

Tipo de artículo: Artículo de Revisión
Temática: Tecnologías de la información y las telecomunicaciones
Recibido: 21/12/2020 | Aceptado: 27/03/2021

Aprendizaje adaptativo basado en Simuladores de Realidad Virtual

Adaptive learning based on Virtual Reality Simulators

Alieski Véliz Vega^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-7082-9322>

Omar Correa Madrigal¹ <https://orcid.org/0000-0002-1135-685x>

Vlada Kugurakova² <https://orcid.org/0000-0002-1552-4910>

¹Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera San Antonio Km 2 ½ Torrens. Boyeros.
La Habana. Cuba, {[veliz](mailto:veliz@uci.cu), [ocorrea](mailto:ocorrea@uci.cu)}@uci.cu

²Universidad Federal de Kazán, Kremlyovskaya St, 18, Kazán, República de Tartaristán, Rusia, 420008,
vlada.kugurakova@gmail.com

*Autor para la correspondencia. (veliz@uci.cu)

RESUMEN

Entre los sistemas de entrenamiento basados en Realidad Virtual de reciente cobertura en la literatura científica se encuentran los que incorporan aprendizaje adaptativo. El objetivo de este artículo es ofrecer una panorámica sobre propuestas relevantes en términos de aprendizaje adaptativo en sistemas de Realidad Virtual. Se abordan los principales aspectos de adaptación y los componentes más comunes en los enfoques y estrategias de aprendizaje adaptativo basados en Realidad Virtual.

Palabras clave: realidad virtual; aprendizaje adaptativo; simuladores.

ABSTRACT

Among the Virtual Reality-based training systems recently covered in the scientific literature are those that incorporate adaptive learning. This paper aims to offer an overview of relevant proposals in terms of adaptive learning in Virtual Reality systems. Are approached the main aspects of adaptation and the common components in the approaches and strategies of adaptive learning based on Virtual Reality of work selection are summarized.

Keywords: virtual reality; adaptive learning; simulators.

Introducción

El uso de la Realidad Virtual (RV)ⁱ aumenta cada día en diferentes contextos de la sociedad, incluso desde edades tempranas, se emplea con niños para el desarrollo de habilidades en el contexto educativo. El creciente desarrollo de la RV conduce a investigaciones sobre métodos y técnicas para la auto-adaptación de sistemas de entrenamiento para la formación. Con el objetivo de lograr mayores índices de motivación, el contexto educativo ha sido escenario de la introducción de conceptos como la gamificación y el aprendizaje adaptativo en el desarrollo de entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA). El empleo de los EVA se ha convertido en un complemento de gran apoyo a los procesos académicos tanto presenciales como a distancia, siendo más efectivos los que constituyen entornos inmersivos (Comas-González et al., 2017).

Un sistema de aprendizaje adaptativo produce cambios en su entorno ante situaciones específicas y cuando sea necesario. Los sistemas de aprendizaje adaptativo ofrecen herramientas para la formación individualizada

(Osadchy et al., 2020). El aprendizaje adaptativo permite personalizar el aprendizaje de cada alumno utilizando los recursos ofrecidos desde una plataforma, cubriendo el contenido en profundidad de una manera racional y sirviendo como herramienta para el alumno y el profesor. Estos sistemas se apoyan en técnicas de recopilación de datos para aprender de cada alumno y proporcionan una adaptación al contenido que muestran. El procesamiento de la información recopilada de cada alumno permite realizar un seguimiento individual del progreso del alumno y proporciona esta información al profesor para realizar el seguimiento de forma más exhaustiva.

Se reconocen cuatro categorías de entornos de aprendizaje adaptativo: (1) interacción adaptativa; (2) presentación de cursos adaptables; (3) descubrimiento y montaje de contenido, y (4) soporte de colaboración adaptable (Kara & Sevim, 2020; Paramythis & Loidl-Reisinger, 2004). Los sistemas de aprendizaje adaptativo se concentran en diversas áreas de la investigación académica como las teorías de la memoria y la carga cognitiva, los sistemas de tutoría inteligente, sistema adaptativo de hipermedia, entre otros (Chen & Zhang, 2008; Weber, 2012). Entre las categorías más influyentes se encuentran los sistemas basados en contenido, que se basan en interacciones y metadatos generados por la interacción del usuario con el contenido, así como la supervisión del rendimiento.

La inmersión en entornos virtuales de aprendizaje promueve mayor motivación en los alumnos (Bachen, Hernández-Ramos, Raphael, & Waldron, 2016; Chasson et al., 2020; Comas-González et al., 2017). Las tecnologías de RV son la principal base del desarrollo de entornos inmersivos. Estas tecnologías tienen como características comunes “inmersión, percepción e interacción con el entorno” (Hudson, Matson-Barkat, Pallamin, & Jegou, 2019; Mendez et al., 2020). Los entornos inmersivos proporcionan un estímulo multisensorial, lúdico, multimedia e interactivo, y permiten controlar las condiciones de estimulación y repetir acciones como en el mundo real. Investigaciones realizadas en el contexto de entornos inmersivos en 3D muestran una fuerte conexión como tendencia entre la educación virtual y los entornos inmersivos (Comas-González et al., 2017). El aprendizaje inmersivo permite a los estudiantes conectarse a experiencias muy cercanas a las reales dentro de un entorno seguro. A través de estas experiencias, aumenta la motivación y compromiso con la actividad que realiza y deja una impresión en su psiquis que favorece la memorización del contenido. El aprendizaje adaptativo tiene un número importante de aplicaciones potenciales en los

dispositivos inteligentes, el rápido desarrollo de la inteligencia artificial, la RV, y otras tecnologías (Xie, Chu, Hwang, & Wang, 2019). El presente trabajo se centra en los sistemas auto-adaptativos basados en RV.

