

Intervención de la Tecnología de Realidad Aumentada en la Educación: Una Revisión Sistemática de la Literatura

Augmented Reality Technology Intervention in Education: A Systematic Review of the Literature

Sosa Jiménez, E.J.¹, López Martínez, J.L.² Aguilar Vera, R.A.¹

¹ Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas, Cuerpo Académico de Tecnologías para la Formación en Ingeniería de Software, Anillo Periférico Norte, Tablaje Cat. 13615, Colonia Chuburná Hidalgo Inn,

² Universidad Autónoma de Yucatán, Unidad Multidisciplinaria Tizimín, Cuerpo Académico de Ciencias de la Computación, Tizimín, Yucatán 97700, México,

¹A14016310@alumnos.uady.mx, ²jose.lopez@correo.uady.mx, ¹avera@correo.uady.mx

Fecha de recepción: 6 de junio de 2020

Fecha de aceptación: 27 de agosto de 2020

Resumen. Los autores presentan los hallazgos de realizar una Revisión Sistemática de la Literatura en torno a iniciativas educativas que incorporan la tecnología de Realidad Aumentada (RA). Sin lugar a dudas, la RA es una tecnología emergente que ha tomado popularidad en las últimas dos décadas, ya que permite combinar en tiempo real objetos del mundo real con objetos digitales a través de diferentes soportes tecnológicos, creando de esta manera una nueva realidad con la que el estudiante puede interactuar y aprender. De los hallazgos, es posible destacar que: (1) la mitad de los estudios han sido aplicados en el nivel superior, (2) poco más de tres cuartas partes son iniciativas que sirven de apoyo a la modalidad presencial, (3) las iniciativas sirven de apoyo para promover conocimientos en los primeros tres niveles de la Taxonomía de Bloom, (4) el paradigma más utilizado como sustento de las iniciativas, es el conductista y (5) prácticamente todas las iniciativas ven a la RA solo como un complemento para la estrategia instruccional.

Palabras Clave: Estrategia instruccional, Iniciativa Pedagógica, Realidad Aumentada, Revisión Sistemática de la Literatura.

Summary. The authors present the findings of carrying out a Systematic Review of Literature around educational initiatives that incorporate Augmented Reality (AR) technology. Undoubtedly, AR is an emerging technology that has become popular in the last two decades, since it allows real-time objects to be combined with digital objects in real time through different technological supports, thus creating a new reality with which the student can interact and learn. From the findings it is possible to highlight that: (1) half of the studies have been applied at the higher level, (2) just over three-quarters are initiatives that support the face-to-face modality, (3) the initiatives serve of support to promote knowledge in the first three levels of Bloom's Taxonomy, (4) the paradigm most used to support initiatives, is the behaviorist one and (5) practically all initiatives see AR only as a complement to the instructional strategy.

Keywords: Augmented Reality, Instructional strategy, Pedagogical Initiative, Systematic Review of Literature.

1 Introducción

La Informática Educativa es una disciplina que estudia el uso, efecto y consecuencias de las tecnologías de la información y el proceso educativo [1]; una de sus líneas de investigación que ha cobrado auge en las últimas dos décadas, es el uso de la tecnología de Realidad Aumentada (RA) como elemento disruptivo para favorecer el aprendizaje. De acuerdo con [2] la tecnología de RA permite combinar en tiempo real información física y digital a través de diferentes soportes tecnológicos, para crear de esta forma una nueva realidad enriquecida con la que el aprendiz puede interactuar; en el ámbito de la educación, la interacción resulta ser un mecanismo necesario para el desarrollo de competencias en el aprendiz, y es por ello que se esperaría que la RA potencialice las estrategias instruccionales que incorporan aplicaciones basadas en dicha tecnología.

La investigación reportada en el presente artículo, forma parte de un proyecto de investigación que tiene como propósito, explorar áreas de oportunidad —en el ámbito de la Informática— en torno al uso de la RA en la Educación, particularmente, en aspectos de carácter pedagógico. El estudio secundario desarrollado, utiliza la Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) como metodología de investigación para identificar y caracterizar estudios primarios que incorporan la tecnología de RA en iniciativas educativas y/o formativas.

El presente artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: la sección dos describe las principales características de la tecnología de RA, métodos de reconocimiento, esquemas de interacción, así como una propuesta de clasificación basada en la complejidad de los sistemas basados en dicha tecnología. La sección tres describe las tareas a realizar en una Revisión Sistemática de la Literatura, una metodología de investigación que a menudo es útil para explorar la investigación existente en un área o fenómeno de interés. Las secciones cuatro y cinco describen las tareas realizadas como parte de la planificación y ejecución del estudio, respectivamente, con base en la metodología propuesta. La sección seis presenta los principales hallazgos de esta revisión, impulsados por las preguntas de investigación. Finalmente, algunas conclusiones derivadas del estudio se describen en el apartado siete.

2 Tecnología de Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología emergente que ha tomado popularidad en los últimos años [3], a diferencia de la tecnología de Realidad Virtual (RV) en la cual el usuario experimenta una inmersión en el entorno virtual generado por un sistema software e interactúa con él a través de dispositivos periféricos, la RA extiende las capacidades de interacción del individuo creando una conexión entre el mundo real en el que se encuentra y objetos digitales generados con un sistema software, los cuales son superpuestos con objetos del mundo real o compuestos con el mismo.

“...la RA es una tecnología que complementa la percepción e interacción con el mundo real y permite al usuario estar en un entorno real aumentado con información adicional generada por el ordenador...” [4].

En [5] los autores comentan que un sistema de RA —para evitar limitarse a tecnologías específicas— debe poseer tres características elementales: (1) Combinar el mundo real con el virtual, (2) Proveer interacción en tiempo real y (3) Llevar un registro en 3D.

Para establecer la conexión del mundo real con los objetos y/o entornos virtuales, la RA ha utilizado básicamente los cuatro métodos de reconocimiento que describimos a continuación:

- *Reconocimiento de patrones*: este método utiliza una forma o marcador básico incorporado al objeto con el cual el sujeto va a interactuar [6].
- *Reconocimiento por contornos*: es un método mediante el cual se reconoce un objeto o cuerpo, o parte del mismo, y es combinado con algún objeto digital.
- *Reconocimiento por superficie*: este método utiliza pantallas táctiles o una combinación de proyecciones sobre superficies planas (p. ej. paredes, pisos, etc.) con mecanismos de reconocimiento de imágenes que le brindan al individuo una sensación de interacción con los objetos proyectados en tiempo real [7].
- *Reconocimiento por ubicación*: Este método se basa en identificar la ubicación del individuo (mediante el sistema de posicionamiento global) con base en la cual se genera un entorno virtual vinculado con la información del entorno real en el que se encuentra el individuo; a partir de los anterior, el entorno real es alimentado con objetos digitales.

