

## Perspectiva tecno-pedagógica de la realidad aumentada en la educación

### Techno-pedagogical perspective of augmented reality in education

**<sup>1</sup>Francisco Aguilar-Acevedo, <sup>2</sup>Jesús Alberto Flores-Cruz, <sup>3</sup>Daniel Pacheco-Bautista, <sup>1</sup>Javier Caldera-Miguel**

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería y Actuaría, Universidad Anáhuac Puebla. Calle Orión Norte S/N, Col. La Vista Country Club, C.P. 72810, San Andrés Cholula, Puebla, México. Correo electrónico: facevedo@anahuac.mx; javier.caldera@anahuac.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5248-3230>, <https://orcid.org/0000-0002-7569-4401>

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria, Instituto Politécnico Nacional. Calz. Legaria No. 694, Col. Irrigación, Miguel Hidalgo, C.P. 11500, Ciudad de México, México. Correo electrónico: jaflores@ipn.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7816-4134>

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería en Computación, Universidad del Istmo. Ciudad Universitaria S/N, Barrio Santa Cruz, 4a. Sección, C.P. 70760, Sto. Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México. Correo electrónico: dpachecob@bianni.unistmo.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5840-9798>

\*Autor para correspondencia

Recibido: 19 de enero del 2023

Aceptado: 11 de septiembre del 2023

Publicado: 30 de septiembre del 2023

<https://doi.org/10.33064/iycuaa2023904252>  
e4252

### Resumen

Desde su concepción, la realidad aumentada ha irrumpido como una herramienta muy versátil en diversas áreas del conocimiento, permitiendo combinar al mismo tiempo información real y virtual. En la educación, las investigaciones sobre su uso han abordado tanto la parte tecnológica, como la forma en que ésta se conjuga con los métodos de enseñanza-aprendizaje, en la búsqueda de mejorar el rendimiento académico de los estudiantes. Así, a partir de una revisión de ambas consideraciones, en este artículo se explora la afinidad de esos enfoques en el desarrollo y uso de aplicaciones útiles en el entorno escolar, por una parte, se presentan las tecnologías habitualmente utilizadas para su implementación, y por otra se destacan los beneficios, desafíos, atributos, propósitos y principales usos dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje, haciendo énfasis para ello en la categoría denominada realidad aumentada móvil, por su gran potencial particularmente en la enseñanza de las ciencias a través de simulaciones aumentadas.

**Palabras clave:** realidad aumentada; educación; estrategias de aprendizaje; enseñanza de las ciencias; realidad aumentada móvil; simulaciones aumentadas.

### Abstract

Since its emergence, augmented reality has disrupted as a versatile tool that combines existing and virtual information in real time. In education, research about its use has approached both the technological part and the mode in which it is combined with teaching-learning methods, searching to improve the academic performance of students.

Thus, based on a review of both considerations, this article explores the affinity of these approaches in the development and use of beneficial applications in the school environment, on one side, the technologies commonly used for its implementation are presented, and on the other, the benefits, challenges, attributes, purposes and main uses within the teaching-learning process are highlighted, emphasizing the category called mobile augmented reality, due to its great potential, particularly in science teaching through augmented simulations.

**Keywords:** augmented reality; education; learning strategies; science teaching; mobile augmented reality; augmented simulations.

## **Introducción**

La realidad aumentada es una tecnología que agrega en tiempo real una capa adicional de información virtual a la percepción del mundo real, es decir añade una "vista" en tiempo real de información superpuesta en una "vista" del mundo real (Loijens, Brohm, & Domurath, 2017), lo que proporciona a los usuarios la idea de que los objetos virtuales y reales existen juntos en el mismo espacio, al mismo tiempo (Milgram & Kishino, 1994). Esta capa virtual puede consistir en elementos estáticos 3D, animaciones 3D, simulaciones 3D, y/o contenido multimedia (Afandi, Kustiawan, & Herman, 2019), puede además ser experimentada mediante dispositivos dedicados como son los cascos y gafas inteligentes, o a través de dispositivos de propósito general como las computadoras personales (PC), teléfonos inteligentes o tabletas (Peddie, 2017).

En las últimas décadas la tecnología de realidad aumentada ha sido utilizada en diversos campos del conocimiento, dentro de los que destacan principalmente: el cuidado de la salud, la educación y la industria (Nikolaidis, 2022), donde ha sido utilizada para: *la adquisición y/o perfeccionamiento de habilidades técnicas y no técnicas* como en el caso de la práctica clínica a través del entrenamiento médico/quirúrgico (Viglialoro et al., 2021; Han, Chen, Feng, & Luo, 2022) o el mantenimiento industrial y montaje (Chiang, Shang, & Qiao, 2022); *la mejora de procesos productivos*, como el mantenimiento en la llamada industria 4.0 (Reljić, Milenković, Dudić, Šulc, & Bajči, 2021) o el suministro de experiencias "aumentadas" para el turismo (Liang & Elliot, 2021), el marketing (Chylinski et al., 2020) y el entretenimiento a través de videojuegos (Martó & Gonçalves, 2022); y también como *herramienta de apoyo en procesos de enseñanza-aprendizaje* (Tolba, Elarif, & Fayed, 2022). En este artículo se presenta desde una perspectiva tecno-pedagógica, una revisión de las particularidades en el desarrollo y uso de las aplicaciones de realidad aumentada destinadas a la educación. En él se señalan las principales tecnologías utilizadas, así como

los beneficios y desafíos que presenta la incorporación de la realidad aumentada en el aula, destacándose la variante denominada realidad aumentada móvil, cuyos atributos la han posicionado como una alternativa viable en la educación, siendo en la actualidad la enseñanza de las ciencias un campo de potencial aplicación a través de las simulaciones aumentadas.