La RV ha demostrado su efectividad particularmente con el desarrollo de simuladores inmersivos para entrenamientos en una variedad de temáticas, reflejando resultados en áreas como medicina, la rehabilitación, la biotecnología, la industria militar, entre otras (Labovitz & Hubbard, 2020; Pallavicini, Argenton, Toniuzzi, Aceti, & Mantovani, 2016; Siu, Best, Kim, Oleynikov, & Ritter, 2016; Sultanova & Sharaeva, 2019; Vaughan, Gabrys, & Dubey, 2016b). Particularmente en la educación, la atención a la personalización del aprendizaje constituye el reto en el momento de hacer un simulador auto-adaptativo.

Para argumentar la concepción de simuladores auto-adaptativos en el área de la RV se abordan varios trabajos. El objetivo de este artículo es ofrecer una panorámica sobre propuestas relevantes en términos de aprendizaje adaptativo basado Realidad Virtual. El trabajo está dividido en dos partes. La primera aborda los trabajos más relevantes en el estudio y sus principales aportes. La segunda parte aborda los componentes más comunes del aprendizaje adaptativo basado en RV.

Métodos o Metodología Computacional

La presente investigación constituye una revisión de la literatura sobre auto-adaptabilidad en simuladores virtuales. Para la búsqueda de información a incluir en el estudio se utilizaron como fuentes principales Google Scholar para identificar otras fuentes de interés científico con énfasis en las bases de datos electrónicas Science Direct, SpringerLink, IEEE Xplore y ACM Digital Library. La literatura analizada comprende artículos de revistas, eventos, reportes, y tesis de doctorado. Se consideraron principalmente publicaciones comprendidas entre 2015 y 2020 en idiomas inglés y español. Los términos de búsqueda utilizados para encontrar estudios relativos al tema fueron: “aprendizaje adaptativo”, “aprendizaje personalizado”, “realidad virtual”, “simulador”, “self-adaptive learning”, “adaptive learning”, “personalized learning”, “virtual reality”, “simulator”. La estrategia de búsqueda se basó en los términos “aprendizaje adaptativo” y “aprendizaje

personalizado”, con énfasis en los conceptos categorizados en Computer Science Ontology (“CSO - Portal,” n.d.). Se acotaron los términos entre comillas, así mismo, se emplearon los operadores AND y OR para búsquedas avanzadas en consultas como “virtual reality” AND “adaptive learning” OR “personalized learning”. Se seleccionaron los trabajos a partir de las coincidencias, reduciendo el volumen de trabajos considerando la relevancia de los aportes a partir del análisis del contenido. En la etapa final del filtrado se seleccionaron los trabajos con mejor desarrollo de los componentes de auto-adaptabilidad siguiendo el objetivo de la investigación. La (Fig. 1) muestra un resumen del proceso de filtrado de la búsqueda.

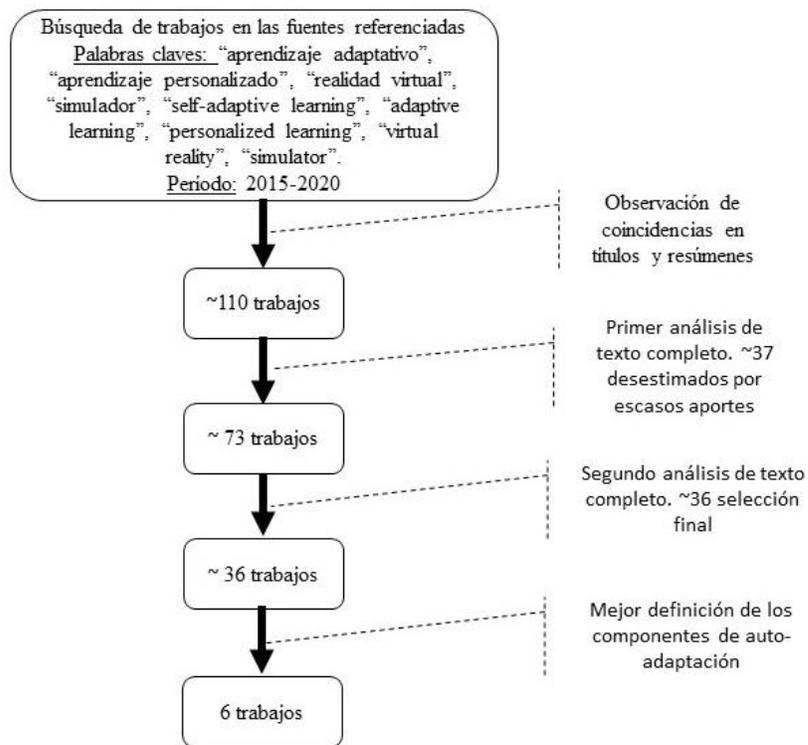


Fig. 1 - Proceso de filtrado y selección de los trabajos.

Resultados y Discusión

Del análisis de los trabajos con mejor definición de los componentes de auto-adaptación se obtuvo el resumen que se muestra en la (Tabla 1), que agrupa los componentes más destacados para la adaptación de SRV, las principales variables a considerar y el aporte en determinadas áreas de aplicación.

Tabla 1 – Resumen de componentes más abordadas en SRV auto-adaptativos en una selección de trabajos.