Por su parte, la interacción en entornos virtuales educativos, de acuerdo con [8], puede ser definida como una característica intrínseca de la práctica educativa en el sentido de comunicación social, pero también es una propiedad inherente de cualquier entorno virtual interactivo que incluye actividades y respuestas físicas, sensoriales y mentales. En una aplicación de RA, la interacción requiere necesariamente de un intercambio de información entre dos entidades a través de algún tipo de interfaz, es por ello que dicho proceso puede ser analizado desde dos perspectivas: (1) La interacción en la que el aprendiz es el emisor, y (2) Aquella en la que el rol de emisor es asumido por el sistema de RA.

Desde la primera perspectiva, el usuario tiene dos formas o medios de interactuar, las cuales son:

- *Manipulación de los objetos virtuales y/o reales*: Esta forma de interacción se basa del concepto conocido como interfaz de usuario tangible [9]; bajo este tipo de interfaz los objetos físicos pueden ser utilizados para manipular los elementos virtuales del entorno de una manera más intuitiva.
- *Navegación*: En este medio, el aprendiz se desplaza por el mundo real e interactúa a partir de su localización; es el tipo de interacción predominante en las aplicaciones móviles.

Bajo la segunda perspectiva, la interacción es proporcionada por un *sistema multimodal* que genera distintos estímulos —basado en los cinco sentidos del ser humano— reproducidos de forma virtual para aumentar la inmersión del aprendiz [10].

En función de la complejidad del sistema que da soporte a la aplicación basada en tecnología de RA, diversos autores han propuesto clasificaciones, posiblemente la clasificación más conocida es la propuesta en [11], dicho autor propone una clasificación en cuatro niveles, en orden creciente de complejidad:

- *Nivel 0:* Se utilizan códigos QR que sirven como hiperenlaces a otros contenidos, no existe registro en 3D ni seguimiento de los marcadores.
- *Nivel 1:* Se utilizan imágenes como marcadores para tener acceso al elemento aumentado. Existen dos subniveles, en el primero, las imágenes son marcadores 2D que son digitalizados por una cámara web de la Computadora; en el segundo nivel, se utilizan dispositivos móviles para el reconocimiento del marcador.
- *Nivel 2:* Se basa en la geolocalización del individuo a través de su dispositivo móvil; en este nivel, en virtud de que el sistema sabe dónde está ubicado el teléfono (el GPS) y en qué dirección está mirando el individuo (la brújula), es posible aumentar la realidad de la pantalla de manera adecuada.
- *Nivel 3:* Se le conoce como visión aumentada, y se basa en el uso de dispositivos de visualización como los HMD (*Head-Mounted Display: HMD*) que se usan en la cabeza como parte de un casco y tienen una pequeña pantalla en frente de cada uno de los ojos, y en los denominados HoloLens, los cuales son una especie de lentes que cuentan con un sensor con el cual se da seguimiento al movimiento del iris.

En [12], al referirse a dicha clasificación, habla —para el futuro— incluso de un nivel 4, en el cual se utilizarán pantallas de lentes de contacto y/o interfaces directos al nervio óptico y el cerebro.

3 Metodología de Investigación

La Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) es una metodología que permite identificar, evaluar e interpretar la investigación disponible en la literatura, que resulta relevante para una pregunta de investigación, área temática o fenómeno de interés. Los estudios individuales que contribuyen a una RSL se denominan estudios primarios, por lo que un estudio basado en una revisión sistemática es considerado un estudio secundario [13].

Para la realización de la RSL de la cual se deriva el presente artículo, se utilizó el protocolo de investigación formal que se propone en [14]; a continuación, se describe brevemente cada uno de los pasos de dicha metodología:

1. Planificar la RSL.
 - 1.1. Identificar la necesidad de la revisión. Se trata de resumir cuidadosamente la información relevante que existe sobre el tema de interés, y así saber lo que han hecho sobre ese tema sobre todo las revisiones sistemáticas.
 - 1.2. Formular las preguntas de investigación. Es la parte más importante de la revisión sistemática, para saber lo que queremos buscar en los estudios primarios y responder las preguntas, por eso se deben ser bien planteadas; es decir, que sean claras y consistentes.
 - 1.3. Definir el protocolo de la revisión. Se plantean la justificación, las preguntas, las fuentes de búsquedas, estrategias de búsqueda, criterios de exclusión e inclusión y la evaluación de la calidad de los estudios.
 - 1.4. Validar el protocolo de la revisión. Debido a que el protocolo resulta el documento más crítico para la realización de la RSL, es necesaria su validación por expertos.
2. Realizar la RSL.
 - 2.1. Identificar la investigación relevante. Del conjunto de publicaciones, ver si responden las preguntas de investigación, con base en la estrategia de búsqueda que se propone en el protocolo.
 - 2.2. Seleccionar los estudios primarios. Proceso de localizar los estudios primarios que estén relacionados y den respuesta a las preguntas de investigación, con la ayuda de los criterios y procedimiento que se establece en el protocolo.
 - 2.3. Evaluar la calidad de los estudios primarios. De los estudios seleccionados, se procede a la aplicación de criterios para la corroboración de la calidad de los estudios y si es necesario excluir los que no cumplan con lo establecido.
 - 2.4. Extraer los datos relevantes. Es el proceso de extraer la información de los estudios primarios.
 - 2.5. Sintetizar los datos extraídos. Es el proceso de dar respuesta a las preguntas formuladas, esto puede estar acompañada de tablas y gráficos
3. Reportar la RSL.
 - 3.1. Redactar el informe de la revisión. El trabajo realizado mediante la RSL no tendría sentido si la información obtenida y analizada no es reportada y puesta a disposición de otros investigadores.
 - 3.2. Validar el informe de la revisión. Existen algunas amenazas a la validez del estudio que resulta necesario aplicar algún mecanismo para validar, tanto los estudios identificados, como su proceso de obtención.

