



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE  
GUAYAQUIL CARRERA DE INGENIERÍA DE  
SISTEMAS**

**DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA DE REALIDAD AUMENTADA PARA  
EL PROCESO DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LA PROGRAMACIÓN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero de Sistemas

**AUTOR: CHRISTIAN PATRICIO ILBAY TAPIA**

**TUTOR: MÓNICA DANIELA GÓMEZ RÍOS**

Guayaquil – Ecuador

2022

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Christian Patricio Ilbay Tapia con documento de identificación N° 0931132971 manifiesto que: Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 27 de Marzo del año 2022

Atentamente,



---

Christian Patricio Ilbay Tapia 0931132971

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Christian Patricio Ilbay Tapia con documento de identificación No. 0931132971, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: **“Diseño de una arquitectura de realidad aumentada como tecnología de apoyo en aplicaciones desarrolladas para la enseñanza aprendizaje”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero de Sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 21 de Marzo del año 2022

Atentamente,



---

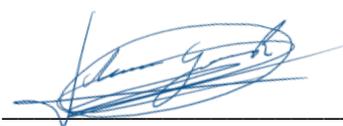
Christian Patricio Ilbay Tapia 0931132971

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mónica Daniela Gómez Rios con documento de identificación N° 0104606777, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA DE REALIDAD AUMENTADA COMO TECNOLOGIA DE APOYO EN APLICACIONES DESARROLLADAS PARA LA ENSEÑANZA APRENDIZAJE, realizado por Christian Patricio Ilbay Tapia con documento de identificación N° 0931132971, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de Marzo del año 2022

Atentamente,



Mónica Daniela Gómez Rios

0104606777

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo le dedico principalmente a Dios, quien me ha dado la fuerza para culminar uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres, por su entrega, sacrificio, y consejos en todos estos años lo cual me ha servido como motivación a superarme como persona y conseguir cada meta que me proponga.

A mi hermana quien me ha servido de inspiración para ser un gran profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia a Dios por bendecir mi vida, por guiarme a lo largo de mi vida personal y profesional y por ser la fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

Gracias a mis padres Norma y Marcelo por sus enseñanzas y por siempre confiar en mí y alentarme a crecer cada día más y no rendirme hasta conseguir lo que sueño.

Así mismo, deseo expresar mi agradecimiento a mi hermana y a mi enamorada quienes han estado en todo momento para mí.

Finalmente a los docentes de la carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Politécnica Salesiana por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación universitaria, de manera especial a mi tutor Mónica Gómez quien me ha brindado su apoyo profesional en este trabajo.

## **RESUMEN**

La Realidad Aumentada como tecnología de apoyo en el aprendizaje aporta grandes beneficios en su utilización en diferentes áreas de estudio. El objetivo general del presente estudio es proponer una arquitectura de realidad aumentada como tecnología de apoyo en el desarrollo de aplicaciones para la enseñanza aprendizaje mediante una revisión bibliográfica. Esta propuesta se realiza mediante una revisión sistemática y se documenta en una declaración PRISMA, con enfoque cualitativo para el análisis y propuesta de los componentes de la arquitectura. Entre los resultados está una revisión sistemática de artículos científicos, descripción de los componentes de arquitecturas RA, un diseño de una arquitectura RA, y una evaluación sobre la arquitectura. La arquitectura propuesta es un modelo con componentes generales para su utilización en desarrollo de software en varias áreas, el 88% de los encuestados está de acuerdo con la arquitectura propuesta.

**Palabras claves:** Realidad aumentada, Enseñanza-Aprendizaje, Arquitectura de AR, Aplicaciones informáticas.

## ABSTRACT

Augmented Reality as a learning support technology provides great benefits in its use in different areas of study. The general objective of this study is to propose an augmented reality architecture as a support technology in the development of applications for teaching-learning through a bibliographic review. This proposal is made through a systematic review and is documented in a PRISMA statement, with a qualitative approach for the analysis and proposal of the architecture components. Among the results is a systematic review of scientific articles, description of the components of AR architectures, a design of an AR architecture, and an evaluation of the architecture. The proposed architecture is a model with general components for use in software development in various areas, 88% of those surveyed agree with the proposed architecture.

**Key words:** Augmented reality, Teaching-Learning, Architecture of AR, Computer applications.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
3. METODOLOGÍA .....	14
4. RESULTADOS .....	16
4.1. Resultados de la búsqueda.....	16
4.2. Componentes generales de una arquitectura RA.....	17
4.3. Software y hardware para desarrollo.....	20
4.4. Arquitectura.....	21
4.5. Evaluar la arquitectura propuesta con especialistas .....	24
5. DISCUSIÓN.....	26
6. CONCLUSIÓN .....	27
REFERENCIAS.....	28

### 1. INTRODUCCIÓN

La Realidad Aumentada RA es una combinación tridimensional que contiene objetos computacionales y los mensajes son superpuestos sobre los objetos reales en tiempo real; las aplicaciones presentan al usuario un entorno común para las cosas virtuales y reales (PérezLópez et al., 2010). Esta tecnología puede incluir imágenes, sonido, vídeo, ubicación para generar información que se superpone en el mundo físico y estimula la percepción de las personas; aparentemente los objetos virtuales y los objetos reales están en el mismo entorno; tiene amplia utilización en industrias que el traspaso de información al usuario en un mínimo tiempo es fundamental (Mayilyan, 2019).

RA es importante para nuestro estudio porque se utiliza en la enseñanza y está en continuo crecimiento; los docentes consideran que cambia y agrega valor a la clase, además motiva a los estudiantes; esta tecnología permite ver los modelos 3D sobre un entorno y tiempo real, los estudiantes interactúan con modelos 3D; el uso de imagen de destino tiene mucha demanda en

las clases, las imágenes de destino se poseionan sobre una página, un plano u otro documento (Khalid et al., 2019). Los medios digitales se utilizan en el proceso de enseñanza y aprendizaje para ser más interactivo (Hsieh, 2016). El avance tecnológico adiciona entornos visuales interactivos en el aprendizaje; la tecnología 3D es un buen asistente estudiantil en una enseñanza eficaz, percibir conceptos y aumentar la comprensión, además es superior a la tecnología 2D (Scrivner et al., 2017).

RA es utilizada en áreas como: atención médica, militar, compras, seguridad física (Mayilyan, 2019), marketing, entretenimiento, educación (Scrivner et al., 2017). En educación, algunas de las materias que se aplica RA son: eléctrica, electromagnetismo, química, geociencia, geometría, biología, matemáticas, artes, astronomía, ciencias, animales (Khalid et al., 2019), enseñanza de lengua extranjera (Hsieh, 2016).

Se afirma que RA asiste en la optimización del aprendizaje porque la visualización y la interactividad maximizan la conservación en la memoria, eleva el rendimiento estudiantil y minimiza la ansiedad (Scrivner et al., 2017). Además se afirma que el aprendizaje es experiencial, entre más sentidos hay en el proceso de aprendizaje es mayor la experiencia; RA es una tecnología que se aprovecha en la educación (Pérez-López et al., 2010). El interés de los estudiantes aumenta al utilizar RA porque se utiliza la tecnología y causa un buen impacto en el sector educación( Jin et al., 2019).

No se debe confundir RA con realidad virtual RV, aunque estas tecnologías revolucionan el aprendizaje y enseñanza del sector educativo; la RA antepone el contenido virtual sobre el mundo físico, la RV sumerge a la persona en un mundo virtual y simulado (Elkoubaiti & Mrabet, 2018). De acuerdo a (Cai & Chen, 2019) la RA nació de la RV, la RA no se limita en el uso de otras tecnologías, utiliza el mundo real para entregar información y perfeccionar las experiencias de los estudiantes. RA y RV son dos polos opuestos (ver Fig. 1).