Variables	Componentes	Área de aplicación	Aporte	Referencia
Reconocimiento de gestos, habilidad de procedimiento y evaluación de conocimiento, dominio y medida de conocimiento, preferencias e intereses de usuario, retroalimentación háptica, ajuste de dificultad, adaptación de interfaces	Siete (7) capas: entrada de Interacción Humano Computador (HCI); reconocimiento; evaluación; recolección de datos; adaptación; salida de datos; salida de dispositivos	Múltiple	Elementos básicos de la simulación de entrenamiento basada en RV	(Vaughan, Gabrys, et al., 2016b)
Medidas de comportamiento de usuario, sistema de reglas, métodos de optimización, retroalimentación, adaptación de contenido, refuerzo de aprendizaje, datos fisiológicos	Medidas de comportamiento; lógica adaptativa; variable adaptativa	Conducción de vehículos	Marco de trabajo	(Zahabi, Park, Razak, & McDonald, 2020)
Objetivos, preferencias, conocimiento, emociones e interacción del usuario	Modelo de usuario; Optimización; detección de emociones; detección de interacción	Educación	Enfoque	(Wojtok, Bab, & Hirsch Martin, 2018)
Comportamiento cognitivo, perceptivo y psicomotor, habilidades y retención	Modelado; comparación; entrenamiento óptico	Formación médica militar	Marco de trabajo	(Siu et al., 2016)
Hábitos y habilidades de usuario, optimización	Preevaluación; optimización; entrenamiento; posevaluación	Conducción de vehículos	Enfoque	(Lang, Wei, Xu, Zhao, & Yu, 2018)
Sistema de tutoría inteligente, habilidades	Modelo detallado de una ciudad; tráfico de inteligencia artificial; motor de conducción física que interactúa con el conductor	Conducción de vehículos	Sistema	(Ropelato, Zünd, Magnenat, Menozzi, & Sumner, 2017)

Los trabajos representados en la (Tabla 1), a excepción de (Siu et al., 2016) presentan características semejantes al resto de los trabajos. Otros trabajos analizados (Agbonifo, Sarumi, & Akinola, 2020; Aftab Alam, Ullah, & Ali, 2017; Gómez-Contreras & Bonilla-Torres, 2020; Heyse, 2019; Kerr, 2016; N. Kim & Lee, 2020; S. Kim, Bera, Best, Chabra, & Manocha, 2016; León Rodríguez & Viña Brito, 2017; Lin & Wang, 2019; Llorens-Largo et al., 2016; Lourdeaux et al., 2019; Morillo Lozano & others, 2016; Ropelato et al., 2017; Sánchez Gil & others, 2020; Santos & Osório, 2004; Senno & Barcha, 2018; Shemshack & Spector, 2020; Urueta & Ogi, 2020; Valencia, Joaqui, & Segura, 2019), aunque no considerados relevantes por los objetivos de esta revisión abordan la conceptualización de adaptabilidad, aprendizaje por refuerzo, retroalimentación y otras características de sistemas auto-adaptativos.

La RV proporciona la capacidad de entrenar a los individuos para tratar con situaciones complejas sumergiéndolos en un entorno virtual. El entrenamiento basado en RV se emplea en múltiples contextos; sin embargo, su eficacia depende de la adaptación en función de las capacidades, necesidades y rendimiento del usuario. Un problema común con los sistemas de RV para la formación es que los usuarios experimentan las mismas rutinas de entrenamiento, ya que estos sistemas no están personalizados para patrones de aprendizaje individuales (Vaughan, Gabrys, & Dubey, 2016a). La principal contribución de los sistemas de aprendizaje adaptativo es la capacidad de ajustar el contenido y medir el progreso de cada estudiante, asegurando que cada estudiante mantenga su propio ritmo de aprendizaje ajustado a sus habilidades.

Un entorno de aprendizaje inmersivo y auto-adaptable debe ser capaz de ajustar los contenidos y medir el avance de cada alumno y adaptarse a sus capacidades físicas y al mismo tiempo, proporcionar retroalimentación rápida para aprovechar al máximo todas las variables implicadas en el aprendizaje. Los sistemas de RV se pueden adaptar a las capacidades físicas y cognoscitivas del alumno. La adaptación física se produce a través de dispositivos hápticos, sensores, controladores, dispositivos exoesqueletos, entre otros accesorios. La adaptación de las capacidades cognoscitivas se lleva a cabo a través del software con ajuste de contenido y dificultad, e interfaz de usuario.

Los elementos básicos de la simulación de entrenamiento basada en RV incluyen dispositivos hápticos, agentes autónomos, tecnologías adaptativas, evaluación y clasificación de retroalimentación, y pantalla montada en la cabeza (HMD). Un estudio realizado en este campo apunta a la evolución de las tecnologías auto-adaptables en el entrenamiento de RV (Vaughan, Gabrys, et al., 2016b). Estos elementos se muestran en la (Fig. 2).

