



Universidad Autónoma del Estado de México

Centro Universitario UAEM Valle de Chalco

WEBXR DEVICE API EN LA IMPLEMENTACIÓN DE OBJETOS DE APRENDIZAJE CON REALIDAD VIRTUAL O AUMENTADA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

P R E S E N T A

MTRO. LEONEL HERNÁNDEZ GONZÁLEZ

DIRECTORA

DRA. ANABELEM SOBERANES MARTÍN

CO-DIRECTORA

DRA. MAGALLY MARTÍNEZ REYES

TUTOR

DR. SAMUEL OLMOS PEÑA

VALLE DE CHALCO SOLIDARIDAD, MÉXICO MARZO 2024.



CUVCH

RESUMEN

Las matemáticas representan uno de los tópicos más difíciles de comprender para los estudiantes debido a los conceptos abstractos que contiene, tal es el caso de la geometría plana y del espacio, esta última ha sido abordada con diferentes estrategias didácticas, como construcción en papel y animaciones digitales, sin embargo, la conceptualización de un elemento imaginario supone un reto para los alumnos incluso con la tecnología actual. Elementos como galaxias, planetas, células, moléculas, átomos e incluso monumentos históricos son otros ejemplos en los cuales el estudiante debe imaginar algo que desconoce. Por otro lado, en los últimos años ha incrementado el uso de realidad virtual o aumentada principalmente en aplicaciones comerciales dada la interacción que tiene con el consumidor, no obstante, el desarrollo de estas es compleja por la necesidad de escribir código en diferentes lenguajes para cada dispositivo, lo cual a menudo incrementa el costo de implementación, por esto el *World Wide Web Consortium* ha propuesto a *WebXR Device API* como el estándar para incorporar realidad mixta en la web, de esta forma es posible construir programas multiplataforma para proyección de elementos en tres dimensiones. Por esto, la presente investigación evaluó el uso de esta tecnología aplicada a objetos de aprendizaje de manera teórica a través de la contextualización de los tópicos involucrados; de una revisión estructurada de la literatura usando la metodología de Brocke *et al.* (2009); además, se comprueba de manera práctica por medio de la creación de una aplicación con realidad aumentada para el estudio de geometría del espacio utilizando la metodología DICREVOA, la cual ha demostrado ser eficiente en la elaboración de software educativo dada su documentación abundante y precisa. Las métricas obtenidas del desempeño de la Interfaz de Programación de la Aplicación en el momento de la ejecución muestran una administración adecuada de los recursos de hardware, lo cual se traduce en aplicaciones ágiles para el usuario final; también se reduce el número de líneas de código necesarias para la implementación si se incorpora alguno de los diferentes *frameworks* compatibles, por lo tanto, se concluye que es posible y eficiente utilizar *WebXR Device API* en objetos de aprendizaje que requieran el uso de realidad virtual o aumentada para mostrar elementos de difícil comprensión para el estudiante.

Palabras clave: Aplicación web, Educación, Matemáticas, Realidad aumentada, Recurso educativo abierto.

ABSTRACT

Mathematics represents one of the most difficult topics for students to understand due to the abstract concepts it contains, such is the case of plane geometry and space, the latter has been addressed with different didactic strategies, such as construction on paper and digital animations, however, the conceptualization of an imaginary element is a challenge for students even with today's technology. Elements such as galaxies, planets, cells, molecules, atoms, and even historical monuments are other examples in which the student must imagine something that he does not know. On the other hand, in recent years the use of virtual or augmented reality has increased mainly in commercial applications due to the interaction it has with the consumer, however, the development of these is complex for needing to write code in different languages for each device, which often increases the cost of implementation, for this reason the World Wide Web Consortium has proposed the *WebXR Device API* as the standard to incorporate mixed reality on the web, in this way it is possible to build cross-platform programs for projecting elements in three dimensions. For this reason, the present investigation evaluated the use of this technology applied to *Learning objects* in a theoretical way through the contextualization of the topics involved and a structured review of the literature using the methodology of Brocke *et al.* (2009), in addition, it is verified in a practical way through the creation of an application with augmented reality for the study of space geometry using the DICREVOA methodology, which has proven to be efficient in the development of educational software given its abundant and accurate documentation. The metrics obtained from the performance of the Application Programming Interface at the time of execution show adequate management of hardware resources, which translates into agile applications for the end user, in addition to reducing the number of lines of code necessary for the implementation if any of the different compatible *frameworks* are incorporated, therefore, it is concluded that it is possible and efficient to use the *WebXR Device API* in *Learning objects* that require the use of virtual or augmented reality to show elements that are difficult for the student to understand.

Keywords: Web Application, Education, Mathematics, Augmented reality, Educational Resources.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	9
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.2 OBJETIVOS	12
GENERAL.....	12
ESPECÍFICOS.....	13
1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.4 HIPÓTESIS	13
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	15
2.1 MARCO TEÓRICO	15
2.1.1 OBJETOS DE APRENDIZAJE.....	15
2.1.2 REALIDAD VIRTUAL	24
2.1.3 REALIDAD AUMENTADA.....	28
2.1.4 WEBXR DEVICE <i>API</i>	32
2.2 ESTADO DEL ARTE.....	37
2.2.1 DEFINICIÓN DEL ALCANCE DE LA REVISIÓN	37
2.2.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL TÓPICO	39
2.2.3 BÚSQUEDA DE LA LITERATURA.....	43
2.2.4 ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE LA LITERATURA	46
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	54
CAPÍTULO IV: INVESTIGACIÓN APLICADA	56
4.1 FASE DE ANÁLISIS.....	56
4.2 FASE DE DISEÑO	57

4.2.1 DISEÑO INSTRUCCIONAL DEL OBJETO DE APRENDIZAJE.....	57
4.2.2 DISEÑO MULTIMEDIAL DEL OBJETO DE APRENDIZAJE	61
4.3 FASE DE IMPLEMENTACIÓN	64
4.3.1 METADATOS	64
4.4 FASE DE PRUEBAS/EVALUACIÓN.....	65
4.4.1 EVALUACIÓN DEL ESTUDIANTE	66
4.4.2 EVALUACIÓN DEL OBJETO DE APRENDIZAJE	66
4.5 FASE DE PUBLICACIÓN/IMPLANTACIÓN.....	67
 CAPÍTULO V: RESULTADOS.....	 69
5.1 RESULTADOS PRÁCTICOS	69
5.1.1 PÁGINA PRINCIPAL.....	69
5.1.2 FIGURAS.....	72
5.1.3 EVALUACIÓN.....	74
5.1.4 APLICACIÓN A LA EDUCACIÓN	76
5.1.5 USABILIDAD	77
5.2 RESULTADOS TEÓRICOS.....	79
5.2.1 NÚMERO DE LÍNEAS DE CÓDIGO.....	83
5.2.2 CANTIDAD DE MEMORIA UTILIZADA.....	84
5.2.2 TIEMPO DE CARGA	85
5.2.3 RENDIMIENTO	87
 CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	 89
 REFERENCIAS.....	 92
 ANEXOS.....	 103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Proporción de aciertos en Geometría de la prueba Excale sexto de primaria	11
Tabla 2. Grado de dificultad de los reactivos en matemáticas	11
Tabla 3. Términos comunes entre definiciones.	17
Tabla 4. Porcentaje de términos en definición de OA por autor.	18
Tabla 5. Características de los objetos de aprendizaje por autor.	19
Tabla 6. Porcentaje de características de los OA por autor.	20
Tabla 7. Características de las metodologías.	21
Tabla 8. Compatibilidad de exploradores con <i>WebXR</i>	33
Tabla 9. Compatibilidad con el Núcleo de <i>WebXR</i>	34
Tabla 10. Compatibilidad con el Módulo de RA de <i>WebXR</i>	34
Tabla 11. Compatibilidad con el Módulo de mandos de juegos <i>WebXR</i>	35
Tabla 12. Compatibilidad con la Detección de profundidad y Estimación de luz.	35
Tabla 13. Taxonomía de la revisión estructurada de Cooper	38
Tabla 14. Resultados de búsqueda Scopus para <i>WebXR</i> y <i>Learning object</i>	44
Tabla 15. Resultados de la búsqueda hacia adelante en Scopus para Ro'fatulhaq (2020) ..	44
Tabla 16. Resultados de la búsqueda hacia adelante en Scopus para Luigini <i>et al.</i> (2020)	45
Tabla 17. Resultados de la búsqueda hacia atrás Scopus para Luigini <i>et al.</i> (2020) ..	45
Tabla 18. Resultados de la búsqueda hacia atrás en Scopus para Rodríguez <i>et al.</i> (2022)	46
Tabla 19. Resultados de la revisión estructurada de la literatura	48
Tabla 20. Matriz de conceptos.	51
Tabla 21. Matriz de necesidades DICREVOA	56
Tabla 22. Estructura interna del objeto de aprendizaje.	58
Tabla 23. Metadatos.	64
Tabla 24. Evaluación del estudiante	66
Tabla 25. Evaluación del objeto de aprendizaje	67
Tabla 26. Muestra para la evaluación del objeto de aprendizaje	76
Tabla 27. Resultados de la evaluación del objeto de aprendizaje.	76
Tabla 28. Clics por país según Google	78
Tabla 29. Términos de búsqueda según Google	78
Tabla 30. Número de líneas de código	83

Tabla 31. Resultados de uso de memoria	85
Tabla 32. Resultados de tiempo de carga	86
Tabla 33. Resultados de rendimiento.....	88
Tabla 34. Uso de la GPU	88

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Nivel de dificultad en el diseño de interfaz.	16
Ilustración 2. Etapas de la metodología DICREVOA 2.0 y Cascada.	24
Ilustración 3. Clasificación de la realidad.	28
Ilustración 4. Posibilidad de cambiar de la realidad aumentada.	29
Ilustración 5. Sincronización de la realidad aumentada.....	30
Ilustración 6. Antecedente de la realidad virtual.....	30
Ilustración 7. Relación entre elementos virtuales y reales.	31
Ilustración 8. Realidad oculta en la realidad aumentada	31
Ilustración 9. Porcentaje de publicaciones de 2018 a 2022	49
Ilustración 10. Porcentaje de artículos por campo de estudio	50
Ilustración 11. Porcentaje por país de afiliación de los autores	50
Ilustración 12. Ciclo de Kolb	58
Ilustración 13. Contenidos del objeto de aprendizaje	60
Ilustración 14. Diseño de interfaz general	62
Ilustración 15. Página principal del OA.....	70
Ilustración 16. Figura en realidad aumentada	70
Ilustración 17. Caras de un cuerpo geométrico.....	71
Ilustración 18. Vértices en realidad aumentada	72
Ilustración 19. Página de dodecaedro en computadora de escritorio	73
Ilustración 20. Página de dodecaedro en dispositivo compatible	74
Ilustración 21. Evaluación del estudiante	75
Ilustración 22. Evaluación del objeto de aprendizaje	75
Ilustración 23. Clics de búsqueda en Google.....	77
Ilustración 24. Solicitudes totales al OA.....	79

Ilustración 25. Aplicación 1 para pruebas.....	80
Ilustración 26. Aplicación 2 para pruebas.....	81
Ilustración 27. Aplicación 3 para pruebas.....	81
Ilustración 28. Aplicación 4 para pruebas.....	82
Ilustración 29. Inspector de código de Google Chrome.....	84
Ilustración 30. Inspector de dispositivos de Google Chrome	84
Ilustración 31. Explorador de red de Google Chrome	86
Ilustración 32. Herramienta de rendimiento de Google Chrome	87

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En 1965 Ivan Sutherland publicó el artículo titulado *The Ultimate Display*, en el cual expone la capacidad de las computadoras para mostrar en una interfaz gráfica elementos que son de difícil comprensión para los seres humanos, tales como, fuerzas sobre partículas cargadas o en campos no uniformes, los efectos de transformaciones geométricas no proyectivas y movimiento de alta inercia y baja fricción.

Desde entonces se han desarrollado distintas herramientas para poder generar estos gráficos conocidos como realidad virtual (RV). Entre las nuevas se encuentran los *frameworks* para desarrollo de aplicaciones móviles en sistemas operativos IOS y Android, ARKit y ARCore, respectivamente, los cuales facilitan la tarea de implementación en teléfonos inteligentes y las plataformas de desarrollo como Unity que ofrecen un conjunto de productos para la creación de objetos en 2D, 3D y RV. Estas herramientas se han utilizado para la creación de videojuegos y simulaciones, pero también para enfrentar problemas sociales, como HuVi, una aplicación móvil de realidad virtual desarrollada por la Universidad Nacional de la Plata en Argentina (Chirinos, 2020) que tiene por objetivo mostrar las manifestaciones patrimoniales de ese país a los niños en situaciones de vulnerabilidad.

El ámbito educativo también se ha visto beneficiado por estas tecnologías con la creación de material didáctico digital, como es el caso de la aplicación para dispositivos móviles desarrollada por Bezares *et al.* (2020) para el aprendizaje del idioma inglés en niños de primaria en México o el objeto de aprendizaje constructivista EnseñAPP implementado en España con Unity y Vuforia, esta aplicación móvil tiene por grupo objetivo a los alumnos del primer ciclo de educación primaria y comprende temas de comunicación lingüística, competencia matemática, competencias básicas en ciencia y tecnología, competencia digital y de aprender a aprender (Castellano y Santacruz, 2018).

La realidad virtual y aumentada en la educación no se limita a la formación básica, en la educación superior existen distintas aplicaciones que ayudan a la comprensión de diferentes conceptos como la mecánica de fluidos que fue abordado por Alvarez-Marin *et al.* (2017) por medio de un Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA) con realidad aumentada en

tabletas y teléfonos inteligentes para los estudiantes de ingeniería industrial de la Universidad de La Serena en Chile.

Las aplicaciones anteriores pertenecen a la realidad aumentada y virtual no inmersiva; es decir, que se encuentran en dispositivos móviles y tiene una interacción limitada con el usuario, pero también existen aquellas que lo transportan a un mundo completamente virtual, a estas se les conoce como inmersivas y se valen del uso de gafas y hardware especialmente diseñadas para este propósito. En esta sección se encuentran las simulaciones clínicas con RV como las realizadas por el Centro de Simulación en Estomatología en Perú (Quenta, 2019) que proporcionan un entorno seguro para la realización de prácticas médicas.

Por otro lado, se encuentran las aplicaciones que implementan realidad virtual y aumentada en páginas web, como la *WebXR Device API*, presentada en 2018 por el World Wide Web Consortium (W3C), que es el encargado de generar recomendaciones y estándares que aseguren el crecimiento de la web a largo plazo (W3C, 2023).

Esta nueva *API* (Interfaz de Programación de la Aplicación, por sus siglas en inglés) hace uso de la cámara del dispositivo para generar realidad aumentada y de los acelerómetros para proporcionar el movimiento de las imágenes, las cuales podrán tener hasta 6 grados de libertad (6DoF, del inglés Six Degrees of Freedom). El 3 de marzo de 2023 el W3C publicó el último estado del borrador a través de Immersive Web Community Group (2023), este grupo está a cargo de la implementación de la realidad virtual y aumentada en la web. Immersive Web también ha publicado una serie de ejemplos del uso preliminar en la plataforma Github (2023) en este sitio; además es posible seguir de cerca el avance del desarrollo del estándar.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presente investigación se realizó con la finalidad de evaluar el rendimiento del estándar *WebXR Device API* en el software educativo y de esta forma determinar la factibilidad de su aplicación en el desarrollo de objetos de aprendizaje que requieran la incorporación de realidad aumentada o virtual. Dado que los OA representan un recurso educativo formal pueden utilizarse para abordar temas complejos para los estudiantes, como es el caso de la geometría del espacio en educación básica ya que, de acuerdo con los resultados de las

pruebas de Excale y Planea aplicadas por el Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación en 2005 (ver Tabla 1) y 2018 (ver Tabla 2) respectivamente, la representación mental de cuerpos geométricos es el tema con más dificultad para los estudiantes de educación básica.

Tabla 1. Proporción de aciertos en Geometría de la prueba Excale sexto de primaria

Reactivo	Competencias curriculares de matemáticas	Tipo de escuela					
		Nacional	Urbanas públicas	Rurales públicas	Educación indígena	Cursos comunitarios	Escuelas privadas
104	Identificar posibles desarrollos de un cubo	0.40	0.43	0.34	0.25	0.19	0.48
105	Identificar cuerpos geométricos a partir del número de caras, vértices y aristas.	0.36	0.37	0.34	0.26	0.24	0.46
109	Identificar e imaginar caras laterales de figuras no convencionales	0.21	0.23	0.16	0.11	0.11	0.32
110	Identificar, imaginar y contar aristas en cuerpos geométricos	0.14	0.14	0.14	0.09	0.09	0.18

Fuente: (López y García, 2008).

Tabla 2. Grado de dificultad de los reactivos en matemáticas

Clave	Contenido curricular	Tipo de escuela				
		Global	General Pública	Indígena	Comunitaria	Privada
PMA_8	Identificar el desarrollo plano que permite construir un prisma o una pirámide.	80	80	67	65	89
PMD_3	Identificar una pirámide por el número de caras, aristas y vértices.	40	38	34	22	51
PMD_7	Identificar una pirámide por el número de caras, aristas y vértices.	49	48	39	28	58
PMD_10	Identificar el desarrollo plano que permite construir un prisma o una pirámide.	66	65	51	48	78

PME_8	Identificar un prisma por el número de caras, aristas y vértices.	51	49	40	31	67
PME_9	Identificar el triángulo que cumple con las características geométricas dadas.	64	63	54	61	76
PMF_7	Identificar un prisma por el número de caras, aristas y vértices.	53	51	42	38	70

Fuente: (INEE, 2021).

Por esto, se plantea la siguiente pregunta de investigación principal: ¿De qué forma puede aprovecharse el nuevo estándar *WebXR Device API* en el desarrollo de software educativo?

Además, se formularon cuestionamientos adicionales:

¿De qué manera se ha utilizado *WebXR Device API* en la educación?

¿Cómo puede usarse la nueva *API* en la implementación de objetos de aprendizaje que requieran el uso de realidad virtual o aumentada?

¿Qué ventajas y desventajas tiene *WebXR* con relación a otras tecnologías en el ámbito educativo?

¿*WebXR* es eficiente en el desarrollo de objetos de aprendizaje?

1.2 OBJETIVOS

Esta sección contiene la meta alcanzada con la presente investigación de manera general y posteriormente, se detallan las actividades específicas que fueron necesarias para realizarla.

GENERAL

Evaluar la factibilidad del uso del nuevo estándar del W3C, *WebXR Device API* en el desarrollo de objetos de aprendizaje que requieran la implementación de realidad virtual o aumentada, considerando factores como número de líneas de código, cantidad de memoria utilizada, tiempo de carga y rendimiento, así como los resultados que ha tenido la *API* en otras aplicaciones educativas.

ESPECÍFICOS

- Conocer el estado actual de la *WebXR Device API*.
- Estudiar el impacto que ha tenido el nuevo estándar en el desarrollo de software educativo.
- Desarrollar un objeto de aprendizaje para la enseñanza de geometría del espacio con realidad virtual o aumentada usando la *WebXR* con la finalidad de mostrar la aplicación que tiene este nuevo estándar, así como los beneficios que aporta a la educación.
- Evaluar el desempeño de la *API* con pruebas de rendimiento y el tiempo de desarrollo con métricas de software.
- Difundir los resultados en la comunidad académica y de desarrollo de software educativo.

1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se limita a la evaluación de la *WebXR Device API* en el ámbito educativo, considerando que para poder evaluar es necesario conocer, comprender, aplicar, analizar y sintetizar el objeto de estudio, para lograrlo se construyó un objeto de aprendizaje para geometría del espacio del nivel básico, específicamente para los alumnos de 6° grado de primaria.

El objeto de aprendizaje que se desarrolló se sitúa en el eje forma, espacio y medida del plan de estudios de 6° de primaria que establece la Secretaría de Educación Pública (SEP) en México (Secretaría de Educación Pública, 2022), en la sección de figuras y cuerpos geométricos.

1.4 HIPÓTESIS

Si es posible crear objetos de aprendizaje que incorporen realidad virtual o aumentada utilizando *WebXR Device API* con un proceso de desarrollo y ejecución eficiente, entonces este nuevo estándar puede utilizarse para la implementación de recursos educativos que apoyen a los profesores y estudiantes en el proceso de enseñanza de temas complejos como las matemáticas.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realizó con la finalidad de conocer el impacto del nuevo estándar *WebXR Device API* en el contexto educativo, así como su desempeño en la ejecución de realidad virtual o aumentada y de esta forma poder determinar la factibilidad de su utilización en el desarrollo de objetos de aprendizaje.

La creación de OAs con realidad extendida puede ayudar en el proceso de enseñanza y aprendizaje de temas de difícil comprensión, como es el caso de las matemáticas y las ciencias. La capacidad multiplataforma de la tecnología web promueve un mayor alcance en la audiencia y disminuye el tiempo de desarrollo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se presentan los conceptos que se requieren para comprender el desarrollo de la presente investigación, así como los trabajos más recientes relacionados con los temas de objetos de aprendizaje, realidad virtual, realidad aumentada y *WebXR Device API*.

2.1 MARCO TEÓRICO

En los últimos años las tecnologías emergentes se han convertido en un agente científico que se caracteriza por su constante evolución y se han situado como una de las tendencias con mayor desarrollo en el tema de la educación (Lengua et al., 2020). La nueva generación de alumnos ha crecido junto a la tecnología que la ha acompañado desde su edad temprana, el uso de dispositivos móviles y la conexión a internet ha convertido a los estudiantes en entes críticos que cuestionan los conocimientos de los profesores y realizan búsquedas de manera independiente, por lo cual es necesario crear contenido educativo basado en nuevas tecnologías dirigido a los estudiantes.

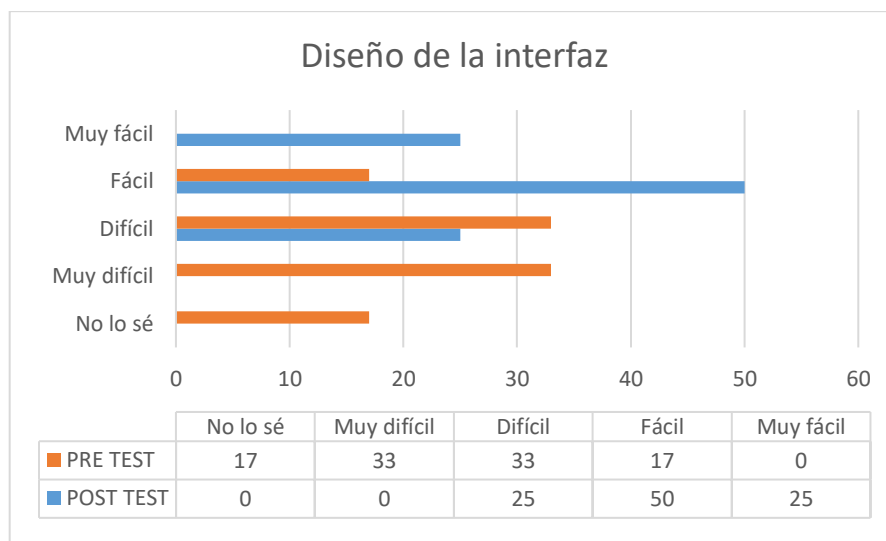
2.1.1 OBJETOS DE APRENDIZAJE

Definición

Dentro de estas tecnologías se encuentran los objetos de aprendizaje (OA) que se definen como estructuras organizadas y diseñadas por equipos multidisciplinarios que pueden usar las ventajas que brindan las tecnologías de la información y comunicación (TIC) para atraer la atención del público al que está enfocado (Tovar, 2014). Esta definición de Tovar considera que los OA deben ser diseñados y construidos por equipos multidisciplinarios, lo cual da como resultado un mejor producto, sin embargo, existe una tendencia al individualismo en la elaboración de estos objetos, por ejemplo, el estudio realizado por Diez-Martínez y Morales-Velasco (2020), en el cual se capacitó a 12 docentes de educación superior durante 25 horas distribuidas durante dos semanas para que elaboren sus propios objetos de aprendizaje. En los resultados de este estudio se observa que los profesores tienen dificultad en el aspecto tecnológico ya que es un campo ajeno a su formación, esto a pesar de que en el experimento se utilizó *eXeLearning*, una herramienta de generación de contenido educativo. La Ilustración 1 presenta los resultados de ese estudio para la fase de

diseño de la interfaz, para llegar a estos se realizó un cuestionario antes de la capacitación (Pretest) y otro posterior a ella (Postest), en este gráfico se observa que después de la capacitación aún existe dificultad en esta etapa.

Ilustración 1. Nivel de dificultad en el diseño de interfaz.



Fuente: (Diez-Martínez y Morales-Velasco, 2020).

Otra definición de objetos de aprendizaje es que son cualquier entidad digital o no digital que puede ser reusada o referenciada para el aprendizaje (Triquell y Vidal, 2007), es decir, que puede formar parte de otro objeto de aprendizaje que tenga un objetivo más amplio, esto se logra utilizando estándares y metadatos.

Javier (2011) realizó una investigación documental acerca de las distintas definiciones de objetos de aprendizaje que han existido a lo largo de la historia, con esto se construyó la Tabla 3 a partir de la cual estableció el concepto que se utilizará en este proyecto de investigación y que se presenta a continuación.

Se define Objeto de Aprendizaje como una unidad didáctica digital diseñada para alcanzar un objetivo de aprendizaje simple, y para ser reutilizada en diferentes Entornos Virtuales de Enseñanza y Aprendizaje, y en distintos contextos de aprendizaje. Debe contar; además, con metadatos que propicien su localización, y permitan abordar su contextualización (Javier, 2011, pág. 34).

Tabla 3. Términos comunes entre definiciones.

Autor	Características comunes entre definiciones											
	Año	Recurso digital	Metadatos	Independiente	Reutilización	Ensamblarse con otro OA	Apoyar el aprendizaje	Tamaño del objeto	Interactivo	Estructura o contenido	Autónomo	Contexto
Cisco	1999			X	X	X	X	X		X		
IEEE LTSC	2000	X	X				X					
Wiley	2000	X			X		X					
Gibbons	2000			X	X		X			X		
Downes	2001	X					X					
Chan/Navarro/Delgado	2002	X					X					
Polsani	2003			X	X		X			X	X	X
McGreal	2004	X			X		X	X				
García Aretio	2005	X	X	X	X	X	X		X			
Zapata Ros	2005	X			X		X					X
IEEE LTSC	2005	X			X		X					
MEN Colombia	2006	X	X		X		X			X	X	X
Sicilia y Alonso	2009	X	X	X	X		X				X	X
ADL/SCORM	2009	X	X	X	X		X			X		

Fuente: (Javier, 2011, pág. 22).

La Tabla 3 contiene los términos comunes de las definiciones de distintos autores, estos términos se han cuantificado para crear la Tabla 4, en la cual se ha agregado el porcentaje de cada uno y se han ordenado de manera descendente; de esta forma se observa que 100% de los autores coinciden en que un OA debe apoyar el aprendizaje, 78.57% considera que son reutilizables y el mismo porcentaje determina que deben ser recursos digitales, por otro lado, únicamente 7.14% considera que debe ser interactivo y 14.29% que deba ensamblarse con otro objeto de aprendizaje o que deba tener un tamaño determinado; en cuanto a los términos independiente con 42.86% y autónomo con 21.43%, es probable que se utilicen de manera similar en las definiciones, por lo tanto, tendrían un total de 64.29% y lo mismo ocurre con reutilización y ensamblarse con otro, ya que el objetivo del ensamblaje es poder reutilizar un OA en otro.

Tabla 4. Porcentaje de términos en definición de OA por autor.

Término	Número de autores	Porcentaje
Apoyar el aprendizaje	14	100.00
Reutilización	11	78.57
Recurso digital	11	78.57
Independiente	6	42.86
Metadatos	5	35.71
Estructura o contenido	5	35.71
Contexto	4	28.57
Autónomo	3	21.43
Tamaño del objeto	2	14.29
Ensamblarse con otro OA	2	14.29
Interactivo	1	7.14

Fuente: Elaboración propia con datos de Javier (2011).

Los objetos de aprendizaje también son llamados objetos instruccionales, objetos educacionales, objetos de conocimiento u objetos inteligentes (Gibbons et al., 2000) y se clasifican de la siguiente manera (Veytia et al., 2018):

Clasificación

- 1) Objetos de instrucción: se diseñan considerando un paradigma más orientado a la perspectiva tradicional, en donde el alumno tiene la función de seguir instrucciones.
- 2) Objetos de colaboración: se construyen para fortalecer una dinámica más horizontal entre los participantes de un grupo, que permita la construcción del conocimiento a partir de las aportaciones de cada uno de sus integrantes.
- 3) Objetos de práctica: se caracterizan por orientarse al autoaprendizaje de quien los emplea.
- 4) Objetos de evaluación: valoran el alcance de los objetivos planteados en el curso o asignatura a partir de su empleo por parte de los estudiantes.