4 Planificación del Estudio

Con el propósito de explorar iniciativas de intervención educativa reportadas, que incorporan tecnología de RA, se establecieron un conjunto de preguntas de investigación que orientan el estudio.

4.1 Preguntas de Investigación

Las preguntas de investigación abordadas y analizadas en el presente artículo son:

- PI1. ¿Cuál es la numeraria de las publicaciones vinculadas con la investigación de RA en la educación en la última década?
- PI2. ¿En qué niveles educativos (educación formal) han sido utilizadas las aplicaciones de RA?
- PI3. ¿En qué modalidades educativas (presencial, mixta, en línea) han sido utilizadas las aplicaciones RA?
- PI4. ¿Cuál es el tipo de educación (formal o informal) apoyado por las aplicaciones de RA?
- PI5. ¿En qué dominios académicos han sido utilizadas las aplicaciones de RA?
- PI6. ¿Cuál es el tipo de aprendizaje promovido en las aplicaciones de RA?
- PI7. ¿Cómo se ha integrado la RA en las iniciativas educativas (complemento, elemento integrado)?
- PI8. ¿Qué corrientes psicopedagógicas han sido utilizadas en las iniciativas educativas que incorporan la tecnología de RA?
- PI9. ¿Cómo han sido evaluadas las iniciativas en la que se utiliza la RA?
- PI10. ¿Cuáles han sido los impactos reportados al utilizar la RA en la educación?

4.2 Selección de Fuentes y Estrategia de Búsqueda

Toda vez que se establecieron las preguntas de investigación, se prosiguió a identificar los estudios primarios para la revisión sistemática. Para la búsqueda de estos estudios se seleccionaron las siguientes bases de datos: *ACM DL*, *Elsevier*, *IEEEExplore* y *Springer*, ya que estas bases de datos se encuentran relacionadas con el área de investigación y podrían compilar artículos relacionados con la tecnología de RA.

4.3 Creación de la Cadena de Búsqueda

La cadena de búsqueda utiliza una combinación de palabras clave en inglés, las cuales se agruparon en dos conjuntos; por un lado lo relacionado con la tecnología de RA, en la cual solamente se identificó una palabra clave: *augmented reality*; y un segundo conjunto vinculado con el proceso educativo que es asistido con dicha tecnología: *education*, *training*, *learning*, *teaching*, *evaluation*, *assessment*, así como un par de dichos conceptos que suelen ser utilizados en infinitivo, *to teach*, *to learn*. Para la construcción de la cadena de búsqueda, se utilizará el operador AND para unir los dos conjuntos de palabras clave, y en el caso del operador OR será utilizado para integrar las palabras alternativas identificadas en cada conjunto; así la cadena de búsqueda quedará formada como:

(“*augmented reality*”) AND (“*education*” OR “*training*” OR “*teaching*” OR “*learning*” OR “*evaluation*” OR “*assessment*” OR “*teach*” OR “*learn*”).

4.4 Criterios de Selección

Los resultados que se obtienen en las consultas a las bibliotecas digitales pueden resultar numerosos, debido a esto, se aplican un conjunto de criterios de inclusión y exclusión, los cuales permiten reducir el número de resultados obtenido, dichos criterios de selección tienen como propósito identificar aquellos estudios primarios que proporcionan evidencia directa sobre las preguntas de investigación. A continuación, se listan los criterios de selección considerados para la selección de los estudios primarios por analizar:

Criterios de inclusión:

- Estudios primarios publicados en idioma inglés.
- Estudios primarios publicados entre 2010 y 2020.
- Estudios primarios que incluyan en el título, al menos una palabra clave vinculada con el proceso educativo.
- Estudios primarios que reporten iniciativas educativas, en las que se incorpore la RA.
- Estudios primarios que sean artículos de investigación.

Criterios de exclusión

- Artículos primarios que no tengan como elemento principal de la iniciativa educativa, el uso de la tecnología de RA.
- Artículos replicados en varias bibliotecas digitales; se eliminarán los artículos más antiguos, manteniendo en nuestro estudio el más reciente.
- Artículos relacionados con un mismo proyecto, se eliminarán los artículos que reportan avances parciales, manteniendo en nuestro estudio el más completo.
- Artículos cuyo contenido haya sido imposible conseguir.

5 Ejecución del Estudio

De acuerdo con la cadena de búsqueda diseñada, se realizó el proceso de consulta en las cuatro bases de datos seleccionadas; no obstante, en las bases de datos, la cadena de búsqueda tuvo que ser ligeramente modificada, quedando, en el caso de *ACM DL* y *Elsevier*, de la siguiente manera:

“augmented reality” AND (education OR training OR teaching OR learning OR evaluation OR assessment OR teach OR learn)

Con los resultados obtenidos, se aplicaron los criterios de inclusión y de exclusión; la figura 1 ilustra el protocolo definido para el proceso de selección, con el cual se obtuvieron finalmente 42 estudios primarios; dichos estudios fueron analizados para dar respuesta a las preguntas de investigación que se abordan en el artículo.

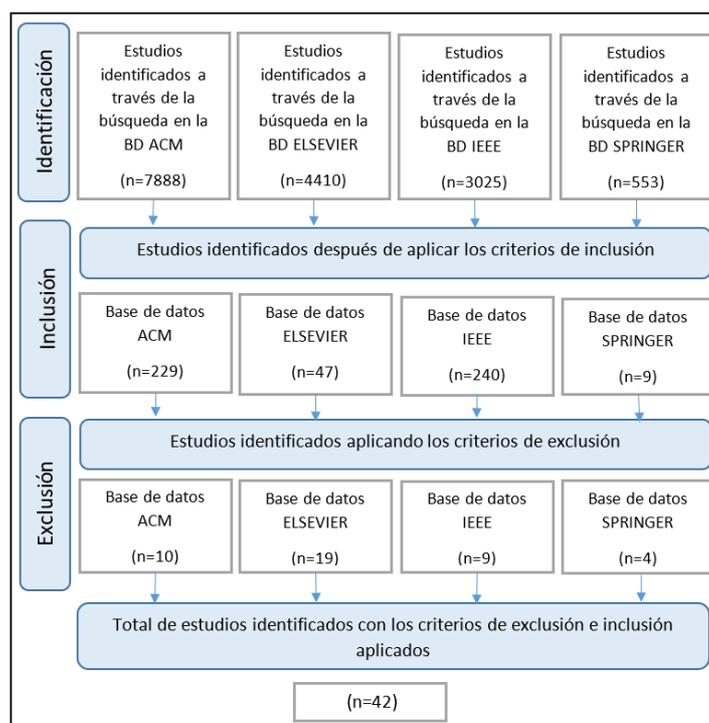


Figura 1. Ejecución del protocolo de selección de los artículos primarios

6 Resultados de la Revisión

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del análisis a los 42 estudios primarios seleccionados, de las cuatro bases de datos; 10 son *ACM* [15-24], 19 de *Elsevier* [25-43], 9 de *IEEE* [44-52] y 4 de *Springer* [53-56]. Los hallazgos nos han permitido tener un panorama general del uso de la tecnología de RA en iniciativas educativas.