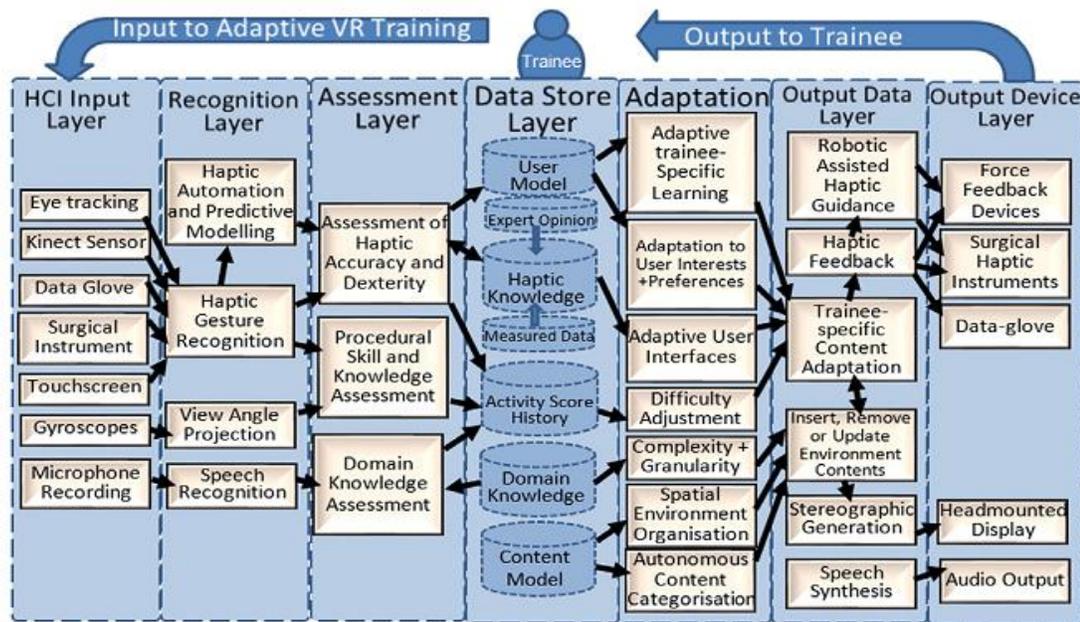


Fig. 2 - Estructura de interacción de componentes de tecnología multimodal dentro del entrenamiento adaptativo basado en RV (Vaughan, Dubey, Wainwright, & Middleton, 2016).

Con la evolución de las tecnologías adaptativas en el campo de la RV, las áreas de aplicación de los simuladores para entrenamiento basados en RV también están aumentando, destacando: el área de la medicina, la educación, el comercio y la industria militar (Vaughan, Gabrys, et al., 2016b). La auto-adaptación de los SRV, así como las plataformas de aprendizaje adaptativo no inmersivas, requieren el procesamiento de los registros de datos de los usuarios. Los SRV auto-adaptativos toman decisiones sobre el siguiente y mejor paso a seguir durante el entrenamiento empleando diferentes métodos centrados en procesamiento de los

registros del usuario. Estos registros proporcionan un historial de resultados, puntuaciones, errores cometidos y otras informaciones sobre el usuario y las actividades que ha realizado (Tabla 1).

El marco de trabajo desarrollado por (Zahabi & Abdul Razak, 2020) considera tres componentes fundamentales para adaptar un sistema de entrenamiento basado en RV: (1) medición del rendimiento del alumno; (2) variable adaptativa; y (3) lógica adaptativa. La primera etapa de este marco recopila medidas de rendimiento a partir de una combinación de mediciones en línea y en tiempo real, incluyendo información sobre el perfil del estudiante (experiencia, edad, estilo de aprendizaje), fisiología (seguimiento de ojos, frecuencia cardíaca, respuesta galvánica de la piel), rendimiento de la tarea (error y tipo) y medidas cinemáticas /cinéticas (rango de movimiento, fuerza). Una representación más detallada de este marco de trabajo se muestra en la (Fig. 3).

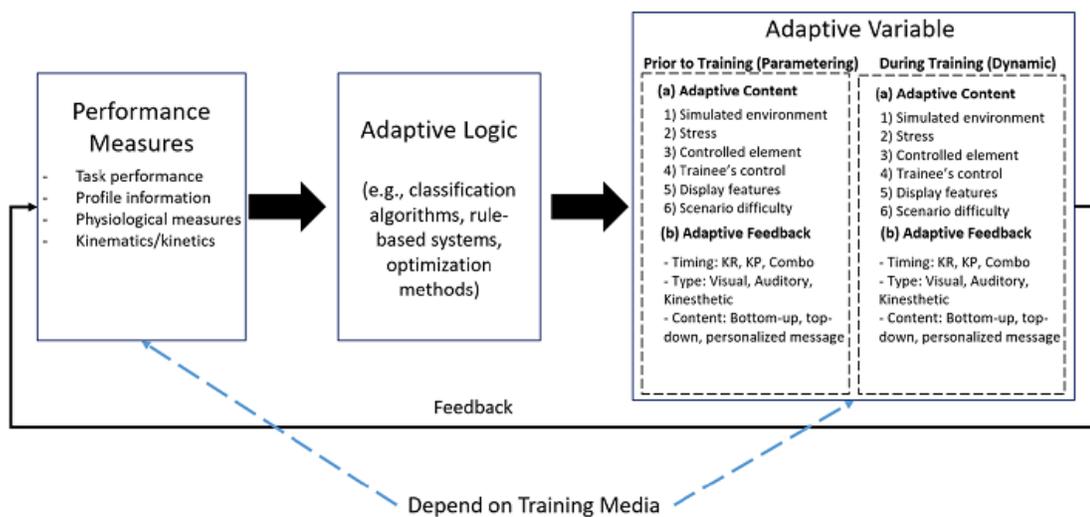


Fig. 3 - Marco de trabajo para adaptación de un sistema de entrenamiento basado en RV (Zahabi & Abdul Razak, 2020).

En (Wojtok, Bab, & Hirsch Martin, 2018), proponen un enfoque de aprendizaje adaptativo en RV compuesto en cuatro componentes: (1) modelo de usuario; (2) detección de emociones; (3) detección de interacciones; y (4) optimización. Este enfoque tiene en cuenta los objetivos, preferencias y conocimientos de cada usuario

individual. Las emociones del usuario se supervisan y se combinan con la interacción. Seguidamente se observa cada parte del nuevo enfoque individualmente y se utilizan, respectivamente, para crear soluciones para abordar cada problema. Finalmente todas las piezas se combinan en un prototipo de trabajo para evaluar el nuevo enfoque.

