

FisicARtivo: Design of a learning tool for physics education using web-based XR technology

Brandon Antonio Cárdenas-Sainz
División de estudios de posgrado e
investigación
Tecnologico Nacional de México –
Campus Culiacán.
Culiacán, Sinaloa, México
brandon_cardenas@itculican.edu.mx
0000-0001-9747-8534

Ramón Zatarain-Cabada
División de estudios de posgrado e
investigación
Tecnologico Nacional de México –
Campus Culiacán.
Culiacán, Sinaloa, México
Ramon.zc@culiacan.tecnm.mx
0000-0002-4524-3511

María Lucia Barrón-Estrada
División de estudios de posgrado e
investigación
Tecnologico Nacional de México –
Campus Culiacán.
Culiacán, Sinaloa, México
lucia.be@culiacan.tecnm.mx
0000-0002-3856-9361

María Elena Chavez-Echeagaray
Ira A. Fulton Schools of Engineering
Arizona State University.
Arizona, United States
helenchavez@asu.edu
0000-0002-0231-5431

Rosalio Zatarain Cabada
División de estudios de posgrado e
investigación
Tecnologico Nacional de México –
Campus Culiacán.
Culiacán, Sinaloa, México
rosalio.zc@culiacan.tecnm.mx
0000-0002-0946-3576

Abstract— Currently, the development of educational technology seeks to improve the learning process of students through applications and platforms that offer interactive and intuitive experiences. This article presents the design of an interactive learning tool called FisicARtivo, which is focused on teaching physics with real-time simulations in extended reality (XR), using technologies such as augmented reality (AR) and virtual reality (VR) for the presentation of interactive learning environments. Preliminary results obtained in this work show that the use of extended reality technologies has a significant impact on physics learning.

Resumen— Actualmente, el desarrollo de la tecnología educativa busca mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes a través de aplicaciones y plataformas que ofrezcan experiencias interactivas e intuitivas. Este artículo presenta el diseño de una herramienta de aprendizaje interactivo denominada FisicARtivo, la cual está enfocada a la enseñanza de la física con simulaciones en tiempo real en realidad extendida (XR), utilizando tecnologías como la realidad aumentada (AR) y la realidad virtual (VR) para la presentación de entornos de aprendizaje interactivos. Los resultados preliminares obtenidos en este trabajo indican que el uso de tecnologías de realidad extendida tiene un impacto significativo en el aprendizaje de la física.

Keywords—extended reality, web-based learning tools, interactive learning environments, physics education

I. INTRODUCCIÓN

La educación actual trata de integrar en los planes de estudio las tecnologías emergentes de la realidad extendida (XR por sus siglas en inglés) con el propósito de mejorar la experiencia de

aprendizaje mediante la implementación de experiencias interactivas e intuitivas. Tecnologías como la realidad aumentada (AR por sus siglas en inglés) y la realidad virtual (VR por sus siglas en inglés), se han vuelto muy populares para el desarrollo de herramientas educativas y de entornos de aprendizaje virtuales, las cuales no solo habilitan una mejor experiencia a través de la inmersión e interacción, sino también ofrecen una mejoría en la representación y visualización del material didáctico en comparación con técnicas y metodologías de aprendizaje más convencionales. Diversos estudios han demostrado que la integración de estas nuevas tecnologías en el currículo educativo influye en la mejora de diferentes aspectos relacionados con el aprendizaje, incluyendo la satisfacción, la motivación, la retención de la información, así como el compromiso hacia el uso [1]–[3].

A. Tecnologías de realidad extendida en aprendizaje de física

La realidad extendida (XR) es un término que engloba las tecnologías de computación espacial que están en continuo desarrollo hoy en día, como son: tecnologías de realidad aumentada (AR), tecnologías de realidad virtual (VR) y tecnologías realidad mixta (MR por sus siglas en inglés). En otras palabras, es un término que se refiere a todas las tecnologías que generan entornos interactivos que combinan lo real y lo virtual a partir de la representación de entornos y elementos digitales. XR incluye el espectro completo del concepto del continuo de virtualidad [4], la cual se considera como una escala continua entre lo que se puede definir como el grado de virtualidad de un entorno interactivo entre el hombre y la máquina. En el continuo de virtualidad, el extremo de lo real contiene las tecnologías de AR, cen-

