que las puertas lógicas de silicio. No obstante, el cerebro suple esta menor velocidad con un mayor número de interconexiones. También hay que destacar la eficiencia del cerebro desde un punto de vista energético; a pesar del gran número de operaciones realizadas, el cerebro no necesita de un ventilador como las modernas computadoras.

Si hubiera que destacar alguna característica del cerebro frente a la computadora se destacaría la alta interconexión de sus elementos constituyentes más pequeños: las neuronas. Esta capacidad de operar en paralelo le permite realizar tareas que necesitan una gran cantidad de cálculos y tiempo en potentes computadoras. Un ejemplo cotidiano de esta característica es el reconocimiento de una cara en una fotografía; aunque se haya tomado mal y la persona esté un poco girada, la identificación de dicha persona no puede llevar mucho tiempo. Sin embargo, este giro puede poner en un serio aprieto a una computadora.

En las definiciones revisadas acerca del concepto de red neuronal artificial existe un sesgo aparente hacia el componente de simulación del comportamiento biológico; sin embargo no todas las redes emulan una determinada estructura neuronal. Lo que sí tienen en común estos elementos con el cerebro humano es la distribución de las operaciones a realizar en una serie de elementos básicos que, por analogía con los sistemas biológicos, se conocen como neuronas. Estos elementos están interconectados entre sí mediante una serie de conexiones que, siguiendo con la analogía biológica, se conocen como pesos sinápticos. Estos pesos varían con el tiempo mediante un proceso que se conoce como aprendizaje. Así pues se puede definir el aprendizaje de una red como el proceso por el cual modifica las conexiones entre neuronas, pesos sinápticos, para realizar la tarea deseada (Soria y Blanco, 2004).

El modelo de agente pedagógico propuesto se encuentra acorde a la propuesta descrita en la Fig. 3. el mismo será utilizado para la enseñanza de la temática relacionada con las redes neuronales artificiales de acuerdo a la siguiente estructura:

- Introducción a las redes neuronales.
- Método para la construcción de redes neuronales.
- Aprendizaje en redes neuronales.
- Algoritmo de retropropagación
- Perceptrón simple y multicapa.
- Redes neuronales recurrentes

6. CONCLUSIONES

Los agentes pedagógicos son agentes especializados que “residen” en entornos interactivos de aprendizaje. Estos entornos son utilizados por alumnos para formarse en una materia particular, y el objetivo de los agentes pedagógicos es potenciar ese aprendizaje. Para ello, adaptan su comportamiento según las necesidades del estudiante y el estado actual del entorno, proporcionando una realimentación continua a sus acciones. Algunos sistemas más sofisticados pueden admitir varios estudiantes simultáneamente en el mismo entorno de aprendizaje, e incluso un número variable de agentes pedagógicos, creando así un escenario de

aprendizaje colaborativo. La diferencia más significativa entre los sistemas tutoriales inteligentes y los entornos de aprendizaje que dispone un agente pedagógico es la práctica habitual de encerrar a estos últimos en una representación visual para construir lo que a menudo se conoce como agente pedagógico animado. En este artículo se propone un modelo para la construcción de agentes pedagógicos, los que serán utilizados en el proceso de enseñanza aprendizaje de la temática asociada a un área de la inteligencia artificial conocida como redes neuronales artificiales.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, John R. *The Expert Module*. In Polson, M.C. & Richardson, J.J. (eds.), *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*. Laurence Erlbaum, Hillsdale, N.J. (1988).
- Beck J., Stern M. & Haugsjaa E. (1996): "Applications of AI in Education", *ACM Crossroads*, September 1996.
- Franklin, S. & Graesser, A. (1996) Is it an Agent, or Just a Program? Proc. Of the Third International Workshop on Agents Theories, Architectures, and Languages. Springer-Verlag.
- Gómez Martín M.A., P.P. Gómez Martín & P.A. González Calero (2002): JAVY: Agente pedagógico para enseñar la estructura de la JVM. *Informe técnico del Departamento de Sistemas Informáticos y Programación*. Universidad Complutense de Madrid. Número de registro 129-02. Diciembre, 2002
- Herramienta de Teleformación ARIADNA. Disponible en: http://postgrado.ei.uvigo.es/ariadna/pagina_inicial/info.php [Consulta: marzo 2007]
- Hilera, J.R. y Martínez, V.J. (1995). *Redes neuronales artificiales. Fundamentos, modelos y aplicaciones*. Ra-Ma, Madrid.
- Jensen, F. An Introduction to Bayesian Networks. Springer N.Y. (1996)
- Johnson W. L., "Pedagogical Agents", *invited paper at the International Conference on Computers in Education (ICCE'98)*
- Lester J. C., Converse S. A, Kahler S. E., Barlow S. T, Stone B. A. & Bhogal R. (1997): The persona effect: affective impact of animated pedagogical agents. *In Proc. Human Factors in Computing Systems (CHI'97)*.
- Ong J. & Ramachandran S. (2000): "Intelligent tutoring systems: the what and the how", Learning Circuits, publicado por la American Society of Training and Development. (<http://www.learningcircuits.org/feb2000/ong.html>).
- Rodríguez Artacho M. (2000): "Una Arquitectura Cognitiva para el Diseño de Entornos Telemáticos de Enseñanza y Aprendizaje", *Ph.D. dissertation, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Nacional de Educación a Distancia*, 2000.
- Russell, S. & Norvig, P. (1995) *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall.
- Schulze K.G., Shelby R.H., Treacy D.J. & Wintersgill M.C. (2000) "Andes: A coached learning environment for classical Newtonian physics", *En Proc. of the 11th International Conference on College Teaching and Learning*. Jacksonville, FL.
- Shelby R, Schulze K, Treacy D, Wintersgill M, VanLehn K, Weinstein A. (2001) "An assessment of the Andes tutor", *En Proc. de Physics Education Research Conference, July 2001, Rochester, NY*.
- Soria E. y A. Blanco (2004) *Redes neuronales artificiales*. ACTA. Septiembre de 2004. disponible en: http://www.acta.es/articulos_mf/19023.PDF

- Stottler D., Harmon N. & Michalak P. (2001): "Transitioning an ITS Developed for Schoolhouse Use to the Fleet: TAO ITS, a Case Study", *En Proc. de Industry/Interservice, Training, Simulation & Education Conference (I/ITSEC 2001)*
- Stottler R. & Vinkavich M. (2000): "Tactical Action Officer Intelligent Tutoring System", *En Proc. de Industry/Interservice, Training, Simulation & Education Conference (I/ITSEC 2000)*
- Stottler R. H., Fu D., Ramachandran S. & Jackson T. (2001): "Applying a generic intelligent tutoring system (ITS) authoring tool to specific military domains", *En Proc. de Industry/Interservice, Training, Simulation & Education Conference (I/ITSEC 2001)*
- Van Lehn, K. Student modeling. In Polson, M.C. & Richardson J.J. (eds.), *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*. Laurence Erlbaum, Hillsdale, N.J. (1988) 55-78
- Wooldridge, M. & Jennings, N. (1995) *Intelligent Agents: Theory and Practice*. The knowledge Engineering Review. 10(2). pp 115-152.
- Wooldridge, M. (1999) *Intelligent Agents*. In Weiss G. (ed.) *Multiagents Systems. A modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. MIT Press. pp. 27-77.