Figura 1. Diferencia entre RA y RV (Cai & Chen, 2019)

La tecnología RA, tiene variedad de investigaciones y desarrollos en varios dominios, y el dominio educativo es uno de ellos, las investigaciones en RA contienen los componentes

mínimos que necesita una propuesta tipo arquitectura RA para generar un impacto positivo en la enseñanza-aprendizaje de los estudiantes.

Algunos de los desafíos de la RA son: medir la eficacia en el salón de clases, la mejora de la experiencia del estudiante, evaluar las afectaciones de la interacción entre docente y estudiante, el mejorar la dinámica en el salón de clases (Scrivner et al., 2017).

Ventajas de RA: Se utiliza en cualquier lugar o tiempo, se ejecuta en dispositivos móviles, las personas pueden realizar actividades paralelas, existe una vinculación entre el mundo real y el virtual, la información entregada es de acuerdo al mundo real, las personas no pierden la visión del mundo real, se proyecta información sobre el objeto real, el beneficio para estudiantes es la utilidad en viajes, exhibiciones, bibliotecas o casa (Elkoubaiti & Mrabet, 2018). Otras ventajas son reducción de costos, aumentar las capacidades de réplica, actualización de información, personalización visual de los materiales, mayor confiabilidad y más versátil. El uso de RA en educación es importante porque los estudiantes pueden salir del salón de clases y aprender en el entorno natural y artificial, es un concepto diferente de aprendizaje mediante el descubrimiento; de igual manera es una herramienta muy importante o útil dentro del salón de clases, porque ayuda a reforzar el conocimientos mediante la visualización de modelos 2D y 3D; cabe destacar que RA no es un reemplazo del docente sino un complemento en las clases (Chen & Chen, 2018).

Todo sistema se implementa bajo una arquitectura, la cual permite conocer los componentes, servicios, funciones o flujo de información que se propone en una investigación.

¿Por qué es importante diseñar una arquitectura de RA como tecnología de apoyo en aplicaciones desarrolladas para la enseñanza aprendizaje?

Es importante para generar la base conceptual de una herramienta de aprendizaje, además que otros investigadores tomen esta base para continuar el diseño e implementación en el desarrollo de un software con RA; este diseño arquitectónico en el software implementado puede ser un elemento estratégico para ir hacia un aprendizaje avanzado y aumentar el interés, motivación y retención en los estudiantes, es necesario evolucionar el entorno de aprendizaje, y las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) satisfacen las necesidades del estudiante. Esta arquitectura servirá para otros investigadores o desarrolladores de software que implementen RA en enseñanza-aprendizaje de manera general; es conveniente realizarlo porque

las situaciones y características en cada materia de una carrera en ingeniería son diferentes, es decir las aplicaciones RA son personalizadas por cada materia (Khalid et al., 2019), (Hsieh, 2016). Un buen diseño arquitectónico en la etapa temprana de software nos ayuda a definir bien la estructura en piezas, componentes y herramientas para la futura construcción de la solución en enseñanza aprendizaje.

El objetivo general del presente estudio es proponer una arquitectura de realidad aumentada como tecnología de apoyo en el desarrollo de aplicaciones para la enseñanza aprendizaje mediante una revisión bibliográfica.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

Es importante conocer dentro de las aplicaciones de enseñanza aprendizaje cómo la realidad aumentada ha sido utilizada, por ello que, a continuación se presentan algunos ejemplos de aplicaciones en diferentes áreas de estudio:

*En la enseñanza de medicina:* La aplicación RA de (Khalid et al., 2019) en dispositivos móviles cuyo objetivo es auxiliar a los estudiantes y docentes, en la aplicación se observa un entorno virtual en 360 grados para hacer la experimentación inmersiva; entre los resultados obtuvieron que los estudiantes aprenden y se concentran en mejor tiempo que los métodos tradicionales.

*En la enseñanza de química:* la aplicación diseñada e implementada en (Jin et al., 2019) se orienta a motivar a estudiantes utiliza internet y educación por niveles; para mantener experimentos y procesos químicos fuera de peligro para los estudiantes, la aplicación informática genera una experiencia audio y visual, además es económica son gastos de químicos u utensilios.

*En la educación general:* La propuesta en RA de (Elkoubaiti & Mrabet, 2018) propone un aula que contiene dispositivos inteligentes a través de las tecnologías RA y RV con condiciones de un aula inteligente, esta propuesta quiere beneficiar a los ambientes educativos, optimizar las actividades, aunque consideran que faltan otras tecnologías habilitadoras. En la plataforma de

(Chen & Chen, 2018) se utiliza una interface, con RA y confirmación de imágenes; al mostrar imágenes de unas tarjetas se convierte el concepto abstracto en imagen virtual, es dirigido a educación media en aprendizaje de la naturaleza, entre los beneficios están la motivación, mejora en la actitud, mejor material didáctico y mejora en el proceso de enseñanza. Los autores de (Rivera Alvarado et al., 2018) diseñaron y desarrollaron una enseñanza con estándares de calidad, las pruebas en estudiantes de maestría obtuvieron beneficios como mejor pedagogía y usabilidad, además tiene características para optimizar el aprendizaje con este recurso educativo. La herramienta de (Ozeki et al., 2020) es utilizada por estudiantes para crear contenido RA, esta herramienta reduce los tiempos en generación de contenido, trabaja en la nube, la imagen mantiene marcadores enlazados a internet; además es utilizado como guía dentro del campus para estudiantes nuevos.

*En la enseñanza de inglés:* Los autores de (Dalim et al., 2017) diseñaron una arquitectura RA y desarrollaron la aplicación de escritorio para mostrar los colores, formas y otras relaciones; los colores y formas están en un primer módulo, y las relaciones están en un segundo módulo; esta aplicación utiliza reconocimiento de voz para aprendizaje, además las experiencias en niños fue muy buena por la cantidad de interacciones de los niños con la aplicación. En (Scrivner et al., 2017) se prepararon videos, imágenes y experiencias para enseñar al estudiante otro idioma, la herramienta contiene pequeños diálogos y practicas; se explican variedades de acentos para maximizar la comprensión/motivación, ser más eficiente en el aula. Los autores de (Liu et al., 2019) diseñaron y desarrollaron aun aplicación RA para leer, entender y hablar el idioma se propuso una aplicación informática móvil, esta aplicación ayuda a memorizar las palabras y características de los planetas y el sol; a través de la aplicación los estudiantes colaboran entre pares y se unen a grupos.

*En la enseñanza de geociencias:* La plataforma informática se utiliza en salones de geociencias, el objetivo es aumentar el pensamiento espacial, conocimiento experiencial, pensamiento crítico, raciocinio y la participación del estudiante; el principal beneficio es minimizar la logística, simulaciones más realistas y problemas realistas (Kundu et al., 2017). El objetivo de (Mayilyan, 2019) es mejorar la comprensión/aprendizaje de los estudiantes y subir su productividad; los autores implementaron un proyecto que utiliza marcadores sobre un globo del mundo, es para dispositivos móviles, en el entorno las imágenes se anteponen sobre el globo y la aplicación entrega conceptos del globo.

*En la enseñanza de matemáticas:* El objetivo de la aplicación diseñada es la explicación adecuada del libro como asistente en el aprendizaje utilizando tabletas o teléfonos inteligentes; los autores implementaron una plataforma para los docentes y estudiantes diseñen e implementen figuras en 3D; los investigadores se centraron en el diseño para que los estudiantes diseñen sus propias figuras (Sarkar, 2020).