A continuación, procederemos a dar respuesta a cada una de las preguntas investigación que fueron consideradas para el presente reporte.

PI1. ¿Cuál es la numeraria de las publicaciones vinculadas con la investigación de RA en la educación en la última década?

Con base en los 42 estudios primarios seleccionados, encontramos que los años con mayor número de publicaciones fueron el 2013 y el 2019 con un 19% respectivamente; en la figura 2 se puede apreciar el número de artículos publicados por año, en la última década.

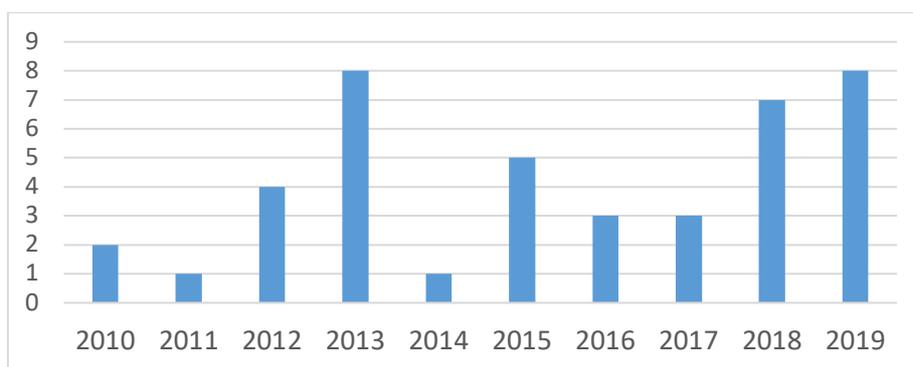


Figura 2. Año de publicación de los estudios primarios seleccionados para la última década

PI2. ¿En qué niveles educativos (educación formal) han sido utilizadas las aplicaciones de RA?

En los estudios primarios analizados encontramos que el nivel de licenciatura es en el que más se han utilizado intervenciones educativas con aplicaciones de RA (48%), posiblemente esto se deba a que los investigadores que han usado dicha tecnología de manera natural se encuentran más relacionados con la Educación Superior, y de que sus propuestas aún no han sido incorporadas por los profesores de los otros niveles educativos. La figura 3 ilustra los niveles educativos reportados para los estudios primarios seleccionados. Cabe mencionar que dos estudios primarios reportaron que su propuesta podría ser utilizada en dos niveles diferentes; así mismo, en otros cinco estudios, se propuso su aplicabilidad para cualquier nivel.

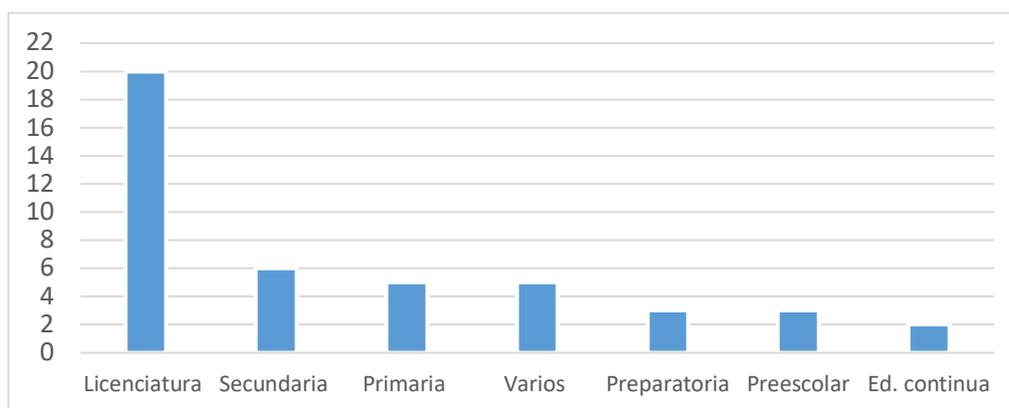


Figura 3. Niveles educativos en los que han sido utilizadas intervenciones educativas con tecnología de RA

PI3. ¿En qué modalidades educativas han sido utilizadas las aplicaciones RA?

Al analizar las modalidades educativas —presencial, mixta o virtual— reportadas por los estudios primarios, encontramos que la modalidad presencial ha sido la más citada —en un 83%. La figura 4 ilustra los porcentajes generados con base en lo reportado en los estudios primarios seleccionados, como se observa, hay una oportunidad de diseñar estrategias instruccionales orientadas totalmente a la educación mixta.

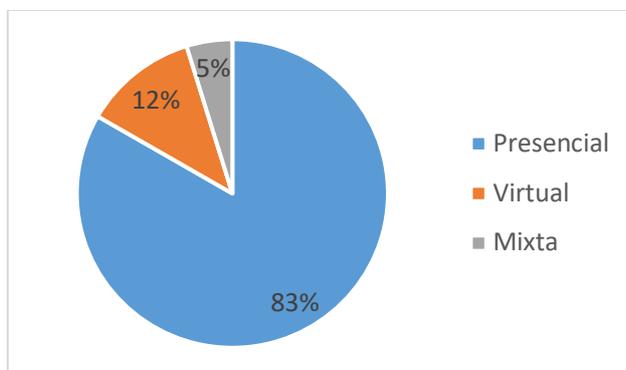


Figura 4. Modalidades educativas con intervenciones asistidas con tecnología de RA

PI4. ¿Cuál es el tipo de educación (formal o informal) apoyado por las aplicaciones de RA?

