

Ambientes inteligentes para apoyar el aprendizaje

Actualmente los estudiantes acceden a través de dispositivos móviles a múltiples recursos educativos, como cursos electrónicos, videos, juegos educativos, infografías o imágenes, entre muchos más. Usando técnicas de inteligencia artificial, los recursos educativos pueden personalizarse de acuerdo con las necesidades del estudiante, haciendo más eficiente el proceso de aprendizaje.

Introducción

¿Es posible que una computadora le pueda enseñar matemáticas o ciencia a un estudiante? Las computadoras se han utilizado en la educación desde hace más de 60 años; el surgimiento de internet y los avances en diversas áreas, como inteligencia artificial, interfaces humano-computadora, reconocimiento de patrones, etc., han permitido la creación y evolución de sistemas computacionales que atienden de forma personalizada a los estudiantes con el fin de lograr un mayor aprendizaje.

Los ambientes inteligentes de aprendizaje son sistemas computacionales que utilizan inteligencia artificial para proveerles actividades de aprendizaje a los usuarios. Estos sistemas guían el aprendizaje de los estudiantes considerando sus conocimientos sobre el tema y personalizan la instrucción de acuerdo con las necesidades de cada estudiante.

Además, en las últimas décadas los sistemas para el aprendizaje han incorporado diversos elementos como son el reconocimiento de emociones y personalidad, la **ludificación** (o gamificación), la realidad aumentada, realidad virtual o realidad extendida, con el fin de proveer ambientes más inmersivos donde los estudiantes se sientan comprometidos con su aprendizaje.

En este artículo se presentan algunos trabajos que fueron desarrollados para apoyar el aprendizaje en las áreas de matemáticas, química y tecnología.

Ludificación

Se refiere a las propiedades de un sistema interactivo que buscan incentivar e involucrar a los usuarios finales mediante el uso y la estructura de estímulos frecuentemente presentes en los videojuegos.



GIFT TREE



Q W E R T Y U I O P [caps] [fn]
A S D F G H J K L [;] ['] [enter]
Z X C V B N M [.] ['] [enter] [space] [fn]

Ambientes de aprendizaje

Un ambiente de aprendizaje (AA) se define como una estación física donde sucede el proceso de enseñanza y aprendizaje. Dado que los estudiantes pueden aprender en una gran diversidad de locaciones, el término se usa como una alternativa para el salón de clases, que tiene connotaciones más limitadas. El objetivo principal de un ambiente de aprendizaje es facilitar las diferentes actividades del aprendizaje. Los ambientes de aprendizaje en la computación se clasifican en diferentes tipos; por ejemplo, un sistema tutor inteligente (STI) actúa como un tutor humano guiando al estudiante durante el proceso de aprendizaje. Estos sistemas utilizan estrategias pedagógicas para ofrecerle ayuda al estudiante cuando comete algún error o no puede responder a una pregunta. Además, cuando un STI es multiplataforma se conoce como ambiente inteligente de aprendizaje (AIA). Cuando un ambiente inteligente de aprendizaje puede acceder a los estados afectivos del estudiante, se llama sistema tutor afectivo (STA) o ambiente de aprendizaje afectivo (AAA) (Zatarain y cols., 2023).

Los ambientes de aprendizaje afectivos, además de contar con modelos que corresponden a las variables cognitivas, también consideran variables afectivas, como la personalidad y las emociones, para agregar un nuevo nivel de complejidad a la personalización de las actividades.

En 2004 Graesser y cols. presentaron uno de los primeros AAA, llamado AutoTutor para el aprendiza-

je de física newtoniana, computación y pensamiento crítico. Éste se comunicaba con el usuario a través de diálogos en lenguaje natural y se centraba en tecnologías de aprendizaje y procesamiento del discurso. AutoTutor apareció con un agente animado que actúa como compañero de diálogo con el alumno. El agente animado ofrece los movimientos de diálogo de AutoTutor con voz, entonación, expresiones faciales y gestos sintetizados.