Características

De acuerdo con Gibbons *et al.* (2000) las características que debe tener un objeto de aprendizaje son:

- a) Reusabilidad: Quiere decir que el objeto se puede utilizar tantas veces como sea necesario, sin hacer cambios significativos.

- b) **Generatividad:** Lo cual significa que; además de proveer información, se generan procesos de interacción, por ejemplo, a través del desarrollo de ejercicios y prácticas repetitivas, sistemas tutoriales que se pueden comparar con la explicación del docente sobre un tema.
- c) **Adaptabilidad:** Que puedan lograrse los objetivos planteados a partir de diferentes caminos, en donde el estudiante seleccione el que más le interese, en este sentido, se puede empezar a trabajar una enseñanza más individualizada, así como el trabajo en Entornos Personales de Aprendizaje.
- d) **Escalabilidad:** Este criterio se refiere a la posibilidad de utilizar los objetos de aprendizaje como herramientas que permitan por un lado potenciar el aprendizaje, así como reducir costos, y por supuesto incrementar la calidad del proceso educativo.

Sin embargo, existen diferentes características de acuerdo con el punto de vista de cada autor, estas se muestran en la Tabla 5 elaborada por Javier (2011), quien tomó los términos comunes en trabajos de 15 autores, incluidos los de Gibbons, quien tiene distintas publicaciones y por lo tanto distintos términos, como el realizado junto a Wiley y Recker (2021), en el cual introducen el término granularidad.

Tabla 5. Características de los objetos de aprendizaje por autor.

Características	Autor														
	Higgs	Wiley	Gibbons	Chan Núñez	Navarro	Polsani	McGreal	Hodgins	García Aretio	Zapata	Parrish	Sicilia	ADL	Norman	Friesen
Accesibilidad	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Interoperabilidad	X		X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Durabilidad							X	X	X	X		X	X		
Reutilización	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Adaptabilidad			X		X	X	X	X			X		X		
Alcanzable							X	X					X		
Educatividad	X	X	X						X						
Independencia	X		X	X					X					X	X
Generatividad			X						X						
Flexibilidad						X			X						
Versatilidad									X						
Funcionalidad									X						
Evaluabilidad								X							
Intercambiabilidad								X							

Manejabilidad								X
Fiabilidad								X
Recuperabilidad								X
Compatibles	X			X				X
Granularidad	X	X	X	X	X	X		X
Contexto	X							
Escalabilidad			X	X	X	X		X
Interactividad				X				
Almacenable				X				
Unitarios				X				

Fuente: (Javier, 2011, pág. 25).

A partir de Tabla 5, se elabora la Tabla 6 con el número de autores que usa el término y los porcentajes de cada característica en relación con el total de autores. Como resultado se tiene que las más comunes son Reutilización, Accesibilidad e Interoperabilidad, por lo cual, son las que se usan en el presente trabajo de investigación y que se definen a continuación.

- Reutilización/Reusabilidad/Reúso. Propiedad de un objeto de aprendizaje que se define como la posibilidad de utilizar ese objeto en distintos contextos. Por ejemplo: un tema que es necesario en dos o más asignaturas de un programa, o que se comparte por diversas áreas disciplinarias, o en diferentes niveles educativos, etcétera (Chan, 2004).
- Accesibilidad. Capacidad de ser buscado y localizado a través de un apropiado registro de metadatos (Sicilia y García, 2003).
- Interoperabilidad. Característica de los OA que le permiten ser independientes del medio a través del que se distribuyen y del sistema de gestión de conocimiento, así pueden ser utilizados y transferidos sin inconvenientes entre diferentes tecnologías e instituciones (Norman y Porter, 2007).

Tabla 6. Porcentaje de características de los OA por autor.

Término	Número de autores	Porcentaje
Reutilización	15	100.00
Accesibilidad	12	80.00
Interoperabilidad	12	80.00
Adaptabilidad	7	46.67
Granularidad	7	46.67
Durabilidad	6	40.00
Independencia	6	40.00

Escalabilidad	5	33.33
Educatividad	4	26.67
Alcanzable	3	20.00
Compatibles	3	20.00
Generatividad	2	13.33
Flexibilidad	2	13.33
Versatilidad	1	6.67
Funcionalidad	1	6.67
Evaluabilidad	1	6.67
Intercambiabilidad	1	6.67
Manejabilidad	1	6.67
Fiabilidad	1	6.67
Recuperabilidad	1	6.67
Contexto	1	6.67
Interactividad	1	6.67
Almacenable	1	6.67
Unitarios	1	6.67

Fuente: Elaboración propia con datos de Javier (2011).

En la Tabla 6 existen términos que pueden haberse utilizado con el mismo sentido como es el caso de Durabilidad, Recuperabilidad y Almacenable, estos representan la necesidad de persistencia de los objetos de aprendizaje, de la misma forma Flexibilidad, Versatilidad e Intercambiabilidad hacen referencia a la capacidad de adaptación de los OA.

Metodología

A lo largo de la historia han existido diferentes metodologías para la creación de objetos de aprendizaje que están basadas en los modelos de desarrollo de software, cada autor ha agregado o modificado distintas etapas para incorporar aspectos pedagógicos al proceso de elaboración de estos recursos. La Tabla 7, extraída del trabajo de Silva *et al.* (2013), contiene las características de algunas de estas metodologías.

Tabla 7. Características de las metodologías.

Metodología	Diseño instruccional	Metodología de software	SCORM	Fases
ISDMELO	Modelo ADDIE	No aplica	No	1. Análisis 2. Diseño 3. Desarrollo 4. Puesta en práctica 5. Evaluación
AODDEI	Modelo ADDIE	No aplica	Sí	1. Análisis y obtención 2. Diseño 3. Desarrollo

				<ol style="list-style-type: none"> 4. Evaluación 5. Implantación
LOCoME	No	RUP	Sí	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis 2. Diseño conceptual 3. Construcción 4. Evaluación 5. Pedagógica
MIDOA	Genérico	Programación Extrema	No	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planeación 2. Diseño 3. Codificación 4. Utilización 5. Evaluación
				Ciclos
				<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollo de contenidos 2. Optimización de contenidos 3. Optimización de interfaz
RAMIREZ	National <i>Learning</i> Network	No aplica	Sí	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planeación 2. Desarrollo 3. Diseño tecnológico <ol style="list-style-type: none"> a. Requerimientos técnicos b. Interoperabilidad c. Aspectos pedagógicos 4. Producción 5. Clasificación y administración 6. Evaluación
DINTEV	Genérico	IWEB	No	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planeación 2. Diseño 3. Codificación 4. Utilización 5. Evaluación
TECNO- PEDAGÓGICA	Genérico	Ágil y UML	Sí	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diseño instruccional 2. Modelado de funcionalidades 3. Modelado de interfaz 4. Selección de tecnologías 5. Codificación e implementación 6. Estandarización 7. Evaluación de calidad
MEDOA	No	No aplica	Sí	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planeación 2. Análisis <ol style="list-style-type: none"> a. General b. Pedagógico c. Educativo 3. Diseño <ol style="list-style-type: none"> a. Pedagógico b. Interacción

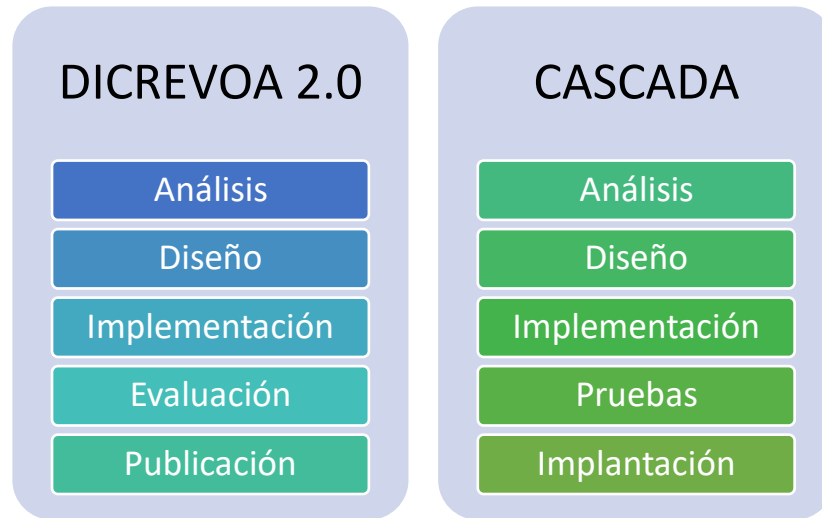
- c. Navegación
 - 4. Implementación
 - 5. Validación
 - 6. Mantenimiento
-

Fuente: (Silva et al., 2013, pág. 9).

La primera columna de la Tabla 7 contiene el nombre de la metodología, la segunda especifica el tipo de modelo del diseño instruccional que utiliza, es decir, el esquema que ubica a los diferentes procesos involucrados en la elaboración de programas educativos, como son la infraestructura tecnológica, los métodos de instrucción, la selección de contenidos, el diseño de las situaciones de aprendizaje y la forma de evaluación (Gil, 2004). La tercera columna muestra la metodología de desarrollo de software, en esta parte los autores no reconocieron alguna para ISDMELO y AODDEI, sin embargo, observando las etapas que tienen estas metodologías es posible asimilarlas con la metodología en cascada de desarrollo de software, análisis, diseño, implementación, pruebas e implantación, por lo que probablemente estén basadas en esta. La columna de SCORM (Sharable Content *Object* Reference Model) indica si la metodología utiliza este estándar que permite el empaquetado o encapsulado de contenidos educativos y satisface los requerimientos de alto nivel para sistemas y contenido educativo (Maldonado et al., 2017). Finalmente, la columna de fases enumera las etapas de cada una de las metodologías, aquí se puede ver como las metodologías de desarrollo de software al influenciado la creación de objetos de aprendizaje, desde la metodología en cascada que pertenece a los modelos tradicionales hasta las ágiles como la programación extrema (XP).

La presente investigación utiliza la metodología de Diseño, Creación y Evaluación de Objetos de Aprendizaje versión 2 (DICREVOA 2.0) desarrollada por Maldonado *et al.* (2017) debido a que sus etapas son parecidas a las de la metodología en cascada del desarrollo de software (Sommerville, 2011) y esta se utiliza para la creación del software en este trabajo. La Ilustración 2 contiene las cinco etapas de cada metodología y se puede observar que las primeras 3 son iguales, mientras que la etapa de Pruebas se ha llamado Evaluación en DICREVOA, sin embargo, ambas consisten en determinar que el software cumple con los objetivos planteados en la etapa de Análisis. La etapa Implementación también ha sido renombrada a Publicación en la metodología de creación de objetos de aprendizaje y consiste en desplegar el OA en un ambiente donde puede ser localizado con facilidad.

Ilustración 2. Etapas de la metodología DICREVOA 2.0 y Cascada.



Fuente: Elaboración propia con datos de Maldonado et al. (2017) y Sommerville (2011).

Los objetos de aprendizaje constituyen un recurso educativo abierto estructurado con bases bien definidas y una documentación amplia que los hacen ideales para la creación de contenido educativo en temas de investigación. Los OA pueden utilizar herramientas tecnológicas como la realidad virtual y la realidad aumentada para crear aplicaciones que faciliten la comprensión de los conceptos abstractos como en el caso de los cuerpos geométricos.

2.1.2 REALIDAD VIRTUAL

Definición

Existen diferentes formas de describir el concepto de realidad virtual, estas han evolucionado con el tiempo y de acuerdo con la tecnología disponible en el momento de su creación, comenzando por aquellas donde predominan los aspectos teóricos hasta llegar a las que involucran la nueva terminología tecnológica. A continuación, se describen algunas definiciones.

La RV es un sistema informático que genera entornos sintéticos en tiempo real y que se erigen en una realidad ilusoria, pues se trata de una realidad perceptiva sin soporte objetivo, ya que existe dentro de un ordenador. Es una pseudorealidad alternativa,

perceptivamente hiperrealista, pero ontológicamente fantástica (Gubern, 1996, pág. 156). En esta definición, Gubern establece que la realidad virtual es sintética, es decir, que no existe de forma natural y con ontológicamente fantástica se refiere a que guarda una estrecha relación con la fantasía.

Por su parte Gutiérrez (1997, pág. 33) la describe como un desarrollo tecnológico que además de la representación de un gráfico tridimensional ofrece interacción en tiempo real con el usuario, de esta forma deja de ser espectador para adentrarse o sumergirse en el entorno virtual. Gutiérrez agrega el término interacción al concepto de RV, por lo tanto, no es suficiente mostrar animaciones en tres dimensiones, sino que; además, el usuario debe ser capaz de interactuar con los objetos que se generan.

Además, Pérez (2011) argumenta que consiste en el diseño de espacios virtuales que consiguen una experiencia inmersiva e interactiva entre el espectador y el mundo, proporcionando un conjunto de emociones y sensaciones a través del uso de imágenes y sonidos. En esta definición se ha incorporado la palabra inmersiva que de acuerdo con la Real Academia Española (2014) significa acción de introducirse en un ámbito real o imaginario, en este caso se trata de uno simulado por una computadora que transporta al usuario a una nueva realidad por medio del uso de hardware específicamente diseñado para aislar al usuario del entorno real.

Un concepto más reciente es que se trata de un nuevo tipo de modo de interacción multimodal humano-computadora, en el cual, la gente puede sentir lo virtual simulado por computadora de varias maneras (You-tian, 2016). Esta forma moderna de describir la realidad virtual contiene términos más técnicos, esto es gracias a que los avances tecnológicos son capaces de crear ambientes virtuales cada vez más reales lo que permite describirlos de manera más precisa. You-tian además agrega la figura del desarrollador de realidad virtual y lo define como un profesional interdisciplinario basado en gráficos por computadora, técnica de simulación por computadora, técnica de interacción persona-computadora, tecnología multimedia y tecnología sensorial.

La presente investigación usa la definición de Levis (2021), quien precisa que es un conjunto de datos interactivos capaz de crear una simulación que involucre nuestros sentidos, especialmente la vista y el tacto, esta es generada por una computadora que permite la

manipulación en tiempo real de imágenes en tercera dimensión dando la sensación de presencia. Se ha considerado esta porque se trata de una definición contemporánea y contiene aspectos teóricos y técnicos que la hacen adecuada para esta investigación.

Características

La realidad virtual contiene características que la hacen atractiva para el usuario y la convierten en un agente educativo efectivo, ya que atrae la atención del estudiante y lo transporta a un mundo diseñado exclusivamente para el aprendizaje de un tópico específico.

De acuerdo con Zapatero (2011) estas características son:

- **Capacidad Sintética.** Los sistemas de RV son capaces de sintetizar, es decir, crear imágenes no naturales en tiempo real, considerando la posición que ocupa con respecto al usuario y a otros objetos.
- **Interactividad.** Es la cualidad de manipular y convivir con el entorno. Esta interacción puede ser dinámica, en donde el usuario es capaz de desplazar objetos y ejecutar otras acciones que desencadenan reacciones de los elementos del ambiente o puede ser un paseo virtual, en cuyo caso el usuario solo puede hacer un recorrido virtual cambiando el punto de vista de la imagen en tercera dimensión para apreciarla desde otro ángulo.
- **Tridimensionalidad.** Consiste en agregar el elemento de profundidad a las imágenes para lograr una sensación de realidad, lo que permite simular la percepción natural del mundo mejorando así el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- **Ilusión de realidad.** El mundo virtual debe tener una apariencia real, es decir debe parecerse a la realidad, sin embargo, no necesariamente debe tener elementos reales, es posible agregar objetos imaginarios o abstractos, siempre que estos sigan los parámetros de la percepción de la realidad.

Levis (2021) por su parte integra las características de la realidad virtual en tres puntos:

- **Pasivo.** Son entornos inmersivos no interactivos, en ambiente puede cambiar dando una sensación de movimiento, sin embargo, no es posible controlar el movimiento.
- **Exploratorio.** Es posible desplazarse por el entorno virtual lo que proporciona mayor funcionalidad en comparación con las imágenes estáticas.

- **Interactivo.** El usuario es capaz de manipular las imágenes que se presentan, girar o realizar acercamientos, lo que permite explorar a detalle los elementos presentados.

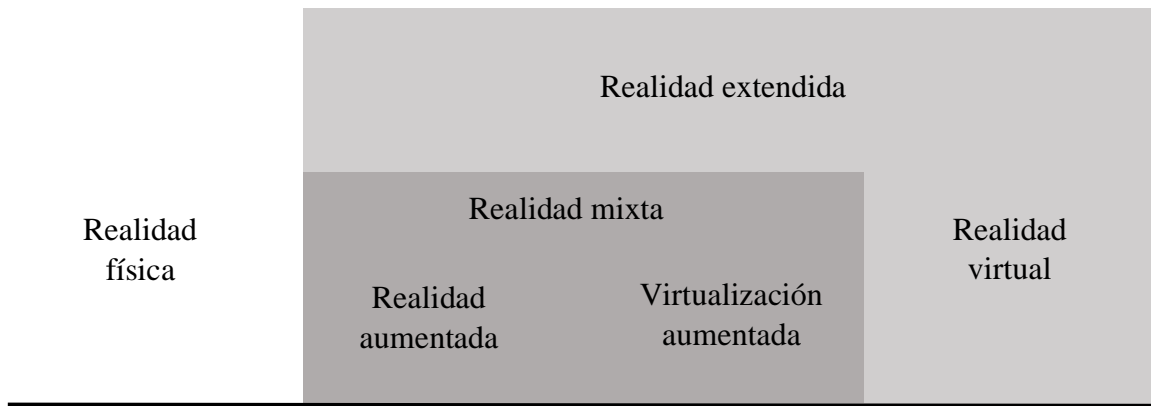
Clasificación

Además, Levis (2021) establece la siguiente clasificación de la realidad virtual considerando las características, tecnologías, técnicas y diseños utilizados en su construcción.

- **Sistemas de sobremesa.** Aplicaciones no inmersivas que presentan la información en una pantalla, con la cual donde el usuario puede desplazarse e interactuar con algunos objetos, con esto es posible conseguir una sensación de sumersión psicológica incluso cuando no existe inmersión física.
- **Sistemas proyectivos.** Aquellos que proporcionan una sensación de sumergimiento a través de la proyección de imágenes en las paredes de un espacio cerrado (cabina), es posible controlar el movimiento e interactuar con algunos objetos. Es tipo de realidad virtual se adapta a los sistemas multiusuario y a los simuladores.
- **Sistemas inmersivos.** Estos tienen el objetivo de brindar al usuario una sensación de encontrarse dentro de un entorno generado por una computadora, en el cual puede interactuar con los objetos que contiene. Para lograr esto se utilizan distintos dispositivos tanto de entrada como de salida con la finalidad de aislar a las personas del mundo real.

La realidad virtual es una de las realidades alternativas que la tecnología ha hecho posible, sin embargo, no es la única, la Ilustración 3 muestra la clasificación de estas de acuerdo con Wohlgenannt *et al.* (2020). En esta clasificación se observa que la realidad virtual se encuentra en el extremo opuesto de la realidad física, que es la realidad natural, por lo tanto, la RV es una realidad completamente artificial.

Ilustración 3. Clasificación de la realidad.



Fuente: Traducción del trabajo de Wohlgenannt *et al.* (2020).

La Ilustración 3 también muestra que la realidad extendida se divide en virtual y mixta; además, esta última a su vez en realidad y virtualización aumentada, la cual consiste en agregar objetos reales a un mundo virtual, por ejemplo, la imagen de un jugador de videojuegos que se proyecta en un recuadro dentro del ambiente virtual del mismo juego usando una cámara y un micrófono. Mientras que la realidad aumentada es más compleja, por esto, se define con más detalle a continuación.

2.1.3 REALIDAD AUMENTADA

Definición

Rigueros (2017) la considera una visión a través de un dispositivo tecnológico, directa o indirecta, de un entorno físico del mundo natural, cuyos elementos se combinan con otros virtuales creando así una realidad mixta en tiempo real. Rigueros agrega que la RA ha aumentado su presencia en materiales educativos, convirtiéndose en una herramienta de apoyo didáctico que motiva a los alumnos a aprender de manera interactiva.

Mientras que, para Cabero *et al.* (2017) la realidad aumentada es una tecnología que permite combinar la información digital con la física en tiempo real, por medio de distintos soportes tecnológicos, como tabletas o teléfonos inteligentes, de esta forma logra crear una nueva realidad.

Además, Tacgin (2020) considera que la RA se encuentra dentro de la realidad mixta y combina componentes físicos y virtuales en un ambiente natural y la proyecta en un entorno

artificial, a diferencia de la RV donde todo es simulado. Por su parte Martínez *et al.* (2021) argumentan que puede definirse como una tecnología que permite combinar objetos virtuales y reales en tiempo real a través de dispositivos tecnológicos.

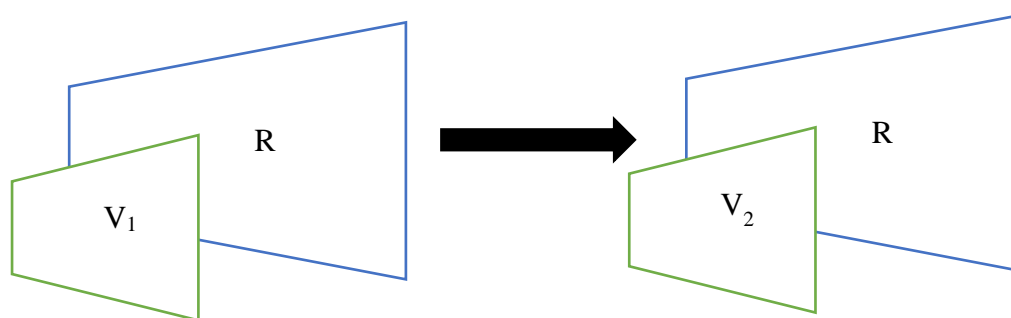
Por su parte Azuma (1997) la define como una variación de los ambientes virtuales (AV) también llamados realidad virtual, en esta última la persona se sumerge en un entorno sintético y no percibe el mundo que lo rodea, mientras que en la RA el usuario ve lo que hay a su alrededor con objetos artificiales superpuestos en el ambiente natural. La RA complementa el entorno y no lo reemplaza, aquí los objetos creados por los dispositivos conviven con los reales en el mismo espacio. En la presente investigación se usa la definición de Azuma (1997), ya que es la más completa, este además agrega que la realidad aumentada debe combinar objetos reales y virtuales en un ambiente natural, ejecutarse de forma interactiva en tiempo real y mantener la relación entre cada uno de los objetos.

Características

Liang y Roast (2014) establecen cinco características para el modelado de realidad aumentada, estas fueron extraídas de revisiones literarias existentes sobre investigaciones de RA y reflexiones críticas de los autores.

- **Posibilidad de cambiar.** Los elementos virtuales pueden cambiar de forma fácil y completamente, es decir, conforme se desplaza el mundo real, nuevos elementos virtuales aparecen o desaparecen según se hayan establecido. La Ilustración 4 muestra esta característica.

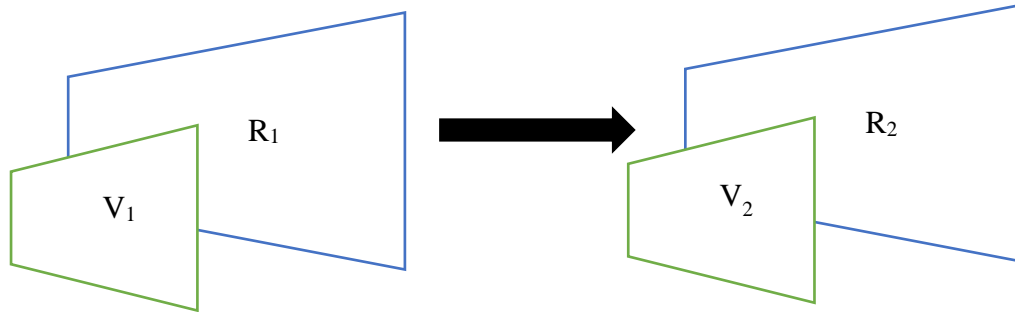
Ilustración 4. Posibilidad de cambiar de la realidad aumentada.



Fuente: Elaboración propia a partir de la figura de Liang y Roast (2014).

- **Sincronización.** Los elementos virtuales se encuentran vinculados a los reales, por lo tanto, cuando cambian estos últimos, los primeros también lo hacen de manera síncrona e instantánea. La Ilustración 5 ejemplifica esta cualidad.

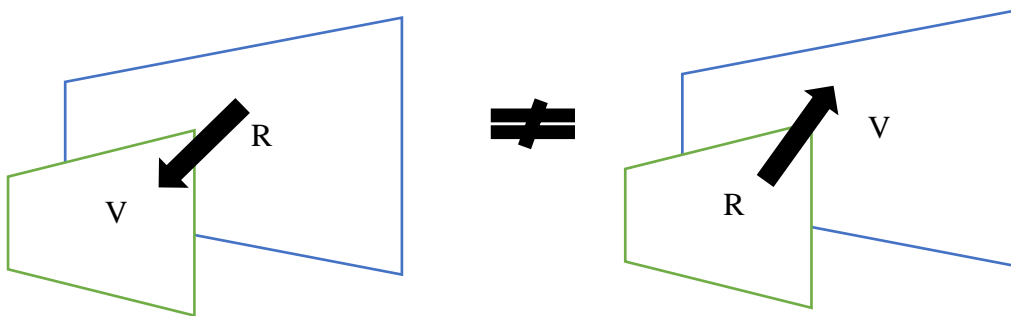
Ilustración 5. Sincronización de la realidad aumentada.



Fuente: Elaboración propia a partir de la figura de Liang y Roast (2014).

- **Antecedente.** Debe existir un elemento real para crear uno virtual, el mundo real antecede al digital, es decir, los elementos reales desencadenan los eventos de generación de contenido virtual. La Ilustración 6 establece esta relación.

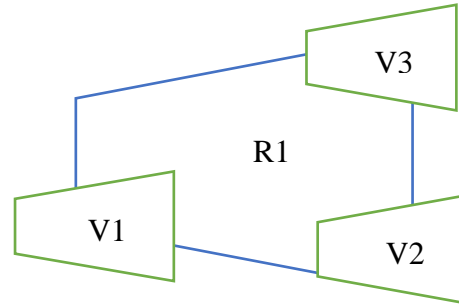
Ilustración 6. Antecedente de la realidad virtual.



Fuente: Elaboración propia a partir de la figura de Liang y Roast (2014).

- **Parcial uno a uno.** Cada pieza virtual tiene una relación uno a uno con respecto al mundo real, sin embargo, un elemento real puede tener una relación uno a muchos con el contenido virtual. En la Ilustración 7 un elemento real contiene 3 virtuales.

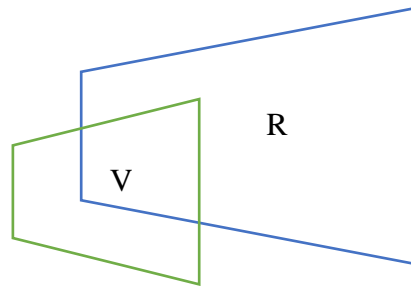
Ilustración 7. Relación entre elementos virtuales y reales.



Fuente: Elaboración propia a partir de la figura de Liang y Roast (2014).

- **Realidad oculta.** Los componentes virtuales se encuentran súper puestos a los reales, por lo tanto, los ocultan parcial o totalmente, sin embargo, puede agregarse algún grado de transparencia en los elementos virtuales o proporcionar un mecanismo para ocultarlos de forma temporal y de esta forma mostrar información real que puede ser importante. La Ilustración 8 muestra la forma en la cual un elemento virtual puede sobreponerse a uno real de forma parcial.

Ilustración 8. Realidad oculta en la realidad aumentada.



Fuente: Elaboración propia a partir de la figura de Liang y Roast (2014).