### 3. METODOLOGÍA

Para la propuesta de diseño de una arquitectura de Realidad Aumentada para el proceso de enseñanza aprendizaje se utiliza el método sistemático y explícito, con enfoque cualitativo para el análisis y propuesta de los componentes de la arquitectura. Par lo cual, mediante la siguiente figura se presenta por fases el desarrollo de esta investigación:

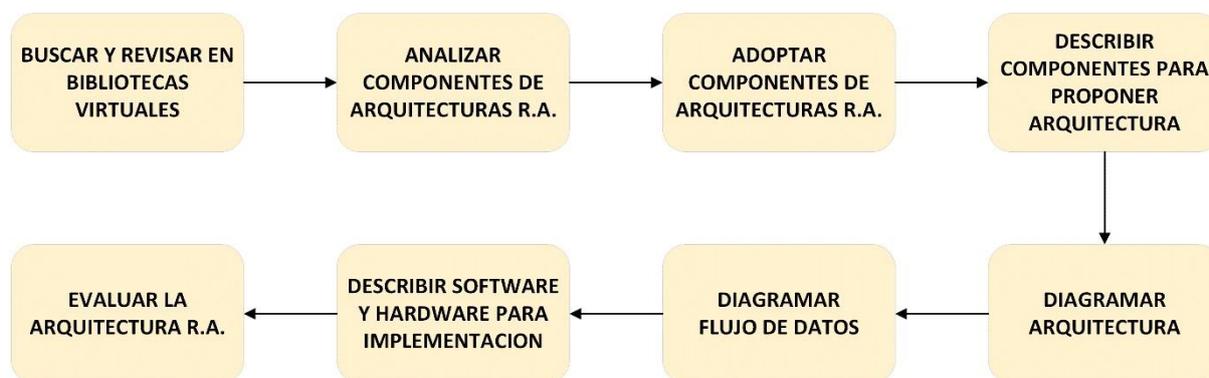


Figura 2. Metodología de la investigación

La Fig. 2 representa las fases a nivel macro que se siguieron para la propuesta, siendo así:

Fase 1: Buscar y revisar en bibliotecas virtuales: Se realiza una búsqueda en bibliotecas virtuales SCOPUS, WOS, IEEE, ACM Y GOOGLE SCHOOLAR.

Para definir las palabras clave en relación con la fase 1, se toma en cuenta lo correspondiente a la enseñanza-aprendizaje, el uso de tecnologías; para este caso como principal foco la RA, la arquitectura en sí y el diseño, mediante la siguiente consulta:

(Learning OR Education) AND  
(technologies) AND (augmented reality  
OR architecture) AND (design)

Por otro lado, se aplicaron diferentes criterios de inclusión y exclusión para filtrar y seleccionar los documentos, como se indica en la Tabla 1:

*Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión*

<b>Inclusión</b>	<b>Exclusión</b>
Artículos de los cinco últimos años	Literatura gris
Títulos relacionados a RA	No presenta arquitectura
Artículos de revistas o conferencias	
Documentos con base teórica de RA, aprendizaje y arquitectura	

Fuente: Elaboración propia.

Fase 2: Analizar componentes de arquitecturas RA: Una vez filtrados y seleccionados los artículos científicos que tienen arquitecturas o modelos en R.A. se analizan sus elementos para conocer los requisitos mínimos de un modelo en RA.

Fase 3: Adoptar componentes de arquitecturas RA: Se toman los componentes para armar nuestra propuesta de nueva arquitectura RA dirigido a la enseñanza aprendizaje.

Fase 4: Describir componentes para proponer arquitectura RA: Realizar la descripción de los elementos de la arquitectura RA.

Fase 5: Diagramar flujo de datos: Para conocer el flujo entre el usuario y la aplicación RA.

Fase 6: Describir software y hardware para implementación: Se recomienda las herramientas tecnológicas para su posible implementación.

Fase 7. Evaluar la arquitectura RA: La arquitectura propuesta se pone a revisión por ingenieros de sistemas para su evaluación, la encuesta la respondieron 18 profesionales en sistemas. Las preguntas se plantean en dos segmentos:

Primer segmento: 1) Sobre el nivel de estudios, 2) Nivel de conocimiento en Realidad Aumentada, 3) Nivel de conocimiento en Arquitecturas de Sistemas.

Segundo segmento: 1) Considera que las capas en la arquitectura propuesta son suficientes, 2) Considera suficiente la descripción de las capas, 3) Es claro el gráfico de la arquitectura, 4) La arquitectura se adapta al uso de la RA para herramientas educativas, 5) La arquitectura presenta los principales componentes de RA en aplicaciones educativas. Estas 5 preguntas tienen la siguiente escala: Totalmente de acuerdo, De acuerdo, Neutral, En desacuerdo y Totalmente en desacuerdo.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Resultados de la búsqueda.

Se utiliza una declaración PRISMA (Page et al., 2021) para documentar la revisión sistemática de manera transparente y contiene una lista de verificación que es adaptable a esta clase de revisión; aquí se obtienen artículos cuantitativos y cualitativos, teóricos o implementaciones (Ver Fig. 3).

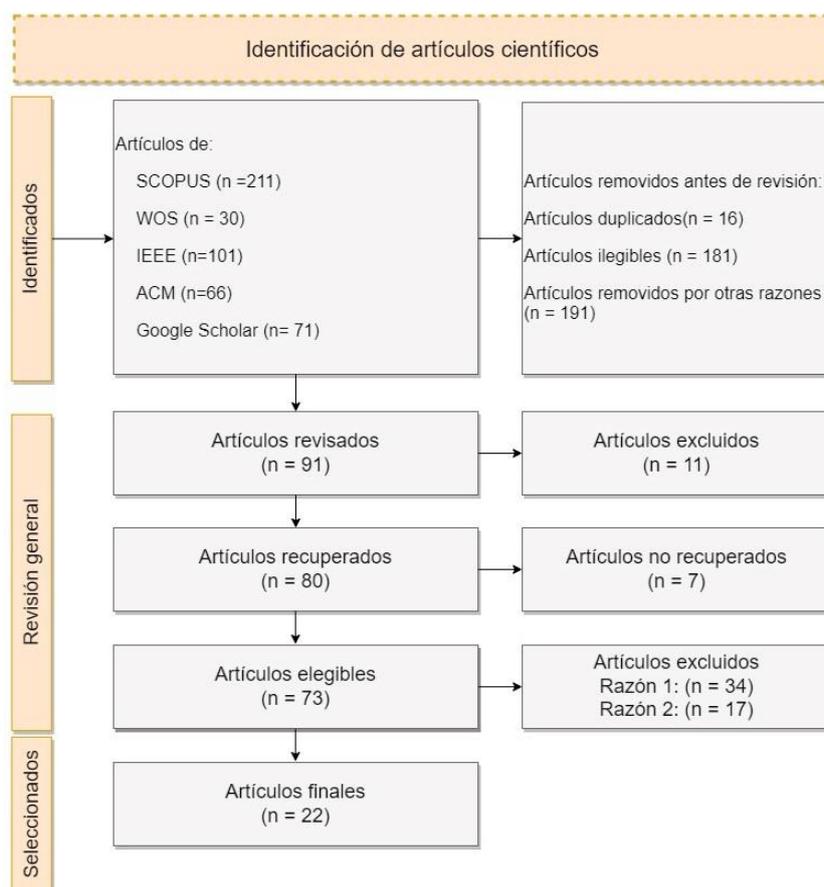


Figura 3. Mapa PRISMA

De un total de 479 resultados obtenidos de las bibliotecas SCOPUS, WOS, IEE, ACM y Google Scholar, al aplicar los criterios de inclusión y exclusión que se detallan en la Tabla 1.; además se descartan 16 artículos aquellos que coincidían como duplicados que son 16; se descartan 181

artículos ilegibles que no coinciden con “Realidad Aumentada” o solo presentan resumen o no tienen la palabra Educación o no son de acceso libre; se remueven 191 archivos por otras razones como libros, poster, idioma o pago por ver; se obtuvieron un total de 91 documentos de los cuales por el contenido se descartaron 11 artículos no se recuperaron porque la biblioteca pide un valor de pago para bajar el documento completo, y otros 7 documentos no se pueden bajar por que solicitan otras credenciales; entre los 73 artículos elegibles se descartaron 34 porque son lectura gris o solo presentan conceptos, se descartaron otros 11 porque no son específicos en su arquitectura o no son aplicables al propósito de esta investigación. Luego de la revisión general el resultado final son 22 artículos útiles para los objetivos de esta investigación.