Otros autores (Siu et al., 2016) han concentrado los estudios del aprendizaje adaptativo basado en entrenamientos de RV en la formación médica de militares, con el objetivo de minimizar errores que puedan dar lugar a mortalidad y morbilidad. El trabajo de (Siu et al., 2016) propone un marco de trabajo para entrenamiento adaptativo concebido en tres niveles (modelado, comparación y entrenamiento óptico). Asociado al marco de trabajo proponen una metodología de modelado con tres etapas: (1) análisis cognitivo de la tarea, para derivar una ontología del conocimiento y las habilidades a medir y entrenar; (2) modelado matemático, para determinar el dominio y la variación específica del individuo en la adquisición y desgaste de la habilidad; y (3) modelado cognitivo, para integrar el modelo específico de desgaste de la habilidad dentro de un modelo más general de comportamiento del estudiante, que puede combinarse con la ontología derivada del análisis de la tarea. Una representación más detallada del diseño de este marco de trabajo se muestra en la (Fig. 4).

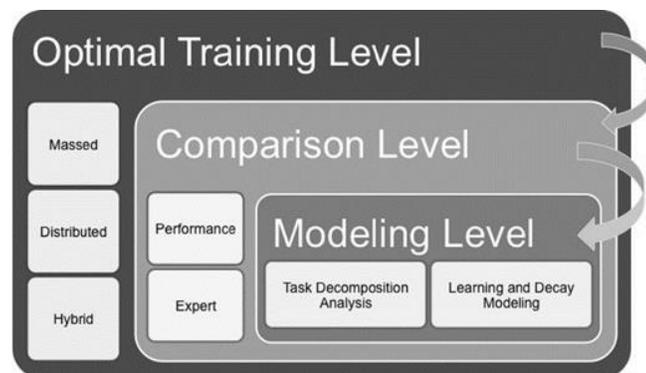


Fig. 4 - Marco de trabajo para entrenamiento adaptativo (Siu et al., 2016).

Componentes para el aprendizaje adaptativo en Realidad Virtual

Características de usuario

Entre los trabajos estudiados predomina la concepción de un modelo de usuario, también denominado “*lerner model*” y variables asociadas como componente fundamental en el proceso de adaptación (A Alam, Ullah, Burqi, & Ali, 2016; Aftab Alam, Ullah, & Ali, 2016; Loch et al., 2019; Martin, Chen, Moore, & Westine, 2020; Osadchyi et al., 2020; Vaughan, Gabrys, et al., 2016b; Wojtok et al., 2018; Zahabi & Abdul Razak, 2020). Entre las principales variables asociadas a este modelo se destacan las medidas de comportamiento, habilidades, conocimientos, perfiles y emociones. En trabajos analizados persiste una relación entre el comportamiento y las emociones del usuario.

Relacionado con el comportamiento, una hipótesis para identificar algunas emociones parte de los movimientos y/o el momento de la ejecución de una acción. Si un usuario permanece un determinado tiempo sin hacer movimientos o tarda demasiado en realizar una acción, podría estar confundido, frustrado o aburrido. Estas emociones pueden impactar en sus habilidades e indicar si el usuario ha adquirido determinado nivel de conocimiento sobre una actividad o si ha logrado una habilidad. Algunos de los trabajos consultados en este contexto hacen referencia a la técnica de Aprendizaje por Refuerzo (AR) (Drugan, 2019; Li, Gomez, Nakamura, & He, 2019; Rovira & Slater, 2017; Sutton & Barto, 2015).

Aprendizaje por Refuerzo

El AR es un método de aprendizaje automático en el que interviene un agente que puede aprender a realizar una tarea de toma de decisiones secuencial al interactuar con un entorno. Entre trabajos analizados se aborda el concepto de aprendizaje por refuerzo en el proceso de adaptación (Bhattacharjee, Paul, Kim, & Karthigaikumar, 2018; Zahabi & Abdul Razak, 2020; Zahabi et al., 2020) . La idea se basa en capturar los aspectos más importantes del problema real que enfrenta el agente de aprendizaje que interactúa con su entorno para lograr un objetivo" (Sutton & Barto, 2015). Dado un estado actual, el agente toma medidas y

observa los cambios en el entorno. Los agentes de aprendizaje por refuerzo tienen objetivos claros y pueden percibir aspectos de su entorno y elegir acciones para influir sobre ellos.

Cuando el AR implica planificación, el agente tiene que abordar la interacción entre la planificación y la selección de acciones en tiempo real, así como la cuestión de cómo se adquieren y mejoran los modelos del medio ambiente. Cuando el AR implica un aprendizaje supervisado, lo hace por razones específicas que determinan qué capacidades son críticas y cuáles no. El AR se utiliza generalmente en Computación Gráfica y RV para controlar el comportamiento de los usuarios, observando sus movimientos, entre otros comportamientos. El AR puede influir en el comportamiento del usuario dentro de un entorno virtual inmersivo, basado en un agente de AR que aprende a guiar al usuario para ayudarlo a realizar una tarea.

Retroalimentación

Entre los trabajos analizados se aborda la retroalimentación como variable asociada al proceso de adaptación (Aftab Alam et al., 2016; Zahabi & Abdul Razak, 2020; Zahabi et al., 2020). La retroalimentación en un sistema con aprendizaje adaptativo debe ocurrir en tiempo real para que el alumno se mantenga más enfocado y pueda autocorregirse fácilmente. Los sistemas adaptativos de forma continua pueden proporcionar retroalimentación personalizada a las preguntas de opción múltiple y de respuesta libre, al instante o casi al instante. Como resultado se logra un ritmo de aprendizaje que conduce a la disminución de errores, la experimentación, el desarrollo iterativo y el aprendizaje más rápido.