La **Figura 1** muestra una imagen de la interfaz de AutoTutor donde el agente afectivo explica el proceso de transmisión de mensajes usado en las redes de computadoras.

Computación afectiva en la educación

La computación afectiva es un área de la inteligencia artificial que estudia la influencia de las emociones en la computación y cómo las computadoras, para ser consideradas realmente inteligentes y así interactuar de una manera más natural con las personas, necesitan reconocer, entender e incluso expresar emociones.

En el campo de la educación, la computación afectiva es primordial porque además de los factores cognitivos y de memorización, los factores afectivos como las emociones, los sentimientos o la personalidad también tienen un papel relevante durante el proceso de aprendizaje de un estudiante.

La detección y reconocimiento del estado afectivo de un estudiante se puede realizar por una computadora en forma automática procesando diversas señales como las expresiones faciales (véase la **Figura 2**), voz, texto escrito, postura o señales fisiológicas, entre otras.

En la **Figura 3** se muestra a un usuario usando un ambiente afectivo de aprendizaje llamado JavaSensei (Zatarain-Cabada y cols., 2018), el cual fue desarrollado en el Laboratorio de Computación Afectiva del Instituto Tecnológico de Culiacán. JavaSensei es un ambiente de aprendizaje para programar código en lenguaje Java. Éste le presenta un problema al usuario solicitando que lo resuelva a través de un programa Java. Mientras el usuario resuelve el problema, el sistema JavaSensei utiliza una red neuronal

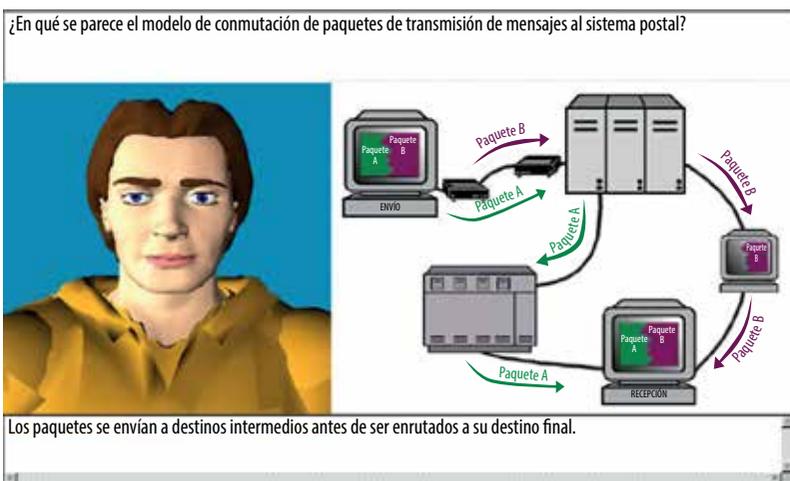


Figura 1. Interfaz de AutoTutor. Tomado de Graesser y cols., 2004.