Clasificación

Prendes (2015) coincide con otros autores en que la clasificación de la realidad aumentada está dada por el nivel de complejidad de las tecnologías involucradas en su desarrollo, de esta forma se establecen cinco niveles:

- **Nivel 0.** Códigos de enlace con el mundo físico, unidimensionales como el código de barras o bidimensionales como el de respuesta rápida QR (del inglés Quick Response). Este nivel no proporciona seguimiento de los objetos.
- **Nivel 1.** Basado en marcadores que son presentados como imágenes monocromáticas generalmente cuadradas con dibujos sencillos y asimétricos. En una forma avanzada este nivel puede contemplar el reconocimiento de imágenes en 3D.
- **Nivel 2.** Basado en GPS-Brújula de los dispositivos electrónicos que proporcionan la situación geográfica, la orientación y la inclinación si cuenta con acelerómetros. En ese caso no se requiere de marcadores.
- **Nivel 3.** Visión aumentada lograda por la reducción del tamaño del dispositivo de salida, que debe ser transparente y ligero como los lentes, convirtiendo la realidad aumentada en inmersiva, contextual y personal.
- **Nivel 4.** Interfaces humano-máquina como lentes de contacto o con el nervio óptico y el cerebro. Este nivel representa la culminación de la realidad aumentada.

Tanto la realidad aumentada como la virtual son herramientas ampliamente utilizadas en aplicaciones móviles para sistemas operativos Android y IOS, sin embargo, en páginas web el desarrollo ha sido lento, debido a las limitantes en el uso de sensores en este tipo de programas, por esta razón en 2018 el *World Wide Web Consortium (W3C)*, presentó el borrador de la *WebXR Device API*, el cual pretende convertirse en el nuevo estándar para la implementación de estas nuevas realidades en la web, haciendo uso de los sensores que se encuentran en los nuevos dispositivos móviles (W3C, 2023).

2.1.4 WEBXR DEVICE API

Definición

WebXR es un conjunto de estándares que se utilizan para representar escenas en 3D en hardware diseñado para este propósito, ya sean mundos virtuales (realidad virtual) o imágenes incrustadas en el mundo real (realidad aumentada) y presentarlas en exploradores web compatibles (Mozilla, 2023). La Tabla 8 muestra la compatibilidad de exploradores web con *WebXR* al 6 de febrero de 2023.

Tabla 8. Compatibilidad de exploradores con *WebXR*.

Explorador	Tipo	Versión compatible
Chrome	Escritorio	79
Edge	Escritorio	79
Firefox	Escritorio	No
Internet explorer	Escritorio	No
Opera	Escritorio	66
Safari	Escritorio	No
WebView Android	Móvil	No
Chrome Android	Móvil	79
Firefox Android	Móvil	No
Opera Android	Móvil	57
Safari IOS	Móvil	No
Samsung internet	Móvil	11.2

Fuente: Elaboración propia con información de Mozilla (2023).

El acrónimo XR se refiere al espectro de hardware, aplicaciones y técnicas usadas para la realidad virtual, realidad aumentada y otras tecnologías relacionadas (W3C, 2023). Algunos ejemplos de estos son:

- Pantallas montadas en la cabeza, ya sean opacas, transparentes o que utilicen paso de video
- Dispositivos móviles con seguimiento posicional
- Pantallas fijas con capacidad de seguimiento de la cabeza

Mientras que *WebXR Device* es una unidad física de hardware que puede presentar imágenes al usuario. En los clientes de escritorio, suele ser un periférico de auriculares. En clientes móviles, puede representar el dispositivo móvil en sí junto con un arnés de visor. También puede representar dispositivos sin capacidades de presentación estéreo, pero con un seguimiento más avanzado (W3C, 2023). En general *WebXR Device* hace referencia a cualquier dispositivo compatible que se utilice para crear RV o RA, tales como, acelerómetros, cámaras, lentes y pantallas entre otros.

WebXR Device API proporciona las interfaces necesarias para permitir a los desarrolladores crear aplicaciones inmersivas atractivas, cómodas y seguras en la web en una amplia variedad de factores de forma de hardware (W3C, 2023). Estas interfaces de programación escritas en JavaScript son las que componen la *API*, fueron creadas para ser

implementadas por los programadores de RV y RA que quieran llevar sus aplicaciones a la web. La seguridad proporcionada por la *API* permite tener acceso al hardware del dispositivo como los sensores y la cámara de manera segura, algo que en las aplicaciones de los dispositivos móviles está a cargo del programador, lo cual puede incurrir en la creación de aplicaciones maliciosas por parte de estos. Además, al ser implementados en la web, estos programas pueden adaptarse a distintos dispositivos compatibles, en la actualidad incluso lentes de realidad virtual como los HoloLens de Microsoft.

Compatibilidad

La Tabla 9 presenta la compatibilidad de software y hardware con el núcleo de *WebXR* (*WebXR Core*), es decir, las características principales de la *API*, como es el caso del seguimiento espacial que permite a las aplicaciones razonar sobre cómo las entidades rastreadas están relacionadas espacialmente con el entorno físico del usuario y entre sí (W3C, 2023).

Tabla 9. Compatibilidad con el Núcleo de *WebXR*.

Hardware y software	Compatibilidad
Polyfill	Compatible, hará uso de WebVR si está disponible y <i>WebXR</i> no.
Chrome	Chrome 79
Servo	HoloLens2
Visor <i>WebXR</i>	iOS
Magic Leap Helio	Magic Leap Helio 0.98
Internet de Samsung	Internet de Samsung 12.0
Navegador de Oculus	7.0, diciembre de 2019

Fuente: Elaboración propia con información de Immersive Web Community Group (2023).

Por otro lado, la compatibilidad con el módulo de realidad aumentada (*WebXR AR Module*) es mostrada en la Tabla 10. Este módulo provee a la *API* la capacidad de sobreponer objetos virtuales en el mundo real, esto se logra colocando estos objetos en una pantalla opaca y combinándolos con una transmisión de la cámara del mundo real (W3C, 2023).

Tabla 10. Compatibilidad con el Módulo de RA de *WebXR*.

Hardware y software	Compatibilidad
Polyfill	No soportado

Chrome	Chrome para Android, 81
Servo	Hololens2
Visor <i>WebXR</i>	iOS
Magic Leap Helio	Magic Leap Helio 0.98
Internet de Samsung	Internet de Samsung 12.1
Navegador de Oculus	No soportado

Fuente: Elaboración propia con información de Immersive Web Community Group (2023).

La Tabla 11 contiene las versiones compatibles con el módulo de mandos de juegos (*WebXR Gamepads Module*), que proporciona soporte para botones, disparadores, joysticks y touchpad asociados con dispositivos de realidad virtual y realidad aumentada en la Web (W3C, 2023).

Tabla 11. Compatibilidad con el Módulo de mandos de juegos *WebXR*.

Hardware y software	Compatibilidad
Polyfill	Soportado
Chrome	Chrome 79
Servo	
Visor <i>WebXR</i>	
Magic Leap Helio	Parcialmente compatible con Magic Leap Helio 0.98
Internet de Samsung	Internet de Samsung 12.0
Navegador de Oculus	7.1, diciembre de 2019

Fuente: Elaboración propia con información de Immersive Web Community Group (2023).

Finalmente, la Tabla 12 presenta el hardware y el software compatible con el módulo de detección de profundidad y estimación de luz (Depth Sensing y Light Estimation), estos y los presentados anteriormente son algunos de los módulos que componen la *WebXR Device API*.

Tabla 12. Compatibilidad con la Detección de profundidad y Estimación de luz.

Hardware y software	Compatibilidad
Polyfill	
Chrome	Prueba de Origin en Chrome para Android, 87-88
Servo	
Visor <i>WebXR</i>	

Magic Leap Helio
Internet de Samsung
Navegador de Oculus

Fuente: Elaboración propia con información de Immersive Web Community Group (2023).

En las tablas anteriores se observa que Chrome es compatible con la mayor cantidad de características de *WebXR*, esto se debe a que Google participa activamente en el desarrollo del estándar, sin embargo, también lo son aquellos exploradores basados en *Chromium* como es el caso de Microsoft Edge a partir de la versión 79.

Grados de libertad

Esta *API* proporciona 3 o 6 grados de libertad (3DoF o 6DoF) dependiendo de la disponibilidad del hardware de acuerdo con lo siguiente (W3C, 2023):

- 3DoF. Tres grados de libertad. Únicamente proporcionan rastreo del movimiento de rotación, haciendo uso de acelerómetros y giroscopios. Los dispositivos con 3DoF no responden al movimiento de traslación, sin embargo, pueden implementar algoritmos para simularlo.
- 6DoF. Seis grados de libertad. Estos dispositivos pueden rastrear tanto el movimiento de rotación como el de traslación, lo que permite un rastreo preciso 1:1 en el espacio. Esto se puede lograr con seguimiento de adentro hacia afuera donde los sensores en el dispositivo de seguimiento en sí (como cámaras o sensores de profundidad) se utilizan para determinar la posición del dispositivo, o el seguimiento de afuera hacia adentro, donde los dispositivos externos se colocan en el entorno del usuario (como una cámara o un dispositivo emisor de luz) proporciona un punto de referencia estable frente al cual el dispositivo XR puede determinar su posición.

La información presentada en este apartado corresponde a la documentación del estándar en desarrollo, tomada del W3C, a partir de esta *API* se han implementado algunos trabajos de investigación que se abordan a continuación.

2.2 ESTADO DEL ARTE

En esta sección se presenta una revisión estructurada de la literatura relacionada con el tema de investigación. Para esto se ha utilizado la metodología propuesta por Brocke *et al.* (2009), quienes consideran que una de las características importantes de las revisiones literarias en sistemas de información es una documentación del proceso de búsqueda que permita a otros investigadores replicar el procedimiento de obtención de fuentes de información. Brocke *et al.* (2009) proponen cinco fases que van desde el establecimiento de la importancia de la revisión hasta la creación de una agenda de investigación que permita continuar con el proceso de generación de conocimiento. Estas etapas se presentan a continuación:

1. Definición del alcance de la revisión
2. Conceptualización del tópico
3. Búsqueda de la literatura
4. Análisis y síntesis de la literatura
5. Agenda de investigación

2.2.1 DEFINICIÓN DEL ALCANCE DE LA REVISIÓN

En la primera fase se establece el tópico de investigación como **WebXR Device API en la implementación de objetos de aprendizaje con realidad virtual o aumentada** y se determina que el tipo de revisión es de **síntesis del nuevo conocimiento**, según la definición de Torracó (2005), quien argumenta que más allá de consultar la literatura, una revisión literaria debe sintetizar el conocimiento contenido en dichas fuentes, produciendo un nuevo conocimiento a partir de la síntesis de comprensión de la literatura por parte del autor. Además, se identifican las necesidades de realizar la revisión literaria, las cuales se presentan a continuación:

- Establecer un punto de inicio para la investigación
- Determinar el avance en la investigación del tópico
- Conocer a los principales autores
- Ubicar los campos de estudio donde se ha aplicado

Para determinar el alcance de la revisión literaria se ha utilizado la taxonomía de Cooper (1988), la cual tiene la finalidad de establecer las características que tendrá la revisión antes

de realizar la búsqueda de las fuentes de información. Para la presente investigación se ha creado la Tabla 13 basada en el formato usado por Brocke *et al* (2009). A continuación, se describe la selección de las categorías para cada una de las características de esta taxonomía.

Tabla 13. Taxonomía de la revisión estructurada de Cooper

Característica		Categoría			
1	<i>Enfoque</i>	Resultados de investigación	Métodos de investigación	Teorías	Aplicaciones
2	<i>Objetivo</i>	Integración		Crítica	Temas centrales
3	<i>Organización</i>	Histórica		Conceptual	Metodológica
4	<i>Perspectiva</i>	Representación neutral		Adopción posición	
5	<i>Audiencia</i>	Académicos especialistas	Académicos en general	Profesionistas/ políticos	Público en general
6	<i>Cobertura</i>	Exhaustiva	Exhaustiva y selectiva	Representativa	Central / Esencial

Fuente: Elaboración propia basada en la tabla de Brocke *et al.* (2009)

- **Enfoque.** Se busca conocer el estado actual de la aplicación de *WebXR* en la creación de objetos de aprendizaje, por lo tanto, se revisan las publicaciones que tienen **resultados de investigación** o **aplicaciones** de esta tecnología en este contexto. Cooper (1988) aclara que una revisión estructurada de la literatura difícilmente tendrá un solo enfoque, ya que generalmente requiere de dos o tres con distintos grados de atención, por esta razón, las categorías de esta característica no son mutuamente excluyentes.
- **Objetivo.** La finalidad de la revisión literaria es la **integración** y síntesis de los trabajos de investigación recientes en el tópico establecido, por esto no se pretende tomar una postura crítica.
- **Organización.** La forma en la que se organizan los resultados de la búsqueda es **histórica**, ya que esta es la mejor manera de observar la evolución que ha tenido el uso de *WebXR* en los últimos años.

- **Perspectiva.** Se adopta una **posición neutral** en la revisión de la literatura. No se pretende criticar los trabajos existentes, sino más bien, comprender la situación actual de la investigación.
- **Audiencia.** El tipo de redacción está dirigido a los **académicos especializados** en la investigación y el desarrollo de tecnologías que se utilizan para la creación de objetos de aprendizaje, así como aquellos que las implementa en el ámbito educativo.
- **Cobertura.** Se analiza la literatura de manera exhaustiva, sin embargo, se excluyen los trabajos que se encuentran fuera de los criterios de inclusión que se establecen a continuación, dando como resultado una revisión **exhaustiva y selectiva**.

Criterios de inclusión

- Trabajos realizados entre 2018 y 2021
- Escritos en inglés o español
- Todos los países

Criterios de exclusión

- Artículos que no contengan el término *WebXR* en el contexto de *API*
- Duplicados o con información similar
- Aquellos que no tengan un enfoque educativo

Con esto se concluye la primera fase de la metodología de Brocke *et al.* (2009), apoyándose de la taxonomía de Cooper (1988) para establecer el alcance de la revisión. La siguiente etapa pretende ubicar de manera contextual el tópico seleccionado.

2.2.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL TÓPICO

La segunda fase propuesta por Brocke *et al.* (2009) consiste en contextualizar el tópico seleccionado, es decir, situar el concepto con relación en otros, con el objetivo de identificar las áreas de conocimiento necesarias para la comprensión del tema. Una forma de contextualizar un tópico es a través del uso de tesauros que definen las relaciones semánticas específicas, además son considerados los controles de indexación del lenguaje más eficiente, dado que proporcionan acceso a las colecciones de información del tema (Van Assche *et al.*, 2003).

Tesoros

REALIDAD VIRTUAL

Términos genéricos:

- Informática
- Realidad

Términos específicos:

- Artificio
- Lugares Mitológicos e Imaginarios
- Métodos de Simulación
- Realidad Aumentada
- Videojuegos

Términos relacionados:

- Ciencias Sociales
- Filosofía
- Ingeniería Computacional
- Literatura

REALIDAD AUMENTADA

Término genérico:

- Informática

Términos específicos:

- Interactividad
- Realidad Virtual
- Sistemas en Tiempo Real
- Tercera Dimensión
- Visión por Computadora

Términos relacionados:

- Comunicación
- Filosofía
- Ingeniería Computacional

WORLD WIDE WEB

Términos genéricos:

- Internet

Términos específicos:

- Accesibilidad web
- Acceso al documento electrónico
- Arquitectura de la información
- Búsqueda y recuperación de información en línea
- Diseño de páginas web
- Gestión de contenidos
- Identificadores de documentos web
- Navegación
- Recursos de información
- Usabilidad
- Términos relacionados
- Protocolos de redes
- Webmetría

Términos relacionados:

- Malla mundial
- Web
- WWW

OBJETOS DE APRENDIZAJE

Términos genéricos:

- Tecnología educativa

Términos específicos:

- Enseñanza por medio de la tecnología
- Equipos tecnológicos para la enseñanza
- Informática educativa
- Internet en la educación

Términos relacionados:

- Ciencias Sociales
- Educación
- Ingeniería Computacional
- Tecnologías de la información

WEBXR

Término alternativo:

- Realidad mixta web

Término genérico:

- API web

Términos específicos:

- Realidad aumentada
- Realidad virtual
- World Wide Web
- API

Términos relacionados:

- WebVR
- WebGL
- Tercera Dimensión
- Simulación

La búsqueda de tesauros se realizó en los repositorios especializados en línea de los conceptos primitivos del tópico, que se establecieron como, Realidad virtual y Realidad aumentada (ITESO Universidad Jesuita de Guadalajara, 2021), Objetos de aprendizaje (Ministerio de educación, 2005) y Web (TemaTres, 2021). Estos tesauros se presentan a continuación y con ellos se ha creado uno para el término *WebXR*.

A partir de la definición de los tesauros es posible obtener las consultas que se hacen a los buscadores de los repositorios científicos de la siguiente manera:

1. Se establecen los cinco términos preestablecidos, es decir, Realidad virtual, Realidad aumentada, Web, Objetos de aprendizaje y *WebXR*.
2. El término *WebXR* contiene a Realidad virtual, Realidad aumentada y Web, por lo tanto, se considera un concepto general.

3. Los términos *WebXR* y Objetos de aprendizaje son mutuamente excluyentes.
4. Con lo anterior se establece la siguiente consulta a los buscadores.
 - a. Español: *WebXR AND* Objeto de aprendizaje
 - b. Inglés: *WebXR AND Learning object*
 - c. Consulta: (*WebXR AND* Objeto de aprendizaje) *OR* (*WebXR AND Learning object*)

2.2.3 BÚSQUEDA DE LA LITERATURA

En esta etapa del proceso de revisión literaria se establecen las palabras clave, las bases de datos a consultar, las preguntas de investigación que se pretenden contestar al finalizar la revisión y se realiza el proceso de búsqueda. Las palabras clave de búsqueda se han identificado en la fase 2 y son *WebXR* y *Learning object*. Se utiliza la base de datos de Scopus. Mientras que las preguntas de investigación se plantean de la siguiente forma.

Preguntas de investigación

- QA1. ¿Cuántos trabajos de investigación se han realizado en el periodo establecido?
- QA2. ¿A qué campo de estudio pertenecen?
- QA3. ¿Cuáles son los países con más investigación en el tema?

Objetivos de las preguntas de investigación

QA1. Cuantificar el número de trabajos de investigación publicados en Scopus del 2018 al 2022 acerca del estándar *WebXR Device API*. Se excluyen aquellos que únicamente hagan mención del término sin abordar el tema.

QA2. Clasificar las distintas ramas de la ciencia a la que pertenecen estos trabajos, entre ellas, las Ciencias de la computación. Cuantificar el número de trabajos para cada campo de estudio.

QA3. Clasificar los artículos de acuerdo con el país de afiliación de los autores. Cuantificar el número de publicaciones de cada país.

Búsqueda en Scopus

En esta etapa del proceso de revisión literaria se establecen las palabras clave, bases de datos a consultar, preguntas de investigación que se pretenden contestar al finalizar la revisión y se

realiza el proceso de búsqueda. Las palabras clave de búsqueda se han identificado en la fase 2 y son *WebXR* y *Learning object*. La búsqueda en Scopus se ha ejecutado dentro del título, resumen y palabras clave de los artículos publicados, el buscador traduce los términos de español a inglés, por esto se utiliza *WebXR* y *Learning object*, los resultados se presentan en la Tabla 14.

Resultados de Scopus

Tabla 14. Resultados de búsqueda Scopus para *WebXR* y *Learning object*

Artículo	Año	Campo de estudio	País
(Ro'fatulhaq et al., 2020)	2020	Ingeniería Ciencias de la computación	Alemania Indonesia
(Luigini et al., 2020)	2020	Ingeniería	Chile Italia
(Rodríguez et al., 2022)	2022	Ciencias de la computación Química Ciencia de materiales	Suiza
(Cleto et al., 2022)	2022	Ciencias de la computación	Portugal

Fuente: Elaboración propia basada en la tabla de resultados de Elsevier (2022)

Resultados de Scopus (Búsqueda hacia adelante)

La búsqueda hacia adelante de los artículos encontrados en Scopus se realiza en la misma plataforma, analizando las citas de los trabajos revisados, los cuales se presentan en la Tabla 15 para el artículo de Ro'fatulhaq *et al.* (2020) y en la Tabla 16 para el de Luigini *et al.* (2020). Para el primer caso fueron localizados dos trabajos relacionados, mientras que para el segundo cuatro. Los artículos de Rodríguez *et al.* (2022) y Cleto *et al.* (2022) no han sido citados hasta el momento de la elaboración de la presente investigación.

Tabla 15. Resultados de la búsqueda hacia adelante en Scopus para Ro'fatulhaq (2020)

Artículo	Año	Campo de estudio	País
(Zubair y Anyameluhor, 2021)	2021	Ciencias de la computación	Reino Unido
(Hafidz et al., 2021)	2021	Ciencias de la computación Ingeniería Física y astronomía	Indonesia

Fuente: Elaboración propia basada en la tabla de resultados de Elsevier (2022)

Tabla 16. Resultados de la búsqueda hacia adelante en Scopus para Luigini *et al.* (2020)

Artículo	Año	Campo de estudio	País
(Fanini et al., 2021)	2021	Ciencias de la computación Ingeniería Ingeniería química Ciencia de materiales Física y astronomía	Italia
(Fanini et al., 2021)	2021	Artes y humanidades Ciencia de materiales	Italia
(Kamal y Andujar, 2022)	2022	Ciencias de la computación Ingeniería	España
(Ospanova et al., 2022)	2022	Ciencias sociales	Rusia

Fuente: Elaboración propia basada en la tabla de resultados de Elsevier (2022)

Resultados de Scopus (Búsqueda hacia atrás)

Para la búsqueda hacia atrás se han tomado las referencias citadas de los artículos encontrados y se buscó el término *WebXR* en el título y las palabras clave de cada uno. El artículo de Ro'fatulhaq *et al.* (2020) contiene 20, sin embargo, ninguna posee el concepto. Mientras que la publicación de Luigini *et al.* (2020) tiene 33, cuatro incluyen la palabra buscada (ver Tabla 17). Por su parte Rodríguez *et al.* (2022) tiene 39 citas, la Tabla 18 muestra los dos que incluyen el término. Finalmente, la investigación de Cleto *et al.* (2022) no contiene referencias con relación al nuevo estándar para el desarrollo de realidad virtual y aumentada en la web.

Tabla 17. Resultados de la búsqueda hacia atrás Scopus para Luigini *et al.* (2020)

Artículo	Año	Campo de estudio	País
(MacIntyre y Smith, 2018)	2018	Ciencias de la computación Ingeniería	Alemania
(Fanini y Cinque, 2020)	2020	Ciencias de la computación	Italia
(W3C, 2023)	2019	Ciencias de la computación	Estados Unidos
(Turco et al., 2019)	2019	Ciencias de la computación Ingeniería Artes y humanidades Ciencias sociales	Italia

Fuente: Elaboración propia basada en la tabla de resultados de Elsevier (2022)

Tabla 18. Resultados de la búsqueda hacia atrás en Scopus para Rodríguez *et al.* (2022)

Artículo	Año	Campo de estudio	País
(Rodríguez et al., 2021)	2021	Ciencias de la computación	Suiza
(Rodríguez et al., 2022)	2022	Química	Suiza

Fuente: Elaboración propia basada en la tabla de resultados de Elsevier (2022)

Con lo anterior se concluye la tercera etapa, en la cual se realizó la búsqueda en Scopus y se plantearon las preguntas de investigación y sus objetivos, mismas que serán resueltas en la siguiente fase, donde además se sintetiza la información de la literatura encontrada y se realiza un análisis de esta.

2.2.4 ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE LA LITERATURA

En la cuarta etapa se sintetiza la información de la literatura encontrada en la etapa anterior y se realiza un análisis de esta, con la finalidad de contestar las preguntas de investigación que se plantearon en la fase tres.

Resultados de Scopus (Búsqueda general)

Ro'fatulhaq *et al.* (2020) construyeron una plataforma web para almacenar imágenes en tercera dimensión utilizando una base de datos para poder recuperarlos posteriormente y presentarlos a través del uso de *WebXR*. Este trabajo tiene la finalidad de ayudar a los profesores de educación superior en la enseñanza de conceptos de ingeniería.

Luigini *et al.* (2020) crearon un juego serio para alumnos de educación básica que muestra distintos ambientes en 360 grados con diferentes estados de agregación del agua, algunos de los paisajes presentados son lluvia, ríos, mares, glaciares y nieve. Es una aplicación inmersiva basada en tecnología web, que utiliza *WebXR Device API*. Los autores dedican una sección a la realidad virtual inmersiva web, en la cual destacan la capacidad multiplataforma del estándar.

Rodríguez *et al.* (2022) desarrollaron una aplicación web capaz de devolver sesiones de *WebXR* a partir de imágenes en tercera dimensión de estructuras moleculares, de esta forma el usuario puede visualizarlas con realidad aumentada, además permite la manipulación de los objetos utilizando las manos en aquellos dispositivos compatibles.

Cleto *et al.* (2022) demostraron a través de un estudio con 29 estudiantes de programación en secundaria que los ambientes virtuales permiten colaborar y aprender de forma intuitiva e interactiva. Este artículo y los anteriores cumplen los criterios de inclusión establecidos, por lo cual forman parte de los resultados de la revisión literaria.

Resultados de Scopus (Búsqueda hacia adelante)

Zubair y Anyameluhor (2021) presentan los resultados de un estudio realizado a 11 creadores de *WebXR* por medio de entrevistas con la finalidad de entender las experiencias de los desarrolladores del estándar, sin embargo, este artículo no tiene un enfoque educativo, por lo cual no forma parte de los resultados. Por otro lado, Hafidz *et al.* (2021) diseñaron y desarrollaron una plataforma de aprendizaje inmersiva para estudiantes de medicina, esto ante la situación educativa única causada por el Coronavirus y sus afectaciones económicas para alumnos y profesores.

Fanini *et al.* (2021) desarrollaron una aplicación web con realidad virtual para la visualización de las distintas etapas de monumentos arqueológicos de Italia a lo largo de la historia. En este trabajo Fanini continúa con el uso del estándar *WebXR* que comenzó con Luigini *et al.* (2020), en esta ocasión se ha realizado con fines turísticos, aunque es posible utilizarlo en la enseñanza de la historia de ese país. Posteriormente, Fanini *et al.* (2021) crean ATON, un framework para el desarrollo de aplicaciones culturales multiusuario con RV y RA a partir del nuevo estándar. Este conjunto de herramientas facilitará la creación de objetos de aprendizaje como el anterior, sin embargo, en sí mismo no representa uno, por lo cual, no se considera como parte de los resultados.

Resultados de Scopus (Búsqueda hacia atrás)

Turco (2019) en cooperación con Fanini crearon una aplicación usando realidad mixta para el Museo Egizio, utilizando *WebXR* con la finalidad de explorar la arquitectura egipcia, este trabajo tiene un enfoque cultural y educativo.

W3C (2023), MacIntyre y Smith (2018) y Fanini y Cinque (2020) han sido omitidos de los resultados debido a que tienen un enfoque tecnológico y no educativo, en estos se abordan temas acerca de la implementación de sesiones prolongadas y la forma en la que *WebXR* puede cambiar la manera de usar realidad virtual y aumentada.

Rodríguez *et al.* (2021) y (2022) han estado desarrollando herramientas web para el aprendizaje de las ciencias por medio de RA y RV a partir de *WebXR*, enfocadas especialmente en Química con la representación de estructuras moleculares, una de estas aplicaciones es *MoleculARweb*, en la cual el estudiante puede seleccionar una imagen en 3D existente o cargar una diferente para visualizarla en realidad aumentada.

Tabla 19. Resultados de la revisión estructurada de la literatura

Artículo	Año	Campo de estudio	País
(Ro'fatulhaq et al., 2020)	2020	Ingeniería Ciencias de la computación	Alemania Indonesia
(Luigini et al., 2020)	2020	Ingeniería	Chile Italia
(Rodríguez et al., 2022)	2022	Ciencias de la computación Química Ciencia de materiales	Suiza
(Cleto et al., 2022)	2022	Ciencias de la computación	Portugal
(Hafidz et al., 2021)	2021	Ciencias de la computación Ingeniería Física y astronomía	Indonesia
(Fanini et al., 2021)	2021	Artes y humanidades Ciencia de materiales	Italia
(Turco et al., 2019)	2019	Ciencias de la computación Ingeniería Artes y humanidades	Italia
(Rodríguez et al., 2021)	2021	Ciencias sociales Ciencias de la computación	Suiza
(Rodríguez et al., 2022)	2022	Química	Suiza

Fuente: Elaboración propia basada en la tabla de resultados de (Elsevier, 2022)

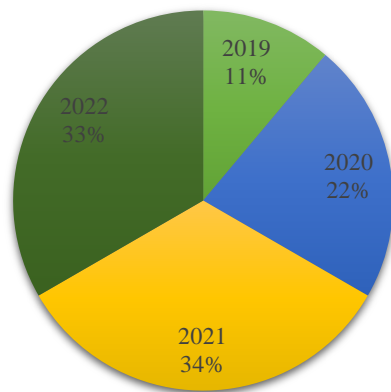
La Tabla 19 muestra todos los artículos de investigación que guardan alguna relación al uso de *WebXR* en el contexto educativo desde el anuncio del nuevo estándar en 2018 hasta la fecha de elaboración de la presente en 2022. En la siguiente sección se realiza el análisis de los resultados obtenidos mediante gráficas cuantitativas.