Autores como (Zahabi & Abdul Razak, 2020) sustentan que las ventajas del entrenamiento adaptativo también pueden ser explicadas por diferentes teorías, entre ellas la de efecto de inversión de la experiencia (Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003). Esta teoría se centra en la retroalimentación adaptativa y propone que el contenido cambie constantemente a medida que el alumno se familiariza con el contenido (conocida como “*bottom-up*” y “*top-down*”). En base a esta teoría se proporciona una estrategia de retroalimentación adaptable que en principio facilita más detalles de instrucción y a medida que el usuario se familiariza con la tarea, el entrenamiento se hace más general (*bottom-up*). De otro modo, a los usuarios más avanzados se

les proporciona una retroalimentación en la que al principio la instrucción es más general y al cometerse errores se hace más detallado (*top-down*).

Optimización

Por otro lado, los sistemas adaptativos implementan estrategias, algoritmos y métodos de optimización en algunos casos basados en lógica adaptativa, y apoyados en aprendizaje automático y redes neuronales artificiales (Huang, Naghdy, Naghdy, Du, & Todd, 2018; Lang et al., 2018; Ropelato et al., 2017; Zahabi & Abdul Razak, 2020). La optimización en los SRV se produce tanto sobre el contenido como la interfaz de usuario (Wojtok et al., 2018).

El entrenamiento apoyado en simulación por RV tiene mayor ventaja sobre los métodos convencionales principalmente por la reducción de riesgos, menor costo de recursos, y optimización de tiempo. Sin embargo, el entrenamiento en SRV con aprendizaje adaptativo denota ventajas sobre los SRV convencionales y su principal contribución es la capacidad para producir cambios gráficos y de contenidos en correspondencia con un perfil de usuario, lo que conduce a mejores niveles de optimización, menos recursos y mejores tiempos procedurales, de tal forma que el alumno se complementa con el entorno y avanza a su propio ritmo. La capacidad de un SRV auto-adaptativo de reforzar el contenido y ajustar los niveles de dificultades ante tareas complejas produce más permanencia y sensación de presencia del alumno en el entorno simulado.

Aun considerando escasa la bibliografía referente al objetivo de esta investigación, se puede apreciar que el aprendizaje adaptativo basado en RV puede desarrollarse desde diferentes enfoques, mayormente a partir de experiencias del desarrollo de este concepto en Sistemas de Gestión de Aprendizaje (LMS por sus siglas en inglés). A partir de los aportes identificados del análisis realizado en la selección de trabajos, se consideran fundamentales para la auto-adaptabilidad de simuladores de RV los componentes expuestos en el epígrafe anterior.

Esta investigación estuvo limitada por la escasa literatura en español referente a la temática analizada y el predominio de aportes mayormente teóricos, lo que demuestra insuficiente desarrollo de métodos para la auto-

adaptabilidad de simuladores virtuales. La mayoría de los trabajos analizados y resumidos los principales en la (Tabla 1) hacen referencia a variables de un “modelo de usuario” y un “motor de adaptabilidad”, aunque este último no concretamente definido con estos términos.

Conclusiones

El principal objetivo de este artículo fue identificar propuestas relevantes en términos de aprendizaje adaptativo en simuladores virtuales. La revisión realizada de la literatura científica sobre esta temática permitió resumir los componentes sobre aprendizaje adaptativo en simuladores virtuales. A pesar de los avances logrados por otros investigadores en el desarrollo de simuladores auto-adaptativos se considera aún insuficientes los aportes prácticos en esta temática, dado que los trabajos públicos enmarcados en el período de esta revisión son mayormente teóricos y carecen de metodologías o estrategias más detalladas para producir simuladores auto-adaptativos. Por lo tanto se sugiere orientar futuras investigaciones a producir modelos y métodos de adaptación más detallados.

Referencias

- Agbonifo, O. C., Sarumi, O. A., & Akinola, Y. M. (2020). A chemistry laboratory platform enhanced with virtual reality for students’ adaptive learning. *Research in Learning Technology*, 28, 1–9. <https://doi.org/10.25304/rlt.v28.2419>
- Alam, A, Ullah, S., Burqi, M. Z., & Ali, N. (2016). *Sindh University Research Journal (Science Series) Evaluating Students Performance in Adaptive 3D-Virtual Learning Environments Using Fuzzy Logic*.
- Alam, Aftab, Ullah, S., & Ali, N. (2016). A student-friendly framework for adaptive 3D-virtual learning environments. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: Part A*, 53(3A), 255–266.
- Alam, Aftab, Ullah, S., & Ali, N. (2017). The effect of learning-based adaptivity on students’ performance in

- 3d-virtual learning environments. *IEEE Access*, 6, 3400–3407.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783951>
- Bachen, C. M., Hernández-Ramos, P., Raphael, C., & Waldron, A. (2016). How do presence, flow, and character identification affect players' empathy and interest in learning from a serious computer game? *Computers in Human Behavior*, 64, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.06.043>
- Bhattacharjee, D., Paul, A., Kim, J. H., & Karthigaikumar, P. (2018). An immersive learning model using evolutionary learning. *Computers and Electrical Engineering*, 65, 236–249.
<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.08.023>
- Chasson, G. S., Elizabeth Hamilton, C., Luxon, A. M., De Leonardis, A. J., Bates, S., & Jagannathan, N. (2020). Rendering promise: Enhancing motivation for change in hoarding disorder using virtual reality. *Journal of Obsessive-Compulsive and Related Disorders*, 25, 100519.
<https://doi.org/10.1016/j.jocrd.2020.100519>
- Chen, S., & Zhang, J. (2008). The Adaptive Learning System based on Learning Style and Cognitive State. *Proceedings - 2008 International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, KAM 2008*.
<https://doi.org/10.1109/KAM.2008.60>
- Comas-González, Z., Echeverri-Ocampo, I., Zamora-Musa, R., Velez, J., Sarmiento, R., & Orellana, M. (2017). Tendencias recientes de la educación virtual y su fuerte conexión con los entornos inmersivos. *Espacios*.
- CSO - Portal. (n.d.). Retrieved March 22, 2021, from <https://cso.kmi.open.ac.uk/home>
- Drugan, M. M. (2019). Reinforcement learning versus evolutionary computation: A survey on hybrid algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, 44, 228–246.
<https://doi.org/10.1016/j.swevo.2018.03.011>
- Gómez-Contreras, J. L., & Bonilla-Torres, C. A. (2020). *Estrategias pedagógicas apoyadas en tic: propuesta para la educación contable. Pedagogical innovation and ict: a proposal for accounting education*.
- Heyse, J. (2019). Self-adaptive technologies for immersive trainings. *26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2019 - Proceedings*, 1381–1382.
<https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798207>
- Huang, X., Naghdy, F., Naghdy, G., Du, H., & Todd, C. (2018). The Combined Effects of Adaptive Control