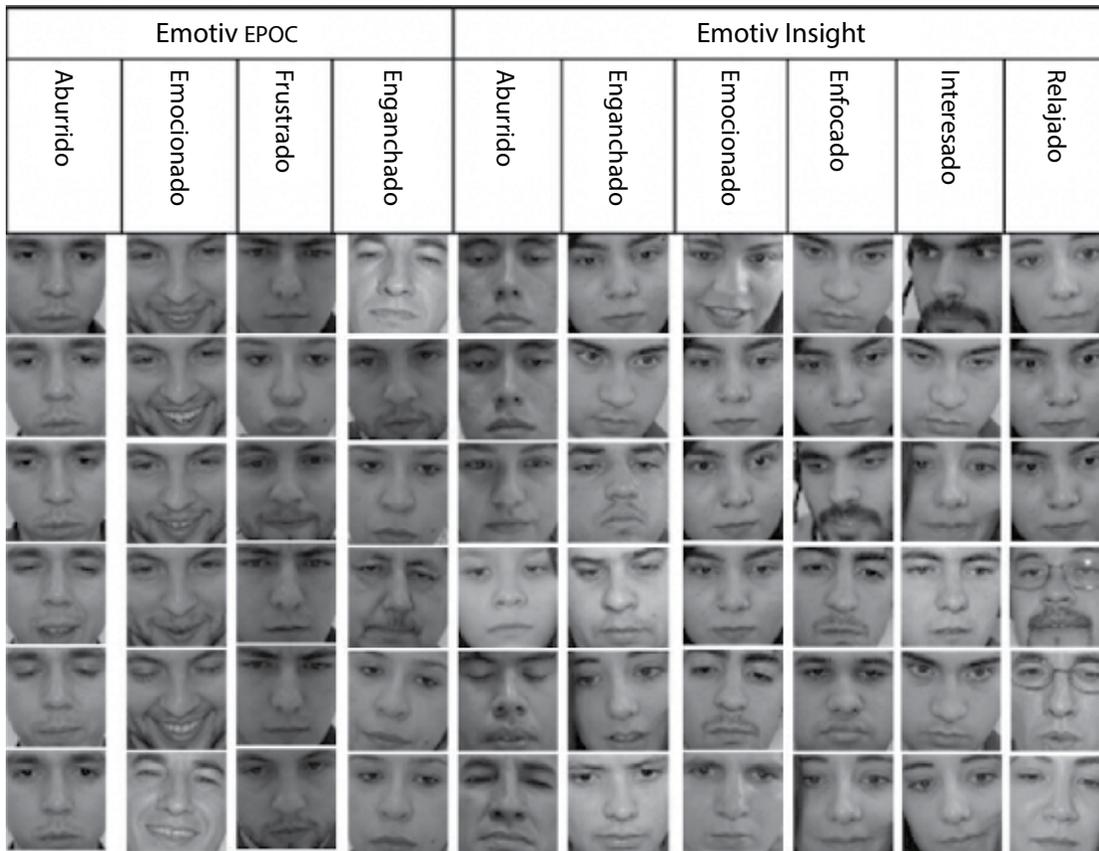


Figura 2. Diferentes expresiones faciales de usuarios durante el aprendizaje. Tomado de González-Hernández y cols., 2018.

artificial para realizar el reconocimiento de afecto usando las señales captadas desde una cámara web, un micrófono y una diadema Emotiv para señales encefalográficas. Con estos tres elementos afectivos (expresión facial, voz y señales del cerebro), además de otros elementos de tipo cognitivo, como los errores que el usuario comete al desarrollar un programa (proceso de codificación), o el tiempo que utiliza para resolver un problema, el ambiente afectivo de aprendizaje JavaSensei toma decisiones y adapta los contenidos del tutor de acuerdo con las necesidades del estudiante, considerando tanto los aspectos emocionales como cognitivos. Para implementar el manejo de la parte cognitiva (errores y tiempo), se utilizó un sistema experto difuso.

La realidad extendida (RX) en la educación

El concepto de RX engloba diferentes tecnologías bajo el espectro de la virtualización; es decir, el ni-

vel en el que lo real se integra con lo virtual. En un extremo de RX se encuentra la realidad aumentada (RA), que agrega información virtual sobre el mundo real; mientras que en el otro extremo está la realidad virtual (RV), donde un entorno virtual sustituye



Figura 3. Usuario de JavaSensei usando una diadema Emotiv. Foto del autor.



Figura 4. Aplicaciones de realidad aumentada y virtual. Imágenes tomadas de Cárdenas, 2023.

completamente al ambiente real. La Figura 4 presenta dos aplicaciones, una de realidad aumentada (izquierda) y otra de realidad virtual (derecha).

Las herramientas de aprendizaje *RX* basadas en la web le ofrecen al usuario final la capacidad de interactuar con el material didáctico a través de tecnologías informáticas espaciales e inmersivas. Las experiencias inmersivas buscan reducir los retos que se presentan durante la enseñanza, permitiendo mejorar la percepción sensorial del usuario, así como de la información que recibe, ya sea a través de técnicas de RA —donde los elementos virtuales se superponen

al mundo real y pueden interactuar dinámicamente en conjunto con un espacio físico—, o recreando un entorno totalmente virtual e inmersivo en la RV —donde los usuarios experimentan aislados de la realidad—.