Respuestas a las preguntas de investigación de la revisión literaria

En apartados anteriores se realizó la búsqueda de la información y se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, además se analizaron los trabajos resultantes de manera detallada para construir la Tabla 19 a partir de la cual fueron contestadas las preguntas de investigación. Las respuestas a tales se presentan a continuación.

QA1. ¿Cuántos trabajos de investigación se han realizado en el periodo establecido?

Ilustración 9. Porcentaje de publicaciones de 2018 a 2022



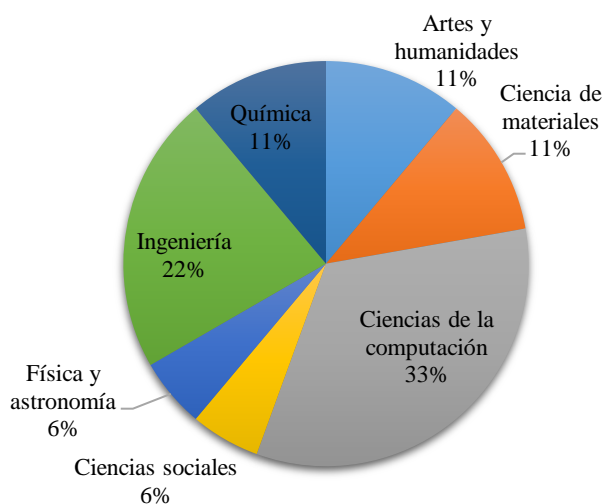
Fuente: Elaboración propia basada en la tabla de resultados de (Elsevier, 2022)

La Ilustración 9 contiene el número de artículos publicados del 2018 al 2022 acerca del uso de la *API WebXR* en el contexto educativo, esta gráfica muestra uno en 2019, dos en 2020, tres en 2021 y tres en 2022, lo que demuestra un crecimiento en la investigación realizada en este tema.

QA2. ¿A qué campo de estudio pertenecen?

La clasificación de los artículos de investigación relacionados con la *API WebXR* aplicada a la educación de acuerdo con el campo de estudio se presentan en la Ilustración 10, en la cual se observa que seis pertenecen a las Ciencias de la Computación, cuatro a la Ingeniería, por su parte Artes y humanidades, Ciencia de materiales y Química tienen dos cada uno, mientras que Ciencias sociales y Física y astronomía solo uno. Como se observa en la Tabla 19, los artículos pertenecen a más de un campo de estudio.

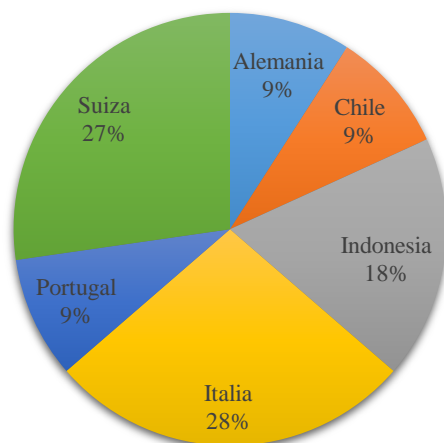
Ilustración 10. Porcentaje de artículos por campo de estudio



Fuente: Elaboración propia basada en la tabla de resultados de (Elsevier, 2022)

QA3. ¿Cuáles son los países con más investigación en el tema?

Ilustración 11. Porcentaje por país de afiliación de los autores



Fuente: Elaboración propia basada en la tabla de resultados de (Elsevier, 2022)

La Ilustración 11 presenta la distribución de la investigación realizada de acuerdo con el país de afiliación de los autores, se observa que Suiza e Italia predominan con tres artículos cada uno, siendo Rodríguez y Fanini los más destacados en el tema, mientras que dos pertenecen a Indonesia, finalmente Alemania, Chile y Portugal tienen uno para cada país. Europa es el continente con mayor presencia de acuerdo con estos datos.

Matriz de conceptos

Webster y Watson (2002) consideran que la síntesis de una revisión estructurada debe estar centrada en los conceptos, para esto establecen una matriz como la presentada en la Tabla 20, que contiene la relación de cada artículo con respecto a los términos que aparecen en ellos, se observa que *WebXR* aparece en ocho de los nueve artículos encontrados, de la misma forma que Realidad Virtual; mientras que seis contienen la palabra 3D al igual que Educación.

Tabla 20. Matriz de conceptos.

Artículo	<i>WebXR</i>	Web3D	3D	RV	RA	Educación
(Ro'fatulhaq et al., 2020)	X	X	X	X		X
(Luigini et al., 2020)	X			X		X
(Rodríguez et al., 2022)	X		X	X	X	X
(Cleto et al., 2022)	X		X	X		
(Hafidz et al., 2021)	X			X	X	X
(Fanini et al., 2021)	X	X	X	X		
(Turco et al., 2019)				X		
(Rodríguez et al., 2021)	X	X	X	X	X	X
(Rodríguez et al., 2022)	X		X		X	X

Fuente: Elaboración propia basada en la tabla de Webster y Watson (2002)

Agenda de investigación

La etapa cinco de la metodología de Brocke *et al.* (2009) establece la propuesta de un conjunto de pasos que permita continuar con la investigación en curso, considerando que la revisión estructurada representa el comienzo del estudio de un tópico específico. Para el caso del tema *WebXR* en objetos de aprendizaje con realidad virtual y aumentada se propone, por ejemplo, la creación de una aplicación web que contemple figuras en tres dimensiones que tengan por objetivo la transmisión de conocimiento a un público específico, el cual debe ser determinado por el investigador. Algunas de estas actividades podrían ser las siguientes:

- Diseño del objeto de aprendizaje
- Documentación de software
- Implementación del objeto de aprendizaje
- Incorporación de realidad virtual o aumentada
- Implantación de objeto de aprendizaje en repositorio
- Pruebas de funcionalidad del software
- Análisis del rendimiento de la *WebXR Device API*

El objetivo de esta investigación documental ha sido conocer el estado del arte del uso del nuevo estándar *WebXR* en la educación, principalmente en el desarrollo de objetos de aprendizaje que involucran realidad virtual y aumentada, resaltando el proceso de revisión estructurada de la literatura como un elemento esencial de cualquier investigación, especialmente en el tema de sistemas de información, en el cual a menudo se realiza de manera empírica, lo que impide que otros investigadores puedan replicar el procedimiento para llegar a los mismos resultados (Brocke et al., 2009), cuya metodología ha sido utilizada en trabajos de investigación recientes, tales como *Influence of personality traits on choice of retail purchasing channel: Literature review and research agenda* (Hermes y Riedl, 2021) y *A Systematic Literature Review of Successful Implementation of Industry 4.0 Technologies in Companies: Synthesis of the IPSI Framework* (Cardin, 2021).

De esta forma se ha alcanzado el objetivo planteado de conocer del estado del arte del uso de *WebXR* en objetos de aprendizaje y se han analizado las fuentes de información concluyendo que existen nueve trabajos de investigación, de los cuales tres participa Suiza, tres Italia dos Indonesia y en uno Alemania, Portugal y Chile; además, la mayor parte de los artículos pertenecen a las Ciencias de la Computación y a la Ingeniería. Rodríguez y Fanini son los principales autores de *WebXR* aplicada a la educación, con desarrollos enfocados a la enseñanza de las ciencias (Química) y a la Cultura (Monumentos históricos) respectivamente. Otros campos de investigación se han beneficiado del nuevo estándar, tales como las Ciencias sociales, Ciencia de materiales, Física y las Artes y Humanidades.

Se confirma que la web y su reciente estándar ofrecen oportunidades para presentar información interactiva al usuario sin forzarlo a instalar software de terceros (Fanini et al., 2021). Además, los resultados demuestran que el uso de *WebXR* en la educación es un tema

nuevo que requiere incrementar la investigación para continuar fomentando la incorporación de realidad virtual o aumentada en los objetos de aprendizaje, si bien, actualmente esto se realiza en aplicaciones nativas para dispositivos móviles con sistema operativo Android o IOS aún falta lograr implantarla en la web estandarizada, esto permitiría proporcionar experiencias de RV y RA a los estudiantes sin importar el lugar donde se encuentren (Luigini et al., 2020).

Con esto, se ha realizado un estudio detallado del marco teórico y el estado del arte que envuelven el tema presentado en esta investigación con la finalidad de conocer los conceptos y la situación actual del tópico. A continuación, se describe la metodología utilizada para alcanzar los objetivos planteados.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

La presente investigación se diseñó en tres etapas:

1. Etapa documental. En la sección anterior se ha realizado una revisión estructurada de la literatura bajo la metodología propuesta por Brocke *et al.* (2009), la cual contiene cinco etapas: definición del alcance de la revisión, conceptualización del tópico, búsqueda de la literatura, análisis y síntesis de la literatura y agenda de investigación. Esta metodología tiene como objetivo documentar las actividades realizadas para obtener los resultados de la revisión y de esta manera otros investigadores puedan reproducir el proceso. Además, en el marco teórico se han establecido los términos necesarios para comprender esta investigación, lo cuales son:
 - a. Definición, clasificación y características de los objetos de aprendizaje.
 - b. Metodologías para el desarrollo de OAs.
 - c. Definición, clasificación y características de la realidad virtual y aumentada.
 - d. Definición y compatibilidad de *WebXR Device API*.
2. Etapa de aplicación. La sección de Investigación aplicada presenta el uso de la metodología DICREVOA 2.0 para la creación de un objeto de aprendizaje que implementa *WebXR Device API*. Este OA consiste en una aplicación web que contiene figuras en tres dimensiones diseñadas para el proceso de enseñanza aprendizaje de cuerpos geométricos en educación básica, que es utilizada para mostrar la implementación de realidad virtual o aumentada en la web a través del nuevo estándar del W3C para esta finalidad. Además, se utilizó la metodología en cascada adaptada (Sommerville, 2011) de la siguiente forma:
 - a. Análisis de los requerimientos del objeto de aprendizaje.
 - b. Diseño de los elementos y la arquitectura. La arquitectura utilizada será MVC (Modelo-Vista-Controlador), donde la *WebXR Device API* se encuentra en la capa de vista.
 - c. Implementación del software. Considerando que generalmente el desarrollo de software es cíclico, en esta etapa se ha utilizado la metodología ágil SCRUM a través del software Jira para mantener comunicación entre el equipo de desarrollo y mantener el código fuente actualizado. A continuación,

se especifica cada una de las tecnologías utilizadas en las distintas capas de la aplicación:

- i. Vista. HTML, CSS, JavaScript
 - ii. Controlador. PHP versión 8
 - iii. Modelo. PHP versión 8
 - iv. Persistencia de datos. MariaDB versión 10
 - v. Editor. Sublime Text
- d. Pruebas unitarias de funcionalidad. Las pruebas iniciales se llevaron a cabo en una computadora con XAMPP 7, Windows 10, 240 GB SSD, AMD A6 y 6GB de RAM, mientras que las finales en un teléfono inteligente modelo Samsung Galaxy S8 con procesador Exynos 8895 de 8 núcleos, Android 9, 4GB de RAM y 64GB de almacenamiento. Ambos dispositivos fueron elegidos por pertenecer a una gama media con una ligera antigüedad, lo cual aumenta la posibilidad de compatibilidad con equipos posteriores al año 2017 y de gama alta, aumentando así el alcance de la aplicación.
- e. Implantación en repositorio de objetos de aprendizaje.
3. Etapa de síntesis. El objetivo de esta etapa fue analizar y mostrar los resultados obtenidos por medio de pruebas de rendimiento y funcionalidad aplicados al software desarrollado. Algunas de las pruebas que se realizarán son:
- a. Número de líneas de código.
 - b. Velocidad de carga.
 - c. Rendimiento.
 - d. Utilización de GPU.

Los resultados de esta etapa se dieron a conocer en medios de divulgación especializados en el área, con la finalidad de que los desarrolladores puedan valorar la factibilidad de usar *WebXR* en sus proyectos.

CAPÍTULO IV: INVESTIGACIÓN APLICADA

Se ha utilizado la metodología en cascada de desarrollo de software dada su afinidad a DICREVOA, puesto que ambas contienen el mismo número de etapas, las cuales son similares entre sí, por lo cual, únicamente se implementa DICREVOA. La relación entre las etapas se presentó en la Ilustración 2. La metodología de Diseño, Creación y Evaluación de Objetos de Aprendizaje (DICREVOA) en su versión 2 contiene 5 fases: análisis, diseño, implementación, evaluación y publicación (Maldonado et al., 2017). La aplicación de esta se presenta a continuación.

4.1 FASE DE ANÁLISIS

La primera etapa tiene como finalidad la identificación de las necesidades del objeto de aprendizaje, así como los destinatarios; para esto se ha utilizado la Tabla 21 propuesta por Maldonado *et al.* (2017), además la información del tema, nivel, perfil y contexto se obtuvo de la Secretaría de Educación Pública (2022).

Tabla 21. Matriz de necesidades DICREVOA

Descripción	El OA es una aplicación web que presenta un conjunto de figuras geométricas en tres dimensiones con tres grados de libertad implementada en realidad aumentada, cada una de estas resalta las aristas y los vértices, además de una descripción corta.
Nivel	Último grado de educación primaria y segundo de secundaria.
Perfil del estudiante	Este objeto de aprendizaje está diseñado para estudiantes con conocimientos básicos sobre cuerpos geométricos, el OA tiene la finalidad de reforzar la comprensión de los conceptos relacionados.
Tiempo estimado para recorrerlo	El tiempo estimado para explorar todos los cuerpos geométricos e interactuar con la aplicación es de 1 hora.
Contexto educativo	Los alumnos del último grado de educación primaria continúan el estudio de los cuerpos geométricos, que ya habían iniciado en el grado anterior analizando las características de las pirámides rectas triangulares y rectangulares. Se proponen actividades para que el estudiante desarrolle su imaginación espacial.
Tipo de licencia	Licencia Creative Commons Atribución Compartir igual 3.0
Requerimientos no funcionales	Explorador web compatible con <i>WebXR</i>

Descripción	El OA es una aplicación web que presenta un conjunto de figuras geométricas en tres dimensiones con tres grados de libertad implementada en realidad aumentada, cada una de estas resalta las aristas y los vértices, además de una descripción corta.
-------------	--

Fuente: Elaboración propia basada en la tabla de (Maldonado et al., 2017)

Maldonado *et al.* (2017) proponen definir el perfil del estudiante en esta etapa, por medio del uso del cuestionario CHAEA, con la finalidad de conocer el estilo de aprendizaje predominante del público objetivo, sin embargo, investigaciones recientes indican que los beneficios del uso de la tecnología en el aprendizaje no difieren en estudiantes con distintos perfiles de aprendizaje (Huang et al., 2019). En el estudio de Huang *et al.* (2019) se realizó un experimento con 70 alumnos con edad promedio de 11 años para conocer la forma en la cual la realidad aumentada ayuda en el proceso de aprendizaje, los resultados muestran que la RA estimula los estudiantes sin importar su perfil, por esto, en el desarrollo del objeto de aprendizaje de esta investigación se omite el cuestionario.

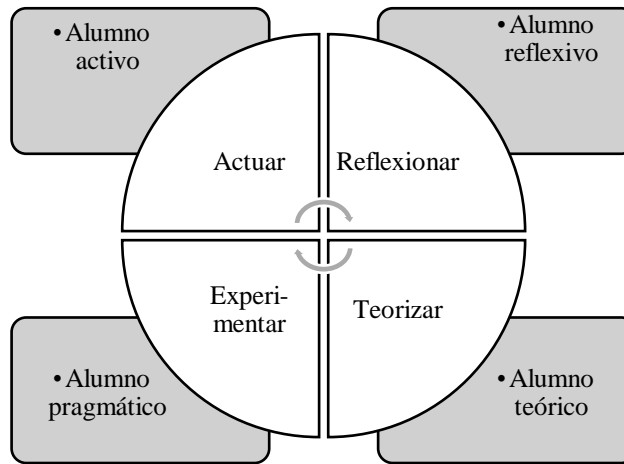
4.2 FASE DE DISEÑO

La fase de diseño de la metodología DICREVOA se divide en dos secciones, por un lado, se encuentra el diseño instruccional que aborda el aspecto educativo y por otro el diseño multimedial que contempla la parte tecnológica.

4.2.1 DISEÑO INSTRUCCIONAL DEL OBJETO DE APRENDIZAJE

Esta sección aborda el aspecto educativo, es decir, los objetivos de aprendizaje, contenidos y actividades basadas en el ciclo de Kolb quien asegura que un aprendizaje óptimo se alcanza al trabajar con las fases mostradas en la Ilustración 12 (Maldonado et al., 2017).

Ilustración 12. Ciclo de Kolb



Fuente: Elaboración propia basado en Maldonado *et al.* (2017).

Objetivo del objeto de aprendizaje

La finalidad de este OA se ha establecido como analizar los diferentes cuerpos geométricos para comprender los conceptos involucrados en figuras de tres dimensiones que se estudian en educación básica. Considerando que la taxonomía de la palabra analizar es discriminar, distinguir, seleccionar, integrar, estructurar y delinear. De esta forma después de utilizar el OA, el estudiante podrá recordar el nombre de las distintas figuras, discriminar entre aristas y vértices e incorporar los nuevos términos a su conocimiento.

Estructura del objeto de aprendizaje

Esta etapa del diseño instruccional consiste en conocer la composición del objeto de aprendizaje, para lograr esto se ha utilizado la plantilla propuesta por Maldonado *et al.* (2017) misma que se encuentra en la Tabla 22.

Tabla 22. Estructura interna del objeto de aprendizaje

Estructura	Tema	Descripción
Inicio	Descripción	Presentación del OA
	Objetivo	Finalidad del uso del objeto de aprendizaje
	Manual	Breves pasos por seguir para el uso de realidad aumentada
	Compatibilidad	Exploradores que pueden implementar <i>WebXR</i> .
Contenidos	Caras, vértices y aristas	Cubo en realidad aumentada resaltando una cara, un vértice y una arista.
	Cubo	Cubo en realidad aumentada

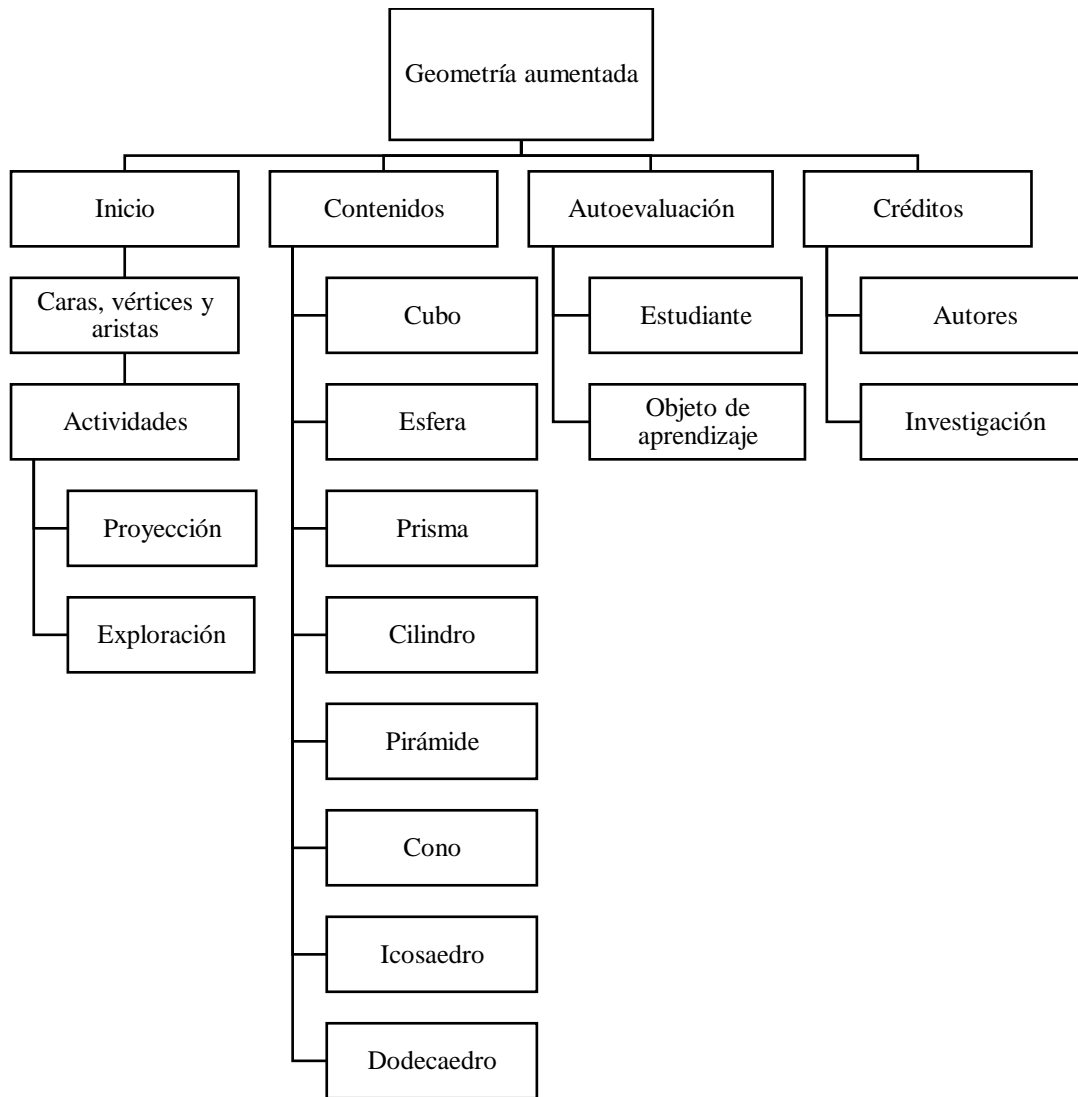
		Información mostrada: nombre, número de caras, aristas y vértices.
	Esfera	Esfera en realidad aumentada
	Prisma	Información mostrada: nombre. Prisma rectangular en realidad aumentada.
	Cilindro	Información mostrada: nombre, número de caras, aristas y vértices. Cilindro en realidad virtual.
	Pirámide	Información mostrada: nombre, número de caras, aristas y vértices. Pirámide con base cuadrada en realidad aumentada.
	Cono	Información mostrada: nombre, número de caras, aristas y vértices. Cono en realidad aumentada.
	Icosaedro	Información mostrada: nombre, número de caras, aristas y vértices. Icosaedro en realidad aumentada.
	Dodecaedro	Información mostrada: nombre, número de caras, aristas y vértices. Dodecaedro en realidad aumentada.
Actividades	Proyección	Incorporación de objetos virtuales predeterminados al mundo real.
	Exploración de figuras	Observación de objetos en tres dimensiones con realidad aumentada desde distintos ángulos.
Autoevaluación	Evaluación del alumno	Ocho preguntas con imágenes acerca del nombre y componentes de las distintas figuras presentadas. El resultado se muestra al estudiante al terminar.
	Evaluación del OA	Evaluación del objeto de aprendizaje por puntaje del 1 al 5 de las distintas características que debe cumplir.
Créditos	Acerca de	Reconocimiento de los autores y fuentes.

Fuente: Elaboración propia basado en Maldonado *et al.* (2017).

Contenidos del objeto de aprendizaje

El objetivo del objeto de aprendizaje es comprender los conceptos que involucran los cuerpos geométricos, por lo tanto, los contenidos de este deben ser conceptuales, por lo que se recomienda que tengan una estructura jerárquica, misma que se muestra en la Ilustración 13.

Ilustración 13. Contenidos del objeto de aprendizaje



Fuente: Elaboración propia basado en Maldonado *et al.* (2017).

Actividades del objeto de aprendizaje

La Ilustración 13 presenta la estructura jerárquica de los contenidos del objeto de aprendizaje donde puede observarse las actividades de proyección y exploración, mismas que se detallan a continuación.

- **Proyección.** Los estudiantes deben ejecutar la creación del objeto virtual y establecerlo en un lugar real con ayuda de la cámara del dispositivo. La aplicación proporciona un botón para comenzar la visualización de la figura en realidad aumentada que los alumnos tienen que presionar y aceptar los permisos necesarios.

- Exploración. Deberán moverse físicamente alrededor del objeto virtual creado para observarlo desde distintos ángulos, ya que la figura permanece fija en el lugar real en el cual se ha creado.

Estas actividades se han diseñado para llamar la atención del estudiante, al permanecer en movimiento constante evita el aburrimiento y promueve la comunicación con otros alumnos y el profesor quien debe ayudarlos con el uso de los dispositivos.

Autoevaluación

Se han diseñado dos cuestionarios digitales de opción múltiple para la etapa de autoevaluación. El primero evalúa el desempeño del estudiante, es decir, si el objeto de aprendizaje refuerza el conocimiento de los alumnos acerca de los cuerpos geométricos y las partes que los componen. El segundo está diseñado para comprobar si el OA es funcional y práctico, este cuestionario se presenta en la fase a evaluación.

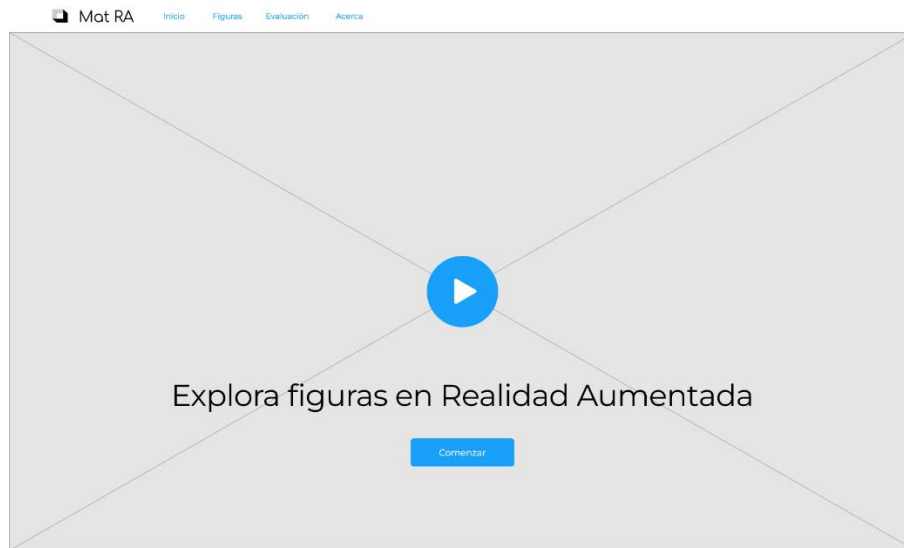
4.2.2 DISEÑO MULTIMEDIAL DEL OBJETO DE APRENDIZAJE

El diseño de los prototipos de interfaces se realizó con ayuda de Figma (2022), un editor de gráficos vectoriales que contiene plantillas para distintos propósitos, una de las cuales se utiliza en el desarrollo del diseño que se muestra en la Ilustración 14. Se ha elegido un tema simple y sobrio con finalidad de dar al usuario el mensaje acerca de que las matemáticas son fáciles, pero formales.

La aplicación contempla espacios para reordenar los elementos en dispositivos móviles, con pantallas pequeñas sin perder la estructura general del objeto de aprendizaje, el tamaño de la fuente y las imágenes también se adaptan a cada dispositivo. Este diseño responsivo permite a la página aumentar la audiencia al poder visualizarse en una computadora de escritorio, una tableta o un teléfono inteligente.

La tipografía y los colores del tema han sido tomados del diseño original de Figma, sin embargo, se han modificado algunas características para lograr la adaptabilidad a los distintos dispositivos, incorporando las recomendaciones del framework de hojas de estilo en cascada (CSS por sus siglas en inglés) Bootstrap (2022).

Ilustración 14. Diseño de interfaz general



Bienvenid@

Descripción

Nemo enim ipsam voluptatem quia voluptas sit aspernatur aut odit aut fugit, sed quia consequuntur magni dolores eos qui ratione voluptatem sequi nesciunt. Neque porro quisquam est.