#### 4.2. Componentes generales de una arquitectura RA.

Para poder realizar una propuesta de diseño de arquitectura es importante conocer los componentes que forman parte de la tecnología RA, esta tecnología tiene varias investigaciones y diversos conceptos generados por diversos documentos (Hsieh, 2016). La Tabla 2 presenta en los artículos científicos agrupados por área, en una hoja electrónica se tabularon los componentes como: sistema operativo en el que se ejecuta la aplicación de RA, el área de aplicación, el modelado que utiliza, la plataforma de desarrollo, herramienta de desarrollo, dato adicional, y si presenta o no la arquitectura en los artículos que presentan arquitecturas describen los componentes, es decir estos trabajos presentaron arquitecturas en sus propuestas.

Tabla 2. Arquitecturas RA

Área	Descripción	Referencias
Enseñanza	Se utiliza RA en enseñanza de varias materias a los estudiantes	(Mayilyan, 2019), (Khalid et al., 2019), (Scrivner et al., 2017), (Jin et al., 2019), (Elkoubaiti & Mrabet, 2018), (Rivera Alvarado et al., 2018), (Ozeki et al., 2020), (Dalim et al., 2017), (Liu et al., 2019), (Kundu et al., 2017), (Sarkar, 2020)
Juegos	Se utiliza juegos para aprendizaje estimulación	(Klimm et al., 2019), (Kohen et al., 2021), o (Choudhary et al., 2021)
Salud	Evaluación médica a los pacientes	(Boyd et al., 2020)
Visualización 3D	Visualizar el objeto o componente en 3D	(Jasche & Ludwig, 2019)
Búsqueda de Documentos	Encontrar documentos en una simulación	(Yew et al., 2020)
Ensamblar vehículos	Ver repuestos y armar un vehículo	(Gimeno et al., 2018)
Búsqueda de objetos	Ver la ruta hacia un objetivo	(Shaikh, 2021) , (Puigvert et al., 2018)

Vista de hogar	Muebles o utensilios en una casa (Zhang et al., 2018)
Visualización de sensores	Distribución de sensores en una organización (Sosin & Itoh, 2019)

Fuente: Elaboración propia.

Entre los 22 documentos que presentaron las arquitecturas, es importante como componente de una arquitectura, definir los tipos de sistemas operativos utilizados en diferentes propuestas, siendo así, el más utilizado es en Android e iOS juntos en 39% (9 artículos), los demás son Windows en 23% (5 artículos), Android en 23% (5 artículos), Linux en 5% (1 artículo), iOS en 5% (1 artículo) y Browser en 5% (1 artículo), (ver Fig. 4).

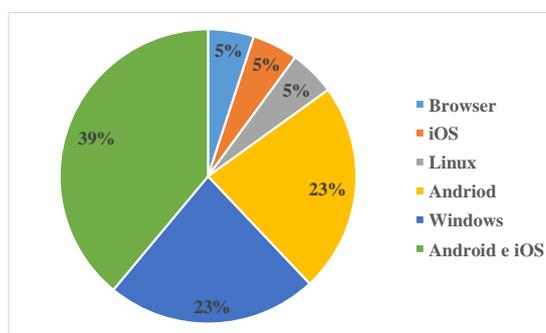


Figura 4. RA en sistemas operativos

Por otro lado, entre los 22 artículos, las dos áreas con mayor acogida al uso de la RA son: La Enseñanza con 50% (11 artículos) y Juegos con 18% (3 artículos), Búsqueda con 8% (2 artículos), Documentos con 4% (1 artículo), Hogar con 4% (1 artículo), Visualización 3D con 4% (1 artículo), Salud con 4% (1 artículo), Sensores con 4% (1 artículo) y Ensamblado de vehículos con 4% (1 artículo), (ver Fig. 5).

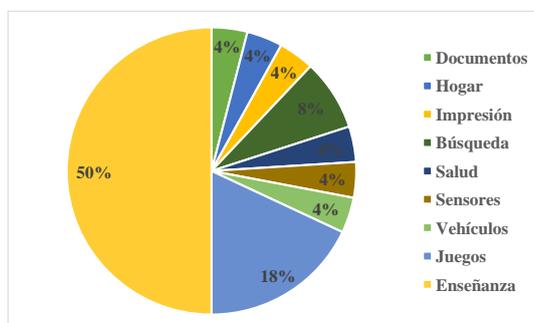


Figura 5. RA en áreas

Entre los 22 artículos, el tipo de modelado utilizado fue: solo 2D en 9% (2 artículos), ambos 2D y 3D en 18% (4 artículos), y solo 3D en 73% (16 artículos), (ver Fig. 6).

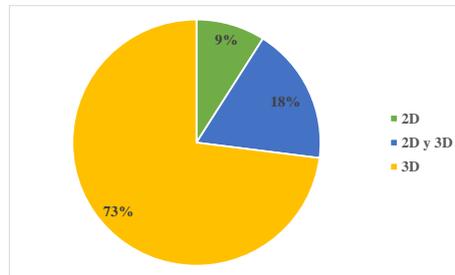


Figura 6. RA en modelos

Entre los 22 artículos, como plataformas utilizadas en las arquitecturas RA: ARCore con 5% (1 artículo), Dagger con 5% (1 artículo), PyTorch con 5% (1 artículo), Sandbox con 5% (1 artículo), existe un 13% (3 artículos) que no nombra la plataforma, Unity es utilizado en 67% (15 artículos), (ver Fig. 7).

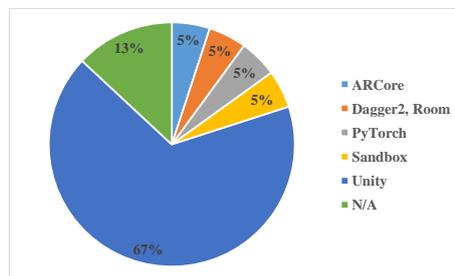


Figura 7. Plataformas en arquitecturas RA

Entre los 22 artículos, las herramientas utilizadas en las arquitecturas son: C++ en 5% (1 artículo), Kinect en 5% (1 artículo), LensStudio en 5% (1 artículo), existe un 21% en 5% (5 artículos) que no nombra la herramienta, Reality Toolkit en 14% (3 artículos), Vuforia utilizada en 50% (11 artículos), (ver Fig. 8).

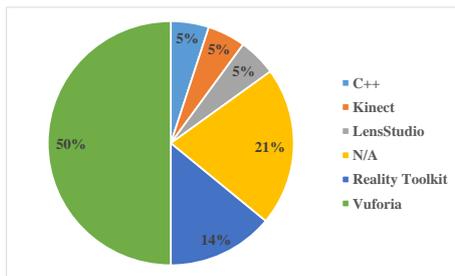


Figura 8. Herramientas en arquitecturas RA

Además, entre los 22 artículos, la combinación de plataformas/herramientas más nombradas en las arquitecturas son: Dagger2/Vuforia en 5% (1 artículo), PyTorch/LensStudio en 5% (1 artículo), Sandbox en 5% (1 artículo), Unity/Kinect en 5% (1 artículo), Unity/Reality Toolkit en 13% (3 artículos), existe un 26% que no nombra la herramienta utilizada (6 artículos), Unity/Vuforia en 41% (9 artículos), (ver Fig. 9).