- and Virtual Reality on Robot-Assisted Fine Hand Motion Rehabilitation in Chronic Stroke Patients: A Case Study. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 27(1), 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.08.027>
- Hudson, S., Matson-Barkat, S., Pallamin, N., & Jegou, G. (2019). With or without you? Interaction and immersion in a virtual reality experience. *Journal of Business Research*, 100, 459–468. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.10.062>
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, Vol. 38, pp. 23–31. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_4
- Kara, N., & Sevim, N. (2020). Adaptive Learning Systems: Beyond Teaching Machines. *Contemporary Educational Technology*. <https://doi.org/10.30935/cedtech/6095>
- Kerr, P. (2016). Adaptive learning. *Elt Journal*, 70(1), 88–93.
- Kim, N., & Lee, H. (2020). Evaluating visual perception by tracking eye movement in architectural space during virtual reality experiences. *International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies*, 302–308.
- Kim, S., Bera, A., Best, A., Chabra, R., & Manocha, D. (2016). Interactive and adaptive data-driven crowd simulation. *Proceedings - IEEE Virtual Reality, 2016-July*, 29–38. <https://doi.org/10.1109/VR.2016.7504685>
- Labovitz, J., & Hubbard, C. (2020, April 1). The Use of Virtual Reality in Podiatric Medical Education. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, Vol. 37, pp. 409–420. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2019.12.008>
- Lang, Y., Wei, L., Xu, F., Zhao, Y., & Yu, L. F. (2018). Synthesizing Personalized Training Programs for Improving Driving Habits via Virtual Reality. *25th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2018 - Proceedings*, 297–304. <https://doi.org/10.1109/VR.2018.8448290>
- León Rodríguez, G. de la C., & Viña Brito, S. M. (2017). La inteligencia artificial en la educación superior. Oportunidades y amenazas. *INNOVA Research Journal*, 2(8.1), 412–422. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n8.1.2017.399>
- Li, G., Gomez, R., Nakamura, K., & He, B. (2019). Human-Centered Reinforcement Learning: A Survey. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 49(4), 337–349. <https://doi.org/10.1109/THMS.2019.2912447>
- Lin, Y., & Wang, S. (2019). The Study and Application of Adaptive Learning Method Based on Virtual

Reality for Engineering Education. *International Conference on Image and Graphics*, 372–383.

Llorens-Largo, F., Villagrà-Arnedo, C. J., Gallego-Durán, F. J., Satorre-Cuerda, R., Compañ-Rosique, P., & Molina-Carmona, R. (2016). LudifyME: An Adaptive Learning Model Based on Gamification. In *Formative Assessment, Learning Data Analytics and Gamification: In ICT Education* (pp. 245–269). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803637-2.00012-9>

Loch, F., Fahimipirehgalin, M., Czerniak, J. N., Mertens, A., Villani, V., Sabbatini, L., ... Vogel-Heuser, B. (2019). An Adaptive Virtual Training System Based on Universal Design. *IFAC-PapersOnLine*, 51(34), 335–340. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.01.023>

Lourdeaux, D., Afoutni, Z., Ferrer, M. H., Sabouret, N., Demulier, V., Martin, J. C., ... Romain, L. (2019). VICTEAMS: A virtual environment to train medical team leaders to interact with virtual subordinates. *IVA 2019 - Proceedings of the 19th ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents*, 241–243. <https://doi.org/10.1145/3308532.3329418>

Martin, F., Chen, Y., Moore, R. L., & Westine, C. D. (2020). Systematic review of adaptive learning research designs, context, strategies, and technologies from 2009 to 2018. *Educational Technology Research and Development*, 68(4), 1903–1929. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09793-2>

Mendez, K. J. W., Piasecki, R. J., Hudson, K., Renda, S., Mollenkopf, N., Nettles, B. S., & Han, H. R. (2020, October 1). Virtual and augmented reality: Implications for the future of nursing education. *Nurse Education Today*, Vol. 93, p. 104531. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2020.104531>

Morillo Lozano, M. del C., & others. (2016). *Aprendizaje adaptativo*.

Osadchy, V. V., Chemerys, H. Y., Osadcha, K. P., Kruhlyk, V. S., Koniukhov, S. L., & Kiv, A. E. (2020). Conceptual model of learning based on the combined capabilities of augmented and virtual reality technologies with adaptive learning systems. *CEUR Workshop Proceedings*, 2731, 328–340. Retrieved from <http://eprints.mdpu.org.ua/id/eprint/10927/>

Pallavicini, F., Argenton, L., Toniazzi, N., Aceti, L., & Mantovani, F. (2016, December 1). Virtual reality applications for stress management training in the military. *Aerospace Medicine and Human Performance*, Vol. 87, pp. 1021–1030. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4596.2016>

Paramythis, A., & Loidl-Reisinger, S. (2004). Adaptive Learning Environments and e-Learning Standards. *Electronic Journal of E-Learning*.