Cuando analizamos el tipo de educación apoyado por los estudios primarios, identificamos que la educación formal ha sido la más citada, con un 81% de las veces, lo cual nos induce a pensar, que dichas aplicaciones siguen un marco de educación sistemática regida por objetivos educativos; encontramos también que dos de los estudios primarios están orientados a ambas modalidades.

PI5. ¿En qué dominios académicos han sido utilizadas las aplicaciones de RA?

De acuerdo con el análisis realizado a los estudios seleccionados, encontramos una variedad de dominios académicos en los que han utilizado las aplicaciones de RA. Dichos dominios fueron clasificados considerando las ramas de la ciencia en las que se suelen agrupar las disciplinas científicas: ciencias formales, ciencias naturales y ciencias sociales o humanas; la figura 5 ilustra el número de iniciativas por dominio académico en cada ciencia. Identificamos que, en los trabajos reportados, las ciencias naturales son citadas en un 60%, en un 31% las ciencias sociales y en el restante 14% las ciencias formales; es importante destacar que dos de las iniciativas seleccionadas (5%) reportan que fueron aplicadas a dos dominios diferentes.

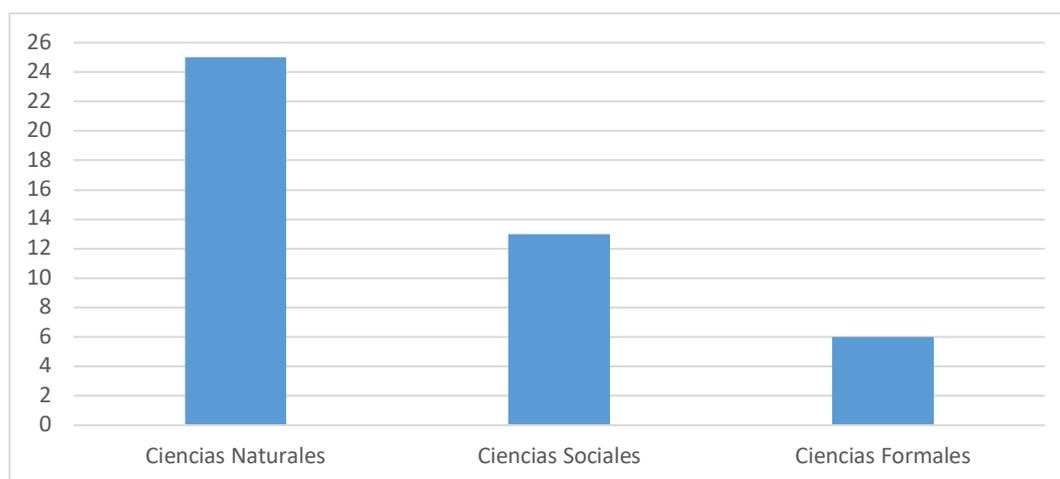


Figura 5. Dominios académicos en los que han sido utilizadas las intervenciones con Tecnología de RA

PI6. ¿Cuál es el tipo de aprendizaje promovido en las aplicaciones de RA?

Para dar respuesta a esta interrogante, utilizamos como referencia los niveles de conocimiento de la Taxonomía de Bloom. La figura 6 ilustra mediante una gráfica de pastel el porcentaje de estudios primarios identificados con cada uno de los niveles de dicha taxonomía; podemos destacar que el nivel de comprensión (55%) ha sido el identificado con mayor frecuencia en los estudios primarios, y en general, dichas iniciativas han servido de apoyo básicamente para promover aprendizajes basados en conocimientos clasificados en primeros tres niveles de la Taxonomía de Bloom; en los niveles de análisis y síntesis no se tiene trabajos reportados.

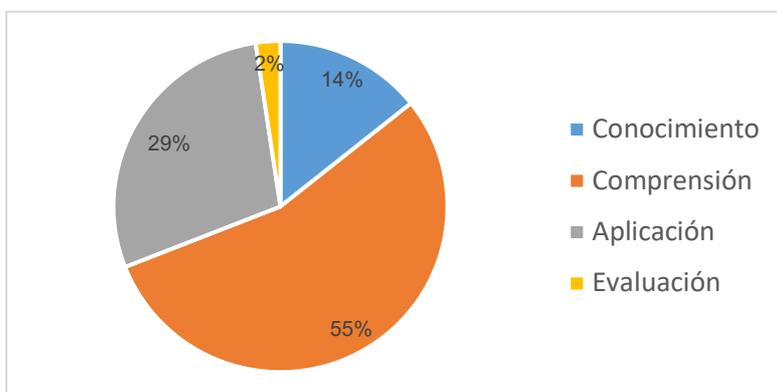


Figura 6. Niveles académicos en los que han sido utilizadas las intervenciones con tecnología de RA

PI7. ¿Cómo se ha integrado la RA en las iniciativas educativas (complemento, elemento integrado)?

De acuerdo con el análisis de los estudios seleccionados, podemos reportar, que con excepción de tres iniciativas reportadas [15], [17] y [53], todos los estudios primarios utilizan la RA como complemento en los procesos pedagógicos, por lo cual, resulta un área de oportunidad el poder diseñar estrategias instruccionales que integren a la RA como un elemento medular de las mismas.

PI8. ¿Qué corrientes psicopedagógicas han sido utilizadas en las iniciativas educativas que incorporan la tecnología de RA?

Con base en el análisis a los estudios primarios, identificamos que el 50% no reporta corriente psicopedagógica alguna que le sustente, y para el 50% restante de los estudios, la distribución es ilustrada en la figura 7; podemos identificar que el enfoque conductista es el más citado en un 57%; no obstante, se esperaría que siendo la interacción, lo que debiera ser promovido en dichos entornos, el enfoque preferido fuese el constructivista, sin embargo, los estudios lo colocan en un segundo lugar de preferencia.