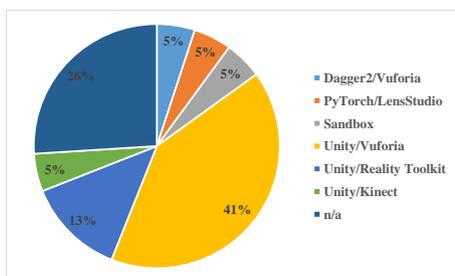


Figura 9. Combinaciones en arquitecturas RA

Entre los 22 artículos, el 73% (16 artículos) de los artículos si presentaron grafica de arquitectura y casos de uso, y el 27% (6 artículos) de los artículos detalla la arquitectura; esto significa que una parte se enfoca en la teoría y el desarrollo de RA y la otra se enfoca en representar en forma gráfica la arquitectura para su mejor entendimiento.

Se distingue que la plataforma con la herramienta más utilizada es Unity con Vuforia dirigidos a Android/iOS, sólo un 27% (6 artículos) presenta la arquitectura RA en las propuestas nombradas.

#### 4.3. Software y hardware para desarrollo

Basados en los artículos científicos se recomienda utilizar la combinación Vuforia y Unity que es utilizado en 41% (9 artículos) de las arquitecturas revisadas junto a OpenGL.

**Software de desarrollo:** Para la manipulación de objetos 2D o 3D utilizados en RA, se utiliza OpenGL descargable (Group, 2021); esto permite la manipulación de escenas en 2D o 3D y expresa el efecto contiguo de una acción como rotación de la imagen.

Como herramientas de desarrollo de proyectos RA se propone utilizar Vuforia SDK (Vuforia, 2021) y Unity Engine (Technologies, 2021) que se ejecutan en dispositivos portátiles iOS y Android; Vuforia es licencia libre para proyectos de Unity, y permite estacionar contenido sobre una superficie definida; además la utilización con herramientas como Xcode, Android Studio y Microsoft Visual Studio; es necesario utilizar el escenario con dos marcadores RA, uno para fuente de luz y otro objeto 2D o 3D, aquí la fuente de luz alumbra el objeto y estos cambios se observan en tiempo real.

Para el módulo de administración de contenido se recomienda utilizar Java, este lenguaje tiene la propiedad de ejecutarse en una máquina virtual, se ejecuta en cualquier sistema operativo, se ejecuta en cualquier computadora.

**Hardware:** Para las tareas de desarrollo se debe contar con un computador con las mínimas características: Pantalla 15 pulgadas, Procesador Intel Core i7, Velocidad 3Ghz, Gráficos integrados Intel, RAM 8GB, Disco duro SSD de 500GB, Sistema Operativo Windows 10, Cámara, teclados y mouse. Para las tareas de pruebas se debe contar con un celular o Tablet con Sistema Operativo iOS o Android y características generales como: Pantalla LCD 6 Pulgadas HD, Procesador de 8 núcleos a 2,3 GHz, RAM 4 GB, Almacenamiento: 64 GB, Cámara frontal 5 MP, Cámara Trasera 8 MP, Conectividad LTE/Wi-Fi/Bluetooth.

#### 4.4. Arquitectura

Se propone una arquitectura general en capas utilizables en un ambiente educativo que apoye la enseñanza aprendizaje (ver Fig. 10), se propone en capas para ser más entendible (Rivera Alvarado et al., 2018), (Sosin & Itoh, 2019); de acuerdo a estrategias disponibles y las experiencias de usuarios (Khalid et al., 2019), (Jin et al., 2019), (Chen & Chen, 2018), (Sarkar, 2020) las interacciones deben ser: una imagen/objeto 2D o 3D superpuesto y la actividad/interacción en el espacio 2D o 3D; las capas se describen a continuación:

**Capa Usuarios:** En esta capa están las interfaces de usuarios, los usuarios son los docentes, observadores, guías y estudiantes; el estudiante puede utilizar una aplicación web o escritorio o móvil para aprendizaje, esta puede soportar texto y audio para entrada/salida de datos, además

video para salida de datos al estudiante; el docente puede utilizar una aplicación al otro lado para Administración de los Contenidos y Enseñanza, además soporta la administración para adicionar contenido de objetos educativos, como texto, video, animaciones aumentadas. Pero no siempre existe una aplicación para el docente, ya que él puede ser un observador y guía en el desarrollo de actividades que requiera la aplicación, convirtiéndose la aplicación en un complemento a la cátedra del docente o una fuente de apoyo. En otras palabras el docente no siempre tiene inclusión en el uso de la herramienta RA ya implementada.

**Capa Dispositivos con cámara:** Contiene hardware (teléfono inteligente, computador de escritorio o tableta u otro dispositivo con cámara), que capte la fuente de datos de la realidad y presentación de objetos virtuales; aquí se encuentran las unidades de entrada y otras tecnologías que se utilizan capturar el entorno real como cámara, marcadores, controlador óptico, etiquetas RFID, códigos de barras 2D o 3D, sensores de posicionamiento u orientación; también están las unidades de salida, se puede utilizar pantallas de computadoras, teléfonos inteligentes, tabletas, hardware de audio o pantallas sensoriales; estos dispositivos se utilizan para generar sensaciones que estimulen al usuario.

**Capa Interface de Usuario:** Contiene dos módulos, el primer módulo es para interfaces generales de usuarios como bienvenida, botones de acceso, posesión de imágenes, cajas de diálogo, presentación de texto/imagen sobre el entorno que la cámara apunta. En el segundo módulo es para Administración y Control, aquí el administrador de la aplicación tiene control sobre contenido que debe almacenar y representar la arquitectura; además puede adicionar actividades para generar un valor agregado y aumentar los beneficios; esta capa esta enlazada a la capa de procesos para tomar el control, y está enlazada a la unidad de entrada para el seguimiento de las interacciones de los usuarios (Elkoubaiti & Mrabet, 2018). Aquí se encuentra el reconocimiento de marcadores o geolocalización. Cabe destacar que el módulo de Administración y Control no es obligatorio porque el docente puede ser solo un observador.

**Capa Recursos:** Contiene componentes multimedia (imágenes, video, audio o imágenes) 2D y 3D que se entregan en tiempo real a los usuarios.

**Capa Interacción:** Contiene algoritmos para evaluar o consultar imágenes, guardar las actividades del usuario en una base de datos, las actividades realizadas por los usuarios pueden almacenarse y es opcional.

**Capa Datos:** Contiene el repositorio de datos en bases de datos pequeñas y portables como MySQL o SQLite o Firebase, los datos generales que se incorporan a la arquitectura se incluyen usuarios y actividades. No necesariamente se guardan las actividades realizadas por los usuarios, la herramienta puede funcionar sin interacción con la base de datos.

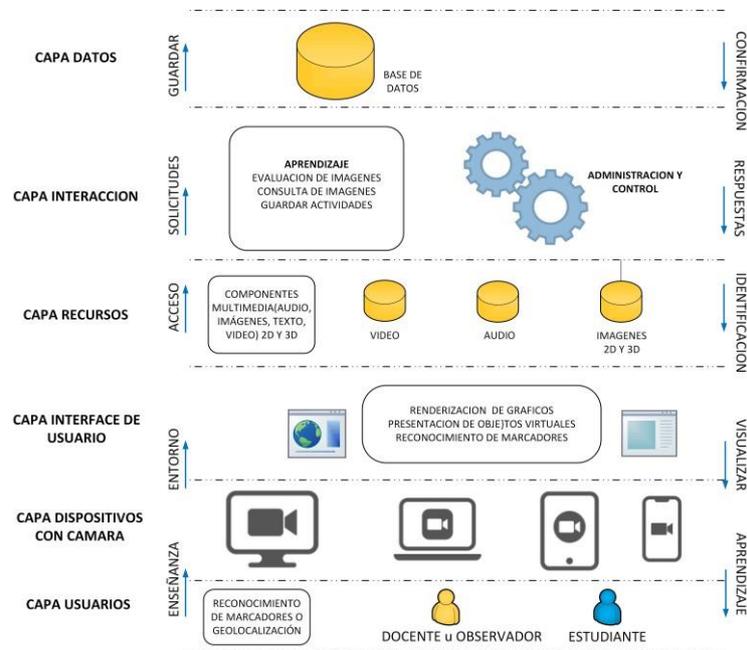


Figura 10. Propuesta de arquitectura RA

Esto es una propuesta generalizada para cualquier tipo de sistema aprendizaje en realidad aumentada, otros investigadores pueden tomar esta arquitectura para su posible implementación.