### **Herramientas tecnológicas para el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada**

Para aumentar la realidad, se suelen utilizar marcadores en forma de códigos QR (*Quick Response*) o de imágenes preestablecidas, las cuales al ser visualizadas mediante la cámara del dispositivo móvil permiten iniciar los contenidos que se sobrepondrán a ella, identificando un punto en el mundo real y mostrando sobre él contenido virtual basado en el marcador, otras categorías de la realidad aumentada utilizan también una combinación de sensores de posicionamiento global (GPS, *Global Positioning System*), magnetómetros (compás digital), o giroscopios/acelerómetros, que son comunes en dispositivos como teléfonos celulares y tabletas digitales, para determinar la ubicación y/u orientación del dispositivo, y "enriquecer" la imagen original con el contenido virtual. A las aplicaciones de realidad aumentada basadas en marcadores se les conoce como "de visión" o "de reconocimiento de imagen", mientras que a las que hacen uso de sensores se les identifica como de "localización" o "geolocalización". En este sentido, la evolución de la tecnología de realidad aumentada se ha hecho notoria, al pasar de estar conformada por hardware especializado de alto costo, a utilizar dispositivos móviles accesibles en costo, así como navegadores web y gafas inteligentes (Garzón, 2021). Más recientemente, la tecnología disponible ha permitido el uso de la realidad aumentada mediante proyecciones de luz artificial o bien superponiendo vistas virtuales de gran tamaño sobre objetos reales, lo que sin embargo ha sido una opción poco explotada, principalmente por que demanda un alto costo computacional en materia de hardware y software (Arena, Collotta, Pau, & Termine, 2022).

Respecto al software de desarrollo, dos de las más importantes empresas tecnológicas en el mercado, Apple y Google, han refinado sus herramientas ARKit® y ARCore® respectivamente. Mientras ARKit® se presenta como un marco de trabajo (*framework*) en constante crecimiento exclusivo para el desarrollo de aplicaciones para el sistema operativo iOS, ARCore® se destaca por ser gratuito y multiplataforma (Android y iOS). En este sentido, una alternativa muy popular a estas herramientas es el kit de desarrollo de software (SDK, *Software Development Kit*) Vuforia® de la empresa PTC®, que se encuentra disponible también para los sistemas Android y iOS, y la Plataforma Universal de Windows

(UWP, *Universal Windows Platform*), y que destaca por sus posibilidades para incorporar diferentes recursos (Cabero-Almenara, & Llorente-Cejudo, 2019; Bellido, Rejas, Cruzata-Martínez, & Sotomayor, 2022). Estas herramientas proveen el soporte para el desarrollo de aplicaciones bajo entornos como el motor de videojuegos Unity®, XCode®, Android Studio (ARCore y Vuforia), Unreal Engine® (ARCore y ARKit), y Visual Studio (Vuforia®). En la Tabla 1 se presenta la correspondencia entre las herramientas, sistemas operativos y entornos más recorridos, para el desarrollo aplicaciones en realidad aumentada en la actualidad. Es este sentido, Palancı y Turan (2021) señalan que, en el desarrollo de aplicaciones para la enseñanza actualmente resulta muy frecuente recurrir al uso del SDK Vuforia® bajo el entorno Unity®.

Tabla 1. Herramientas de software, sistemas operativos y entornos, para el desarrollo de aplicación en realidad aumentada.

	Sistemas operativos			Entornos				
	Android	iOS	Windows (UWP)	Visual Studio	Android Studio	Unreal Engine	Xcode	Unity
ARKit®	x	✓	x	x	x	✓	✓	✓
ARCore®	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	✓
Vuforia®	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓

Nota: Elaboración propia.

En la Figura 1, se presenta una síntesis de los elementos que deben ser considerados en el uso de la realidad aumentada.



Figura 1. Consideraciones para el uso de la realidad aumentada. Elaboración propia.

## **Beneficios y desafíos de la realidad aumentada en la educación**

Del estado del arte correspondiente se tiene evidencia que, la realidad aumentada ha sido empleada en diferentes niveles educativos, destacando su uso principalmente en la educación superior en los últimos años (Liono, Amanda, Pratiwi, & Gunawan, 2021; Mystakidis, Christopoulos, & Pellas, 2021; Garzón, 2021). Dentro de las áreas de aplicación, destacan las ciencias (Tolba et al., 2022), las matemáticas y la geometría (Palanci & Turan, 2021), la ingeniería (Bellido et al., 2022), las artes y humanidades (Cabero-Almenara, Llorente-Cejudo, & Martínez-Roig, 2022), y la medicina/anatomía (Dhar, Rocks, Samarasinghe, Stephenson, & Smith, 2021). En el caso particular de la enseñanza de las ciencias, estudios como los de Altinpulluk (2019) y Alizkan, Wibowo, Sanjaya, Kurniawan y Prahani (2021), señalan a la biología (Wang, Hu, Hwang, & Yu, 2022), la física (Lai & Cheong, 2022) y la química (Mazzuco, Krassmann, Reategui, & Gomes, 2022) como los campos más explorados.