tradas en mejorar digitalmente el mundo real a partir de la superposición de elementos generados por computadora. La AR permite la interacción del mundo real con elementos virtuales representados como gráficos 2D o 3D, texto, imágenes y medios audiovisuales. Por otro lado, en el extremo de lo virtual se encuentran las tecnologías de VR, que ofrecen experiencias digitales inmersivas mediante la simulación de entornos virtuales capaces de sustituir el mundo real. En un punto intermedio entre las tecnologías anteriormente mencionadas, se encuentran las tecnologías de MR que buscan mezclar lo real con lo virtual, siendo un enfoque de desarrollo híbrido entre la AR y VR.

Las tecnologías XR ofrecen diferentes niveles de visualización, inmersión e interactividad, los cuales dependen del enfoque utilizado para el desarrollo del software, así como de las especificaciones del hardware. En consecuencia, en los últimos años se han realizado varios estudios que exploran estas implicaciones tecnológicas, así como las oportunidades y el potencial desarrollo de aplicaciones de XR en diversos campos, incluyendo la educación [5], [6]. Los planes de estudio para ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM por sus siglas en inglés), por ejemplo, están explorando estas nuevas tecnologías para el aprendizaje y la enseñanza. Uno de los campos que aún no ha sido explorado a profundidad es el de la física, una ciencia básica con una estrecha relación con las matemáticas, especialmente en la formulación de ecuaciones y expresiones que representan los principios y leyes fundamentales del universo. Actualmente en el estado del arte se encuentran varios trabajos relacionados con aplicaciones y herramientas AR y VR para la enseñanza de matemáticas y de física, demostrando que el uso de estas tecnologías tiene un impacto significativo en el aprendizaje. Sin embargo, en la literatura actual no se identifica claramente cuáles son los factores que afectan el aprendizaje de física, donde se ha trabajado poco en el análisis y definición de los aspectos de diseño [7], así como en las causas intrínsecas y extrínsecas que afectan la motivación y el rendimiento académico del estudiante cuando utilizan una herramienta o entorno de aprendizaje sobre tópicos de física [8].

La rama de la física que comúnmente se encuentra dentro de los planes de estudio es la llamada mecánica clásica o mecánica newtoniana, encargada de estudiar el comportamiento de los cuerpos físicos y las fuerzas que se aplican en ellos. Este campo de la ciencia a veces representa todo un reto cuando se trata de enseñar, especialmente cuando es necesario realizar representaciones de los fenómenos y fuerzas presentes en la naturaleza y en el movimiento de cuerpos, los cuales están compuestos por varias abstracciones matemáticas que resultan difíciles de comprender si no están adecuadamente representadas. Esto trae como consecuencia que los estudiantes no aprendan apropiadamente e incluso lleguen a disminuir su motivación y enfoque. Por esta razón, el desarrollo de herramientas de aprendizaje con tecnologías de XR tratan de abordar estos problemas, al ser capaces de mejorar la representación de conceptos y tópicos relacionados con la mecánica, siendo además capaces de ofrecer experiencias interactivas e inmersivas.

B. Aplicaciones de realidad extendida en la web

Otro factor importante considerado durante el progreso de las tecnologías XR, es la capacidad de éstas para adaptarse y

ejecutarse en diversos dispositivos y plataformas, sin la necesidad de generar varias versiones nativas de una aplicación. Para ello, se ha trabajado recientemente en ofrecer tecnologías de XR en conjunto con servicios web, permitiendo el acceso remoto de contenido XR en aplicaciones web híbridas multiplataforma [9], [10]. Bajo este concepto, se pretende que el usuario final tenga la posibilidad de acceder a una plataforma, aplicación o entorno virtual desde el navegador web de diversos dispositivos móviles y de escritorio. Con esta premisa, el desarrollo de entornos de aprendizaje de XR basados en la web podría ofrecer en el futuro contenido de aprendizaje interactivo, a través de tecnologías de computación inmersiva y espacial desde el navegador web del dispositivo de preferencia del estudiante, siendo este capaz de acceder a un entorno de aprendizaje en cualquier momento fuera del aula de clases.