- Ropelato, S., Zünd, F., Magnenat, S., Menozzi, M., & Sumner, R. W. (2017). Adaptive tutoring on a virtual reality driving simulator. *International Series on Information Systems and Management in Creative EMedia*, 2017(2), 12–17. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000195951>
- Rovira, A., & Slater, M. (2017). Reinforcement Learning as a tool to make people move to a specific location in Immersive Virtual Reality. *International Journal of Human Computer Studies*, 98, 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2016.10.007>
- Sánchez Gil, J., & others. (2020). *Implementación de la realidad virtual en la ingeniería*.
- Santos, C. T. Dos, & Osório, F. S. (2004). AdapTIVE: An intelligent virtual environment and its application in e-commerce. *Proceedings - International Computer Software and Applications Conference*, 1, 468–473. <https://doi.org/10.1109/cmepsac.2004.1342880>
- Senno, B., & Barcha, P. (2018). Customizing user experience with adaptive virtual reality. *International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI*, 1–2. <https://doi.org/10.1145/3180308.3180351>
- Shemshack, A., & Spector, J. M. (2020, December 1). A systematic literature review of personalized learning terms. *Smart Learning Environments*, Vol. 7, pp. 1–20. <https://doi.org/10.1186/s40561-020-00140-9>
- Siu, K. C., Best, B. J., Kim, J. W., Oleynikov, D., & Ritter, F. E. (2016). Adaptive virtual reality training to optimize military medical skills acquisition and retention. *Military Medicine*, 181(5), 214–220. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-15-00164>
- Sultanova, R., & Sharaeva, R. (2019). Virtual reality-based immersive simulation mechanics for invasive surgery training. *Proceedings - International Conference on Developments in ESystems Engineering, DeSE*. <https://doi.org/10.1109/DeSE.2019.00171>
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2015). *Reinforcement Learning: An Introduction Second edition, in progress*.
- Urueta, S. H., & Ogi, T. (2020). A tefl virtual reality system for high-presence distance learning. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1036, 359–368. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29029-0_33
- Valencia, K. A., Joaqui, L. A., & Segura, J. M. (2019). *Realidad Virtual En La Industria: Capacitación Del Personal*.
- Vaughan, N., Dubey, V. N., Wainwright, T. W., & Middleton, R. G. (2016, February 1). A review of virtual reality based training simulators for orthopaedic surgery. *Medical Engineering and Physics*, Vol. 38, pp. 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2015.11.021>

- Vaughan, N., Gabrys, B., & Dubey, V. N. (2016a). An overview of self-adaptive technologies within virtual reality training. *Computer Science Review*. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2016.09.001>
- Vaughan, N., Gabrys, B., & Dubey, V. N. (2016b, November 1). An overview of self-adaptive technologies within virtual reality training. *Computer Science Review*, Vol. 22, pp. 65–87. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2016.09.001>
- Weber, G. (2012). Adaptive Learning Systems. In *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 113–115). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_534
- Winzelberg, A., Weisman, H., Aspen, V., & Taylor, C. B. (2012). *Preventing Body Image Problems: Digitally Delivered Interventions*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384925-0.00106-1>
- Wojtok, A. J., Bab, S., & Hirsch Martin. (2018, June). *Adaptive learning in Virtual Reality: Current state and new approach*. Retrieved from <https://go-study-europe.de/wp-content/uploads/2018/11/IRC2018-proceedings-final-web.pdf>
- Xie, H., Chu, H. C., Hwang, G. J., & Wang, C. C. (2019). Trends and development in technology-enhanced adaptive/personalized learning: A systematic review of journal publications from 2007 to 2017. *Computers and Education*, 140, 103599. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103599>
- Zahabi, M., & Abdul Razak, A. M. (2020). Adaptive virtual reality-based training: a systematic literature review and framework. *Virtual Reality*, 1–28. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00434-w>
- Zahabi, M., Park, J., Razak, A. M. A., & McDonald, A. D. (2020). Adaptive driving simulation-based training: framework, status, and needs. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 21(5), 537–561. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2019.1698673>

Conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

1. Conceptualización: Alieski Véliz Vega, Omar Correa Madrigal

2. Curación de datos: Alieski Véliz Vega, Omar Correa Madrigal
3. Análisis formal: Alieski Véliz Vega, Omar Correa Madrigal
4. Adquisición de fondos: No Aplica
5. Investigación: Alieski Véliz Vega, Omar Correa Madrigal, Vlada Kugurakova
6. Metodología: Alieski Véliz Vega
7. Administración del proyecto: Omar Correa Madrigal
8. Recursos: Alieski Véliz Vega, Omar Correa, Vlada Kugurakova
9. Software: No Aplica
10. Supervisión: Omar Correa Madrigal, Vlada Kugurakova
11. Validación: Alieski Véliz Vega, Omar Correa Madrigal, Vlada Kugurakova
12. Visualización: Alieski Véliz Vega, Omar Correa Madrigal
13. Redacción – Alieski Véliz Vega, Omar Correa Madrigal
14. Redacción – revisión y edición: Alieski Véliz Vega, Omar Correa Madrigal, Vlada Kugurakova

ⁱ Término que se aplica a los entornos simulados por computadora que pueden simular lugares del mundo real para el usuario de tal manera que este suspenda la creencia y la acepte como un entorno real (Winzelberg, Weisman, Aspen, & Taylor, 2012)