En lo que respecta a los beneficios de la realidad aumentada como herramienta en la enseñanza-aprendizaje, estudios como los de Herpich, Guarese y Tarouco (2017) y Yilmaz (2021), señalan que al utilizar esta tecnología se tiene una mayor participación de los estudiantes en su proceso de aprendizaje, al facilitarles la visualización de fenómenos que son imperceptibles en escala del mundo real, lo que promueve la asimilación de conceptos abstractos y complejos, y por tanto la comprensión de determinados temas, particularmente cuando no existe la oportunidad de hacer observaciones directas o adquirir experiencia en un laboratorio. Así, Altinpulluk (2019) señala que a través de la realidad aumentada es posible enriquecer los entornos de aprendizaje al diversificar las percepciones de los contenidos, mejorando con ello el rendimiento académico, incrementando la motivación por aprender y la satisfacción del estudiante sobre su proceso de aprendizaje. En este sentido, para Lobo-Quintero, Santoyo-Díaz y Briceño-Pineda (2019), la realidad aumentada permite generar espacios interactivos y de colaboración, que motivan a los estudiantes a aprender, siendo esta capacidad para presentar contenidos interactivos, la que propicia el éxito académico (Tolba et al., 2022). Otros estudios, señalan una disminución de la carga cognitiva en los procesos de enseñanza-aprendizaje que incorporan herramientas de realidad aumentada (Thees et al., 2020; Buchner, Buntins, & Kerres, 2022), mientras otras investigaciones atribuyen la reducción de conceptos erróneos al uso de esta tecnología (Sirakaya & Cakmak, 2018; Phon et al., 2019). Por otra parte, la realidad aumentada también ha sido usada para desarrollar habilidades de orden superior, como las habilidades espaciales (Guntur & Setyaningrum, 2021), la resolución de problema

(Fidan & Tuncel, 2019), el pensamiento crítico (Faridi, Tuli, Mantri, Singh, & Gargrish, 2021), o el pensamiento creativo (Yousef, 2021).

Así, considerando la premisa de mejorar el rendimiento académico de los estudiantes, las investigaciones en el ámbito de la educación, señalan el potencial de la realidad aumentada para la generación de espacios educativos motivadores, colaborativos e interactivos, que apoyan la comprensión de conceptos abstractos y complejos al permitir visualizar fenómenos de difícil observación por su escala (micro/macro), o que no pueden ser reproducidos por la falta de recursos o equipos. En el mismo sentido, la disminución de la carga cognitiva y de conceptos erróneos, y el desarrollo de habilidades de orden superior, también han sido reconocidos como predictores de la mejora en el rendimiento académico al usar la realidad aumentada. Desde esta perspectiva, las implementaciones actuales de realidad aumentada en la educación se han centrado principalmente en la mejora de materiales didácticos y de experiencias de aprendizaje (Lai & Cheong, 2022), abarcando también ámbitos como el de la educación especial (Özkubat, Sanır, Özçakır, & İslim, 2022; Jdaitawi & Kan'an, 2022). Es de señalar que, si bien en los estudios relacionados prevalece una mejora del rendimiento de los estudiantes al usar esta tecnología, en el caso de cursos de ciencias, debido a que es un campo aun poco explorado, esta suele ser marcada como moderada o nula (Kalemkuş & Kalemkuş, 2022).

Aunado a los beneficios atribuidos al uso de la realidad aumentada por otra parte, también existen diversos desafíos para su implementación en las aulas (Garzón, 2021), que han obstaculizado su uso masivo, dentro de los que destacan aspectos como la falta de experiencia en el uso de la tecnología por parte de los alumnos y profesores (Shafeey & Lakulu, 2021), la resistencia de los profesores a su uso, la complejidad tecnológica involucrada en su implementación, los costos de la tecnología y los posibles problemas técnicos que podrían ocurrir al utilizarla (Alzahrani, 2020). Al margen del diseño de aplicaciones para estudiantes con necesidades especiales (accesibilidad) y la reducción de obstáculos tecnológicos para su uso (diseminación), es la "facilidad de uso" (usabilidad) y las implicaciones pedagógicas, dos de los desafíos más señalados ya que, aunque la realidad aumentada ofrece ventajas en entornos educativos, los investigadores han informado de algunos retos para implementar esta tecnología, dentro de los que destacan el hecho de que esta tecnología es "difícil de usar para los estudiantes" (Akçayır & Akçayır, 2017).