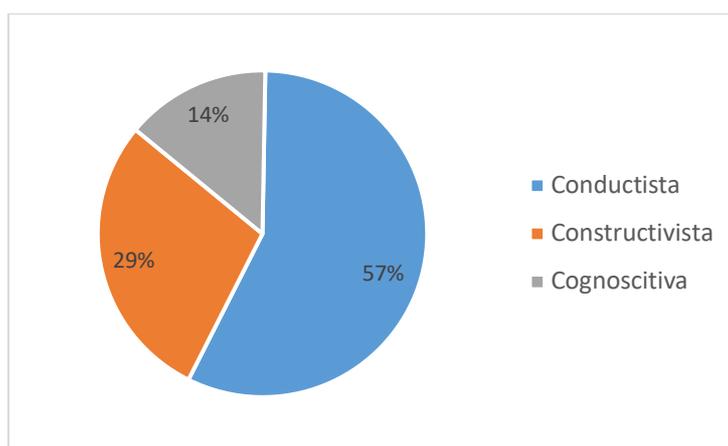


Figura 7. Corrientes psicopedagógicas en las que han sido utilizadas las intervenciones con tecnología de RA

PI9. ¿Cómo han sido evaluadas las iniciativas en la que se utiliza la RA?

Para poder responder esta interrogante, se analizaron en detalle los cuarenta y dos estudios primarios y se identificaron un conjunto de metodologías y criterios de evaluación. En el caso de las metodologías identificadas, el método experimental fue el más utilizado en un 45% de los estudios, seguido de la encuesta en un 19%, el

estudio de caso en un 12%, los métodos observacional y estudio de usuario en 5%, respectivamente, y finalmente el menos recurrido es el de investigación de acción en un 2%; cabe destacar que cinco estudios no reportan metodología alguna (12%).

En cuanto a los criterios de evaluación utilizados por las metodologías antes citadas, se identificaron características vinculadas con: usabilidad (64%), triangulación (29%), fiabilidad (7%), motivación (5%), efectividad (5%) y utilidad (2%); es importante mencionar que en diez de los estudios, la metodología se apoya en dos criterios de evaluación. En virtud de que los criterios utilizaron características particulares para la evaluación de cada estudio reportado, consideramos conveniente ofrecer una breve descripción de cada uno de los criterios, de acuerdo con la consideración hecha en nuestro estudio:

- *Efectividad*: capacidad o facultad para lograr un objetivo o fin deseado, que se han definido previamente, y para el cual se han desplegado acciones estratégicas para llegar a él.
- *Fiabilidad*: característica de los sistemas informáticos por la que se mide el tiempo de funcionamiento sin fallos.
- *Motivación*: énfasis que se descubre en una persona hacia un determinado medio de satisfacer una necesidad, creando o aumentando con ello el impulso necesario para que ponga en obra ese medio o esa acción, o bien para que deje de hacerlo.
- *Triangulación*: se refiere al uso de varios métodos (tanto cuantitativos como cualitativos), fuentes de datos, teorías, investigadores o ambientes, en el estudio de un fenómeno.
- *Usabilidad*: cualidad de los programas informáticos que son sencillos de usar debido a la facilidad de lectura de los textos, descargan rápidamente la información y presentan funciones y menús sencillos, por lo que el usuario encuentra satisfechas sus consultas y cómodo su uso.
- *Utilidad*: capacidad que tiene un artefacto/método de servir o ser aprovechado para un fin determinado.

PI10. ¿Cuáles son los impactos reportados al utilizar RA en la educación?

En relación con los impactos reportados, del análisis realizado a los cuarenta y dos estudios primarios, elaboramos la clasificación que se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los impactos reportados en los estudios primarios

Impactos	Estudios Primarios
Mejora la experiencia de aprendizaje	[18], [23], [26], [30], [41], [45], [46], [54],
Aumenta el interés	[31], [32], [33], [40], [44].
Mejora la comprensión	[20], [21], [27], [38], [40], [44].
Aumenta la motivación	[19], [24], [25], [35], [37], [42].
Reducción de tiempo, esfuerzo y/o costo monetario para producción de materiales educativos	[29].
Mejora la comunicación docente-dicente	[51], [53].
Aumenta la satisfacción	[17], [26], [33], [36], [39], [47], [55].
Aumenta el compromiso	[36].
Brinda autoaprendizaje	[37].
Mejora la precisión en la práctica	[22], [52], [56].
Asiste al profesor en el diseño de instrucción	[50].
Mejora el proceso de enseñanza	[24], [28].
Mejora el rendimiento académico	[27], [34], [42], [43], [47], [54], [55].
Permite la interacción con varios usuarios	[16].
Sin evaluación	[15], [48], [49].

Resulta conveniente comentar que las catorce categorías identificadas como “impactos reportados”, coinciden en buena medida con algunas de las sub-categorías denominadas “ventajas de la RA en entornos educativos” en la RSL reportada en [57], las cuales de manera inductiva fueron agrupadas en: resultados del alumno, contribuciones pedagógicas, interacción y otras.

7 Conclusiones

La Realidad Aumentada es una tecnología emergente que ha tomado popularidad en las últimas dos décadas, permite combinar en tiempo real objetos del mundo real con objetos digitales a través de diferentes soportes tecnológicos, creando mayor o menor inmersión en función del número de mecanismos de interacción incorporados a la aplicación, de esta manera se crea una nueva realidad con la que el aprendiz puede interactuar con los objetos de dicho entorno, y en función de dicha interactividad, potencializar su aprendizaje.

Los primeros hallazgos nos permiten identificar que existe una gran cantidad de artículos relacionados con la tecnología de RA, sin embargo, pocos son los que reportan intervenciones pedagógicas en escenarios de aprendizaje basados en dicha tecnología.

Del análisis de los estudios primarios seleccionados se puede concluir que: (1) la mitad de los estudios reportados han sido aplicados en el nivel superior, (2) poco más de tres cuartas partes son iniciativas que sirven de apoyo a la modalidad presencial, (3) la educación formal es la que comúnmente es asistida por dicho tipo de iniciativas, (4) poco más de la mitad de las iniciativas han sido implementados en dominios de la ciencias naturales, (5) prácticamente todas las iniciativas ven a la RA solo como un complemento de la estrategia instruccional, (6) las iniciativas sirven de apoyo para promover conocimientos en los primeros tres niveles de la Taxonomía de Bloom, (7) la metodología más utilizada para evaluar las aplicaciones de RA en la educación, al parecer es el experimental.