C. Objetivos de la investigación

El objetivo principal de este trabajo es describir el desarrollo de un sistema para el aprendizaje basado en tecnologías de XR llamado FisicARTivo, en donde se hace uso de realidad virtual y realidad aumentada para el aprendizaje de temas de física. La herramienta de aprendizaje llamada fisicARTivo, está diseñada para satisfacer los requerimientos para enseñar de forma dinámica e interactiva diferentes tópicos relacionados con la física, específicamente temas de mecánica newtoniana. FisicARTivo hace uso de interfaces naturales de usuario de XR en conjunto con un sistema de simulación de fenómenos físicos en tiempo real para que los estudiantes visualicen contenido didáctico digital, el cual, proporciona interacción natural con el fin de estimular la motivación durante el proceso de aprendizaje. Se propone que el diseño de una aplicación de XR orientada a la educación debe ser capaz de presentar contenido educativo digital en diferentes plataformas y modalidades, pudiendo adaptarse con distintos niveles de inmersión, representación visual e interactividad.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

El concepto y desarrollo de la tecnología XR es relativamente nuevo, especialmente las implementaciones de ésta en la web, por esta razón se presenta a continuación una serie de trabajos relacionados que han explorado el uso de las tecnologías de AR y VR, con una orientación a la educación en el campo de la física. Varios estudios en esta área se dedican a realizar evaluaciones de impacto en el aprendizaje, la motivación, así como de los fundamentos necesarios para el diseño de aplicaciones y entornos de aprendizaje enfocados a la enseñanza de física.

A. Uso de tecnologías de VR para el aprendizaje de física

Amri and Musawi [11] realizaron un estudio para examinar la efectividad de un entorno de aprendizaje virtual 3D sobre tópicos de física, y su efecto en la motivación de estudiantes de secundaria. Las conclusiones obtenidas a partir de la aplicación del modelo ARCS de Keller para medir motivación indicaron que el uso de VR para la enseñanza de física tiene un impacto positivo en el compromiso de los estudiantes, así como en su rendimiento de aprendizaje y motivación. Dergham et al [12] exploraron las ventajas de aplicar tecnologías de VR en el aprendizaje de cinemática y describen un sistema que ofrece espacios educativos inmersivos en 3D para enseñar fundamentos de fi-

sica. Ellos concluyen que la VR tiene mucho potencial para mejorar la participación, la interacción y la motivación de estudiantes en diferentes niveles de educación. Gargrish et al [2] muestran el uso de entornos de aprendizaje con VR (VRLE por sus siglas en inglés) para la enseñanza de física usando un enfoque ludificado. Ellos desarrollaron el juego “Magnex” para explicar conceptos de magnetismo con el uso de modelos 3D y de un sistema interactivo. En este estudio, se evaluó el aspecto motivacional de los estudiantes a partir del modelo ARCS. Los resultados obtenidos indicaron que la tecnología de VR tiene un impacto positivo en la motivación y en el compromiso de los estudiantes, provocando que estos tuvieran una carga cognitiva menor.

B. Uso de tecnologías de AR para el aprendizaje de física.

Pittman et al [13] presentaron un estudio sobre el potencial de la tecnología AR para impartir clases de física. Desarrollaron la aplicación PhyAR, compuesta de un set de demostraciones para ilustrar los conceptos de la colisión elástica, la ley de Coulomb y circuitos paralelos. Sus resultados indican que los experimentos con AR ofrecen una mejora significativa en el aprendizaje autodidacta de los estudiantes. Abdusselan y Karan [14] investigaron el efecto de material instruccional para enseñar magnetismo usando AR. Desarrollaron MagAR, una aplicación que usa tecnologías de AR con sensores del entorno. Los resultados sugieren que los entornos de aprendizaje en AR son efectivos para enseñar física y facilitan el aprendizaje mediante componentes visuales y textuales. Faridi et al [15] presentan un entorno de aprendizaje basado en AR (ARLE por sus siglas en inglés) diseñado para ayudar a los estudiantes a comprender conceptos relacionados con el campo magnético, ondas electromagnéticas, y las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo. Sus resultados indican que ARLE tiene un impacto positivo en el pensamiento crítico y en la ganancia de aprendizaje de los estudiantes. De la misma forma, la experiencia con AR ayudó a los estudiantes a visualizar los conceptos abstractos de la física, mejorando su comprensión.