Con respecto a la usabilidad, para Cabero-Almenara, Vázquez-Cano y López-Meneses (2018), la factibilidad de la realidad aumentada como recurso didáctico demanda de la incorporación de mecanismos que permitan su adaptación a las necesidades de los estudiantes en el aula. En este sentido, para Bezares, Toledo, Aguilar y Martínez (2020), y Garzón (2021), el diseño y desarrollo de recursos de realidad aumentada requiere de la incorporación de las preferencias de los usuarios (estudiantes-profesores) y el contexto educativo en que sean desarrolladas, con el propósito de hacerlos más fácil de usar, lo que podrá favorecer la accesibilidad cognitiva de los usuarios (Cai, Wang, & Chiang, 2014).

Otro aspecto importante que debe ser considerado al utilizar la tecnología de realidad aumentada, son las consideraciones éticas en torno a las aplicaciones de la realidad aumentada en la educación las cuales incluyen los posibles problemas físicos, psicológicos, morales y de privacidad de datos (Steele, Burleigh, Kroposki, Magabo & Bailey, 2020). Al utilizar la realidad aumentada el estudiante se puede distraer en el mundo físico y sufrir o provocar algún accidente, adicional a lo anterior al usar esta tecnología también puede existir efectos psicológicos como la sobrecarga de información debida a los estímulos multimodales implícitos en ella (Slater et al., 2020), además también existen implicaciones morales que deben ser tomadas en cuenta cuando se diseñan aplicaciones basadas en esta tecnología, considerando que deben evitarse contenidos que involucren temas controvertidos o que podrían resultar violatorios de normas culturales (Christopoulos, Mystakidis, Pellas & Laakso, 2021).

Sobre la perspectiva pedagógica, para Tolba et al. (2022), el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada debe considerar el aspecto pedagógico entre el usuario y la aplicación, permitiendo proporcionar una experiencia de aprendizaje sencilla y fácil de usar. Así, dentro de las estrategias de aprendizaje que han recurrido al uso de la tecnología de realidad aumentada encontradas durante este estudio, destaca el aprendizaje colaborativo, por indagación, el basado en juegos y el experiencial (véase Tabla 2). Sin embargo, aún resulta común que los estudios alrededor del uso de la realidad aumentada se centren en la integración de las aplicaciones a las actividades de enseñanza-aprendizaje sin abordar un enfoque pedagógico o estrategia instruccional en particular (Saltan & Arslan, 2017; Herpich, Nunes, Petri, & Tarouco, 2019; Garzón, 2021).

Tabla 2. Estrategias de aprendizaje más usadas con la tecnología de realidad aumentada.

	Estrategias de aprendizaje						
	Colaborativo	Por indagación	Basado en juegos	Experiencial	Situado	Interactivo	Multimedia
Saltan y Arslan (2017)	✓	✓	✓		✓		
Herpich et al. (2019)	✓	✓		✓			✓
Hanid, Said y Yahaya (2020)	✓		✓	✓		✓	

Elaboración propia.

### La realidad aumentada basada en el uso de dispositivos móviles

En busca de mejorar su eficacia, la realidad aumentada ha sido combinada con tecnologías como los dispositivos móviles, tomando partida de la portabilidad, la interactividad social, la conectividad, y la sensibilidad contextual e individualidad que estas presentan (Herpich et al., 2017). En este sentido, Criollo-C, Guerrero-Arias, Jaramillo-Alcázar y Luján-Mora (2021) señalan que el uso de dispositivos móviles sitúa al alumno en el centro del proceso de enseñanza-aprendizaje, siendo el papel del docente el de un mediador entre el contenido y el conocimiento. Dentro del uso de los dispositivos móviles por parte de los estudiantes, destacan el aprendizaje, la interacción social, el entretenimiento y el trabajo.

Esta amalgama de tecnologías ha dado paso a la llamada realidad aumentada móvil (MAR, *Mobile Augmented Reality*), destacándose los teléfonos inteligentes (*smartphone*) como la plataforma predominante debido a su mínima intrusión, aceptación social y alta portabilidad (Chatzopoulos, Bermejo, Huang, & Hui, 2017), así como a la gran cantidad de estos dispositivos dentro de los entornos escolares, principalmente en el nivel superior.

Particularmente en la educación, se han empleado y/o desarrollado aplicaciones MAR para apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje, siendo estas en su mayoría basadas en *visión* (marcadores QR o imágenes). Ejemplos de ello, son los estudios realizados por Saidin, Halim, y Yahaya (2016) y Faridi et al. (2021), quienes presentan aplicaciones de MAR que buscan apoyar a los estudiantes a visualizar conceptos abstractos como los enlaces químicos o el campo magnético, respectivamente. Dentro de este ámbito, han sido las simulaciones y el juego los esquemas más utilizados para buscar experiencias de aprendizaje más significativas (Nincarean, Ali, Halim, & Rahman, 2013), aludiendo al



aprendizaje basado en simulación (*simulation-based learning*) y al aprendizaje basado en juegos (*game-based learning*). En lo que respecta al aprendizaje basado en juegos, al nivel más simple se puede definir como “el aprendizaje facilitado por el uso de un juego”, y su justificación se basa en la suposición de que “los juegos motivan a los alumnos”, lo cual puede no ser cierto para todos los casos (Whitton, 2012).