Saber más

Manual

Consequuntur magni dolores eos qui ratione voluptatem sequi nesciunt. Neque porro quisquam est, qui dolorem ipsum quia dolor sit amet, consectetur, adipisci velit, sed quia non numquam.

Saber más

Objetivo

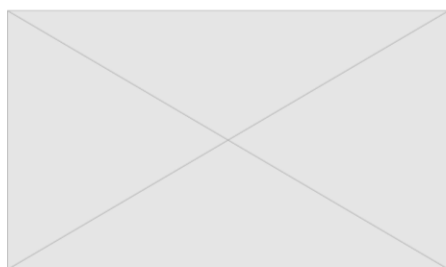
Amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi.

Saber más

Compatibilidad

Eos qui ratione voluptatem sequi nesciunt, Neque porro quisquam est, qui dolorem ipsum quia dolor sit amet, consectetur, adipisci velit, sed quia non numquam eius modi tempora.

Saber más

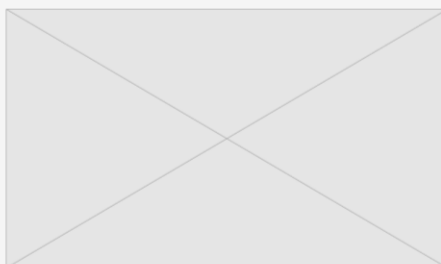


Vértices

Nemo enim ipsam voluptatem quia voluptas sit aspernatur aut odit aut fugit, sed quia consequuntur magni dolores eos qui ratione voluptatem sequi nesciunt. Neque porro quisquam est, qui dolorem.

Aristas

Nemo enim ipsam voluptatem quia voluptas sit aspernatur aut odit aut fugit, sed quia consequuntur magni dolores eos qui ratione voluptatem sequi nesciunt. Neque porro quisquam est, qui dolorem.



Ver en realidad aumentada

Selecciona alguna de las siguientes figuras para verla en realidad aumentada



Comparte tu opinión acerca de este objeto de aprendizaje con nosotros

[Contáctanos](#)

Acerca de este OA

UAEM

CU Valle de Chalco

 Mat RA

DOCCOM

Cómputo educativo

Matemáticas



© Creative Commons

Fuente: Elaboración propia con plantilla de Figma Inc (2022)

4.3 FASE DE IMPLEMENTACIÓN

La tercera etapa de la metodología DICREVOA y también de Cascada es la implementación del software, en la cual, Maldonado *et al* (2017) recomiendan utilizar herramientas de autor como *eXeLearning* que permiten generar objetos de aprendizaje de forma rápida y sencilla, sin embargo, estas herramientas están limitadas a los diseños predeterminados que aunque buenos, son insuficientes para este caso de estudio, por lo cual, se ha optado por un desarrollo propio utilizando editores de código para la creación de aplicaciones web.

El OA ha sido programado en HTML, CSS y JavaScript haciendo uso de los *frameworks* Bootstrap de CSS para el diseño responsivo y Three.js de JavaScript en la creación de objetos tridimensionales. Three.js en la versión r148 implementa *WebXRManager*, una clase que representa una abstracción de *WebXR Device API* e internamente usa *WebGLRendered* para el renderizado de imágenes (Three.js, 2022).

4.3.1 METADATOS

Los objetos de aprendizaje consideran a los metadatos como una parte esencial de su composición, debido a que permiten clasificarlos y encontrarlos de manera eficiente. Actualmente, existen estándares para este propósito, como el Dublin Core Metadata Initiative (DCMI), *Learning Object Metadata* (LOM) y *Metadata Learning Resource* (MLR) (Maldonado et al., 2017).

Dado que la principal función de los metadatos es la localización y descripción del recurso educativo, se ha optado por agregarlos en la fase de implantación (Cascada) o publicación (DICREVOA), esto debido a que los repositorios de objetos de aprendizaje implementan diferentes campos de acuerdo con sus políticas. Adicionalmente la Tabla 23 muestra la ficha de metadatos Dublin Core que será utilizada en la última etapa de desarrollo.

Tabla 23. Metadatos

Metadato	Valor
Título	Geometría aumentada
Creador	Leonel Hernández-González
Tema	Geometría del espacio

Descripción	Aplicación web que presenta un conjunto de cuerpos geométricos capaces ser proyectados en realidad aumentada. Cada figura resalta las aristas y los vértices, además presenta una descripción corta.
Editor	Leonel Hernández-González
Colaboradores	Anabelem Soberanes-Martín Samuel Olmos-Peña
Fecha	2023-01-01
Tipo	Colección de imágenes
Formato	Sitio web
Identificador	https://www.geometriaaumentada.com
Fuente	ISBN: 9978-310-34-7
Idioma	Español
Relación	Requiere <i>WebXR</i>
Cobertura	Hispanoamérica
Derechos	Creative Commons

Fuente: Elaboración propia

4.4 FASE DE PRUEBAS/EVALUACIÓN

La siguiente etapa del desarrollo del objeto de aprendizaje es probablemente la más divergente entre las metodologías seleccionadas, por un lado, Cascada considera esta fase para la revisión del proceso de implementación y la corrección de posibles errores, por otro lado, en DICREVOA consiste en la elaboración de instrumentos de medición de los conocimientos adquiridos por del estudiante y la eficiencia del OA. Dado que la etapa de prueba es indispensable en cualquier desarrollo de software y su resultado es la versión de la aplicación que se presenta en la sección de resultados, en este apartado únicamente se aborda la evaluación.

4.4.1 EVALUACIÓN DEL ESTUDIANTE

Consiste en un cuestionario de ocho preguntas de opción múltiple, en cada reactivo se muestra una imagen en tres dimensiones sin realidad aumentada, pero puede ser rotada con ayuda del puntero o los dedos, posteriormente se encuentra la pregunta y tres opciones de respuesta de las cuales solo una es correcta. La Tabla 24 presenta la distribución del cuestionario.

Tabla 24. Evaluación del estudiante

Imagen	Pregunta	Respuestas	Correcta
Cubo con puntos resaltados en los vértices.	¿Qué elemento destaca la imagen?	a) Aristas b) Vértices c) Caras	b) Vértices
Cubo con caras de distintos colores.	¿Qué elemento muestra la imagen?	a) Aristas b) Vértices c) Caras	c) Caras
Esfera	¿Cuál es el nombre de la figura?	a) Cubo b) Esfera c) Pirámide	b) Esfera
Pirámide	¿Cuál es el nombre de la figura?	a) Cilindro b) Esfera c) Pirámide	c) Pirámide
Cilindro	¿Cuál es el nombre de la figura?	a) Cilindro b) Cono c) Icosaedro	a) Cilindro
Cono	¿Cuál es el nombre de la figura?	a) Pirámide b) Cono c) Icosaedro	b) Cono
Icosaedro	¿Cuál es el nombre de la figura?	a) Pirámide b) Dodecaedro c) Icosaedro	c) Icosaedro
Dodecaedro	¿Cuál es el nombre de la figura?	a) Cono b) Dodecaedro c) Icosaedro	b) Dodecaedro

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 EVALUACIÓN DEL OBJETO DE APRENDIZAJE

Está compuesto por diez preguntas que pueden ser contestadas en una escala del 1 al 5 donde uno es no cumplir con lo establecido y cinco equivale a satisfacer lo requerido. Los distintos

reactivos representan las características que debe cumplir un objeto de aprendizaje de acuerdo con diferentes autores. La Tabla 25 muestra el concepto a evaluar y su una breve descripción.

Tabla 25. Evaluación del objeto de aprendizaje

Característica	Descripción
Reutilización	Este objeto de aprendizaje puede ser utilizado para diferentes asignaturas o grados académicos.
Accesibilidad	Su búsqueda y localización en internet es fácil.
Interoperabilidad	Puede ser usado en diferentes dispositivos y plataformas, lo que le permite formar parte de otros objetos de aprendizaje.
Adaptabilidad	El objeto de aprendizaje no requiere modificaciones para ser usado en distintas escuelas, grupos o grados.
Granularidad	El sitio completo forma un solo objeto de aprendizaje y cada página (cubo, cono, pirámide, evaluación, etc.) puede ser usada de manera independiente para diferentes propósitos.
Durabilidad	No es perecedero. No puede ser estropeado por el uso común del usuario final.
Independencia	No requiere de otros objetos de aprendizaje ni la intervención de personal técnico para su funcionamiento.
Escalabilidad	Puede atender a varios estudiantes al mismo tiempo y aumentar su capacidad, además existe la opción de solicitar la incorporación de más contenido.
Educabilidad	Tiene la finalidad de apoyar en el proceso de enseñanza aprendizaje de algún tema específico.
Alcanzable	Está diseñado para que los estudiantes del nivel recomendado comprendan el contenido y obtengan o refuercen sus conocimientos, lo cuales pueden ser medidos y comprobados.

Fuente: Elaboración propia.

4.5 FASE DE PUBLICACIÓN/IMPLANTACIÓN

Esta última etapa consiste en ambos casos en el despliegue del objeto de aprendizaje con la intención de presentarlo al público en general, para este propósito se ha elegido el repositorio Merlot que es un sistema que brinda acceso a materiales de apoyo y aprendizaje en línea (Merlot, 2022). Este repositorio de recursos educativos contiene sus propios campos que conforman los metadatos de cada objeto de aprendizaje, dentro de los cuales están:

- Título
- Disciplina
- Descripción
- Palabras clave
- Tipo de material
- Audiencia
- Idioma
- Autores
- Costo
- Licencia

Con esto, termina el proceso de desarrollo del objeto de aprendizaje, hasta este punto se ha creado una aplicación web para el estudio de los cuerpos geométricos en tres dimensiones con la capacidad de ser proyectados en realidad aumentada, de igual forma finaliza la etapa de aplicación bajo la metodología DICREVOA en la versión 2.0, los resultados se analizan en la siguiente sección.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

El presente apartado se ha dividido en dos partes, la primera consiste en describir el objeto de aprendizaje desarrollado en la etapa de aplicación, sus componentes, la ejecución de la realidad aumentada y los resultados de su aplicación en la educación, mientras que la segunda muestra los resultados de las pruebas de desempeño de *WebXR Device API*.

5.1 RESULTADOS PRÁCTICOS

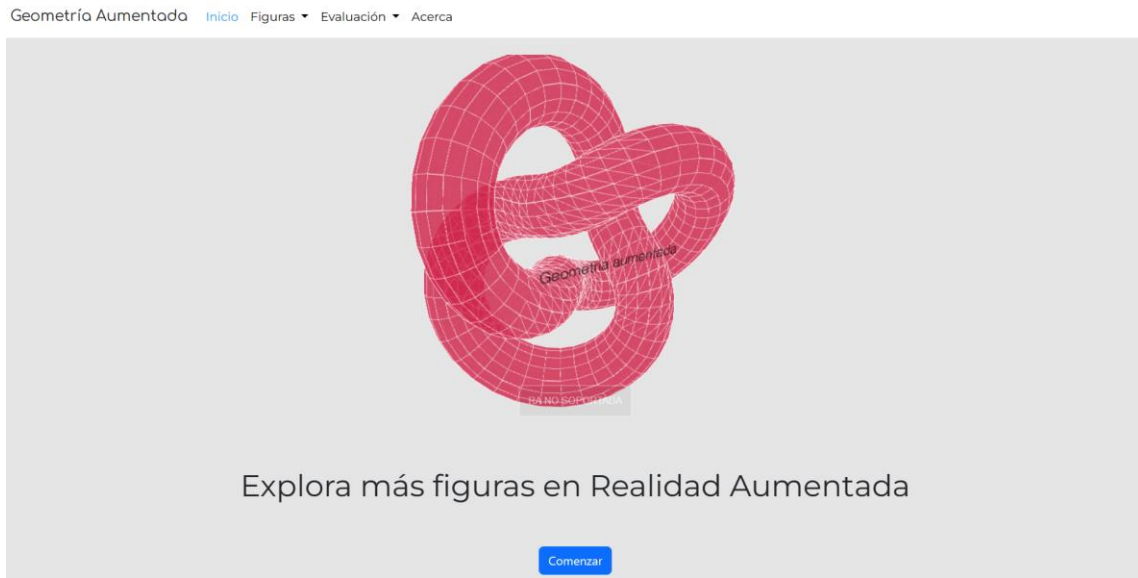
Utilizando la metodología DICREVOA para objetos de aprendizaje y Cascada para el desarrollo de software se ha creado un recurso educativo usando la *API WebXR* con la finalidad de implementar realidad aumentada en una aplicación web, el resultado está disponible en <https://www.geometriaaumentada.com/> y se ha publicado en la Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, la portada de este artículo se encuentra en el Anexo 6 (Hernández-González et al., 2023).

5.1.1 PÁGINA PRINCIPAL

La Ilustración 15 muestra la página de inicio del OA basada en el diseño presentado en el apartado de método. En la parte superior izquierda se encuentra el nombre del objeto de aprendizaje (Geometría Aumentada), se ha seleccionado este nombre para hacer referencia al uso de realidad aumentada en la enseñanza de la geometría. A continuación, se presenta el menú que contiene cuatro elementos, el inicio que es la página principal, el catálogo de figuras disponibles, los instrumentos de evaluación descritos en la sección anterior y la descripción del recurso educativo.

El elemento principal es un nudo toroide que, si bien no pertenece a los cuerpos geométricos que se estudian en educación básica, tiene el objetivo de atraer al estudiante, generando interés en el mismo, el cual se complementa con un botón de acción que motiva al alumno a explorar el catálogo de figuras, además contiene un botón rotulado con la leyenda INICIAR RA, que ejecuta la proyección de la figura en realidad aumentada como se muestra en la Ilustración 16.

Ilustración 15. Página principal del OA



Fuente: Elaboración propia

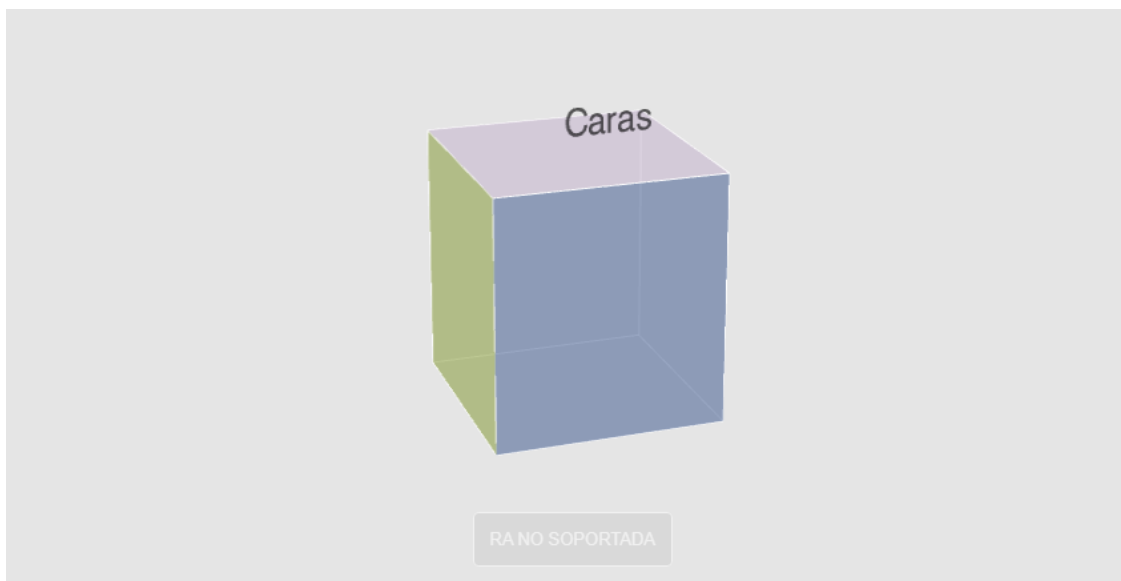
Ilustración 16. Figura en realidad aumentada



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se encuentra la sección de elementos de los cuerpos geométricos, representados por tres cubos, el primero destaca los vértices, el siguiente las aristas y el último las caras. La Ilustración 17 muestra el cubo diseñado para resaltar las caras, las cuales poseen colores diferentes, que además cambian cada vez que se refresca la página, esto aplica para todas las figuras del objeto de aprendizaje.

Ilustración 17. Caras de un cuerpo geométrico

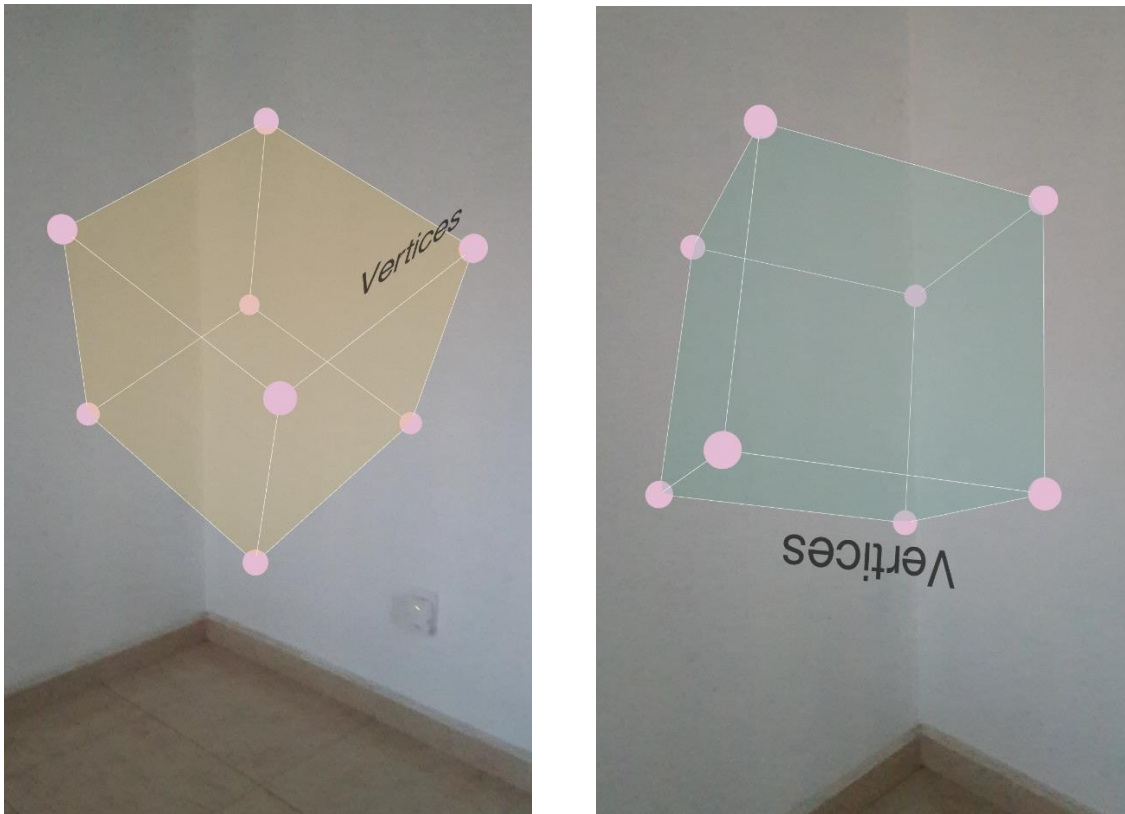


Fuente: Elaboración propia

Cuando el dispositivo no cuenta con las características para usar realidad aumentada se muestra un botón deshabilitado con la leyenda RA NO SOPORTADA, este componente es mostrado en los dispositivos que son capaces de renderizar el elemento, pero no de proyectarlo, tal es el caso de las computadoras de escritorio que en su mayoría no implementan el hardware necesario como sensores y cámara.

La Ilustración 18 muestra la proyección del cubo en realidad aumentada resaltando sus ocho vértices representados por pequeñas esferas, en esta se observa la rotación del cuerpo geométrico en ejecución, la imagen de la izquierda se ha tomado al inicio de la proyección, mientras que la de la derecha unos segundos después, para esto, se creó una función que realiza la rotación en el eje x e y, la cual se ejecuta cada ciclo del procesador, por lo cual la velocidad puede variar en dispositivos con características diferentes.

Ilustración 18. Vértices en realidad aumentada



Fuente: Elaboración propia

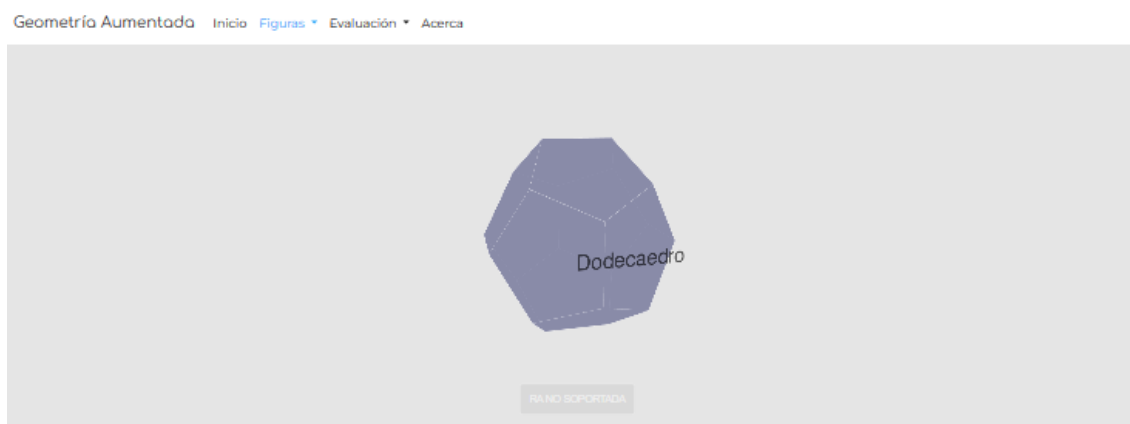
Posteriormente, se encuentra el listado de los cuerpos geométricos disponibles; además, se ha agregado un botón de contacto que dirige al usuario a una página con un formulario y el correo electrónico de soporte técnico, en esta sección pueden realizar sugerencias o reportar errores. Finalmente, el pie de página contiene vínculos relacionados con el objeto de aprendizaje y el tipo de licencia Creative Commons.

5.1.2 FIGURAS

El objeto de aprendizaje contiene ocho cuerpos geométricos disponibles para proyección que se estudian en educación básica: cubo, esfera, prisma rectangular, cilindro, pirámide, cono, icosaedro y dodecaedro. Cada elemento tiene una página especial con su definición tomada del Instituto de Ciencias Matemáticas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Ecuador (2006, págs. 707,744), sus características como el número de caras, de vértices y aristas, además de las fórmulas para el cálculo del área y volumen.

La Ilustración 19 muestra la página para el dodecaedro en un equipo de escritorio no compatible donde puede apreciarse el contenido descrito anteriormente, mientras que la Ilustración 20 a la izquierda, presenta la imagen de un teléfono inteligente capaz de ejecutar realidad aumentada y a la derecha la proyección del cuerpo geométrico.

Ilustración 19. Página de dodecaedro en computadora de escritorio



Dodecaedro

Descripción

Un dodecaedro es un poliedro regular, limitado por 12 caras que son pentágonos, tiene 20 vértices y 30 aristas.

Características

Caras: 12
Aristas: 30
Vértices: 20

Área

$$A = 12 \frac{\sqrt{25 + 10\sqrt{5}}}{4} a^2$$

$$A = 3 \frac{\sqrt{25 + 10\sqrt{5}}}{4} a^2$$

$$A \approx 20.65a^2$$

Donde a es la longitud de una arista

Volumen

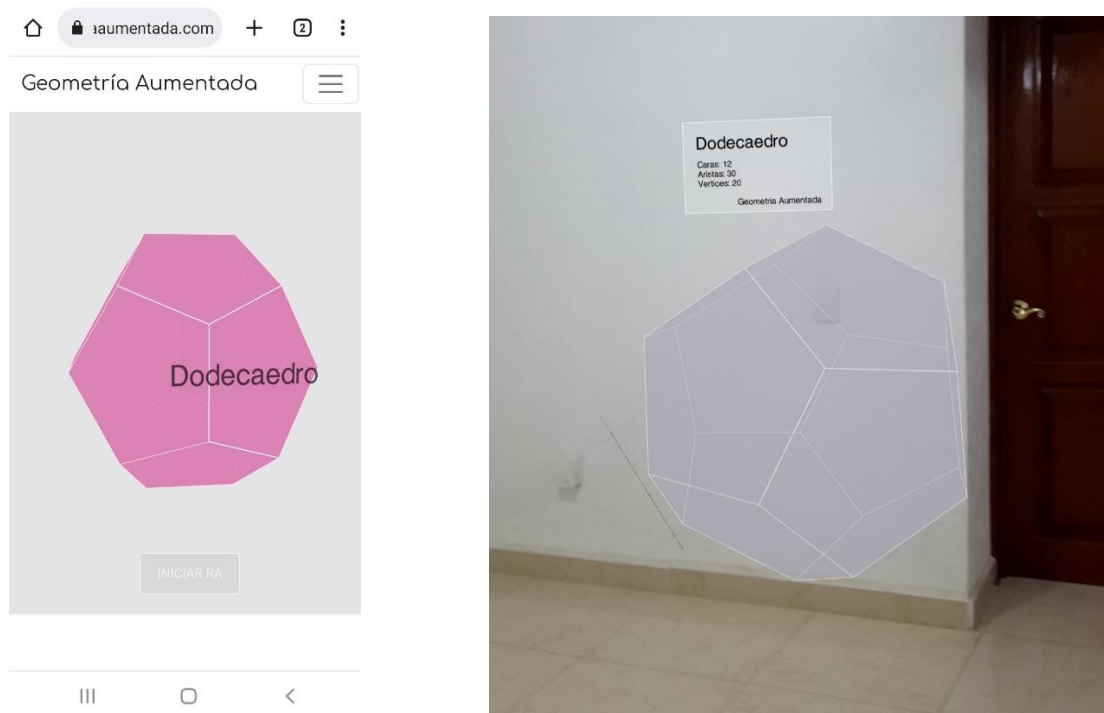
$$V = \frac{1}{4} (15 + 7\sqrt{5}) a^3$$

$$A \approx 7.66a^3$$

Donde a es la longitud de una arista

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20. Página de dodecaedro en dispositivo compatible



Fuente: Elaboración propia

La imagen proyectada en realidad aumentada implementa un plano de color blanco en la parte superior como se muestra a la derecha de la Ilustración 20, este contiene el nombre del elemento y sus características, tiene la finalidad de recordarle al estudiante la información mientras explora el cuerpo geométrico, de esta manera aprende mientras se divierte.

5.1.3 EVALUACIÓN

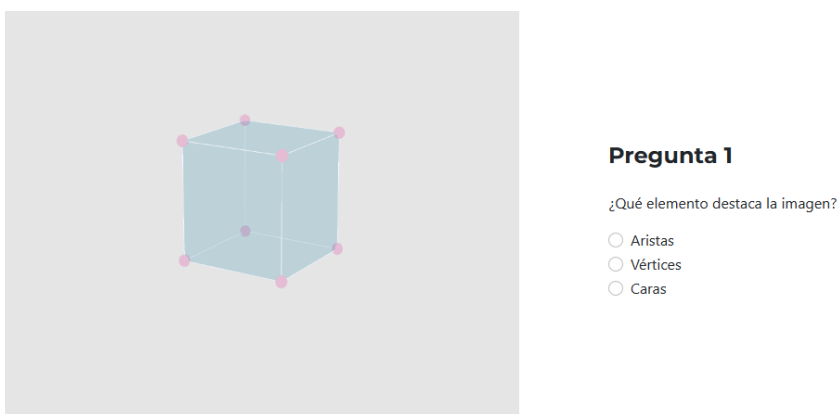
Como elemento indispensable de un objeto de aprendizaje se han agregado dos instrumentos de evaluación, el primero ha sido diseñado para medir el avance del estudiante, contiene ocho reactivos con una imagen en tres dimensiones capaz de ser manipulada con el puntero o con los dedos en dispositivos móviles, no es posible proyectarlas en realidad aumentada, sin embargo, el usuario puede girar y aumentar el tamaño para visualizar todos los ángulos y de esta manera seleccionar la respuesta correcta de las tres opciones proporcionadas.

La Ilustración 21 muestra el primer elemento de la evaluación del estudiante con un cubo en la parte izquierda y el número de reactivo, la pregunta y las tres opciones a la derecha. Todas las preguntas son campos obligatorios por lo que en caso de no responder alguna, se

notificará al alumno con un mensaje en la parte inferior del formulario, donde además se indicará al usuario el puntaje obtenido en esta evaluación.