III. DISEÑO DE LA APLICACIÓN

En esta sección, se presenta la herramienta de aprendizaje FisicARTivo, una aplicación web que hace uso de tecnologías XR tales como la realidad virtual y la realidad aumentada para la enseñanza de física. Se detalla a continuación una descripción general de la aplicación y el proceso de desarrollo, la arquitectura del software, así como los requerimientos necesarios para su implementación.

A. Descripción general de FisicARTivo

FisicARTivo es una herramienta de aprendizaje de realidad extendida diseñada para enseñar temas sobre mecánica newtoniana (física clásica) a nivel bachillerato y universidad. Hace uso de un sistema de simulación de física en tiempo real junto con un sistema de entornos virtuales interactivos de contenido didáctico que utiliza tecnologías de AR y de VR. FisicARTivo busca proveer a los estudiantes un instrumento alternativo capaz de complementar cursos introductorios de física, específicamente en temas de mecánica newtoniana.

El material presentado en esta herramienta fue diseñado con base en el currículo actual en las normativas de la Secretaría de

Educación Pública (SEP) en México tanto para los niveles académicos de bachillerato y universidad. Específicamente, FisicARTivo cubre los tópicos relacionados a la enseñanza de dinámica y cinemática dividida en dos secciones. La primera sección de temas de cinemática incluye: introducción al concepto de velocidad, el movimiento rectilíneo uniforme, el movimiento uniformemente variado, el movimiento vertical y la caída libre. La segunda sección sobre temas de dinámica incluye: introducción a los conceptos básicos de dinámica (fuerza, masa, gravedad, etc.) y las tres leyes de Newton (ley de la inercia, la ley fundamental de la dinámica, y la ley de acción y reacción). Cada uno de estos subtemas incluyen inducciones a partir de demostraciones animadas, así como actividades y ejercicios.

B. Requerimientos y características del sistema

A continuación, se especifican los requerimientos para el desarrollo de FisicARTivo. Al ser una herramienta de aprendizaje XR en la web, FisicARTivo requiere de ciertas características y funcionalidades para presentar apropiadamente actividades de mecánica newtoniana con simulación de fenómenos físicos, y que éstas sean ejecutables desde dispositivos móviles y/o de escritorio compatibles con tecnologías XR (AR y VR), desde una aplicación web.

Los requisitos funcionales y de calidad se definieron usando la técnica lluvia de ideas para el diseño de software, así como de desarrollo de aplicaciones WebXR orientadas en la educación [16], [17], en conjunto con maestros y estudiantes que realizan actividades académicas de física. Se siguió un diseño basado en el usuario (*User-Centered Design*) para aplicaciones XR, compuesto por un proceso de cuatro fases:

- Planeación: analizar el contexto de uso objetivo, incluidos los usuarios, metas, las tareas y los escenarios para determinar si está justificado sumergir a los usuarios en realidad extendida.
- Diseño: derivar los requisitos de uso para determinar qué tipo de inmersión es la más adecuada, ya que los sistemas y plataformas VR y AR ofrecen experiencias diferentes. Aspectos relacionados con la interactividad, presentación y navegación son diseñados de acuerdo con el contexto requerido.
- Prototipado: se desarrollan y prueban prototipos que cumplan con las características y especificaciones requeridas para el funcionamiento de la aplicación.
- Revisión: realizar evaluaciones sobre las soluciones propuestas para determinar las percepciones de los usuarios al interactuar y navegar sobre una aplicación XR. Esto es un proceso iterativo, y en caso de que se requiera el proceso de diseño regresa a las tres etapas anteriores.

Además, el diseño de FisicARTivo siguió una estrategia de diseño centrada en el compromiso (*Engagement design strategy*) [17], donde el propósito del sistema diseñado es utilizar la visualización, la interactividad y las capacidades de inmersión de las tecnologías XR para mantener a los usuarios comprometidos en una serie de actividades, brindando un efecto resultante en la novedad percibida, la motivación y el interés durante la presentación del contenido educativo.