En el caso del aprendizaje basado en simulaciones, este hace referencia al uso de simulaciones virtuales para fines de aprendizaje, el cual puede externarse de dos formas: desarrollando una simulación para un fin específico o utilizando alguna que esté disponible. Para el caso donde se utiliza un simulador basado en realidad aumentada, este puede ser empleado para ilustrar contenidos y/o realizar experimentos (Frasson & Blanchard, 2012; Vlachopoulos & Makri, 2017), con la suficiente fidelidad para lograr la participación de los estudiantes en una forma realista y significativa (Contreras, García & Ramírez, 2010), lo que favorece procesos de aprendizaje complejos como los demandados en el estudio de las ciencias (Landriscina, 2013). En este sentido, resulta innegable que el avance tecnológico ha favorecido notablemente el realismo de las simulaciones (credibilidad), lo que ha hecho de tecnologías como la realidad aumentada una alternativa viable para simular eventos u objetos tridimensiones conectados con el mundo real (Afandi et al., 2019), apoyando así los procesos de enseñanza-aprendizaje a través de simulaciones aumentadas sobre la realidad. No obstante, es de mencionar que independientemente de las tecnologías empleadas, la efectividad de las simulaciones requiere de un buen diseño, pruebas y una estructuración adecuada de la experiencia de aprendizaje en sí (National Research Council, 2011), que permita su incorporación en los currículos educativos y por tanto en la práctica docente (Solé-Llussà, Aguilar, & Ibáñez, 2020). Finalmente, es de indicar que existen juegos que no necesariamente se basan en simulaciones y simulaciones que a su vez no son juegos (Frasson & Blanchard, 2012).

A manera de síntesis de todo lo anterior, en la Figura 2 se presentan los elementos identificados en esta revisión, que enmarcan el uso de la realidad aumentada en la educación. Es de destacar que, el propósito reconocido en el esquema corresponde al atributo primario de la realidad aumentada como tecnología, mientras los beneficios identificados están aunados a sus principales usos.

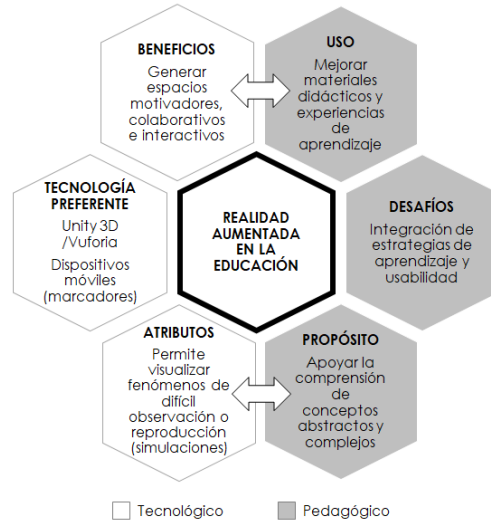


Figura 2. Enfoque tecno-pedagógico de la realidad aumentada en la educación.  
Elaboración propia.

Así, la convergencia de los enfoques tecnológicos pedagógicos abordada en este artículo, busca orientar el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada que puedan ser utilizadas como herramienta de apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje (véase Figura 3). La propuesta destaca la capacidad de la tecnología para visualizar fenómenos de difícil observación o reproducción para apoyar la comprensión de conceptos abstractos y complejos, siendo las simulaciones aumentadas un mecanismo idóneo para este propósito.

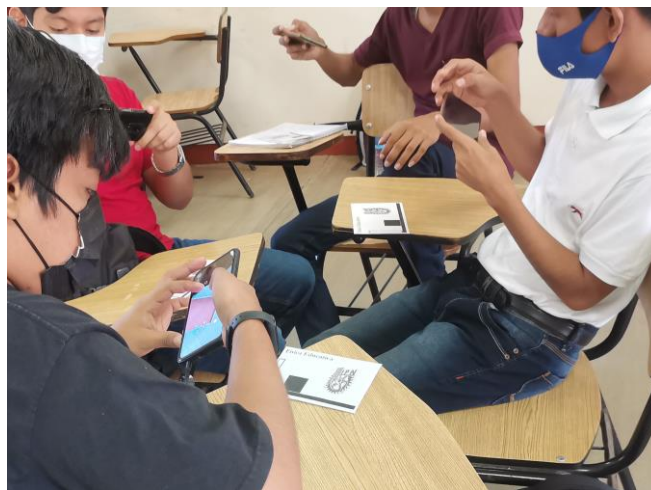


Figura 3. Estudiantes haciendo uso de una aplicación en realidad aumentada.  
Elaboración propia.

## Conclusiones

Durante las últimas décadas cada vez se suman más estudios que destacan los beneficios y atributos de la realidad aumentada (RA) en la enseñanza en diferentes áreas del conocimiento, sin dejar de señalar los desafíos que se presenta al buscar mejorar los materiales didácticos y las experiencias de aprendizaje que puedan incorporarse a la práctica docente, ya que su utilización y desarrollo implica habilidades y conocimientos que no necesariamente tiene los docentes que la pretenden implementar. Por otra parte, se tiene que, para utilizar la realidad aumentada en la educación, es necesario que confluyan la tecnología y la pedagogía mediante estrategias didácticas adecuadas, buscando con ello incrementar los efectos positivos de utilizarla para mejorar el aprendizaje, principalmente en donde los métodos de enseñanza convencionales han tenido dificultades para hacerlo, lo cual, cada vez se incrementa más principalmente por el avance en la tecnología y su convergencia en el entorno escolar.