Ilustración 21. Evaluación del estudiante

Examen



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se incorpora la evaluación del objeto de aprendizaje, el cual, consta de las diez características más relevantes de los OAs, las cuales pueden calificarse de una a cinco estrellas según la percepción del usuario, cada elemento contiene una descripción corta para ayudar a entender el concepto. La Ilustración 22 presenta los tres primeros elementos de este instrumento. Los resultados de esta evaluación son almacenados en una base de datos relacional para efectos de análisis y mejora de la aplicación.

Ilustración 22. Evaluación del objeto de aprendizaje

Evaluación

Reutilización Este objeto de aprendizaje puede ser utilizado para diferentes asignaturas o grados académicos.	★ ★ ★ ★ ★
Accesibilidad Su búsqueda y localización en internet es fácil.	★ ★ ★ ★ ★
Interoperabilidad Puede ser usado en diferentes dispositivos y plataformas, lo que le permite formar parte de otros objetos de aprendizaje.	★ ★ ★ ★ ★

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 APLICACIÓN A LA EDUCACIÓN

Con la finalidad de demostrar la eficiencia del objeto de aprendizaje desarrollado en esta investigación, se llevó a cabo un estudio que consistió en la aplicación de la evaluación del estudiante como pretest y postest en formato impreso a un conjunto de alumnos de distintas escuelas de educación básica, estos instrumentos se componen de ocho reactivos de opción múltiple y se encuentran en el Anexo 5 y 6. La composición de la muestra se presenta en la **Tabla 26**.

Tabla 26. Muestra para la evaluación del objeto de aprendizaje

Institución	Grado	Número de estudiantes
Escuela 1	5°	9
Escuela 2	5°	14
	5°	14
Escuela 3	4°	11
	5°	31
	6°	36

Fuente: Elaboración propia

La dinámica consistió en la aplicación del pretest a cada grupo, posteriormente se presentó el recurso educativo, se formaron equipos de cinco integrantes en promedio para realizar las actividades de proyección y exploración descritas en el capítulo anterior y una vez finalizadas se aplicó el postest. Los resultados se encuentran en la **Tabla 27**.

Tabla 27. Resultados de la evaluación del objeto de aprendizaje

	Grado	Pretest	Postest	Diferencia	% Diferencia
Escuela 1	5°	7.22	8.75	1.53	21.19
Escuela 2	5°	8.04	8.21	0.17	2.11
	5°	7.23	7.69	0.46	6.36
Escuela 3	4°	6.50	6.50	0	0.00
	5°	6.94	7.26	0.32	4.61
	6°	6.46	7.40	0.94	14.55
Promedio		7.07	7.64	0.57	8.07

Fuente: Elaboración propia

La primera columna de la **Tabla 27** contiene el número de escuela, la segunda el grado escolar de los estudiantes, la tercera la calificación promedio de 0 a 10 que obtuvo cada grupo

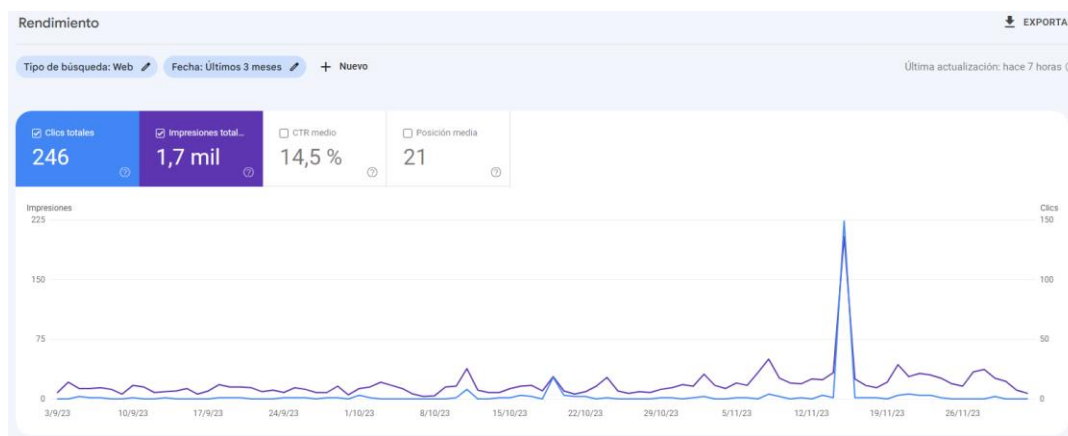
en la prueba antes del uso del objeto de aprendizaje, la cuarta el resultado posterior a la actividad en la misma escala, la quinta la diferencia entre la calificación promedio del pretest y el posttest y la última el porcentaje que representa esta diferencia.

Los resultados de la evaluación del objeto de aprendizaje en alumnos de educación básica muestran que los estudiantes de cuarto grado no tuvieron avance en el aprendizaje del tópico estudiado dado que no poseen conocimientos previos, por otro lado, los de quinto año presentaron un incremento promedio del 4.36%, con un mínimo de 2.11% en el primer grupo de la escuela 2 y un máximo de 21.19% en el grupo de la escuela 1, finalmente el grupo de sexto grado obtuvo un avance promedio del 14.55%.

5.1.5 USABILIDAD

Adicional a los resultados educativos presentados en la sección anterior, el objeto de aprendizaje desarrollado en esta investigación es utilizado constantemente por personas de distintas partes del mundo, como se observa en la Ilustración 23 tomada de Google Search Console (Google LLC, 2023). Esta gráfica contiene las búsquedas relacionadas con geometría y realidad aumentada realizadas en los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2023, mismas que ascendieron a 1,700, de las cuales 246 fueron dirigidas hacia geometriaaumentada.com, lo que representa un 14.5%.

Ilustración 23. Clics de búsqueda en Google



Fuente: (Google LLC, 2023)

La Tabla 28 contiene el listado de los diez países con más clics en los resultados de búsquedas relacionadas a este tema según Google (2023), en esta se observa a México en primer lugar,

mientras que otros países de Latinoamérica han utilizado el objeto de aprendizaje tales como Colombia, Perú, Uruguay y Chile entre otros. Destaca España en tercer lugar y Brasil al final de la lista lo que muestra el alcance que poseen los recursos de aprendizaje basados en tecnología web y la divulgación realizada en congresos y coloquios.

Tabla 28. Clics por país según Google

País	Clics	Impresiones	CTR	Posición
México	190	587	32.37%	11.19
Colombia	11	151	7.28%	7.50
España	9	91	9.89%	19.57
Perú	7	181	3.87%	10.25
Uruguay	7	79	8.86%	8.78
Chile	7	68	10.29%	12.04
Argentina	6	113	5.31%	10.25
Ecuador	3	61	4.92%	9.07
República Dominicana	2	9	22.22%	10.00
Brasil	1	18	5.56%	57.22

Fuente: (Google LLC, 2023)

Por otro lado, la **Tabla 29** presenta los términos de búsqueda, la posición que ocupa geometriaaumentada.com en los resultados y el número de clics realizados (Google LLC, 2023). En la última columna de esta tabla se observa que la posición máxima es 6.8, es decir, se encuentra en la séptima posición, por lo tanto, para estos términos el vínculo al objeto de aprendizaje siempre se encuentra en la primera página de los resultados de búsqueda.

Tabla 29. Términos de búsqueda según Google

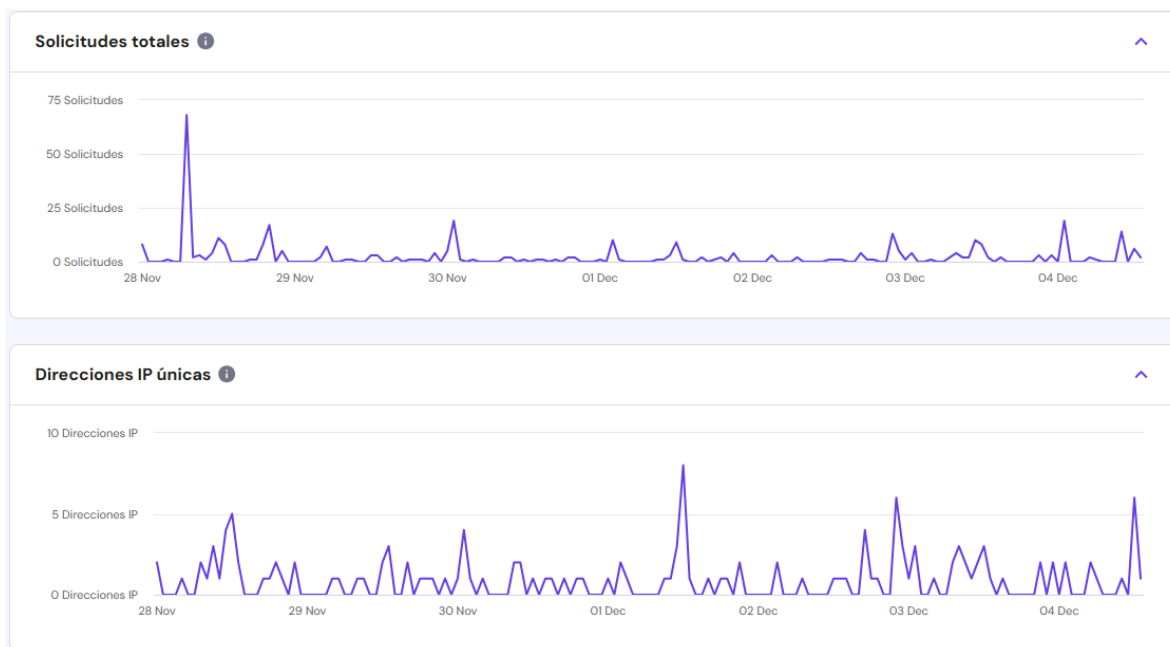
Consultas principales	Clics	Impresiones	CTR	Posición
geometría aumentada	86	96	89.58%	1.00
geometría realidad aumentada	35	98	35.71%	1.71
realidad aumentada geometría	4	44	9.09%	4.48
geometría ra	4	32	12.50%	6.00
solido generado por un semicírculo	0	23	0.00%	6.83

Fuente: (Google LLC, 2023)

Google (2023) proporciona estadísticas de las búsquedas realizadas en su plataforma, sin embargo, existen formas adicionales de llegar al objeto de aprendizaje como compartir el vínculo entre personas, recargas de una búsqueda realizada previamente, enlaces desde otras páginas, redes sociales, entre otros. La **Ilustración 24** muestra las gráficas de las solicitudes totales hechas al servidor del 28 de noviembre al 4 de diciembre de 2023 desde cualquier

origen y las direcciones IP únicas para los casos en los que se realizan varias peticiones desde el mismo dispositivo (Hostinger International Ltd, 2023).

Ilustración 24. Solicitudes totales al OA



Fuente: (Hostinger International Ltd, 2023)

Con lo anterior se ha mostrado el desarrollo de un objeto de aprendizaje para el tema de geometría del espacio que incorpora realidad aumentada a través de la *WebXR Device API* propuesta por el W3C como el nuevo estándar para este propósito, el cual contiene actividades para el estudiante e instrumentos de evaluación para el alumno y para el recurso creado y ha sido probado en distintas instituciones donde ha mostrado su efectividad en los últimos grados de educación básica. Además, se demuestra que el OA es utilizado constantemente por estudiantes de distintas partes del mundo, especialmente en Iberoamérica.

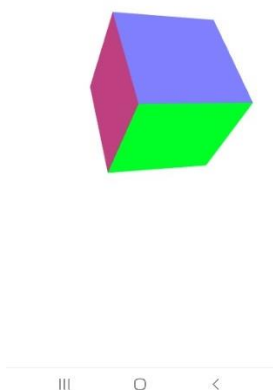
5.2 RESULTADOS TEÓRICOS

En este apartado se describen los datos obtenidos de las pruebas realizadas, se han desarrollado cuatro aplicaciones con un cubo en cada una, dos con WebGL que es el estándar del W3C para generar objetos en tres dimensiones en la web y es necesario para poder utilizar *WebXR* y dos creadas con Three.js, el cual es uno de los *frameworks* populares para el manejo

de objetos 3D. Se ha evitado el uso de otros componentes para minimizar el impacto que pudieran tener en los resultados. A continuación, se describen los cuatro casos de estudio.

Para el caso 1 ha creado una aplicación web que contiene un único cubo con caras de distintos colores generado directamente mediante el uso del estándar WebGL, no incluye realidad mixta ni otros componentes. El código fuente se ha obtenido de CodePen (2023) y puede ser consultado en el Anexo 1. La Ilustración 25 muestra la ejecución de este programa.

Ilustración 25. Aplicación 1 para pruebas



Fuente: Elaboración propia

La misma aplicación web se utiliza para el caso 2, sin embargo, en este programa se ha agregado realidad mixta usando directamente *WebXR* de acuerdo con la documentación de la *API* disponible en Mozilla (2023). La ejecución se ha realizado en un explorador Google Chrome compatible con *WebXR* y puede observarse en la Ilustración 26.

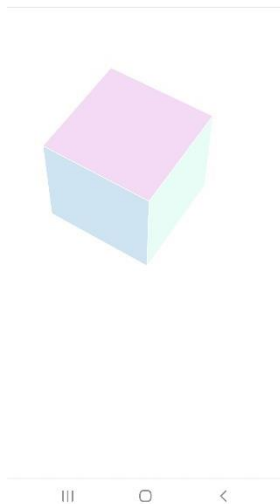
Ilustración 26. Aplicación 2 para pruebas



Fuente: Elaboración propia

En el caso 3 se ha utilizado Three.js para crear un cubo de distintos colores en una aplicación web, no se incluye realidad mixta ni otros componentes que pudiesen afectar los resultados de las pruebas. El código fuente se encuentra en el Anexo 3 y ha sido tomado de la documentación oficial de Three.js (2022). La Ilustración 27 contiene la ejecución en una página web.

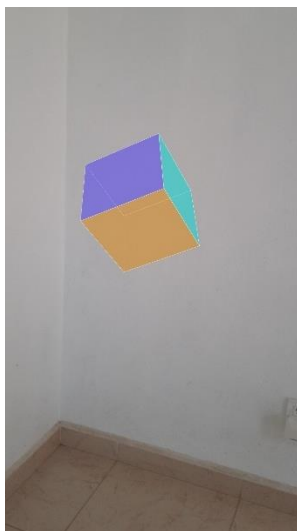
Ilustración 27. Aplicación 3 para pruebas



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para el caso 4, se ha tomado la aplicación anterior y se ha agregado realidad aumentada de acuerdo con la documentación de Three.js (2022). El código fuente se encuentra en el Anexo 4 y la ejecución se presenta en la Ilustración 28.

Ilustración 28. Aplicación 4 para pruebas



Fuente: Elaboración propia

A partir de las aplicaciones anteriores se realizaron mediciones de número de líneas de código, cantidad de memoria utilizada, tiempo de carga y rendimiento en un equipo de escritorio y un teléfono inteligente con las siguientes características.

- Computadora de escritorio: Procesador AMD A6 de 4 núcleos, Windows 10, 6GB de RAM y 240 GB SSD.
- Teléfono inteligente: Procesador Exynos 8895 de 8 núcleos, Android 9, 4GB de RAM y 64GB.

Los dispositivos anteriores fueron seleccionados considerando equipos comunes con características medias, evitando así los de alto rendimiento que pudiesen arrojar mejores resultados, pero que representan una pequeña parte de los existentes, de esta forma será posible replicar las pruebas y obtener mediciones similares en la mayoría de las computadoras y teléfonos inteligentes.

5.2.1 NÚMERO DE LÍNEAS DE CÓDIGO

Uno de los factores a considerar por los desarrolladores al momento de seleccionar la tecnología a utilizar en alguna aplicación es el número de líneas de código fuente que se requirieren para realizarla, ya que con esto es posible estimar el tiempo y costo del proyecto. La **Tabla 30** muestra este valor para los distintos casos de estudio, en esta se observa que para el caso 1, generar un cubo en tres dimensiones usando directamente WebGL, se requieren 173 líneas de código, mientras que para agregar realidad aumentada se necesitan 51 líneas más, dando un total de 224 para el caso 2, es decir, aproximadamente 30% más. Por otro lado, para el caso 3 con Three.js, se utilizaron 45 líneas de código para generar un cubo en tres dimensiones y para incorporar realidad aumentada al mismo, fue necesario escribir 18 líneas más, dando un total de 63 para el caso 4, esta diferencia representa un 40%.

Tabla 30. Número de líneas de código

	<i>WebXR</i>	Three.js	Líneas de código
Caso 1	No	No	173
Caso 2	Sí	No	224
Caso 3	No	Sí	45
Caso 4	Sí	Sí	63

Fuente: Elaboración propia

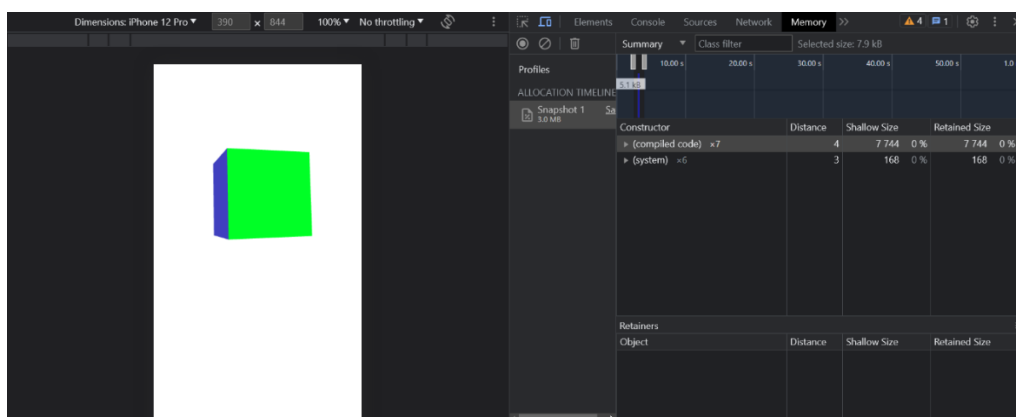
En los resultados anteriores se han omitido los archivos adicionales necesarios para la ejecución de la aplicación, como son las páginas HTML y los módulos del framework, con la finalidad de medir únicamente las líneas escritas por el programador en JavaScript, de esta forma también se ha evitado contabilizar los renglones vacíos y los comentarios.

A partir de los resultados obtenidos, se concluye que *WebXR* es un estándar más compacto con relación a WebGL, ya que para incorporar el primero a una aplicación web simple se necesitan 173 líneas, mientras que para el segundo únicamente 51, no obstante, no es posible utilizar *WebXR* sin WebGL. Además, se determina que el framework es más eficiente en comparación con el uso directo de los estándares, debido a que el número de renglones necesarios es solo del 26%.

5.2.2 CANTIDAD DE MEMORIA UTILIZADA

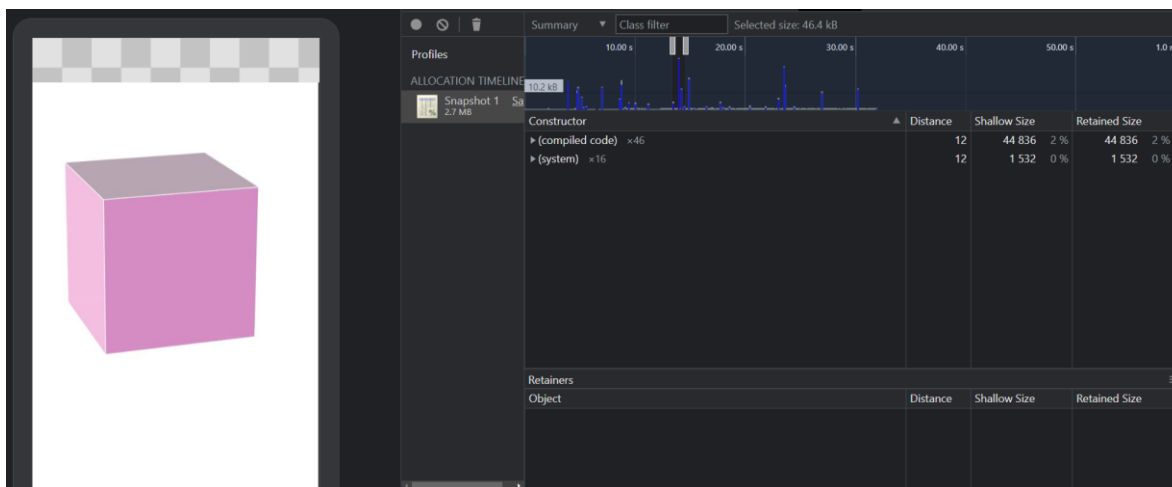
Para determinar el espacio de memoria necesaria para las aplicaciones de prueba 1 y 3 se ha utilizado el inspector de código de Google Chrome versión 114, la Ilustración 29 muestra la ejecución de la prueba para el caso 1, mientras que para el caso 2 y 4 que requieren el uso de un teléfono inteligente se usó el inspector de dispositivos del mismo explorador, el cual puede observarse en la Ilustración 30.

Ilustración 29. Inspector de código de Google Chrome



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 30. Inspector de dispositivos de Google Chrome



Fuente: Elaboración propia

La inspección de memoria se realizó durante un lapso de un minuto y se consideró como resultado el punto más alto de la gráfica, estos valores se muestran en la Tabla 31, en la cual puede observarse que utilizar el framework consume 63% más memoria en una aplicación de un cubo en tres dimensiones, mientras que para el uso de realidad aumentada la diferencia es del 9.6%.

Tabla 31. Resultados de uso de memoria

	Memoria RAM utilizada
Caso 1	1.6 MB
Caso 2	2.9 MB
Caso 3	2.6 MB
Caso 4	3.3 MB

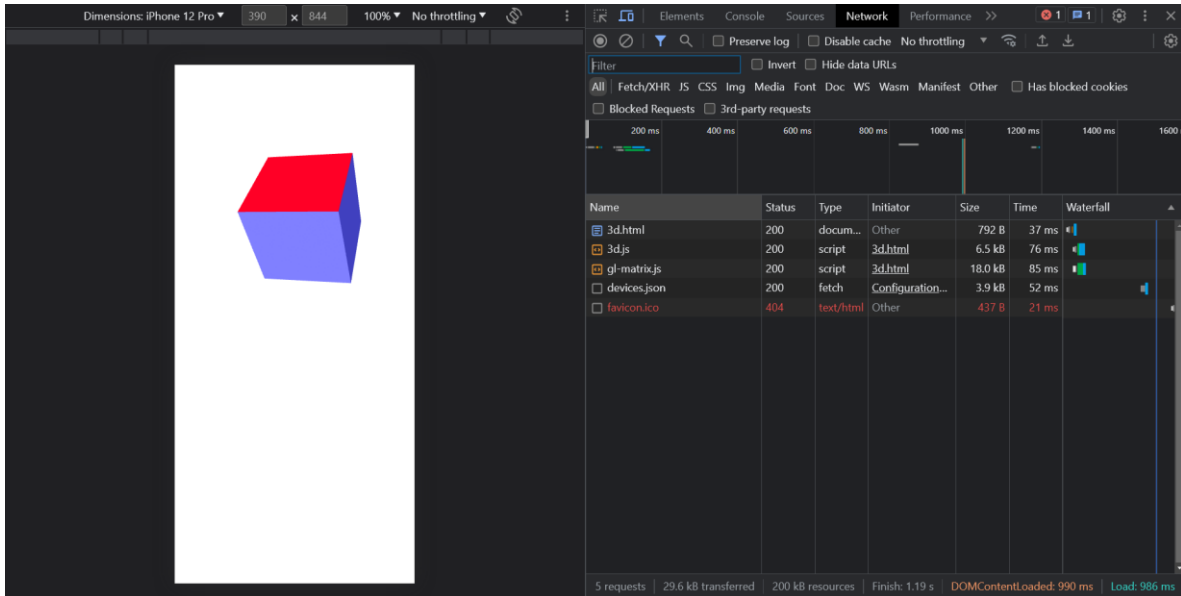
Fuente: Elaboración propia

Con los resultados anteriores se concluye que *WebXR* consume 26% menos memoria que WebGL, puesto que el primero consume 1.3 MB y el segundo 1.6 MB dando un total de 2.9 MB para el caso 2 que implementa ambos estándares, además se observa que la diferencia entre el uso directo de los estándares es significativa en relación porcentual con el framework, sin embargo, no lo es si se considera la memoria total de los dispositivos actuales que es a menudo de 8 GB de memoria RAM, es decir 8,192 MB, por lo tanto, el consumo de memoria es eficiente en los cuatro casos.

5.2.2 TIEMPO DE CARGA

En esta prueba nuevamente se ha utilizado el inspector de Google Chrome con la herramienta de Red para medir el tiempo de carga de cada elemento en las distintas aplicaciones, para evitar lecturas de cache se ejecutó la carga total ignorándola en el explorador con Ctrl + F5. La **Ilustración 31** muestra la ejecución de la prueba para el caso 1, se ha considerado el valor en milisegundos (ms) del archivo que contiene el código fuente para generar los elementos virtuales, en este caso 3d.js.

Ilustración 31. Explorador de red de Google Chrome



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 32 muestra los resultados, dado que durante la ejecución se obtuvieron distintos valores para cada caso, se colocó el promedio de diez pruebas en cada uno. Las mediciones resultantes son congruentes con las otras pruebas, se observa que incorporar *WebXR* a una aplicación con WebGL requiere 62% más tiempo de carga, mientras que utilizar el framework consume 13% más en comparación con el uso directo del estándar para generar un objeto en tres dimensiones, sin embargo, se ha omitido el tiempo de los componentes de Three.js, los cuales pueden ser considerables.

Tabla 32. Resultados de tiempo de carga

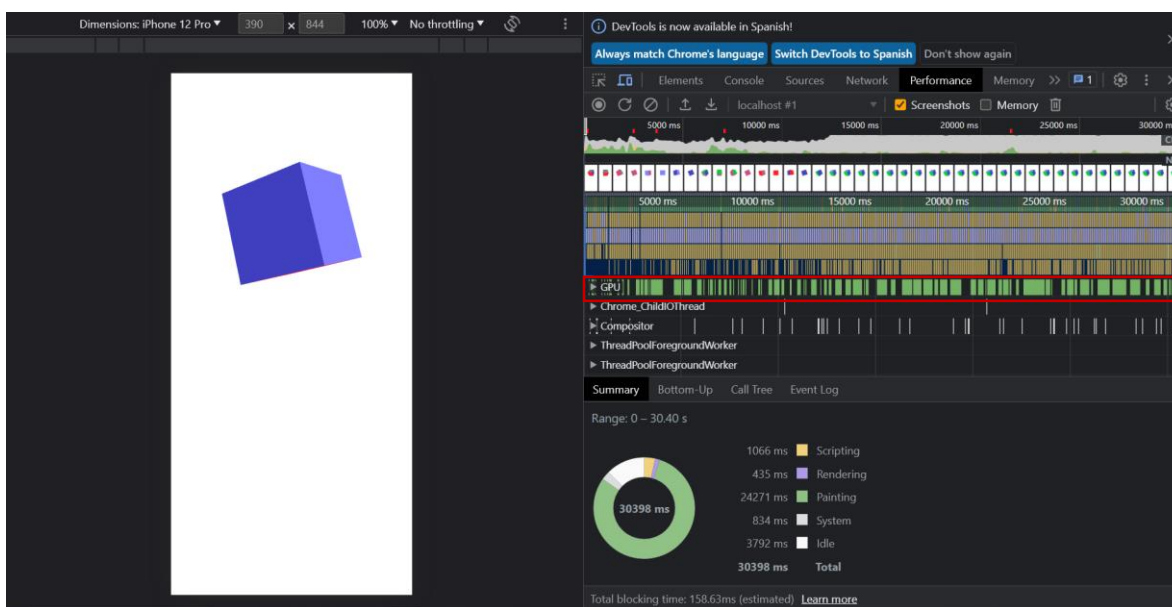
	Tiempo de carga
Caso 1	20.2 ms
Caso 2	32.8 ms
Caso 3	22.8 ms
Caso 4	28.0 ms

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 RENDIMIENTO

La última prueba consiste en analizar el comportamiento de la aplicación con ayuda del explorador, para esto se ha utilizado la herramienta Rendimiento de Google Chrome en un lapso de 30 segundos. La Ilustración 32 muestra los resultados para el caso 1, donde puede observarse que el pintado de la imagen consume 80% (24.27 s) del total, siendo este el valor más alto, el tiempo inactivo del programa 12.63% (3.79 s), la carga del script 3.55% (1.07 s), las operaciones del sistema 2.78% (0.83 s) y el renderizado 1.45% (0.43 s) aproximadamente.