Bajo esta prospección, se presentaron diversos conceptos fundamentales necesarios para la creación de herramientas de aprendizaje orientados en la interactividad, la experiencia del usuario, así como de la fomentación de la motivación durante el proceso de aprendizaje. Dichos conceptos se vieron reflejados en la definición de los requerimientos funcionales y de calidad, tal como se muestran en la Tabla I.

TABLA I. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES Y DE CALIDAD

Requisito	título	Descripción
RF-01	Autenticación	La herramienta de aprendizaje debe de contar con un sistema de registro e ingreso de usuario desde la web.
RF-02	Sistema de simulación de física	La herramienta de aprendizaje debe de presentar escenarios gráficos 3D interactivos con un sistema de simulación de física.
RF-03	Contenido interactivo de física	La herramienta de aprendizaje debe de contar con una serie de ejercicios interactivos para la enseñanza de física (mecánica newtoniana).
RF-04	Registro (log) de uso y progreso del usuario	La herramienta de aprendizaje debe de contar con un registro (log) de uso y del progreso de cada uno de los usuarios.
RF-05	Acceso a cámara y sensores	La herramienta debe detectar y usar la cámara y sensores de cualquier dispositivo XR compatible para realizar tareas de mapeo y localización.
RQ-01	Compatibilidad	La herramienta de aprendizaje debe de ser soportada en dispositivos móviles y de escritorio compatibles con WebXR API (requieren acceso a la web).
RQ-02	Presentación de contenido adaptativo	Los entornos interactivos dentro de la herramienta deben de adaptar el contenido de acuerdo con el tipo de dispositivo que ejecuta la aplicación (dispositivos móviles o de escritorio) así como la modalidad XR necesaria (realidad aumentada o realidad virtual).
RQ-03	Interfaz GUI sencilla de usar	La GUI debe de presentar elementos fáciles de identificar, basándose en botones e interruptores con funcionalidad clara.
RQ-04	Interacción natural	La interacción entre el usuario y el sistema debe efectuarse con gestos y movimientos cómodos y familiares para el usuario.
RQ-05	Retroalimentación	La aplicación debe mostrar movimientos y animaciones suaves, y ejecutarse mínimamente a 30 fotogramas por segundo.
RQ-06	Seguridad de datos	Los datos de la cuenta de usuario deben de estar seguros dentro de un repositorio en la web.
RQ-07	Tiempo de respuesta	Acciones como el acceso y la carga de escenarios interactivos deben de tener periodos cortos de espera.

C. Casos de uso

Las actividades particulares que realizan los usuarios en FisicARTivo se muestran en la Fig. 1, donde se exhibe la funcionalidad de la herramienta de aprendizaje, así como las tres actividades principales que el usuario realiza durante una sesión. Estas actividades están relacionadas con las interacciones en los entornos virtuales presentados, y de otras acciones necesarias para el progreso en el contenido didáctico, compuesto de demostraciones y ejercicios que hacen uso del sistema de simulación de física.

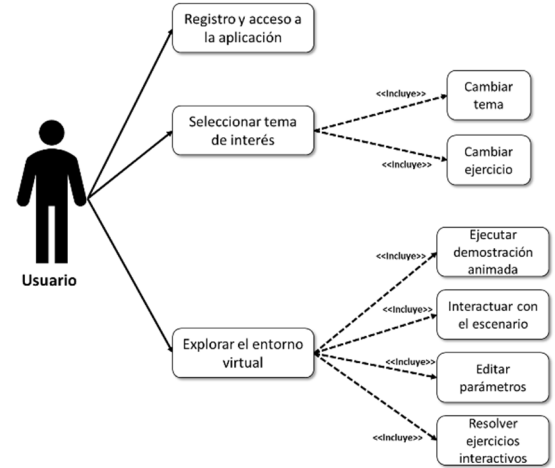


Fig. 1. diagrama de casos de uso general.

D. Arquitectura de la aplicación

Al ser una aplicación web, el diseño del sistema está basado en el patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC). El diagrama de la arquitectura del sistema (ver Fig. 2) muestra los módulos y controladores necesarios para su funcionamiento.