El docente puede ser guía u observador o administrador del sistema, la herramienta es un complemento de enseñanza-aprendizaje, en la siguiente capa se utiliza cualquier dispositivo con cámara, en la siguiente capa se activan los componentes multimedia (imágenes, video, audio o imágenes) 2D y 3D; en la siguiente capa se ejecutan los procesos que apoyan la interacción como evaluación y almacenamiento de actividades; en la siguiente capa puede almacenarse las evaluaciones de los estudiantes.

La utilización de software para creación de RA debe ser sencilla para que los usuarios administradores implementen sus contenidos e interacciones, es conveniente que los usuarios administradores se capaciten para aumentar la capacidad técnica, se considera el posicionamiento y orientación del usuario; se obtiene como resultado una capa digital de

información con datos los componentes multimedia (imágenes, video, audio o imágenes) 2D y 3D, es decir un aumento.

La arquitectura está encaminada a las siguientes características:

- a) Creación de contenido de RA, presentación de objetos virtuales mediante un dispositivo con cámara, asociar marcadores para detectar y superponer las imágenes, posicionar los objetos relativos al marcador.
- b) El módulo de administración puede ser formato web o escritorio, y es recomendable ejecutar desde un computador de escritorio para la creación de contenido, el usuario administrador puede asociar los modelos a un marcador asignando los modelos 2D o 3D; este módulo no es obligatorio en su operación.
- c) La aplicación obtiene los marcadores a través de la cámara del dispositivo, presentación de objetos virtuales sobre el mundo real, además ser una interface táctil y sencilla.

Es necesario cumplir ciertos principios de diseño: la presentación de información textual debe ser clara; las interfaces de usuario sea sencillo para aumentar la experiencia y un entorno de RA interactivo; las funcionalidades de la aplicación sean comprensibles; los datos como la ubicación, la orientación y actividades de aprendizaje en general se captan a través de sensores y marcadores para ampliar la información/objeto en el mundo real; coordinar la información/objeto con cualquier actividad de aprendizaje asegura que ambos están en la colocación correcta para superponer la información en el entorno real; la interacción 2D o 3D debe ser natural en los dispositivos (Ocampo, 2019).

#### 4.5. Evaluar la arquitectura propuesta con especialistas

Para la evaluación de la arquitectura se contactó a profesionales, docentes o especialistas en ingeniería de sistemas o carreras afines; se realizó un cuestionario electrónico que contiene: el objetivo de la encuesta, el gráfico de la arquitectura, una breve explicación de las capas y preguntas relacionada a la arquitectura propuesta en esta investigación. Se obtuvo respuestas de 18 personas profesionales.

***Sobre el nivel de estudios de los encuestados:*** Entre los 18 profesionales, el 61% son profesionales en ingeniería de sistemas y 39% tienen maestría en área de sistemas. El nivel de conocimiento de los 18 profesionales en Realidad Aumentada es que 28% tiene nivel bajo, 50%

tiene nivel medio y 22% tiene nivel alto. El nivel de conocimiento de los 18 profesionales en Arquitecturas de Sistemas es que 6% tiene nivel bajo, 44% tiene nivel medio y 50% tiene nivel alto.

***Sobre la encuesta:***

P1) Considera que las capas en la arquitectura propuesta son suficientes.

P2) Considera suficiente la descripción de las capas.

P3) Es claro el gráfico de la arquitectura.

P4) La arquitectura se adapta al uso de la RA para herramientas educativas.

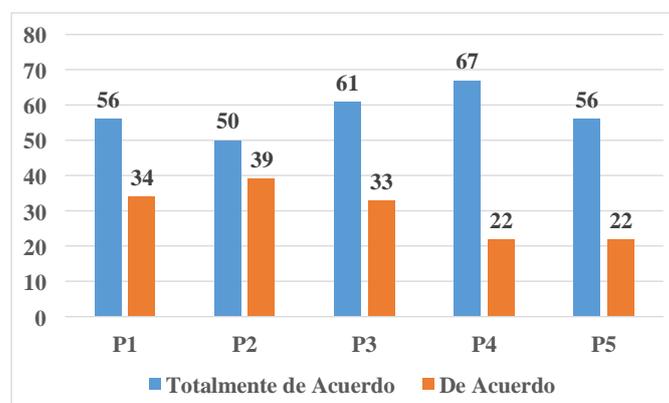
P5) La arquitectura presenta los principales componentes de RA en aplicaciones educativas.

*Tabla 3. Respuestas de la encuesta*

Preguntas	Totalmente de Acuerdo	De Acuerdo	Neutro	En Desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
P1	56	34	5	5	
P2	50	39	11		
P3	61	33	6		
P4	67	22	11		
P5	56	22	17	5	

Fuente: Elaboración propia.

En las cinco preguntas los profesionales de sistemas están de acuerdo o totalmente de acuerdo en su mayoría, se considera que la arquitectura puede aplicarse a un desarrollo (ver Fig. 11)



*Figura 11. Encuesta sobre la arquitectura RA*

## 5. DISCUSIÓN

De acuerdo con la literatura científica revisada, la RA está siendo probada en varios procesos para conocer su influencia en algunos campos de estudio. Esta investigación está enfocada a reunir las principales características en el diseño de su arquitectura general, la cual pueda ser una base en el desarrollo de aplicaciones con RA en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Establecer una arquitectura general es un desafío que no puede ser completamente cubierto con esta primera versión.

En este estudio se partió de los resultados y análisis de los 22 artículos, de lo cual se encontraron algunas limitaciones como, por ejemplo: no todos documentos presentan arquitecturas que sirvan de modelo a seguir, no todos documentos nombran las plataformas de desarrollo en realidad aumentada, no todos documentos nombran el software de desarrollo en realidad aumentada. Motivo por el cual, esta propuesta es su análisis y optimización de los componentes para una posible implementación con recursos y tiempos aceptables.

De acuerdo a las revisiones de los 22 artículos científicos: el sistema operativo más utilizado es en Android/iOS juntos en 39% del total; el área con mayor acogida es Enseñanza con 50% del total y esto se confirma en (Khalid et al., 2019) y (Hsieh, 2016); el modelo más utilizado 3D en 73% del total y esto se confirma en (Scrivner et al., 2017); la plataforma más utilizada es Unity en 67% del total; la herramienta más utilizada es Vuforia en 50% del total; la combinación de plataformas más utilizada es Unity/Vuforia en 41% del total; además otros autores Shaikh y Zhang indican que Unity y Vuforia son excelentes herramientas (Shaikh, 2021), (Zhang et al., 2018). Aunque Amazon, Google y Microsoft tienen nuevas herramientas y asociaciones con otras empresas para Realidad Aumentada.