Actualmente existe interés en integrar las tecnologías emergentes de *RX* en cursos y en material educativo dirigido a la educación de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés). Estas tecnologías presentan un gran potencial para mejorar el aprendizaje con la inclusión de entornos educativos más interactivos e intuitivos en los planes de estudio.

ARGeo: ambiente de aprendizaje para geometría

ARGeo es una aplicación de realidad aumentada para el aprendizaje de temas de geometría, la cual fue desarrollada en el Laboratorio de Tecnologías Inteligentes para el Aprendizaje del Instituto Tecnológico de Culiacán (Zatarain y cols., 2019). ARGeo le ofrece al estudiante un conjunto de ejercicios sobre cálculo de área, volumen y cortes de diversos cuerpos geométricos (véase la Figura 5).



Figura 5. Interfaz principal de ARGeo y vista previa de ejercicios. Tomado de Zatarain y cols., 2019.



En el sistema ARGeo, la cámara es el componente principal del dispositivo móvil que tiene dos importantes funciones: capturar el rostro para detectar emociones y capturar marcadores para desplegar la realidad aumentada en la pantalla. Mientras el estudiante interactúa con la aplicación, ésta captura una imagen del rostro del estudiante y clasifica la emoción detectada mostrándola en pantalla. Para implementar la clasificación o reconocimiento de la emoción se usó una red neuronal artificial que fue previamente entrenada con cientos de rostros en diferentes estados emocionales o afectivos (aburrido, confundido, interesado, etc.).

Para desplegar la realidad aumentada se requiere de diversos elementos: una cámara que capte una imagen del espacio real, un programa que interprete y reconozca la imagen captada y que pueda hacer la fusión con el entorno real, y una pantalla donde se pueda observar la combinación de la realidad con elementos virtuales y los marcadores. Para que se efectúe el reconocimiento de un marcador es necesario colocarlo en el campo de visión de la cámara, de tal manera que la cámara pueda detectar el patrón adecuadamente. En este proceso es importante el motor de realidad aumentada, el cual, al reconocer el marcador, superpone los elementos digitales (p. ej., imágenes, objetos 3D o animaciones) sobre el objeto, para poder asignar algún proceso o realizar alguna operación en específico y así tener el objeto ya aumentado. ARGeo fue probado y evaluado por

estudiantes de nivel secundaria con edades entre 13 y 15 años (Zatarain y cols., 2019).

Ambiente de aprendizaje para fracciones

 *Aprende fracciones*¹ es un ambiente de aprendizaje que adapta su presentación y contenido de acuerdo con el estilo de aprendizaje del estudiante en función de sus rasgos de personalidad. El estilo de aprendizaje se infiere a través de la personalidad que presenta el estudiante al ingresar al sistema. La aplicación, la cual fue desarrollada por el autor de este artículo junto con dos estudiantes de nivel posgrado, utiliza un algoritmo de aprendizaje de máquina previamente entrenado para reconocer la personalidad de un estudiante a través de su voz. El estudiante, al iniciar la aplicación, responde varias preguntas usando el micrófono; esta señal (la voz) es capturada y enviada al algoritmo que calcula los rasgos de personalidad y de acuerdo con éstos determina el mejor estilo de aprendizaje del estudiante con base en el modelo de estilos de aprendizaje de Felder-Silverman (1988). La **Figura 6** muestra las interfaces para las cuatro variantes de estilos de aprendizaje disponibles para despliegue, de acuerdo con la personalidad del estudiante. La aplicación fue probada y evaluada por estudiantes de nivel básico (segundo grado de secun-

¹ Puede accederse a esta aplicación en: <https://fraction-learning-env.web.app/>.