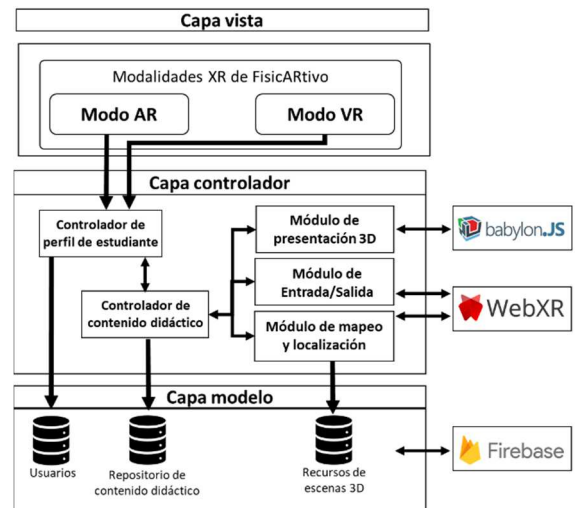


Fig. 2. Arquitectura de la herramienta de aprendizaje FisicARTivo.

La llamada capa controlador del sistema está compuesta de dos componentes controladores y tres módulos. El controlador de perfil del estudiante, gestiona las actividades que realiza el estudiante, el proceso de creación de cuenta de usuario y el registro de la actividad durante una sesión activa. El controlador

de contenido didáctico, por otra parte, gestiona los recursos necesarios para la presentación de los entornos interactivos de FisicARTivo. Además, la capa controladora presenta tres módulos que encapsulan la funcionalidad necesaria del sistema: el módulo de presentación 3D, que implementa el motor gráfico Babylon JS y de la API WebGL para el renderizado de los gráficos 3D y de las funciones necesarias para las simulaciones de física; el módulo de entrada/salida es responsable de la detección y manejo de dispositivos y periféricos compatibles con aplicaciones XR; y el módulo de mapeo y localización, encargado de proveer al sistema capacidades de reconocimiento del entorno y de la ubicación del usuario. Este módulo hace uso de sensores y cámaras que hayan sido detectadas por el sistema, y ofrece funcionalidades de localización y mapeo simultaneo (SLAM por sus siglas en inglés), esenciales para implementaciones de AR sin marcadores.

E. Tecnologías usadas para el desarrollo de la aplicación.

FisicARTivo se desarrolló a partir del motor gráfico Babylon.js 4.2 [18] y JavaScript como lenguaje de programación. Se hace uso de la librería React.js para el desarrollo de la herramienta de aprendizaje como aplicación web, y de la librería Material UI como *framework* para el desarrollo de la interfaz gráfica de usuario [19]. En conjunto con Babylon.js, se usa la librería Cannon.js [20] para el desarrollo del sistema de simulación de física en tiempo real. Además, se implementa la API WebXR [21] para proveer a FisicARTivo capacidades de E/S necesarias para la detección y utilización de periféricos y dispositivos compatibles con realidad extendida.

Los recursos necesarios para la presentación de entornos virtuales 3D fueron hechos en Blender 3.0 [22] y se eligió a Google Firebase como API de servicios de almacenamiento y de autenticación de usuarios [23]. Aspectos tales como la compatibilidad y la integración final del sistema se mencionan en la siguiente sección.

IV. RESULTADO FINAL DE LA APLICACIÓN

A. Flujo del usuario

Esta sección muestra el proceso que siguen los estudiantes para interactuar con FisicARTivo en la Fig. 3. Es requisito que los estudiantes se registren en la aplicación para tener acceso. Una vez que estos superen la fase de autenticación, el sistema muestra un menú de temas y subtemas de física. Al momento de seleccionar una de las temáticas presentadas, el sistema procede a verificar la compatibilidad del dispositivo usado, con el fin de ejecutar FisicARTivo en la modalidad XR apropiada (modo AR y modo VR), de acuerdo con las características del hardware detectado.