En base a lo anterior, con la finalidad de afianzar el planteamiento de la arquitectura, se realizó una encuesta a 18 profesionales en el uso de la RA, la cual mostró en promedio general que el 88% está de acuerdo o totalmente de acuerdo en la arquitectura, lo cual nos presenta un aliciente y mayor seguridad del trabajo realizado. Cabe indicar que por otro lado, se tomaron en cuenta las recomendaciones por parte de los encuestados, de las cuales tenemos que: la capa de

servicios puede ser mejorada y definida en dos subcapas con sus nombres, otra sugerencia es incluir lo relacionado a la parte de seguridad, revisar el proyecto del metaverso y las clases de RA; otra sugerencia que en la capa de dispositivos con cámaras se podría dividir en hardware y en software, porque sin el reconocimiento del imagen (marcador) del software instalado en el hardware, no funcionaría la RA; otros comentario es que en términos generales, algunas preguntas pueden ser enfocadas a las necesidades de los educadores. Por lo que, como trabajo futuro se plantea realizar un análisis más profundo con otros expertos en el uso de la RA para afianzar los resultados de esta propuesta, tomando en cuenta cada una de las recomendaciones.

## 6. CONCLUSIÓN

Luego de finalizada la propuesta de la arquitectura, se logró el objetivo de diseñar una arquitectura de RA con las principales características en el uso de la RA para las aplicaciones de enseñanza aprendizaje, aunque se encontró gran cantidad de trabajos en otras áreas que sirvieron para afianzar el análisis de resultados. En cuanto a la encuesta realizada por los profesionales en el área de la tecnología de RA, podemos indicar decir que el grado de aceptación fue positivo en acuerdo a la arquitectura propuesta, sin dejar a un lado el interés por el análisis de las recomendaciones realizadas.

## REFERENCIAS

- Boyd, N., Hawkins, J., Yang, T., & Valcourt, S. A. (2020). Augmented Reality: Telehealth Demonstration Application. *Practice and Experience in Advanced Research Computing*, 452–455. <https://doi.org/10.1145/3311790.3399629>
- Cai, W., & Chen, Q. (2019). An Experimental Research of Augmented Reality Technology from the Perspective of Mobile Learning. *Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2018, December*, 912–915. <https://doi.org/10.1109/TALE.2018.8615146>
- Chen, G. J., & Chen, R. S. (2018). A case study of the development of using augmented reality in teaching nature and life technology to a junior high school students in Southern Taiwan. *Proceedings - 2018 1st International Cognitive Cities Conference, IC3 2018*, 145–148. <https://doi.org/10.1109/IC3.2018.00-41>
- Choudhary, Z., Ugarte, J., Bruder, G., & Welch, G. (2021). Real-Time Magnification in Augmented Reality. *Proceedings - SUI 2021: ACM Spatial User Interaction 2021*, 2–3. <https://doi.org/10.1145/3485279.3488286>
- Dalim, C. S. C., Piumsomboon, T., Dey, A., Billingham, M., & Sunar, S. (2017). TeachAR: An Interactive Augmented Reality Tool for Teaching Basic English to Non-native Children. *Adjunct Proceedings of the 2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2016*, 344–345. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2016.0113>
- Elkoubaiti, H., & Mrabet, R. (2018). A Generic Architecture of Augmented and Virtual Reality in Classrooms. *International Conference on Multimedia Computing and Systems -Proceedings, 2018-May*, 20–23. <https://doi.org/10.1109/ICMCS.2018.8525976>
- Gimeno, J., Casas, S., Portales, C., & Fernandez, M. (2018). Addressing the Occlusion Problem in Augmented Reality Environments with Phantom Hollow Objects. *Adjunct Proceedings - 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2018*, 21–24. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2018.00024>
- Group, K. (2021). *OpenGL*. <https://www.opengl.org/>
- Hsieh, M. C. (2016). Teachers' and students' perceptions toward augmented reality materials. *Proceedings - 2016 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics, IIAI-AAI 2016, 1*, 1180–1181. <https://doi.org/10.1109/IIAI-AAI.2016.39>
- Jasche, F., & Ludwig, T. (2019). Appropriating 3D printers in augmented reality. *PervasiveHealth: Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 901–903. <https://doi.org/10.1145/3340764.3345377>
- Jin, J., Liu, T., Wang, Y., & Wang, C. (2019). Isea: An interesting application of chemistry education based on AR. *Proceedings - 2019 International Conference on Virtual Reality and Visualization, ICVRV 2019*, 283–285. <https://doi.org/10.1109/ICVRV47840.2019.00071>
- Khalid, F., Ali, A. I., Ali, R. R., & Bhatti, M. S. (2019). AREd: Anatomy learning using augmented reality application. *2019 International Conference on Engineering and Emerging Technologies, ICEET 2019*. <https://doi.org/10.1109/CEET1.2019.8711843>
- Klimm, M., Walczak, D., & Ayen, D. (2019). Jumpar - Augmented reality platformer. *CHI PLAY 2019 - Extended Abstracts of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 261–266. <https://doi.org/10.1145/3341215.3358249>
- Kohen, S., Elvezio, C., & Feiner, S. (2021). HoloFight: An Augmented Reality Fighting Game. *ACM SIGGRAPH 2021 Immersive Pavilion, SIGGRAPH 2021*. <https://doi.org/10.1145/3450615.3464531>
- Kundu, S. N., Muhammad, N., & Sattar, F. (2017). Using the augmented reality sandbox for advanced learning in geoscience education. *Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering, TALE 2017, 2018-Janua(December)*, 13–17. <https://doi.org/10.1109/TALE.2017.8252296>
- Liu, E., Liu, C., Yang, Y., Guo, S., & Cai, S. (2019). Design and Implementation of an Augmented Reality Application with an English Learning Lesson. *Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2018, December*, 494–499. <https://doi.org/10.1109/TALE.2018.8615384>
- Mayilyan, H. (2019). Implementation of Augmented Reality Globe in Teaching-Learning Environment. *Proceedings - 2nd International Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval, MIPR 2019*, 389–390. <https://doi.org/10.1109/MIPR.2019.00078>
- Ocampo, A. J. T. (2019). Tourmar: Designing Tourism Mobile Augmented Reality Architecture with Data

- Integration to improve User Experience. *ACM International Conference Proceeding Series*, 79–83. <https://doi.org/10.1145/3330393.3330428>
- Ozeki, T., Okamura, Y., & Mouri, T. (2020). Attempt to extract lacking information on university campus by augmented reality content production activities. *Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2020, June 24*, 925–926. <https://doi.org/10.1109/TALE48869.2020.9368390>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., & Bossuyt, P. M. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2021.105906>
- Pérez-López, D., Contero, M., & Alcañiz, M. (2010). Collaborative development of an augmented reality application for digestive and circulatory systems teaching. *Proceedings - 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2010*, 173–175. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2010.54>
- Puigvert, J. R., Krempel, T., & Fuhrmann, A. (2018). Localization Service Using Sparse Visual Information Based on Recent Augmented Reality Platforms. *Adjunct Proceedings - 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2018*, 415–416. <https://doi.org/10.1109/ISMARAdjunct.2018.00123>
- Rivera Alvarado, L. A., Lopez Dominguez, E., Hernandez Velazquez, Y., Dominguez Isidro, S., & Excelente Toledo, C. B. (2018). Layered software architecture for the development of mobile learning objects with augmented reality. *IEEE Access*, 6, 57897–57909. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2873976>
- Sarkar, P. (2020). Exploring Design Strategies for Augmented Reality Learning Experience in Classrooms. *Adjunct Proceedings of the 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2020*, 314–316. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct51615.2020.00089>
- Scrivner, O., Madewell, J., Buckley, C., & Perez, N. (2017). Augmented reality digital technologies (ARDT) for foreign language teaching and learning. *FTC 2016 - Proceedings of Future Technologies Conference, December*, 395–398. <https://doi.org/10.1109/FTC.2016.7821639>
- Shaikh, F. S. (2021). Augmented Reality Search to Improve Searching Using Augmented Reality. *2021 6th International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2021*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/I2CT51068.2021.9417827>
- Sosin, A., & Itoh, Y. (2019). WARP: Contributional Tracking Architecture Towards a Worldwide Augmented Reality Platform. *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, 71–72. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2019.00032>
- Technologies, U. (2021). *Unity Engine*. <https://unity.com/>
- Vuforia. (2021). <https://developer.vuforia.com/downloads/sdk>
- Yew, A. Y. C., Morsidi, H. M. D. H., & Chan, J. H. (2020). Augmented Reality Project Poster. *Proceedings of the 11th International Conference on Advances in Information Technology*, 1–10. <https://doi.org/10.1145/3406601.3406636>
- Zhang, Z., Weng, D., Jiang, H., Liu, Y., & Wang, Y. (2018). Inverse Augmented Reality: A Virtual Agent's Perspective. *Adjunct Proceedings - 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2018*, 154–157. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2018.00056>
- Boyd, N., Hawkins, J., Yang, T., & Valcourt, S. A. (2020). Augmented Reality: Telehealth Demonstration Application. *Practice and Experience in Advanced Research Computing*, 452–455. <https://doi.org/10.1145/3311790.3399629>
- Cai, W., & Chen, Q. (2019). An Experimental Research of Augmented Reality Technology from the Perspective of Mobile Learning. *Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2018, December*, 912–915. <https://doi.org/10.1109/TALE.2018.8615146>
- Chen, G. J., & Chen, R. S. (2018). A case study of the development of using augmented reality in teaching nature and life technology to a junior high school students in Southern Taiwan. *Proceedings - 2018 1st International Cognitive Cities Conference, IC3 2018*, 145–148. <https://doi.org/10.1109/IC3.2018.00-41>
- Choudhary, Z., Ugarte, J., Bruder, G., & Welch, G. (2021). Real-Time Magnification in Augmented Reality. *Proceedings - SUI 2021: ACM Spatial User Interaction 2021*, 2–3. <https://doi.org/10.1145/3485279.3488286>
- Dalim, C. S. C., Piumsomboon, T., Dey, A., Billinghamurst, M., & Sunar, S. (2017). TeachAR: An Interactive