Ilustración 32. Herramienta de rendimiento de Google Chrome



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 33 contiene los resultados de la prueba de rendimiento para todos los casos, en esta se puede observar que durante la ejecución de la realidad aumentada el tiempo de pintado disminuye y el de inactividad, scripting y sistema aumentan, esto se debe a que mientras se explora una imagen virtual la aplicación ha cargado la imagen y no necesita volver a pintarla, este comportamiento significa que *WebXR* se ha optimizado para este propósito, por esta razón los tiempos de inactividad son mayores, además se hace uso del sistema para el manejo del hardware como la cámara y los sensores, lo que incrementa este valor en estos casos.

Tabla 33. Resultados de rendimiento.

	Pintado	Inactivo	Scripting	Sistema	Renderizado
Caso 1	24,271	3,792	1,066	834	435
Caso 2	1,079	10,444	15,148	2,884	435
Caso 3	29,368	74	462	298	126
Caso 4	1,706	17,616	6,442	3,570	722

Fuente: Elaboración propia

El uso de la GPU se presenta en la Tabla 34, en la que se aprecia un comportamiento similar al de la Tabla 33, en los casos en los cuales se ha implementado realidad aumentada el uso de la tarjeta gráfica es menor debido a que no necesita realizar el repintado, con esto se confirman los resultados de la prueba de rendimiento y se concluye que la *WebXR Device API* es eficiente en la ejecución de realidad mixta.

Tabla 34. Uso de la GPU

	GPU	Porcentaje
Caso 1	17.88	59.60%
Caso 2	4.26	14.20%
Caso 3	24.94	83.13%
Caso 4	5.85	19.50%

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las diferentes pruebas realizadas a la *API WebXR* determinan que esta es eficiente en la implementación de realidad mixta, dado que el consumo de recurso es similar y en algunos casos inferior al necesario para únicamente dibujar el objeto en tres dimensiones, sin embargo, se requiere escribir una cantidad considerable de líneas de código para poder utilizar esta tecnología, no obstante, la incorporación del estándar en los diferentes *frameworks* para renderizado 3D proporcionan una solución adecuada a este problema.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

Se han alcanzado cada uno de los objetivos específicos. El primero través de la documentación del marco teórico, donde se estableció que *WebXR* se encuentra en la fase de *Candidate Recommendation Draft*, es decir, el W3C ha liberado esta versión para pruebas de la comunidad tecnológica, esperando recibir retroalimentación acerca del desempeño del nuevo estándar (W3C, 2023). Esta es la segunda de cuatro etapas de madurez de los estándares del W3C, por lo que la versión final podría tener modificaciones.

Para el segundo objetivo planteado se realizó una revisión estructurada de la literatura, para conocer el uso que ha tenido *WebXR* en el aspecto educativo. Los resultados muestran que esta tecnología se ha comenzado a utilizar en países como Alemania (Ro'fatulhaq et al., 2020), Chile (Luigini et al., 2020), Indonesia (Hafidz et al., 2021), Italia (Fanini et al., 2021), Portugal (Cleto et al., 2022) y Suiza (Rodríguez et al., 2022), en temas como Física, Química, Artes, Humanidades y Ciencias de materiales.

En relación con el tercer objetivo específico, se construyó un objeto de aprendizaje con realidad aumentada para ayudar a los estudiantes a comprender el tema de geometría del espacio en la educación básica. Este OA fue desarrollado utilizando la metodología DICREVOA 2.0, la cual ha sido eficiente dada su precisa y amplia documentación. El objeto de aprendizaje resultante es una aplicación multiplataforma, responsiva y de uso libre que implementa tecnología de vanguardia (Hernández-González et al., 2023).

La evaluación de la *API* establecida en el cuarto objetivo específico se ha alcanzado a través de diferentes pruebas de rendimiento y métricas de software, obteniendo un resultado satisfactorio para esta tecnología aplicada al tema educativo, tanto en el proceso de desarrollo como en tiempo de ejecución, sin embargo, deben considerarse los hallazgos de Lee *et al.* (2021), los cuales muestran un bajo desempeño en la estabilidad y precisión de la localización de los objetos 3D, lo cual puede afectar a las aplicaciones que requieran de alta exactitud espacial.

Se han presentado los resultados de esta investigación en congresos, coloquios y revistas, con la finalidad de incentivar a los expertos en el tema a adoptar esta nueva tecnología en el desarrollo de software educativo, tanto en las nuevas implementaciones

como en migraciones de versiones de escritorio o de plataformas móviles como Android o IOS.

Con lo anterior, se ha conseguido alcanzar el objetivo general al demostrar la factibilidad del uso del nuevo estándar *WebXR Device API* en el desarrollo de objetos de aprendizaje que implementan realidad virtual o aumentada, a través de una investigación documental y aplicada.

Por otro lado, se confirma la hipótesis planteada en la introducción de esta investigación demostrando que, *WebXR* es eficiente en el desarrollo de objetos de aprendizaje, por lo tanto, es posible utilizarlo en cualquier recurso educativo que requiera el uso de realidad virtual o aumentada, puesto que los OAs son considerados los REAs más formales. Esto concuerda con los resultados de Turco *et al.* (2019), Ro'fatulhaq *et al.* (2020), Luigini *et al.* (2020), Fanini *et al.* (2021), Hafidz *et al.* (2021), Rodríguez *et al.* (2021), (2022) y Cleto *et al.* (2022).

Por lo que, a partir de los resultados prácticos y teóricos obtenidos, se concluye que *WebXR Device API* puede aprovecharse en el desarrollo de software educativo creando objetos de aprendizaje que requieran la implementación de realidad virtual o aumentada; además, este nuevo estándar ha demostrado ser eficiente en la ejecución de realidad mixta en las diferentes pruebas de rendimiento a las cuales se ha sometido, sin embargo, los resultados también muestran un considerable número de líneas de código necesarias para poder implementarlo en una aplicación web, lo cual, puede ser mitigado con el uso de algunos de los *frameworks* que actualmente han incorporado esta *API*.

Finalmente, se establece que *WebXR Device API* tiene ventajas y desventajas que deben ser consideradas al momento de realizar la elección de la tecnología a utilizar en algún proyecto de desarrollo o investigación, si bien la decisión de seleccionar cierta tecnología depende de diferentes aspectos, algunos de los que pueden ser considerados son los siguientes.

Ventajas

- **Multiplataforma.** Es posible ejecutar la misma aplicación en diferentes sistemas operativos a través de un explorador web.

- Estandarizado. Al tratarse de un estándar los exploradores web incorporarán esta tecnología en algún momento.
- Eficiente. Las pruebas de rendimiento muestran que el consumo de recursos es moderado y el número de líneas de código puede reducirse al utilizar un framework.

Desventajas

- Compatibilidad. La mayoría de los exploradores web aún no implementan el nuevo estándar, siendo Google Chrome el único compatible hasta el momento.
- Complejo. Se requiere de numerosas líneas de código que además son de carácter técnico de difícil comprensión si no se utiliza a través de un framework.

Como trabajos futuros se propone que los recursos educativos que actualmente utilizan realidad virtual o aumentada en plataformas nativas sean convertidos en aplicaciones web incorporando *WebXR Device API*, dotar de RA o RV a los REAs que los requieran a través de esta tecnología y generar nuevo software a partir de este estándar en beneficio de la educación.

REFERENCIAS

- Alvarez-Marin, A., Castillo-Vergara, M., Pizarro-Guerrero, J., & Espinoza-Vera, E. (2017). Realidad Aumentada como Apoyo a la Formación de Ingenieros Industriales. *Formación universitaria*, 10(2), 31-42. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062017000200005>
- Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: teleoperators & virtual environments*, 6(4), 355-385. <https://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>
- Barroso-Osuna, J., Cabero-Almenara, J., & Gutiérrez-Castillo, J. J. (2018). La producción de objetos de aprendizaje en realidad aumentada por estudiantes universitarios. Grado de aceptación de esta tecnología y motivación para su uso. *Revista mexicana de investigación educativa*, 23(79), 1261-1283. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662018000401261&lng=es&tlng=es
- Bezares, F. G., Toledo, G., Aguilar, F., & Martínez, E. (2020). Aplicación de realidad aumentada centrada en el niño como recurso en un ambiente virtual de aprendizaje. *Apertura*, 12(1), 88-105. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.32870/Ap.v12n1.1820>
- Blair, M., & Trevor, S. (2018). Thoughts on the Future of WebXR and the Immersive Web. *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, 338-342. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2018.00099>
- Bootstrap team. (13 de 06 de 2022). *Bootstrap*. <https://getbootstrap.com/>
- Brocke, J., Simons, A., Niehaves, B., Riemer, K., Plattfaut, R., & Cleven, A. (2009). Reconstructing the Giant: On the Importance of Rigour in Documenting the Literature Search Process. *ECIS 2009 Proceedings*, 1-15. <https://aisel.aisnet.org/ecis2009/161>
- Bruno, F., & Cinque, L. (2020). Encoding immersive sessions for online, interactive VR analytics. *Virtual Reality*, 24, 423-438. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10055-019-00405-w>

- Cabero, J., Fernández, B., & Marín, V. (2017). Dispositivos móviles y realidad aumentada en el aprendizaje del alumnado universitario. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 20(2), 167-185. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5944/ried.20.2.17245>
- Campos, N., Ramos, M., & Moreno, A. J. (2020). Realidad virtual y motivación en el contexto educativo: Estudio bibliométrico de los últimos veinte años de Scopus. *Alteridad. Revista de Educación*, 15(1), 47-60. <https://doi.org/https://doi.org/10.17163/alt.v15n1.2020.04>
- Cardin, O. (2021). A Systematic Literature Review of Successful Implementation of Industry 4.0 Technologies in Companies: Synthesis of the IPSI Framework. *Applied Sciences*, 11(8917), 1-18. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app11198917>
- Castellano, T., & Santacruz, L. P. (06 de 2018). EnseñAPP: Aplicación Educativa de Realidad Aumentada para el Primer ciclo de Educación Primaria. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*(21), 7-14. <https://doi.org/10.24215/18509959.21.e01>
- Chan, M. E. (10 de 11 de 2004). Tendencias en el diseño educativo para entornos de aprendizaje digitales. *Revista Digital Universitaria*, 5(10), 1-26. http://www.revista.unam.mx/vol.5/num10/art68/nov_art68.pdf
- Chirinos, Y. (2020). La Realidad virtual como mediadora de aprendizajes. Desarrollo de una aplicación móvil de Realidad Virtual orientada a niños. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, 98-99.
- Cleto, B., Carvalho, R., & Ferreira, M. (2022). Students' Perceptions Exploring a WebXR Learning Environment. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*, 435, 230-241. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06675-7_17
- CodePen. (03 de 06 de 2023). *CodePen*. <https://codepen.io/JcersHabs018/pen/QvLoxZ>
- Cooper, H. (1988). Organizing knowledge syntheses: A taxonomy of literature reviews. *knowledge in society*, 104-126.

- Cózar, R., González-Calero, J., Villena, R., & Merino, J. (2018). Análisis de la motivación ante el uso de la realidad virtual en la enseñanza de la historia en futuros maestros. *EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 1-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.21556/edutec.2019.68.1315>
- Diez-Martínez, E., & Morales-Velasco, R. A. (12 de 2020). Codiseño de Objetos de Aprendizaje OA como estrategia de capacitación a docentes de Educación Superior. *EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*(74), 114-126. <https://doi.org/https://doi.org/10.21556/edutec.2020.74.1765>
- Elsevier. (14 de 11 de 2022). *Scopus*. <https://www.scopus.com/>
- Fanini, B., & Cinque, L. (2020). Encoding immersive sessions for online, interactive VR analytics. *Virtual Reality*, 24(3), 423 - 438. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00405-w>
- Fanini, B., Ferdani, D., & Demetrescu, E. (06 de 2021). Temporal Lensing: An Interactive and Scalable Technique for Web3D/WebXR Applications in Cultural Heritage. *Heritage*, 4(2), 710-724. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/heritage4020040>
- Fanini, B., Ferdani, D., & Demetrescu, E. (10 de 06 de 2021). Temporal Lensing: An Interactive and Scalable Technique for Web3D/WebXR Applications in Cultural Heritage. *Heritage*, 4(2), 710-724. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/heritage4020040>
- Fanini, B., Ferdani, D., Demetrescu, E., Berto, S., & D'annibale, E. (2021). Aton: An open-source framework for creating immersive, collaborative and liquid web-apps for cultural heritage. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(22), 1-38. <https://doi.org/10.3390/app112211062>
- Figma. (27 de 12 de 2022). *Figma*. <https://www.figma.com/>
- Figma Inc. (15 de 06 de 2022). *Figma*. <https://www.figma.com/>
- Gibbons, A., Nelson, J., & Richards, R. (2000). The nature and origin of instructional objects. En: Wiley, D. *The Instructional Use of Learning Objects: Online Version*.

- Gil, M. (2004). Modelo de diseño instruccional para programas educativos a distancia. *Perfiles educativos*, 93-114. <https://iisue.unam.mx/perfiles/articulo/2004-104-modelo-de-diseno-instruccional-para-programas-educativos-a-distancia.pdf>
- Github. (10 de 03 de 2023). *The Immersive Web Working Group/Community Group*. The Immersive Web Working Group/Community Group: <https://immersive-web.github.io/>
- Google LLC. (04 de 12 de 2023). *Google Search Console*. <https://search.google.com/>
- Gubern, R. (1996). *Del bisonte a la realidad virtual. La escena y el laberinto*. Barcelona: Editorial Anagrama.
- Gutiérrez, A. (1997). *Educación multimedia y nuevas tecnologías*. Madrid: Ediciones de la torre.
- Hafidz, I., Sukaridhoto, S., Rasyid, M., Budiarti, R., Mardhotillah, R., Amalia, R., . . . Satrio, N. (2021). Design of Collaborative WebXR for Medical Learning Platform. *International Electronics Symposium 2021: Wireless Technologies and Intelligent Systems for Better Human Lives, IES 2021 - Proceedings*, 499 - 504. <https://doi.org/10.1109/IES53407.2021.9593951>
- Hermes, A., & Riedl, R. (2021). Influence of Personality Traits on Choice of Retail Purchasing Channel: Literature Review and Research Agenda. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 16, 3299–3320. <https://doi.org/10.3390/jtaer16070179>
- Hernández-González, L., Soberanes-Martín, A., & Martínez Reyes, M. (2023). Geometría aumentada: desarrollo de un objeto de aprendizaje con realidad mixta usando la metodología Dicrevoa 2.0. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 14(27), 1-30. <https://doi.org/10.23913/ride.v14i27.1721>
- Hernández-González, L., Soberanes-Martín, A., Martínez-Reyes, M., & Olmos-Peña, S. (28 de 08 de 2023). *Geometría aumentada*. <https://geometriaaumentada.com/>
- Hossain, M., Economou, D., & Ferguson, J. (2021). Work-in-Progress-WebXR to support student wellbeing and anxiety. *7th International Conference of the Immersive*

- Learning Research Network (iLRN)*, 1-3.
<https://doi.org/10.23919/iLRN52045.2021.9459324>
- Hostinger International Ltd. (05 de 12 de 2023). *Hostinger*.
<https://www.hostinger.mx/legal/acuerdo-terminos-universales-de-servicio>
- Huang, T.-C., Chen, M.-Y., & Hsu, W.-P. (01 de 2019). Do Learning Styles Matter? Motivating Learners in an Augmented Geopark. *Educational Technology & Society*, 22(1), 70-81. <https://www.jstor.org/stable/26558829>
- Immersive Web Community Group. (07 de 02 de 2023). *Immersive Web Community Group*.
 WebXR Device API: <https://www.w3.org/immersive-web/>
- INEE. (20 de 02 de 2021). *Instituto Nacional para la Evaluación de la educación*.
 Evaluaciones de logro referidas al Sistema Educativo Nacional. Sexto Grado de
 Primaria. Ciclo escolar 2017-2018:
<https://www.inee.edu.mx/evaluaciones/planea/sexta-primaria-ciclo-2017-2018/>
- Instituto de Ciencias Matemáticas. (2006). *Fundamentos de matemáticas para bachillerato*
 (Segunda ed.). Guayaquil, Ecuador: ICM-ESPOL.
- ITESO Universidad Jesuita de Guadalajara. (3 de 11 de 2021). *Biblioteca Dr. Jorge
 Villalobos Padilla, S.J.*
<http://quijote.biblio.iteso.mx/catia/tesauro/thes.aspx?cmn=LT&Key=6153>
- Javier, G. (2011). Análisis del estado del arte de los objetos de aprendizaje. Revisión de su
 definición y sus posibilidades. *Análisis del estado del arte de los objetos de
 aprendizaje. Revisión de su definición y sus posibilidades*. Facultad de Informática -
 Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/4212/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Kamal, A., & Andujar, C. (2022). Designing, testing and adapting navigation techniques for
 the immersive web. *Computers and Graphics (Pergamon)*, 106, 66-76.
<https://doi.org/10.1016/j.cag.2022.05.015>

- Lee, D., Shim, W., Lee, M., Lee, S., Jung, K.-D., & Kwon, S. (2021). Performance Evaluation of Ground AR Anchor with WebXR Device API. *Applied Sciences*, *11*(7877), 1-16. <https://doi.org/10.3390/app11177877>
- Lengua, C., Bernal, G., Flórez, W., & Velandia, M. (2020). Tecnologías emergentes en el proceso de enseñanza-aprendizaje: hacia el desarrollo del pensamiento crítico. *Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, *23*(3), 83-98. <https://doi.org/10.6018/reifop.435611>
- León, R. (2012). Aplicación de la realidad virtual no inmersiva para Ingenieros Agrícolas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, *21*(1), 63-67. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=93222722012>
- Levis, D. (14 de 03 de 2021). *Academia*. ¿Qué es la realidad virtual?: https://www.academia.edu/2449000/_Qu%C3%A9_es_la_realidad_virtual_
- Liang, S., & Roast, C. (2014). Five Features for Modeling Augmented Reality. *HCI International 2014 - Posters' Extended Abstracts. HCI 2014. Communications in Computer and Information Science*, *434*, 607-612. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07857-1_107
- López, O. L., & García, S. (2008). *La enseñanza de la geometría*. México: INEE.
- Luigini, A., Fanini, B., Basso, A., & Basso, D. (12 de 2020). Heritage education through serious games. A web-based proposal for primary schools to cope with distance learning. *VITRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, *5*(2), 73-85. <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2020.14665>
- MacIntyre, B., & Smith, T. (2018). Thoughts on the Future of WebXR and the Immersive Web. *Adjunct Proceedings - 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2018*, 338 - 342. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2018.00099>

- Maldonado, J., Bermeo, J., & Vélez, F. (2017). *Diseño, creación y evaluación de objetos de aprendizaje. Metodología DICREVOA 2.0*. Cuenca, Ecuador: Consorcio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado (CEDIA).
- Martínez, S., Fernández, B., & Barroso, J. (2021). La realidad aumentada como recurso para la formación en la educación superior. *Campus Virtuales*, 10(1), 9-19. <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/205006/Art.%201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Merlot. (01 de 12 de 2022). *Merlot*. <https://www.merlot.org/merlot/index.htm>
- Ministerio de educación. (2005). Proyecto Huascarán Tesoro de educación y TICs en educación. *Fiche técnica*. Ministerio de educación, Perú, Lima. https://issuu.com/paul_sanchez/docs/tesauro_educacion_y_tic
- Mozilla. (06 de 02 de 2023). *MDN Web Docs*. WebXR Device API: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebXR_Device_API
- Norman, S., & Porter, D. (2007). *Designing learning objects for online learning*. Retrieved 04 de 09 de 2021, from http://oasis.col.org/bitstream/handle/11599/45/KS2007_Designing-Learning-Objects.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ospanova, B., Aubakirova, R., Kuanysheva, B., Kabzhanova, G., Anatolyevna, T., & Tabakaev, Y. (2022). The organization of distance education in during the Covid-19 Pandemic. *Cypriot Journal of Educational Sciences*, 17(14), 999 - 1008. <https://doi.org/10.18844/cjes.v17i4.7104>
- Pérez, F. J. (2011). Presente y Futuro de la Realidad Virtual. *Creatividad y Sociedad*(16), 1-39.
- Prendes, C. (2015). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*,(46), 187-203. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2015.i46.12>
- Quenta, E. (2019). Simulación Clínica, Realidad Virtual Háptica(RVH): Herramienta docente para la enseñanza en estomatología. *Revista Estomatológica Herediana*,

29(2), 105-106.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/https://doi.org/10.20453/reh.v29i2.3526>

Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua española (22a. ed.)*. Madrid, España: Autor. Diccionario de la lengua española (22.a ed.): <http://www.rae.es/rae.html>

Renius, O. (2019). A Technical Evaluation of the WebXR Device API for Developing Augmented Reality Web Applications. *Tesis*. Linköping University, Linköping.

Rigueros, C. (2017). La realidad aumentada: lo que debemos conocer. *Tecnología Investigación y Academia*, 5(2), 257-261.

Ro'fatulhaq, H., Arif, S., Fajrul, M., Sukaridhoto, S., Agus, M., Rante, H., . . . Hendro, W. (18 de 11 de 2020). Development of Virtual Engineering Platform for Online Learning System. (IEEE, Ed.) *International Conference on Computer Engineering, Network, and Intelligent Multimedia (CENIM)*, 185-192. <https://doi.org/10.1109/CENIM51130.2020.9297981>

Rodríguez, F., Dal Peraro, M., & Abriata, L. (2021). Democratizing interactive, immersive experiences for science education with WebXR. *Nature Computational Science*, 1(10), 631 - 632. <https://doi.org/10.1038/s43588-021-00142-8>

Rodríguez, F., Dal Peraro, M., & Abriata, L. (2022). Online tools to easily build virtual molecular models for display in augmented and virtual reality on the web. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 114(108164), 1-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmgm.2022.108164>

Rodríguez, F., Krapp, L., Dal Peraro, M., & Abriata, L. (2022). Visualization, Interactive Handling and Simulation of Molecules in Commodity Augmented Reality in Web Browsers Using molecularARweb's Virtual Modeling Kits. *Chimia*, 76(1-2), 145 - 150. <https://doi.org/10.2533/chimia.2022.145>

Rodríguez, T., & Baños, M. (2011). E-learning en mundos virtuales 3D. Una experiencia educativa en second life. *ICONO* 14, 2(9), 39-58. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=552556583004>

- Secretaría de Educación Pública. (07 de 06 de 2022). *Plan y programas de estudio. Matemáticas. Primaria. 6°*: <https://www.planyprogramasdestudio.sep.gob.mx/prim-ae-pensamiento-mate6.html>
- Sicilia, M.-A., & García, E. (2003). On the Concepts of Usability and Reusability of Learning Objects. *International Review of Research in Open and Distance Learning*, 4(2), 1-11.
- Silva, A., Ponce, J. C., & Hernández, Y. (2013). Estado del Arte de las Metodologías para el Desarrollo de Objetos de Aprendizaje. *Conferencias LACLO*.
- Sommerville, I. (2011). *Ingeniería de software*. Naucalpan de Juárez, Estado de México: Pearson Educación de México.
- Sutherland, I. (1965). The Ultimate Display. En I. Sutherland, *Proceedings of the IPIP Congress 2* (págs. 506-508). New York City: International Federation for Information Processing.
- Tacgin, Z. (2020). *Virtual and Augmented Reality: An Educational Handbook*. Cambridge: Cambridge Scholars Publishing.
- TemaTres. (5 de 11 de 2021). *Tesaurus de Biblioteconomía y Documentación*. <https://vocabularyserver.com/tbyd/index.php?tema=3166>
- Three.js. (27 de 12 de 2022). *Three.js. WebXRManager*: <https://threejs.org/docs/index.html#api/en/renderers/webxr/WebXRManager>
- Torraco, R. (01 de 09 de 2005). Writing Integrative Literature Reviews: Guidelines and Examples. (S. Publications, Ed.) *Human Resource Development Review*, 4(3), 356-367. <https://doi.org/10.1177/1534484305278283>
- Tovar, G. I. (2014). Los objetos virtuales de aprendizaje y su impacto en la calidad del proceso de enseñanza en la educación virtual. *Tecnología de Información y Comunicación en Educación*. 8(1), 113-126.

- Triquell, X., & Vidal, E. (2007). *¿Recursos virtuales para problemas reales? Experiencias y reflexiones entorno a la incorporación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en los procesos de enseñanza - aprendizaje*. Argentina: Brujas.
- Turco, M., Piumatti, P., Calvano, M., Giovannini, E., Mafri, N., Tomalini, A., & Fanini, B. (2019). Interactive digital environments for cultural heritage and mu building a digital ecosystem to display hidden collections. *DISEGNARECON*, 12(23), 71 - 711. <http://disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/article/view/608/385>
- Van Assche, F., Campbell, L., Anido, L., & Marc, W. (2003). Semantic Interoperability: Use of vocabularies with Learning Object Metadata. *Proceedings of the The 3rd IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, 511-514. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2003.1215220>
- Veytia, M. G., Lara, R. S., & García, O. (2018). Objetos Virtuales de Aprendizaje en la Educación Superior. *Eikasia*, 79(8), 209-224.
- Vicente, F. E., Oliveira, L. A., Oliveira, D., & Pacheco, R. (2020). Virtual and augmented reality application in production engineering teaching-learning processes. *Production*, 30, 1-16. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20190088>
- W3C. (27 de 08 de 2023). *W3C Process Document*. <https://www.w3.org/2023/Process-20230612/#maturity-stages>
- W3C. (19 de 02 de 2023). *WebXR Augmented Reality Module - Level 1*. <https://immersive-web.github.io/webxr-ar-module/>
- W3C. (15 de 02 de 2023). *WebXR Device API*. WebXR Device API: <https://www.w3.org/TR/webxr/>
- W3C. (19 de 02 de 2023). *WebXR Gamepads Module - Level 1*. <https://immersive-web.github.io/webxr-gamepads-module/>
- Webster, J., & Watson, R. T. (06 de 2002). Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. *MIS Quarterly*, 26(2), 13-23. <http://www.jstor.org/stable/4132319>

- Wiley, D., Gibbons, A., & Recker, M. (04 de 09 de 2021). *A reformulation of the issue of learning object granularity and its implications for the design of learning objects*. Reusability org: <http://www.reusability.org/granularity.pdf>
- Wohlgenannt, I., Simons, A., & Stieglitz, S. (2020). Virtual Reality. *Bus Inf Syst Eng*, 6, 455–461. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12599-020-00658-9>
- You-tian, Y. (2016). Design and Implementation of Digital Art Teaching System Based on Interactive Virtual Technology. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 11(11), 49-54. <https://online-journals.org/index.php/i-jet/article/view/6254/4194>
- Zapatero, D. (2011). La realidad virtual como recurso y herramienta útil para la docencia y la investigación. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*(6), 17-23. <https://teyet-revista.info.unlp.edu.ar/TEyET/article/view/230/690>
- Zubair, M., & Anyameluhor, N. (2021). How long do you want to maintain this thing? Understanding the Challenges Faced by WebXR Creators. *Proceedings - Web3D 2021: 26th ACM International Conference on 3D Web Technology*, 1-4. <https://doi.org/10.1145/3485444.3495181>

ANEXOS

ANEXO 1. Código fuente para generar un cubo en tres dimensiones con WegGL

```
var vertexShaderText =
[
    'precision mediump float;',
    '',
    'attribute vec3 vertPosition;',
    'attribute vec3 vertColor;',
    'varying vec3 fragColor;',
    'uniform mat4 mWorld;',
    'uniform mat4 mView;',
    'uniform mat4 mProj;',
    '',
    'void main()',
    '{',
    '    fragColor = vertColor;',
    '    gl_Position = mProj * mView * mWorld * vec4(vertPosition, 1.0);',
    '}'
].join('\n');

var fragmentShaderText = [
    'precision mediump float;',
    '',
    'varying vec3 fragColor;',
    'void main()',
    '{',
    '    gl_FragColor = vec4(fragColor, 1.0);',
    '}'
].join('\n');

window.onload = function() {

var canvas = document.getElementById('gl');
var gl = canvas.getContext('webgl') ||
    canvas.getContext('experimental-webgl') ||
    canvas.getContext('moz-webgl') ||
    canvas.getContext('webkit-3d');

if (gl) {
var extensions = gl.getSupportedExtensions();

gl.viewportWidth = canvas.width;
gl.viewportHeight = canvas.height;
```



```

gl.clearColor(2.55,2.55,2.55,1);
gl.clear(gl.COLOR_BUFFER_BIT | gl.DEPTH_COLOR_BIT);
gl.enable(gl.DEPTH_TEST);
gl.enable(gl.CULL_FACE);
gl.frontFace(gl.CCW);
gl.cullFace(gl.BACK);

//Shaders
var vertexShader = gl.createShader(gl.VERTEX_SHADER);
var fragmentShader = gl.createShader(gl.FRAGMENT_SHADER);

gl.shaderSource(vertexShader, vertexShaderText);
gl.shaderSource(fragmentShader, fragmentShaderText);

gl.compileShader(vertexShader);
if (!gl.getShaderParameter(vertexShader, gl.COMPILE_STATUS)) {
    console.error('ERROR compiling vertex shader!', gl.getShaderInfoLog(vertexShader));
    return;
}
gl.compileShader(fragmentShader);
if (!gl.getShaderParameter(fragmentShader, gl.COMPILE_STATUS)) {
    console.error('ERROR compiling fragment shader!', gl.getShaderInfoLog(fragmentShader));
    return;
}

var program = gl.createProgram();
gl.attachShader(program, vertexShader);
gl.attachShader(program, fragmentShader);
gl.linkProgram(program);
if (!gl.getProgramParameter(program, gl.LINK_STATUS)) {
    console.error('ERROR linking program!', gl.getProgramInfoLog(program));
    return;
}
gl.validateProgram(program);
if (!gl.getProgramParameter(program, gl.VALIDATE_STATUS)) {
    console.error('ERROR validating program!', gl.getProgramInfoLog(program));
    return;
}

//Buffers

var boxVertices = [
//top
-1.0, 1.0, -1.0, 0.5, 0.5, 0.5,
-1.0, 1.0, 1.0, 0.5, 0.5, 0.5,