Cuando se inicializa el modo XR indicado, el sistema arranca el renderizado del entorno interactivo 3D, permitiendo la presentación de lecturas y ejercicios del tema en un entorno virtual. A partir de este punto, el alumno puede empezar a interactuar con FisicARTivo por medio de la interfaz gráfica del sistema (por ejemplo, botones e interruptores), y mediante las interfaces de interactividad natural disponibles (por ejemplo, gestos desde una pantalla táctil) que ofrecen capacidades de interacción directa con el entorno virtual y los elementos 3D presen-

tados. Cabe mencionar que el sistema de forma automática registra el proceso y la duración de la sesión del estudiante cada vez que este interactúa con una lectura o con un ejercicio.

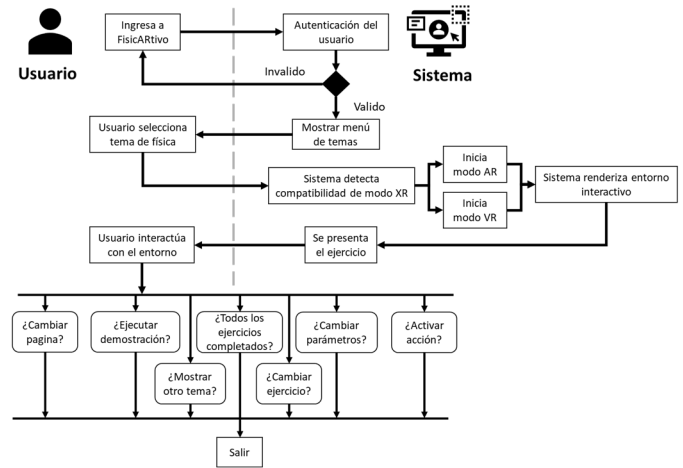


Fig. 3. Diagrama del proceso que sigue el usuario desde que inicia la aplicación y durante sus actividades.

B. Compatibilidad de la aplicación.

FisicARTivo es una aplicación web multiplataforma desarrollada en conjunto con la API WebXR, que permite ofrecer experiencias de realidad extendida en la web con capacidades adaptativas en función del dispositivo y/o plataforma en la que se pretende ejecutar la herramienta de aprendizaje. WebXR tiene la función de identificar y usar hardware de realidad extendida (casos de VR o un móvil para AR, por ejemplo) y proporciona capacidades de gestión del proceso del renderizado de perspectivas (campo de visión del usuario) necesarias para simular la experiencia 3D, así como la habilidad de mapear y reconocer el movimiento del dispositivo, suministrando los datos de entrada y de salida necesarios para la retroalimentación e interacción del usuario con el entorno virtual.

Gracias a esta API experimental, se pueden identificar y usar las cámaras y sensores giroscopios de un dispositivo móvil que accede a FisicARTivo, permitiendo, por ejemplo, proveer a los estudiantes de un entorno de realidad aumentada en donde pueden experimentar con elementos superpuestos sobre el mundo real. En el caso de que se utilice un dispositivo de escritorio, entonces FisicARTivo presenta el contenido interactivo en un entorno virtual 3D, en donde los estudiantes pueden interactuar con el entorno en modalidad de realidad virtual si se encuentra conectado un periférico de VR en la PC, o interactuar directamente con interfaces como el teclado y el ratón desde su monitor.

FisicARTivo es compatible desde 2019 con las versiones de escritorio de los navegadores web Google Chrome 79, Microsoft Edge 79 y Opera 66 en adelante. Mientras que en dispositivos móviles hay compatibilidad con los navegadores Chrome Android 79, Opera Android 57 y Samsung Internet 11.2 y posteriores. La Tabla II muestra una comparativa de los dispositivos compatibles de acuerdo con la modalidad de entorno virtual que FisicARTivo puede llegar a presentar.

TABLA II. MODOS DE PRESENTACIÓN DE FISCARTIVO

	Dispositivos compatibles	Plataformas compatibles
Modo VR	Compatible con dispositivos de VR (casco, controles, etc.) y periféricos de PC convencionales (teclado y ratón).	Windows, Linux, Mac OS.
Modo AR	Compatible con dispositivos con capacidades de AR (requiere acceso de cámaras y sensores).	Android (Requiere tener instalado AR-Core 10 en adelante).