## Referencias

- Afandi, B., Kustiawan, I., & Herman, N. D. (2019). Exploration of the augmented reality model in learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1375, Article 012082. doi: 10.1088/1742-6596/1375/1/012082
- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11. doi: 10.1016/j.edurev.2016.11.002
- Alizkan, U., Wibowo, F. C., Sanjaya, L., Kurniawan, B. R., & Prahani, B. K. (2021). Trends of Augmented Reality in Science Learning: A Review of the Literature. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, Article 012060. doi: 10.1088/1742-6596/2019/1/012060
- Altinpulluk, H. (2019). Determining the trends of using augmented reality in education between 2006-2016. *Education and Information Technologies*, 24, 1089–1114. doi: 10.1007/s10639-018-9806-3
- Alzahrani, N. M. (2020). Augmented reality: A systematic review of its benefits and challenges in e-learning contexts. *Applied Sciences*, 10(16), Article 5660. doi: 10.3390/app10165660
- Arena, F., Collotta, M., Pau, G., & Termine, F. (2022). An Overview of Augmented Reality. *Computers*, 11(2), Article 28. doi: 10.3390/computers11020028
- Bellido, R. S., Rejas, L. G., Cruzata-Martínez, A., & Sotomayor, M. C. (2022). The Use of Augmented Reality in Latin-American Engineering Education: A Scoping Review.

*EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(1), Article em2064. doi: 10.29333/ejmste/11485

- Bezares, F. G., Toledo, G., Aguilar, F., & Martínez, E. (2020). Aplicación de realidad aumentada centrada en el niño como recurso en un ambiente virtual de aprendizaje. *Apertura*, 12(1), 88–105. doi: 10.32870/Ap.v12n1.1820
- Buchner, J., Buntins, K., & Kerres, M. (2022). The impact of augmented reality on cognitive load and performance: A systematic review. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(1), 285–303. doi: 10.1111/jcal.12617
- Cabero-Almenara, J., & Llorente-Cejudo, C. (2019). Evaluación de software en la producción de objetos en Realidad Aumentada con fines educativos. *Revista de Educación a Distancia*, 19(60), Artículo 1. doi: 10.6018/red/60/01
- Cabero-Almenara, J., Llorente-Cejudo, C., & Martínez-Roig, R. (2022). The Use of Mixed, Augmented and Virtual Reality in History of Art Teaching: A Case Study. *Applied System Innovation*, 5(3), Article 44. doi: 10.3390/asi5030044
- Cabero-Almenara, J., Vázquez-Cano, E., & López-Meneses, E. (2018). Uso de la Realidad Aumentada como Recurso Didáctico en la Enseñanza Universitaria. *Formación Universitaria*, 11(1), 25–34. doi: 10.4067/S0718-50062018000100025
- Cai, S., Wang, X., & Chiang, F.K. (2014). A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, 37, 31–40. doi: 10.1016/j.chb.2014.04.018
- Chatzopoulos, D., Bermejo, C., Huang, Z., & Hui, P. (2017). Mobile Augmented Reality Survey: From Where We Are to Where We Go. *IEEE Access*, 5, 6917–6950. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2698164
- Chiang, F-K., Shang, X., & Qiao, L. (2022). Augmented reality in vocational training: A systematic review of research and applications. *Computers in Human Behavior*, 129, Article 107125. doi: 10.1016/j.chb.2021.107125
- Christopoulos, A., Mystakidis, S., Pellas, N., & Laakso, M. J. (2021). ARLEAN: An augmented reality learning analytics ethical framework. *Computers*, 10(8), Article 92. doi: 10.3390/computers10080092
- Chylinski, M., Heller, J., Hilken, T., Keeling, D. I., Mahr, D., & de Ruyter, K. (2020). Augmented reality marketing: A technology-enabled approach to situated customer experience. *Australasian Marketing Journal*, 28(4), 374–384. doi: 10.1016/j.ausmj.2020.04.004
- Contreras, G. A., García, R., & Ramírez, M. S. (2010). Uso de simuladores como recurso digital para la transferencia de conocimiento. *Apertura*, 2(1), 86–100.