El diseño de estrategias instruccionales en las que la interacción con elementos del entorno, resulta un mecanismo central para la dinámica del aprendizaje, representa una oportunidad para la tecnología de RA, no obstante, en las iniciativas reportadas dicha tecnología al parecer es un componente accesorio al proceso educativo; para que realmente dicha tecnología sea disruptiva en los procesos educativos, requiere ser considerada como un elemento medular de la estrategia instruccional, con un sustento pedagógico acorde a la actividad, y con una variedad de medios de interacción que promuevan niveles adecuados de inmersión.

Agradecimiento

Agradecemos el apoyo brindado por la Secretaría de Educación Pública (México) a través del proyecto P/PROFEXCE-2020-31MSU0098J-13, así como el apoyo financiero recibido del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través de la beca CONACYT CVU-1000846.

Referencias

- [1] J. Sánchez, *Informática Educativa*. Segunda Edición, Santiago de Chile. Ed. Universitaria, 1995.
- [2] J. Cabero and F. García, “Realidad aumentada. Tecnología para la formación,” *Síntesis*, Madrid, España, 2016.
- [3] B. Furht, *Handbook of augmented reality*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [4] T. Jeřábek, V. Rambousek and R Wildová, “Specifics of Visual Perception of the Augmented Reality in the Context of Education,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 159. pp. 598 – 604, 2014
- [5] R. Azuma, “A Survey of Augmented Reality,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355-385, 1997.
- [6] H. Kato and M. Billinghurst, “Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System,” *Proceedings 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality*, 1999
- [7] G. Kipper and J. Rampolla, *Augmented Reality: an emerging technologies guide to AR*. Elsevier, 2012
- [8] C. Portalés, “Entornos multimedia de realidad aumentada en el campo del arte,” Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2008.
- [9] H. Ishii and B. Ullmer, “Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms,” In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*, ACM Press, 1997, pp. 234–241.
- [10] T. Ha, Y. Chang and W. Woo, “Usability test of immersion for augmented reality based product design,” *Proceedings of the International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007, pp. 152-161.
- [11] M. Lens-Fitzgerald, (2009). Augmented Reality Hype Cycle [Online]. Available: <http://www.sprxmobile.com/the-augmented-realityhype-cycle.html>.

- [12] R. Rice, (2009). Augmented vision and the decade of ubiquity [Online]. Available: <http://www.curiousraven.com/future-vision/2009/3/20/augmented-vision-and-the-decade-of-ubiquity.html>
- [13] M. Genero, J. A. Cruz-Lemus and M. G. Piattini, "Métodos de investigación en ingeniería del software," *Ra-Ma*, 2014
- [14] B. Kitchenham, "Procedures for performing systematic reviews," Keele, UK, Keele University, vol 33, pp. 1-16, 2004.
- [15] Y. Aliev, V. Kozov, G. Ivanova, A. Ivanov, "3D augmented reality software solution for mechanical engineering education," *Proceedings of the 18th International Conference on Computer Systems and Technologies*, 2017, pp 318-325.
- [16] J. Arora, K. Mathur, M. Goel, P. Kumar, A. Mishra and A. Parnami, "Design and Evaluation of DIO Construction Toolkit for Co-making Shared Constructions," *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 1-25, 2019.
- [17] C. H. Chen, C. Y. Huang and Y. Y. Chou, "Integrating augmented reality into blended learning for elementary science course," *Proceedings of the 5th International Conference on Information and Education Technology*, 2017, pp. 68-72.
- [18] A. Dünser, L. Walker, H. Horner and D. Bentall, "Creating interactive physics education books with augmented reality," *Proceedings of the 24th Australian computer-human interaction conference*, 2012, pp. 107-114.
- [19] L. M. M Herrera, M. A. Abalo and S. J. Ordóñez, "Learning Calculus with Augmented Reality and Virtual Environments," In *Proceedings of the 2019 11th International Conference on Education Technology and Computers*, 2019, pp. 18-22.
- [20] I. Kico and F. Liarokapis, "A Mobile Augmented Reality Interface for Teaching Folk Dances," *25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 2019, pp. 1-2.
- [21] P. S. Medicherla, G. Chang and P. Morreale, "Visualization for increased understanding and learning using augmented reality," *Proceedings of the international conference on Multimedia information retrieval*, 2010, pp. 441- 444.
- [22] P. Rhenmora, K. Gajananan, P. Haddawy, S. Suebnukarn, M. N. Dailey, E. Supataratarn and P. Shrestha, "Haptic augmented reality dental trainer with automatic performance assessment," *Proceedings of the 15th international conference on Intelligent user interfaces*, 2010, pp. 425-426.
- [23] Z. S. See, M. Billinghamurst, V. Rengganaten and S Soo, "Medical learning murmurs simulation with mobile audible augmented reality," *SIGGRAPH ASIA 2016 mobile graphics and interactive applications*, 2016, pp. 1-4.
- [24] R. O. Virata and J. D. L. Castro, "Augmented reality in science classroom: perceived effects in education, visualization and information processing," *Proceedings of the 10th International Conference on E-Education, E-Business, E-Management and E-Learning*, 2019, pp. 85-92.
- [25] J. Bacca, S. Baldiris, R. Fabregat and S. Graf, "Mobile augmented reality in vocational education and training," *Procedia Computer Science*, vol. 75, pp. 49-58, 2015.
- [26] S. Balian, S. K. McGovern, B. S. Abella, A. L. Blewer, and M. Leary, "Feasibility of an augmented reality cardiopulmonary resuscitation training system for health care providers," *Heliyon*, vol. 5, no. 8, e02205, 2019.
- [27] E. Cieza, and D. Lujan, "Educational mobile application of augmented reality based on markers to improve the learning of vowel usage and numbers for children of a kindergarten in Trujillo," *Procedia Computer Science*, vol. 130, pp. 352-358, 2018.
- [28] C. Diaz, M. Hincapié and G. Moreno, "How the type of content in educative augmented reality application affects the learning experience," *Procedia Computer Science*, vol. 75, pp. 205-212, 2015.
- [29] H. Horii and Y. Miyajima, "Augmented reality-based support system for teaching hand-drawn mechanical drawing," *Procedia-Social and Behavioural Sciences*, vol. 103, pp. 174-180, 2013.
- [30] U. Kose, D. Koc and S. A. Yucesoy, "An augmented reality based mobile software to support learning experiences in computer science courses," *Procedia Computer Science*, vol. 25, pp. 370-374, 2013.
- [31] M. H. Kurniawan and G. Witjaksono, "Human anatomy learning systems using augmented reality on mobile application," *Procedia Computer Science*, vol. 135, pp. 80-88, 2018.
- [32] R. Layona, B. Yulianto and Y. Tunardi, "Web based augmented reality for human body anatomy learning," *Procedia Computer Science*, vol. 135, pp. 457- 464, 2018.
- [33] J. Martin-Gutierrez, E. Guinters and D. Perez-Lopez, "Improving strategy of self-learning in engineering: laboratories with augmented reality," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 51, pp. 832-839, 2012.
- [34] M. L. L. Okimoto, P. C. Okimoto and C. E. Goldbach, "User experience in augmented reality applied to the welding education," *Procedia Manufacturing*, vol. 3, pp. 6223-6227, 2015.
- [35] B. Perry, "Gamifying French Language Learning: a case study examining a quest-based, augmented reality mobile learning-tool," 2015.
- [36] D. R. A. Rambli, W. Matcha and S Sulaiman, "Fun learning with AR alphabet book for preschool children," *Procedia computer science*, vol. 25, pp. 211-219, 2013.