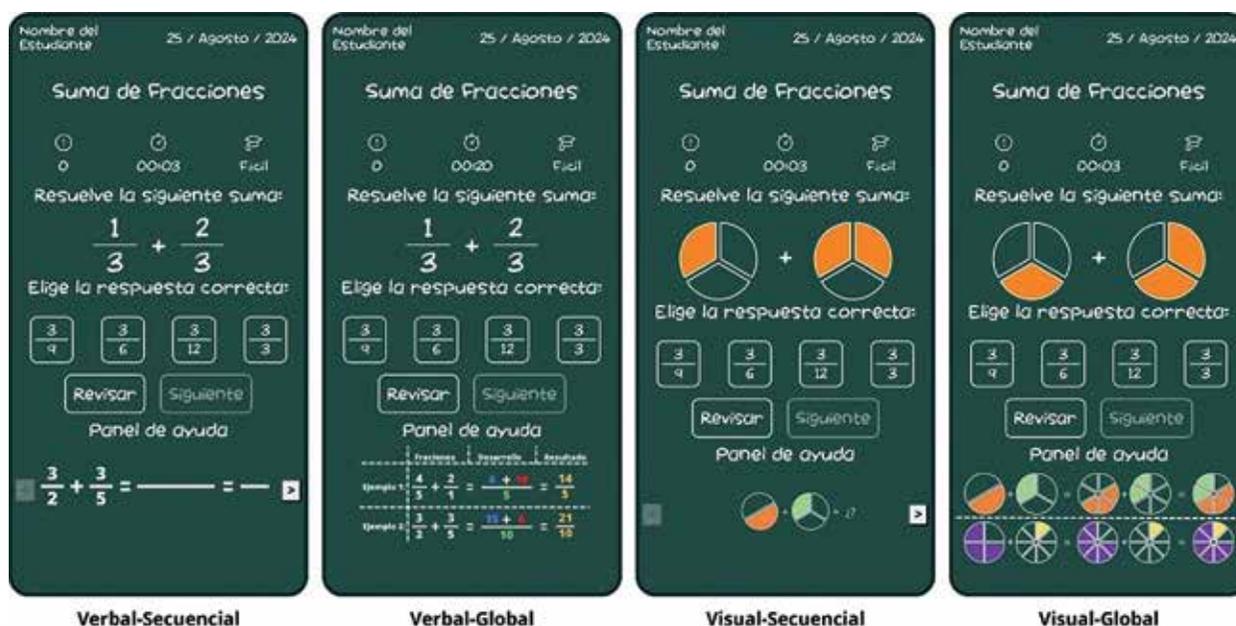


Figura 6. Interfaces para las cuatro variantes de estilos de aprendizaje. Imagen del autor.

daria) (Camacho, 2024), pero también podría ser usada por estudiantes de nivel primaria.

ReAQ: ambiente de aprendizaje de química

ReAQ fue desarrollado en el Instituto Tecnológico de Culiacán por tres investigadores (uno de ellos el autor de este artículo) y un estudiante de doctorado

(Uriarte-Portillo y cols., 2022). Es una aplicación de realidad aumentada basada en marcadores, enfocada en los temas de enlaces y reacciones químicas, que forman parte de la asignatura de Ciencias III, énfasis en Química, de las escuelas secundarias de México.

ReAQ le proporciona al alumno información necesaria para identificar los elementos químicos, reconocer su símbolo atómico, su peso atómico, su masa atómica, visualizar su representación (ya sea su estructura molecular o una figura tridimensional), así como su descripción.

Además, ReAQ contiene una serie de ejercicios que el estudiante debe resolver utilizando los marcadores de realidad aumentada; por ejemplo, para el ejercicio “Enlaces covalentes”, que se presenta en la Figura 7, el estudiante tiene disponibles siete marcadores con los símbolos de hidrógeno, oxígeno, carbono, nitrógeno, azufre, cloro y potasio. El objetivo del ejercicio es colisionar dos marcadores de los siete disponibles y formar cinco enlaces. Cuando el estudiante realiza correctamente la colisión de los marcadores, en la pantalla del dispositivo se despliega información sobre la electronegatividad de cada elemento. Además, aparece una animación tridimensional que representa al compuesto químico del enlace. Finalmente, en ReAQ se almacena infor-



Figura 7. Ejercicio de enlaces covalentes. Tomado de Uriarte-Portillo y cols., 2023.

mación de los estudiantes en cuanto a sus aciertos, errores, ayudas y tiempo de cada ejercicio resuelto para, así, mediante el apoyo de un sistema exper-

to difuso, poder decidir la complejidad del siguiente ejercicio que deberá resolver el estudiante.