```

```

1.0, 1.0, 1.0,    0.5, 0.5, 0.5,
1.0, 1.0, -1.0,   0.5, 0.5, 0.5,
//left
-1.0, 1.0, 1.0,   0.75, 0.25, 0.5,
-1.0, -1.0, 1.0,  0.75, 0.25, 0.5,
-1.0, -1.0, -1.0, 0.75, 0.25, 0.5,
-1.0, 1.0, -1.0,  0.75, 0.25, 0.5,
//right
1.0, 1.0, 1.0,    0.25, 0.25, 0.75,
1.0, -1.0, 1.0,   0.25, 0.25, 0.75,
1.0, -1.0, -1.0,  0.25, 0.25, 0.75,
1.0, 1.0, -1.0,   0.25, 0.25, 0.75,
//front
1.0, 1.0, 1.0,    1.0, 0.0, 0.15,
1.0, -1.0, 1.0,   1.0, 0.0, 0.15,
-1.0, -1.0, 1.0,  1.0, 0.0, 0.15,
-1.0, 1.0, 1.0,   1.0, 0.0, 0.15,
//back
1.0, 1.0, -1.0,   0.0, 1.0, 0.15,
1.0, -1.0, -1.0,  0.0, 1.0, 0.15,
-1.0, -1.0, -1.0, 0.0, 1.0, 0.15,
-1.0, 1.0, -1.0,  0.0, 1.0, 0.15,
//bottom
-1.0, -1.0, -1.0,  0.5, 0.5, 1.0,
-1.0, -1.0, 1.0,   0.5, 0.5, 1.0,
1.0, -1.0, 1.0,    0.5, 0.5, 1.0,
1.0, -1.0, -1.0,  0.5, 0.5, 1.0,
];

```

```

var boxIndices =
[
//top
0, 1, 2,
0, 2, 3,
//left
5, 4, 6,
6, 4, 7,
// right
8, 9, 10,
8, 10, 11,
//front
13, 12, 14,
15, 14, 12,
//back
16, 17, 18,

```

```

16, 18, 19,
//bottom
21, 20, 22,
22, 20, 23
];

var boxVertexBufferObject = gl.createBuffer();
gl.bindBuffer(gl.ARRAY_BUFFER, boxVertexBufferObject);
gl.bufferData(gl.ARRAY_BUFFER, new Float32Array(boxVertices), gl.STATIC_DRAW);

var boxIndexBufferObject = gl.createBuffer();
gl.bindBuffer(gl.ELEMENT_ARRAY_BUFFER, boxIndexBufferObject);
gl.bufferData(gl.ELEMENT_ARRAY_BUFFER, new Uint16Array(boxIndices), gl.STATIC_DRAW);

var positionAttribLocation = gl.getAttribLocation(program, 'vertPosition');
var colorAttribLocation = gl.getAttribLocation(program, 'vertColor');

gl.vertexAttribPointer(
    positionAttribLocation,
    3,
    gl.FLOAT,
    gl.FALSE,
    6 * Float32Array.BYTES_PER_ELEMENT,
    0
);
gl.vertexAttribPointer(
    colorAttribLocation,
    3,
    gl.FLOAT,
    gl.FALSE,
    6 * Float32Array.BYTES_PER_ELEMENT,
    3 * Float32Array.BYTES_PER_ELEMENT
);
gl.enableVertexAttribArray(positionAttribLocation);
gl.enableVertexAttribArray(colorAttribLocation);

//Program used
gl.useProgram(program);

var matWorldUniformLocation = gl.getUniformLocation(program, 'mWorld');
var matViewUniformLocation = gl.getUniformLocation(program, 'mView');
var matProjUniformLocation = gl.getUniformLocation(program, 'mProj');

var worldMatrix = new Float32Array(16);
var viewMatrix = new Float32Array(16);

```

```

var projMatrix = new Float32Array(16);

mat4.identity(worldMatrix);
mat4.lookAt(viewMatrix, [0,0,-8], [0,0,0], [0,1,0]);
mat4.perspective(projMatrix, glMatrix.toRadian(45), canvas.width / canvas.height, 0.1, 1000.0);

gl.uniformMatrix4fv(matWorldUniformLocation, gl.FALSE, worldMatrix);
gl.uniformMatrix4fv(matViewUniformLocation, gl.FALSE, viewMatrix);
gl.uniformMatrix4fv(matProjUniformLocation, gl.FALSE, projMatrix);

var xRotationMatrix = new Float32Array(16);
var yRotationMatrix = new Float32Array(16);

//Render loop

var identityMatrix = new Float32Array(16);
mat4.identity(identityMatrix);

var angle = 0;

var loop = function() {
angle = performance.now() / 1000 /6 * 2 * Math.PI;
mat4.rotate(yRotationMatrix, identityMatrix, angle, [0,1,0]);
mat4.rotate(xRotationMatrix, identityMatrix, angle / 4, [1,0,0]);
mat4.mul(worldMatrix, yRotationMatrix, xRotationMatrix);
gl.uniformMatrix4fv(matWorldUniformLocation, gl.FALSE, worldMatrix);

gl.clearColor(2.55, 2.55, 2.55, 1.0);
gl.clear(gl.DEPTH_BUFFER_BIT | gl.COLOR_BUFFER_BIT);

gl.drawElements(gl.TRIANGLES, boxIndices.length, gl.UNSIGNED_SHORT, 0);

requestAnimationFrame(loop);
};

requestAnimationFrame(loop);

}else{
    document.getElementById('webglbroke').innerHTML = 'Your browser doesn\'t support WebGL.';
}
}
}

```

ANEXO 2. Código fuente para generar un cubo en tres dimensiones con WegGL con realidad aumentada.

```
var vertexShaderText =
[
'precision mediump float;',
'',
'attribute vec3 vertPosition;',
'attribute vec3 vertColor;',
'varying vec3 fragColor;',
'uniform mat4 mWorld;',
'uniform mat4 mView;',
'uniform mat4 mProj;',
'',
'void main()',
'{'
'  fragColor = vertColor;',
'  gl_Position = mProj * mView * mWorld * vec4(vertPosition, 1.0);',
'}'
].join('\n');

var fragmentShaderText = [
'precision mediump float;',
'',
'varying vec3 fragColor;',
'void main()',
'{'
'gl_FragColor = vec4(fragColor, 1.0);',
'}'
].join('\n');

window.onload = function() {

var canvas = document.getElementById('gl');
var gl = canvas.getContext('webgl') ||
    canvas.getContext('experimental-webgl') ||
    canvas.getContext('moz-webgl') ||
    canvas.getContext('webkit-3d');

if (gl) {
var extensions = gl.getSupportedExtensions();
gl.viewportWidth = canvas.width;
gl.viewportHeight = canvas.height;
gl.clearColor(2.55,2.55,2.55,1);
gl.clear(gl.COLOR_BUFFER_BIT | gl.DEPTH_COLOR_BIT);
```

```

gl.enable(gl.DEPTH_TEST);
gl.enable(gl.CULL_FACE);
gl.frontFace(gl.CCW);
gl.cullFace(gl.BACK);

//Shaders
var vertexShader = gl.createShader(gl.VERTEX_SHADER);
var fragmentShader = gl.createShader(gl.FRAGMENT_SHADER);

gl.shaderSource(vertexShader, vertexShaderText);
gl.shaderSource(fragmentShader, fragmentShaderText);

gl.compileShader(vertexShader);
if (!gl.getShaderParameter(vertexShader, gl.COMPILE_STATUS)) {
    console.error('ERROR compiling vertex shader!', gl.getShaderInfoLog(vertexShader));
    return;
}
gl.compileShader(fragmentShader);
if (!gl.getShaderParameter(fragmentShader, gl.COMPILE_STATUS)) {
    console.error('ERROR compiling fragment shader!', gl.getShaderInfoLog(fragmentShader));
    return;
}

var program = gl.createProgram();
gl.attachShader(program, vertexShader);
gl.attachShader(program, fragmentShader);
gl.linkProgram(program);
if (!gl.getProgramParameter(program, gl.LINK_STATUS)) {
    console.error('ERROR linking program!', gl.getProgramInfoLog(program));
    return;
}
gl.validateProgram(program);
if (!gl.getProgramParameter(program, gl.VALIDATE_STATUS)) {
    console.error('ERROR validating program!', gl.getProgramInfoLog(program));
    return;
}

//Buffers

var boxVertices = [
    //top
    -1.0, 1.0, -1.0, 0.5, 0.5, 0.5,
    -1.0, 1.0, 1.0, 0.5, 0.5, 0.5,
    1.0, 1.0, 1.0, 0.5, 0.5, 0.5,
    1.0, 1.0, -1.0, 0.5, 0.5, 0.5,

```

```

//left
-1.0, 1.0, 1.0,    0.75, 0.25, 0.5,
-1.0, -1.0, 1.0,   0.75, 0.25, 0.5,
-1.0, -1.0, -1.0, 0.75, 0.25, 0.5,
-1.0, 1.0, -1.0,   0.75, 0.25, 0.5,
//right
1.0, 1.0, 1.0,    0.25, 0.25, 0.75,
1.0, -1.0, 1.0,   0.25, 0.25, 0.75,
1.0, -1.0, -1.0, 0.25, 0.25, 0.75,
1.0, 1.0, -1.0,   0.25, 0.25, 0.75,
//front
1.0, 1.0, 1.0,    1.0, 0.0, 0.15,
1.0, -1.0, 1.0,   1.0, 0.0, 0.15,
-1.0, -1.0, 1.0,   1.0, 0.0, 0.15,
-1.0, 1.0, 1.0,   1.0, 0.0, 0.15,
//back
1.0, 1.0, -1.0,   0.0, 1.0, 0.15,
1.0, -1.0, -1.0,  0.0, 1.0, 0.15,
-1.0, -1.0, -1.0, 0.0, 1.0, 0.15,
-1.0, 1.0, -1.0,  0.0, 1.0, 0.15,
//bottom
-1.0, -1.0, -1.0,  0.5, 0.5, 1.0,
-1.0, -1.0, 1.0,   0.5, 0.5, 1.0,
1.0, -1.0, 1.0,    0.5, 0.5, 1.0,
1.0, -1.0, -1.0,  0.5, 0.5, 1.0,
];

```

```
var boxIndices =
```

```

[
//top
0, 1, 2,
0, 2, 3,
//left
5, 4, 6,
6, 4, 7,
// right
8, 9, 10,
8, 10, 11,
//front
13, 12, 14,
15, 14, 12,
//back
16, 17, 18,
16, 18, 19,
//bottom

```

```

    21, 20, 22,
    22, 20, 23
];

var boxVertexBufferObject = gl.createBuffer();
gl.bindBuffer(gl.ARRAY_BUFFER, boxVertexBufferObject);
gl.bufferData(gl.ARRAY_BUFFER, new Float32Array(boxVertices), gl.STATIC_DRAW);

var boxIndexBufferObject = gl.createBuffer();
gl.bindBuffer(gl.ELEMENT_ARRAY_BUFFER, boxIndexBufferObject);
gl.bufferData(gl.ELEMENT_ARRAY_BUFFER, new Uint16Array(boxIndices), gl.STATIC_DRAW);

var positionAttribLocation = gl.getAttribLocation(program, 'vertPosition');
var colorAttribLocation = gl.getAttribLocation(program, 'vertColor');

gl.vertexAttribPointer(
    positionAttribLocation,
    3,
    gl.FLOAT,
    gl.FALSE,
    6 * Float32Array.BYTES_PER_ELEMENT,
    0
);
gl.vertexAttribPointer(
    colorAttribLocation,
    3,
    gl.FLOAT,
    gl.FALSE,
    6 * Float32Array.BYTES_PER_ELEMENT,
    3 * Float32Array.BYTES_PER_ELEMENT
);
gl.enableVertexAttribArray(positionAttribLocation);
gl.enableVertexAttribArray(colorAttribLocation);

//Program used
gl.useProgram(program);

var matWorldUniformLocation = gl.getUniformLocation(program, 'mWorld');
var matViewUniformLocation = gl.getUniformLocation(program, 'mView');
var matProjUniformLocation = gl.getUniformLocation(program, 'mProj');

var worldMatrix = new Float32Array(16);
var viewMatrix = new Float32Array(16);
var projMatrix = new Float32Array(16);

```



```

mat4.identity(worldMatrix);
mat4.lookAt(viewMatrix, [0,0,-8], [0,0,0], [0,1,0]);
mat4.perspective(projMatrix, glMatrix.toRadian(45), canvas.width / canvas.height, 0.1, 1000.0);

gl.uniformMatrix4fv(matWorldUniformLocation, gl.FALSE, worldMatrix);
gl.uniformMatrix4fv(matViewUniformLocation, gl.FALSE, viewMatrix);
gl.uniformMatrix4fv(matProjUniformLocation, gl.FALSE, projMatrix);

var xRotationMatrix = new Float32Array(16);
var yRotationMatrix = new Float32Array(16);

//Render loop

var identityMatrix = new Float32Array(16);
mat4.identity(identityMatrix);

var angle = 0;

var loop = function() {
angle = performance.now() / 1000 /6 * 2 * Math.PI;
mat4.rotate(yRotationMatrix, identityMatrix, angle, [0,1,0]);
mat4.rotate(xRotationMatrix, identityMatrix, angle / 4, [1,0,0]);
mat4.mul(worldMatrix, yRotationMatrix, xRotationMatrix);
gl.uniformMatrix4fv(matWorldUniformLocation, gl.FALSE, worldMatrix);

gl.clearColor(2.55, 2.55, 2.55, 1.0);
//gl.clear(gl.DEPTH_BUFFER_BIT | gl.COLOR_BUFFER_BIT); //No clear in AR

gl.drawElements(gl.TRIANGLES, boxIndices.length, gl.UNSIGNED_SHORT, 0);

requestAnimationFrame(loop);

};

requestAnimationFrame(loop);

/***** Begin WebXR *****/
var immersiveButton=document.getElementById("btnAR");
if (navigator.xr) {
navigator.xr.isSessionSupported("immersive-ar").then((isSupported) => {
if (isSupported) {
immersiveButton.addEventListener("click", onButtonClicked);
immersiveButton.textContent = "Enter XR";
immersiveButton.disabled = false;
} else {

```

```

        console.error("WebXR doesn't support immersive mode!");
    }
});
} else {
    console.error("WebXR is not available!");
}

var session=null;
var referenceSpace=null;
async function onClicked() {
    //navigator.xr.requestSession is a promise, so require await
    await navigator.xr.requestSession("immersive-ar").then(response => {
        session=response;
        //setReference contains await methods, so require a separate async function
        setReference();
    }).catch(e => {
        console.log(e);
    });
}

async function setReference(){
    const attributes = gl.getContextAttributes();
    if ( attributes.xrCompatible !== true ) {
        await gl.makeXRCompatible();
    }

    const layerInit = {
        antialias: attributes.antialias,
        alpha: attributes.alpha,
        depth: attributes.depth,
        stencil: attributes.stencil
    };

    // eslint-disable-next-line no-undef
    const baseLayer = new XRWebGLLayer( session, gl, layerInit );

    session.updateRenderState( { baseLayer: baseLayer } );
    // A 'local' reference space has a native origin that is located
    // near the viewer's position at the time the session was created.
    referenceSpace = await session.requestReferenceSpace('local');
    session.requestAnimationFrame(onXRFrame);
}

// Create a render loop that allows us to draw on the AR view.
async function onXRFrame(time, frame) {

```

```

// Queue up the next draw request.
session.requestAnimationFrame(onXRFrame);

// Bind the graphics framebuffer to the baseLayer's framebuffer
gl.bindFramebuffer(gl.FRAMEBUFFER, session.renderState.baseLayer.framebuffer)

// Retrieve the pose of the device.
// XRFrame.getViewerPose can return null while the session attempts to establish tracking.
const pose = frame.getViewerPose(referenceSpace);
if (pose) {
  // In mobile AR, we only have one view.
  const view = pose.views[0];

  const viewport = session.renderState.baseLayer.getViewport(view);
  loop();
}
}
/i***** End WebGL *****/
}else {
  document.getElementById('webglbroke').innerHTML = 'Your browser doesn\'t support WebGL.';
}
}

```

ANEXO 3. Código fuente para generar un cubo en tres dimensiones con Three.js.

```
import * as THREE from './threejs/three.module.js';
import { OrbitControls } from './threejs/OrbitControls.js';

let camera, scene, renderer, mesh;
let controller;

init();
function init() {
  const card = document.getElementById("canvas");
  const container = document.createElement('div');
  card.appendChild(container);

  scene = new THREE.Scene();

  camera = new THREE.PerspectiveCamera(20, 300 / 400, 0.1, 10);
  camera.position.set(0.4, 0.4, 0.4);
  camera.lookAt(0, 0, 0);
  camera.position.z = 0.5;

  const controls = new OrbitControls(camera, card);
  controls.target.set(0, 0, 0);
  controls.update();

  const light = new THREE.HemisphereLight(0xffffff, 0xbbbbff, 1);
  light.position.set(0.5, 1, 0.25);
  scene.add(light);

  renderer = new THREE.WebGLRenderer({ antialias: true, alpha: true });
  renderer.setPixelRatio(window.devicePixelRatio);
  renderer.setSize(300, 400);
  renderer.xr.enabled = false;
  card.appendChild(renderer.domElement);
  //Cube
  const geometry = new THREE.BoxGeometry(0.1, 0.1, 0.1);
  const materials = [
    new THREE.MeshBasicMaterial({ color: Math.random() * 0xffffff, transparent: true, opacity: 0.2 }),
    new THREE.MeshBasicMaterial({ color: Math.random() * 0xffffff, transparent: true, opacity: 0.2 }),
    new THREE.MeshBasicMaterial({ color: Math.random() * 0xffffff, transparent: true, opacity: 0.2 }),
    new THREE.MeshBasicMaterial({ color: Math.random() * 0xffffff, transparent: true, opacity: 0.2 }),
    new THREE.MeshBasicMaterial({ color: Math.random() * 0xffffff, transparent: true, opacity: 0.2 }),
    new THREE.MeshBasicMaterial({ color: Math.random() * 0xffffff, transparent: true, opacity: 0.2 }),
  ];
  mesh = new THREE.Mesh(geometry, materials);
  scene.add(mesh);
}
```

```
const edges = new THREE.EdgesGeometry(geometry);
let lines = new THREE.LineSegments(edges, new THREE.LineBasicMaterial({ color: 0xffffff, linewidth:
1 }));
mesh.add(lines);
}

const animate = function () {
  requestAnimationFrame(animate);
  renderer.render(scene, camera);
};
animate();
```

ANEXO 4. Código fuente para generar un cubo en tres dimensiones y realidad aumentada con Three.js.

```
import * as THREE from './threejs/three.module.js';
import { ARButton } from './threejs/ARButton.js';
import { UtilThree } from './threejs/UtilThree.js';
import { OrbitControls } from './threejs/OrbitControls.js';

let camera, scene, renderer, cube, card;
let controller;

init();
animateAR();
function init() {
  card = document.getElementById("canvas");
  const container = document.createElement('div');
  card.appendChild(container);

  scene = new THREE.Scene();

  camera = new THREE.PerspectiveCamera(15, 300 / 400, 0.1, 10);
  camera.lookAt(0, 0, 0);
  camera.position.z = 0.5;

  const light = new THREE.HemisphereLight(0xffffff, 0xbbbbff, 1);
  light.position.set(0.5, 1, 0.25);
  scene.add(light);

  renderer = new THREE.WebGLRenderer({ antialias: true, alpha: true });
  renderer.setPixelRatio(window.devicePixelRatio);
  renderer.setSize(300, 400);
  renderer.xr.enabled = true;
  card.appendChild(renderer.domElement);

  card.appendChild(ARButton.createButton(renderer));

  controller = renderer.xr.getController(0);
  controller.addEventListener('select', onSelect);
  scene.add(controller);

  //Cube
  const geometry = new THREE.BoxGeometry(0.1, 0.1, 0.1);
  const materials = [
    new THREE.MeshBasicMaterial({ color: Math.random() * 0xffffff, transparent: true, opacity: 0.5 }),
    new THREE.MeshBasicMaterial({ color: Math.random() * 0xffffff, transparent: true, opacity: 0.5 }),
  ]
```

```

    new THREE.MeshBasicMaterial({ color: Math.random() * 0xffffff, transparent: true, opacity: 0.5 })),
    new THREE.MeshBasicMaterial({ color: Math.random() * 0xffffff, transparent: true, opacity: 0.5 })),
    new THREE.MeshBasicMaterial({ color: Math.random() * 0xffffff, transparent: true, opacity: 0.5 })),
    new THREE.MeshBasicMaterial({ color: Math.random() * 0xffffff, transparent: true, opacity: 0.5 })),
  ];
cube = new THREE.Mesh(geometry, materials);
scene.add(cube);

const edges = new THREE.EdgesGeometry(geometry);
let lines = new THREE.LineSegments(edges, new THREE.LineBasicMaterial({ color: 0xFFFFFF, linewidth:
1 }));
cube.add(lines);
cube.position.set(0, 0, -0.3).applyMatrix4(controller.matrixWorld);
cube.quaternion.setFromRotationMatrix(controller.matrixWorld);

/*Labels*/
const util = new UtilThree();
util.createLabel("Caras", 0x000000, -0.02, 0.07, 0.05, cube);

function onSelect() {
  scene.add(cube);
}
}

function animateAR() {
  renderer.setAnimationLoop(render);
}

const animate = function () {
  requestAnimationFrame(animate);
  cube.rotation.x += 0.001;
  cube.rotation.y += 0.001;
  renderer.render(scene, camera);
};
animate();

function render() {
  renderer.render(scene, camera);
}

```

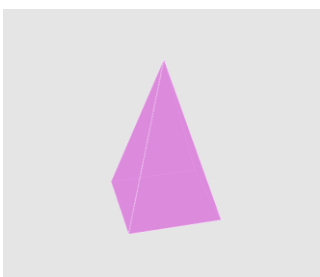
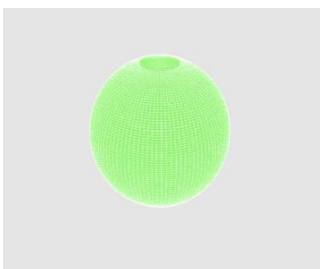
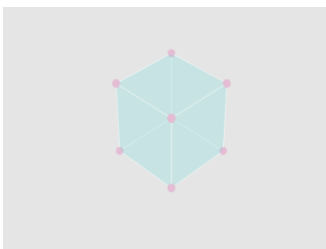
GEOMETRÍA AUMENTADA

Pre-test

Escuela: _____ No. de lista: _____ Grupo: _____

Instrucciones: En las siguientes preguntas observa la figura de la izquierda y elige la respuesta que consideres correcta.

Imagen



Pregunta

¿Qué elemento destaca la imagen?

¿Qué elemento muestra la imagen?

¿Cuál es el nombre de la figura?

¿Cuál es el nombre de la figura?

Respuestas

- a) Aristas
- b) Vértices
- c) Caras

- a) Aristas
- b) Vértices
- c) Caras

- a) Cubo
- b) Esfera
- c) Pirámide

- a) Cilindro
- b) Esfera
- c) Pirámide



¿Cuál es el nombre de la figura?

- a) Cilindro
- b) Cono
- c) Icosaedro



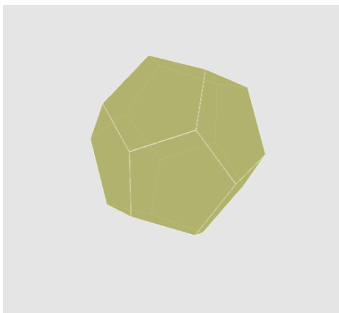
¿Cuál es el nombre de la figura?

- a) Pirámide
- b) Cono
- c) Icosaedro



¿Cuál es el nombre de la figura?

- a) Pirámide
- b) Dodecaedro
- c) Icosaedro



¿Cuál es el nombre de la figura?

- a) Cono
- b) Dodecaedro
- c) Icosaedro

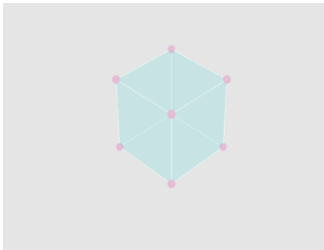
GEOMETRÍA AUMENTADA

Post-test

Escuela: _____ No. de lista: _____ Grupo: _____

Instrucciones: En las siguientes preguntas observa la figura de la izquierda y elige la respuesta que consideres correcta.

Imagen



Pregunta

¿Qué elemento destaca la imagen?

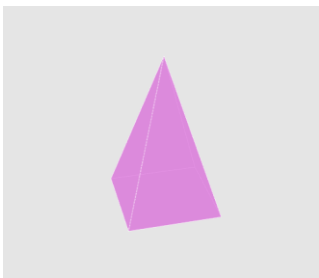
Respuestas

- d) Aristas
- e) Vértices
- f) Caras



¿Qué elemento muestra la imagen?

- d) Aristas
- e) Vértices
- f) Caras



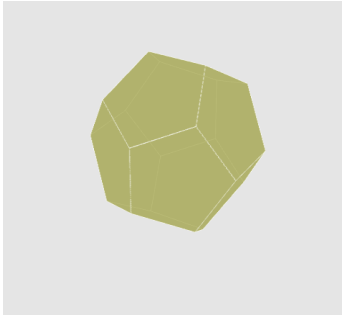
¿Cuál es el nombre de la figura?

- d) Cilindro
- e) Esfera
- f) Pirámide



¿Cuál es el nombre de la figura?

- d) Cilindro
- e) Cono
- f) Icosaedro



¿Cuál es el nombre de la figura?

- d) Cono
- e) Dodecaedro
- f) Icosaedro



¿Cuál es el nombre de la figura?

- d) Cubo
- e) Esfera
- f) Pirámide



¿Cuál es el nombre de la figura?

- d) Pirámide
- e) Cono
- f) Icosaedro



¿Cuál es el nombre de la figura?

- d) Pirámide
- e) Dodecaedro
- f) Icosaedro



<https://doi.org/10.23913/ride.v14i27.1721>

Artículos científicos

**Geometría aumentada: desarrollo de un objeto de aprendizaje
con realidad mixta usando la metodología Dcrevoa 2.0**

***Augmented geometry: Developing a learning object with mixed reality using
Dcrevoa 2.0 methodology***

***Geometria aumentada: desenvolvimento de um objeto de aprendizagem com
realidade mista utilizando a metodologia Dcrevoa 2.0***

Leonel Hernández-González

Universidad Autónoma del Estado de México, México

lhernandezg571@alumno.uaemex.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7151-811X>

Anabelem Soberanes-Martín

Universidad Autónoma del Estado de México, México

asoberanesm@uaemex.mx

<https://orcid.org/0000-0002-1101-8279>

Magally Martínez Reyes

Universidad Autónoma del Estado de México, México

mmartinezr@uaemex.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2643-6748>

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo de un objeto de aprendizaje para apoyar la enseñanza del tema de geometría del espacio en educación básica. Se utilizaron las metodologías Dcrevoa 2.0 y Cascada para el desarrollo de *software* debido a que ambas contienen