- [37] E. Redondo, D. Fonseca, A. Sánchez and I. Navarro, “New strategies using handheld augmented reality and mobile learning-teaching methodologies, in architecture and building engineering degrees,” *Procedia Computer Science*, vol. 25, pp. 52-61, 2013.
- [38] P. Salinas, E. González-Mendivil, E. Quintero, H. Ríos, H. Ramírez and S. Morales “The development of a didactic prototype for the learning of mathematics through augmented reality,” *Procedia Computer Science*, vol. 25, pp. 62-70, 2013.
- [39] P. C. Santana-Mancilla, M. S. García-Ruiz, R. Acosta-Díaz and C.U. Juárez, “Service oriented architecture to support Mexican secondary education through mobile augmented reality,” *Procedia Computer Science*, vol. 10, pp. 721-727, 2012.
- [40] D. Scaravetti and D. Doroszewski, “Augmented Reality experiment in higher education, for complex system appropriation in mechanical design,” *Procedia CIRP*, vol. 84, pp. 197-202, 2019.
- [41] A. B. Tomi and D. R. A. Rambli, “An interactive mobile augmented reality magical playbook: Learning number with the thirsty crow,” *Procedia Computer Science*, vol. 25, pp. 123-130, 2013.
- [42] J. C. Yen, C. H. Tsai and M. Wu, “Augmented reality in the higher education: Students’ science concept learning and academic achievement in astronomy,” *Procedia-social and behavioral sciences*, vol. 103, no. 26, pp. 165-173, 2013.
- [43] M. M. Zarzuela, F. J. D. Pernas, L. B. Martínez, D. G. Ortega and M. A. Rodríguez, “Mobile serious game using augmented reality for supporting children’s learning about animals,” *Procedia computer science*, vol. 25(Supplement C), pp. 375-381, 2013.
- [44] M. V. Briseno, O. N. G. Soto, A. M. Tellez, J. I. N. Hipolito, S. I. Prieto, and J. D. D. Lopez, “Enhancing Nutrition Learning Using Interactive Tools,” *IEEE Latin America Transactions*, vol. 17, no. 05, pp. 751-758, 2019.
- [45] M. B. Ibañez, A. Di-Serio, D. Villaran-Molina and C. Delgado-Kloos, “Support for augmented reality simulation systems: The effects of scaffolding on learning outcomes and behavior patterns,” *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 9, no. 1, pp. 46-56, 2016.
- [46] A. Ibrahim, B. Huynh, J. Downey, T. Höllner, D. Chun and J. O’Donovan, J, “Arbis pictus: A study of vocabulary learning with augmented reality,” *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, vol. 24, no. 11, pp. 2867-2874, 2018.
- [47] P. H. Lin, Y. M. Huang and C. C. Chen, “Exploring imaginative capability and learning motivation difference through picture E-book,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 63416-63425, 2018.
- [48] S. Matsutomo, T. Manabe, V. Cingoski and S. Noguchi, “A computer aided education system based on augmented reality by immersion to 3-D magnetic field,” *IEEE transactions on magnetics*, vol. 53, no. 6, pp. 1-4, 2017.
- [49] S. Matsutomo, T. Miyauchi, S. Noguchi and H. Yamashita, “Real-time visualization system of magnetic field utilizing augmented reality technology for education,” *IEEE transactions on magnetics*, vol. 48, no. 2, pp. 531-534, 2012.
- [50] J. A. Muñoz-Cristobal, I. M. Jorin-Abellan, J. I. Asensio-Perez, A. Martinez-Mones, L. P. Prieto and Y. Dimitriadis, “Supporting teacher orchestration in ubiquitous learning environments: A study in primary education,” *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 8, no. 1, pp. 83-97, 2015.
- [51] M. T. Yang and W. C. Liao, “Computer-assisted culture learning in an online augmented reality environment based on free-hand gesture interaction,” *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 7, no. 2, pp. 107-117, 2014.
- [52] C. T. Yeo, T. Ungi, U. Paweena, A. Lasso, R. C. McGraw and G. Fichtinger, “The effect of augmented reality training on percutaneous needle placement in spinal facet joint injections,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 58, no. 7, pp. 2031-2037, 2011.
- [53] C. Lytridis and A. Tsinakos, “Evaluation of the ARTutor augmented reality educational platform in tertiary education,” *Smart Learning Environments*, vol. 5, no. 1, p. 6, 2018.
- [54] N. Nguyen, T. Muilu, A. Dirin and A. Alamäki, “An interactive and augmented learning concept for orientation week in higher education,” *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 15, no 1, p. 35, 2018.
- [55] M. E. C. Santos, T. Taketomi, G. Yamamoto, M. M. T. Rodrigo, C. Sandor and H Kato, “Augmented reality as multimedia: the case for situated vocabulary learning,” *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, vol. 11, no. 1, p. 4, 2016.
- [56] W. X. Si, X. Y. Liao, Y. L. Qian, H. T. Sun, X. D. Chen, Q. Wang and P. A. Heng, “Assessing performance of augmented reality-based neurosurgical training,” *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art*, vol. 2, no. 1, p. 6, 2019.
- [57] M. Akçayır & G. Akçayır, “Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature,” *Educational Research Review*, vol. 20, pp.1-11, 2017.