■ Conclusiones

■ Los sistemas educativos utilizan la tecnología para motivar a los estudiantes o incrementar su interés por aprender, además de apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje logrando mejorar el rendimiento. Respondiendo a la pregunta planteada en la introducción de este escrito, se ha demostrado que los ambientes de aprendizaje inteligentes y afectivos son muy eficaces en su objetivo de personalizar el aprendizaje del estudiante, al considerar aspectos cognitivos y afectivos y mejorar la motivación.

Ramón Zatarain Cabada

Instituto Tecnológico de Culiacán.

rzatarain@itculiacan.edu.mx

Lecturas recomendadas

- Barrón Estrada, M. L. y R. Zatarain Cabada (2024), “La computación afectiva en la educación”, *Komputer Sapiens*, 16(2):7-11.
- Bricio Barrios, E. E., S. Santiago Arceo Díaz y F. D. Mirelez Delgado (2024), “Incorporación de ChatGPT como herramienta para la enseñanza de Ciencias Básicas”, *Komputer Sapiens*, 16(2):30-35.

Referencias específicas

- Camacho, R. A. (2024), *Análisis de Sentimientos aplicando modelos basados en Transformers*, tesis de maestría en Ciencias de la Computación, México, Instituto Tecnológico de Culiacán.
- Cárdenas, A. (2023), *Interfaces naturales de usuario aplicadas en ambientes de aprendizaje*, tesis de doctorado en Ciencias de la Computación, México, Instituto Tecnológico de Culiacán.
- González-Hernández, F., R. Zatarain-Cabada, M. L. Barrón-Estrada y H. Rodríguez-Rangel (2018), “Recognition of learning-centered emotions using a convolutional neural network”, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 34(5):3325-3336.
- Graesser, A. C., S. Lu, G. T. Jackson, H. H. Mitchell, M. Ventura, A. Olney y M. M. Louwerse (2004), “AutoTutor: A tutor with dialogue in natural language”, *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 36:180-192.

- Felder, R. M. y L. K. Silverman (1988), “Estilos de aprendizaje y enseñanza en la educación en ingeniería”. *Educación en ingeniería*, 78:674-681.

- Zatarain-Cabada, R., M. L. Barrón-Estrada, B. Ibáñez-Espiga y A. Uriarte Portillo (2019), “Cuerpos y planos geométricos usando realidad aumentada y computación afectiva”, *Research in Computing Science*, 147(8):203-213.

- Uriarte-Portillo, A., M. B. Ibáñez, R. Zatarain-Cabada y M. L. Barrón-Estrada (2022), “Higher immersive profiles improve learning outcomes in augmented reality learning environments”, *Information*, 13(5):218.

- Uriarte-Portillo, A., M. B. Ibáñez, R. Zatarain-Cabada y M. L. Barrón-Estrada (2023), “Comparison of using an augmented reality learning tool at home and in a classroom regarding motivation and learning outcomes”, *Multimodal Technologies and Interaction*, 7(3):23.

- Zatarain-Cabada, R., M. L. Barrón-Estrada, F. González-Hernández, R. Oramas-Bustillos y C. A. Reyes-García (2018), “An affective and Web 3.0-based learning environment for a programming language”, *Telematics and Informatics*, 35(3):611-628.

- Zatarain-Cabada, R., H. M. Cárdenas y H. J. Escalante (2023), *Multimodal Affective Computing: Technologies and Applications in Learning Environments*, Alemania, Springer International.