- Criollo-C, S., Guerrero-Arias, A., Jaramillo-Alcázar, Á., & Luján-Mora, S. (2021) Mobile Learning Technologies for Education: Benefits and Pending Issues. *Applied Sciences*, 11(9), Article 4111. doi: <https://doi.org/10.3390/app11094111>
- Dhar, P., Rocks, T., Samarasinghe, R. M., Stephenson, G., & Smith, C. (2021). Augmented reality in medical education: students' experiences and learning outcomes. *Medical Education Online*, 26(1), Article 1953953. doi: 10.1080/10872981.2021.1953953
- Faridi, H., Tuli, N., Mantri, A., Singh, G., & Gargish, S. (2021). A framework utilizing augmented reality to improve critical thinking ability and learning gain of the students in Physics. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 258–273. doi: 10.1002/cae.22342
- Fidan, M., & Tuncel, M. (2019). Integrating augmented reality into problem based learning: The effects on learning achievement and attitude in physics education. *Computers & Education*, 142, Article 103635. doi: 10.1016/j.compedu.2019.103635
- Frasson, C., & Blanchard, E. G. (2012). Simulation-Based Learning. In N.M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 3076–3080). Springer. doi: 10.1007/978-1-4419-1428-6\_129
- Garzón, J. (2021). An Overview of Twenty-Five Years of Augmented Reality in Education. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(7), Article 37. doi: 10.3390/mti507003
- Guntur, M. I. S., & Setyaningrum, W. (2021). The Effectiveness of Augmented Reality in Learning Vector to Improve Students' Spatial and Problem-Solving Skills. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 15(5), 159–173. doi: 10.3991/ijim.v15i05.19037
- Han, X., Chen, Y., Feng, Q., & Luo, H. (2022). Augmented Reality in Professional Training: A Review of the Literature from 2001 to 2020. *Applied Sciences*, 12(3), Article 1024. doi: 10.3390/app12031024
- Hanid, M. F. A., Said, M. N. H. M., & Yahaya, N. (2020). Learning Strategies Using Augmented Reality Technology in Education: Meta-Analysis. *Universal Journal of Educational Research*, 8(5A), 51–56. doi: 10.13189/ujer.2020.081908
- Herpich, F., Nunes, F. B., Petri, G., & Tarouco, L. M. R. (2019). How Mobile Augmented Reality Is Applied in Education? A Systematic Literature Review. *Creative Education*, 10(7), 1589–1627. doi: 10.4236/ce.2019.107115

- Herpich, F., Guarese, R. L. M., & Tarouco, L. M. R. (2017). A Comparative Analysis of Augmented Reality Frameworks Aimed at the Development of Educational Applications. *Creative Education*, 8(9), 1433–1451. doi: 10.4236/ce.2017.89101
- Jdaitawi, M. T., & Kan'an, A. F. (2022). A Decade of Research on the Effectiveness of Augmented Reality on Students with Special Disability in Higher Education. *Contemporary Educational Technology*, 14(1), Article ep332. doi: 10.30935/cedtech/11369
- Kalemkuş, J., & Kalemkuş, F. (2022). Effect of the use of augmented reality applications on academic achievement of student in science education: meta analysis review. Advance online publication. doi: 10.1080/10494820.2022.2027458
- Lai, J. W. & Cheong, K. H. (2022). Educational Opportunities and Challenges in Augmented Reality: Featuring Implementations in Physics Education. *IEEE Access*, 10, 43143–43158. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3166478
- Liang, L. J., & Elliot, S. (2021). A systematic review of augmented reality tourism research: What is now and what is next?. *Tourism and Hospitality Research*, 21(1), 15–30. doi: 10.1177/1467358420941913
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and learning: A model-centered approach*. Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-1-4614-1954-9
- Liono, R. A., Amanda, N., Pratiwi, A., & Gunawan, A. A. S., (2021). A Systematic Literature Review: Learning with Visual by The Help of Augmented Reality Helps Students Learn Better. *Procedia Computer Science*, 179, 144–152. doi: 10.1016/j.procs.2020.12.019
- Lobo-Quintero, R. A., Santoyo-Díaz, J. S., & Briceño-Pineda, W. (2019). EducAR: uso de la realidad aumentada para el aprendizaje de ciencias básicas en ambientes educativos y colaborativos. *Revista Educación en Ingeniería*, 14(27), 65–71. Recuperado de <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/930>
- Loijens, L.W.S., Brohm, D., & Domurath, N. (2017). What is augmented reality. In L. W. S. Loijens (Ed.), *Augmented reality for food marketers and consumers* (pp. 13–28). Wageningen Academic Publishers. doi: 10.3920/978-90-8686-842-1\_1
- Marto, A., & Gonçalves, A. (2022). Augmented Reality Games and Presence: A Systematic Review. *Journal of Imaging*, 8(4), Article 91. doi: 10.3390/jimaging8040091
- Mazuco, A., Krassmann, A. L., Reategui, E., & Gomes, R. S. (2022). A systematic review of augmented reality in chemistry education. *Review of Education*, 10(1), Article e3325. doi: 10.1002/rev3.3325

- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D(12), 1321–1329.
- Mystakidis, S., Christopoulos, A., & Pellas, N. (2021). A systematic mapping review of augmented reality applications to support STEM learning in higher education. *Education and Information Technologies*, 27, 1883–1927. doi: 10.1007/s10639-021-10682-1
- National Research Council (2011). *Learning Science Through Computer Games and Simulations*. The National Academies Press. Retrieved from <https://doi.org/10.17226/13078>
- Nikolaidis, A. (2022). What Is Significant in Modern Augmented Reality: A Systematic Analysis of Existing Reviews. *Journal of Imaging*, 8(5), Article 145. doi: 10.3390/jimaging8050145
- Nincarean, D., Ali, M. B., Halim, N. D. A., & Rahman, H. A. (2013). Mobile Augmented Reality: The Potential for Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 103, 657–664. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.10.385
- Özkubat, U., Sanır, H., Özçakır, B., & İslim, Ö. F. (2022). Teaching Mathematics, Science and Reading Skills to Students with Special Needs: A Review of Augmented Reality Studies. *Journal of Learning and Teaching in Digital Age*, 7(2), 141–150. doi: 10.53850/joltida.1001800
- Palancı, A., & Turan, Z. (2021). How Does the Use of the Augmented Reality Technology in Mathematics Education Affect Learning Processes?: A Systematic Review. *International Journal of Curriculum and Instructional Studies*, 11(1), 89–110. doi: 10.31704/ijocis.2021.005
- Peddie, J. (2017). *Augmented reality: where we will all live*. Springer. doi: 10.1007/978-3-319-54502-8
- Phon, D. N. E., Abidin, A. F. Z., Razak, M. F. A., Kasim, S., Basori, A. H., & Sutikno, T. (2019). Augmented reality: effect on conceptual change of scientific. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 8(4), 1537–1544. doi: 10.11591/eei.v8i4.1625
- Reljić, V., Milenković, I., Dudić, S., Šulc, J., & Bajči, B. (2021). Augmented Reality Applications in Industry 4.0 Environment. *Applied Sciences*, 11(12), Article 5592. doi: 10.3390/app11125592
- Saidin, N. F., Halim, N. D. A., & Yahaya, N. (2016). Designing Mobile Augmented Reality (MAR) for Learning Chemical Bonds. In S. Abidin, R. Legino, H. Noor, V. Vermol, R. Anwar, & M. Kamaruzaman (Eds.), *Proceedings of the 2nd International Colloquium*

of Art and Design Education Research (pp. 367-377). Springer. doi: 10.1007/978-981-10-0237-3\_37

- Saltan, F., & Arslan, Ö. (2017). The use of augmented reality in formal education: A scoping review. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 13(2), 503–520. doi: 10.12973/eurasia.2017.00628a
- Shafeey, G. A. A., & Lakulu, M. M. B. (2021). Challenges analysis for using augmented reality in education: A review. *International Journal of Science and Research*, 10(3), 466–471. doi: 10.21275/SR21306183154
- Sirakaya, M., & Cakmak, E. K. (2018). The Effect of Augmented Reality Use on Achievement, Misconception and Course Engagement. *Contemporary Educational Technology*, 9(3), 297–314. doi: 10.30935/cet.444119
- Slater, M., Gonzalez-Liencre, C., Haggard, P., Vinkers, C., Gregory-Clarke, R., Jelley, S., Watson, Z., Breen, G., Schwarz, R., Steptoe, W., Szostak, D., Halan, S., Fox, D., & Silver, J. (2020). The ethics of realism in virtual and augmented reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 1, Article 1. doi: 10.3389/frvir.2020.00001
- Solé-Llussà, A., Aguilar, D., & Ibáñez, M. (2020). El rol del maestro en indagaciones escolares mediante simulaciones. *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (74), 221–223. doi: 10.21556/edutec.2020.74.1803
- Steele, P., Burleigh, C., Kroposki, M., Magabo, M., & Bailey, L. (2020). Ethical considerations in designing virtual and augmented reality products—Virtual and augmented reality design with students in mind: Designers' perceptions. *Journal of Educational Technology Systems*, 49(2), 219–238. doi: 10.1177/0047239520933858
- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P., & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108, Article 106316. doi: 10.1016/j.chb.2020.106316
- Tolba, R. M., Elarif, T., & Fayed, Z. T. (2022). Augmented reality in technology-enhanced learning: systematic review 2011-2021. *International Journal of Intelligent Computing and Information Sciences*, 22(1), 44–59. doi: 10.21608/ijicis.2022.97513.1121
- Vigliani, R. M., Condino, S., Turini, G., Carbone, M., Ferrari, V., & Gesi, M. (2021). Augmented Reality, Mixed Reality, and Hybrid Approach in Healthcare Simulation: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 11(5), Article 2338. doi: 10.3390/app11052338



- Vlachopoulos, D., & Makri, A. (2017). The effect of games and simulations on higher education: a systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 14(22), 1–33. doi: 10.1186/s41239-017-0062-1
- Wang, X.-M., Hu, Q.-N., Hwang, G.-J., & Yu, X.-H. (2022). Learning with digital technology-facilitated empathy: an augmented reality approach to enhancing students' flow experience, motivation, and achievement in a biology program. *Interactive Learning Environments*. Advance online publication. doi: 10.1080/10494820.2022.2057549
- Whitton, N. (2012). Games-Based Learning. In N.M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 1337-1340). Springer. doi: 10.1007/978-1-4419-1428-6\_437
- Yilmaz, O. (2021). Augmented Reality in Science Education: An Application in Higher Education. *Shanlax International Journal of Education*, 9(3), 136–148. doi: 10.34293/education.v9i3.3907
- Yousef, A. M. F. (2021). Augmented reality assisted learning achievement, motivation, and creativity for children of low-grade in primary school. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(4), 966–977. doi: 10.1111/jcal.12536