- Augmented Reality Tool for Teaching Basic English to Non-native Children. *Adjunct Proceedings of the 2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2016*, 344–345. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2016.0113>
- Elkoubaiti, H., & Mrabet, R. (2018). A Generic Architecture of Augmented and Virtual Reality in Classrooms. *International Conference on Multimedia Computing and Systems -Proceedings, 2018-May*, 20–23. <https://doi.org/10.1109/ICMCS.2018.8525976>
- Gimeno, J., Casas, S., Portales, C., & Fernadez, M. (2018). Addressing the Occlusion Problem in Augmented Reality Environments with Phantom Hollow Objects. *Adjunct Proceedings - 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2018*, 21–24. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2018.00024>
- Group, K. (2021). *OpenGL*. <https://www.opengl.org//>
- Hsieh, M. C. (2016). Teachers' and students' perceptions toward augmented reality materials. *Proceedings - 2016 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics, IIAI-AAI 2016, 1*, 1180–1181. <https://doi.org/10.1109/IIAI-AAI.2016.39>
- Jasche, F., & Ludwig, T. (2019). Appropriating 3D printers in augmented reality. *PervasiveHealth: Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 901–903. <https://doi.org/10.1145/3340764.3345377>
- Jin, J., Liu, T., Wang, Y., & Wang, C. (2019). Isea: An interesting application of chemistry education based on AR. *Proceedings - 2019 International Conference on Virtual Reality and Visualization, ICVRV 2019*, 283–285. <https://doi.org/10.1109/ICVRV47840.2019.00071>
- Khalid, F., Ali, A. I., Ali, R. R., & Bhatti, M. S. (2019). AREd: Anatomy learning using augmented reality application. *2019 International Conference on Engineering and Emerging Technologies, ICEET 2019*. <https://doi.org/10.1109/CEET1.2019.8711843>
- Klimm, M., Walczak, D., & Ayen, D. (2019). Jumpar - Augmented reality platformer. *CHI PLAY 2019 - Extended Abstracts of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 261–266. <https://doi.org/10.1145/3341215.3358249>
- Kohen, S., Elvezio, C., & Feiner, S. (2021). HoloFight: An Augmented Reality Fighting Game. *ACM SIGGRAPH 2021 Immersive Pavilion, SIGGRAPH 2021*. <https://doi.org/10.1145/3450615.3464531>
- Kundu, S. N., Muhammad, N., & Sattar, F. (2017). Using the augmented reality sandbox for advanced learning in geoscience education. *Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering, TALE 2017, 2018-Janua(December)*, 13–17. <https://doi.org/10.1109/TALE.2017.8252296>
- Liu, E., Liu, C., Yang, Y., Guo, S., & Cai, S. (2019). Design and Implementation of an Augmented Reality Application with an English Learning Lesson. *Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2018, December*, 494–499. <https://doi.org/10.1109/TALE.2018.8615384>
- Mayilyan, H. (2019). Implementation of Augmented Reality Globe in Teaching-Learning Environment. *Proceedings - 2nd International Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval, MIPR 2019*, 389–390. <https://doi.org/10.1109/MIPR.2019.00078>
- Ocampo, A. J. T. (2019). Tourmar: Designing Tourism Mobile Augmented Reality Architecture with Data Integration to improve User Experience. *ACM International Conference Proceeding Series*, 79–83. <https://doi.org/10.1145/3330393.3330428>
- Ozeki, T., Okamura, Y., & Mouri, T. (2020). Attempt to extract lacking information on university campus by augmented reality content production activities. *Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2020, June 24*, 925–926. <https://doi.org/10.1109/TALE48869.2020.9368390>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., & Bossuyt, P. M. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2021.105906>
- Pérez-López, D., Contero, M., & Alcañiz, M. (2010). Collaborative development of an augmented reality application for digestive and circulatory systems teaching. *Proceedings - 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2010*, 173–175. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2010.54>
- Puigvert, J. R., Krempel, T., & Fuhrmann, A. (2018). Localization Service Using Sparse Visual Information Based on Recent Augmented Reality Platforms. *Adjunct Proceedings - 2018 IEEE International Symposium on*

- Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2018*, 415–416. <https://doi.org/10.1109/ISMARAdjunct.2018.00123>
- Rivera Alvarado, L. A., Lopez Dominguez, E., Hernandez Velazquez, Y., Dominguez Isidro, S., & Excelente Toledo, C. B. (2018). Layered software architecture for the development of mobile learning objects with augmented reality. *IEEE Access*, 6, 57897–57909. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2873976>
- Sarkar, P. (2020). Exploring Design Strategies for Augmented Reality Learning Experience in Classrooms. *Adjunct Proceedings of the 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2020*, 314–316. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct51615.2020.00089>
- Scrivner, O., Madewell, J., Buckley, C., & Perez, N. (2017). Augmented reality digital technologies (ARDT) for foreign language teaching and learning. *FTC 2016 - Proceedings of Future Technologies Conference, December*, 395–398. <https://doi.org/10.1109/FTC.2016.7821639>
- Shaikh, F. S. (2021). Augmented Reality Search to Improve Searching Using Augmented Reality. *2021 6th International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2021*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/I2CT51068.2021.9417827>
- Sosin, A., & Itoh, Y. (2019). WARP: Contributional Tracking Architecture Towards a Worldwide Augmented Reality Platform. *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, 71–72. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2019.00032>
- Technologies, U. (2021). *Unity Engine*. <https://unity.com/>
- Vuforia. (2021). <https://developer.vuforia.com/downloads/sdk>
- Yew, A. Y. C., Morsidi, H. M. D. H., & Chan, J. H. (2020). Augmented Reality Project Poster. *Proceedings of the 11th International Conference on Advances in Information Technology*, 1–10. <https://doi.org/10.1145/3406601.3406636>
- Zhang, Z., Weng, D., Jiang, H., Liu, Y., & Wang, Y. (2018). Inverse Augmented Reality: A Virtual Agent's Perspective. *Adjunct Proceedings - 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2018*, 154–157. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2018.00056>