C. Interfaces y presentación de la aplicación.

Los elementos principales de la interfaz gráfica del usuario se presentan en la Fig. 4. La GUI de FisicARTivo está compuesta por menús y ventanas flotantes, las cuales incluyen botones, interruptores y elementos deslizables necesarios para editar y ejecutar funcionalidad dentro del entorno virtual. FisicARTivo presenta por lo general el gizmo de interacción como elemento principal para interactuar directamente con los elementos en pantalla. Este elemento se acopla a un objeto dentro del entorno virtual, cuando se selecciona con un clic o al presionar un botón o pantalla táctil. El gizmo de interacción permite realizar acciones como agarrar, soltar, mover, rotar, editar el tamaño del objeto, etc. y se presenta tanto en el modo AR como en el modo VR.

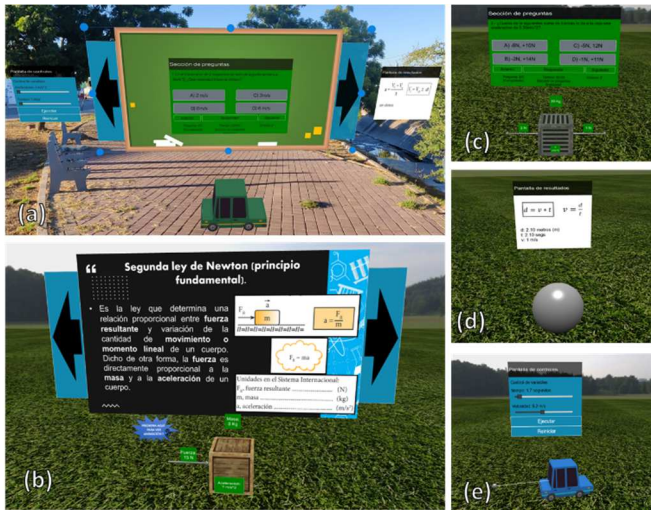


Fig. 4. (a) Interfaz gráfica de FisicARTivo en modo AR, (b) Interfaz gráfica de FisicARTivo en modo VR., (c) elementos de interfaz para realizar ejercicios, (d) ventana flotante para mostrar resultados del simulador, (e) elemento de la interfaz para modificación de parámetros.

FisicARTivo en su interfaz gráfica presenta una serie de ventanas flotantes que sirven para la navegación del contenido, la modificación de los parámetros y propiedades del entorno o de un objeto, así como para mostrar información y resultados al realizar una simulación de física. Además, en tiempo real se visualizan datos como la masa, velocidad, aceleración, etc., junto con sus respectivas expresiones matemáticas, mostrándole al estudiante de qué forma estas fueron calculadas. Cuando se realizan ejercicios dentro de FisicARTivo, el sistema despliega una ventana flotante con una serie de elementos necesarios para responder una sección de preguntas. Una ventana de preguntas está compuesta generalmente de botones, contadores de tiempo y

errores, así como de otros elementos necesarios para resolver ejercicios usando el sistema de simulación de física.

FisicARTivo al ser una herramienta de aprendizaje en XR, debe de tener la capacidad de adaptar la presentación de contenido de acuerdo con las características del dispositivo y/o plataforma. Para ello, en su diseño se consideró el desarrollo de dos modos de presentación de los entornos interactivos: el primero es el modo AR de la herramienta de aprendizaje que ofrece una presentación e interacción del contenido en realidad aumentada. Generalmente esta modalidad se activa cuando se accede a la aplicación desde un dispositivo móvil. En modo AR, se usan los sensores giroscópicos y la cámara del dispositivo para generar elementos virtuales superpuestos sobre el mundo real, haciendo que los estudiantes interactúen con la herramienta a través de la pantalla táctil del móvil, permitiendo, por ejemplo, que estos puedan agarrar, mover y soltar los objetos virtuales en pantalla a partir de gestos con sus manos. El segundo caso es el modo VR, la herramienta presenta un entorno virtual interactivo 3D, al cual se puede acceder por medio de una computadora de escritorio con periféricos de entrada comunes (teclado y ratón), permitiendo que el usuario interactúe desde una pantalla convencional, o bien, ofrecer una experiencia inmersiva a partir de dispositivos y periféricos de realidad virtual con capacidades de inmersión como los cascos de VR.

D. Evaluaciones preliminares con estudiantes

Se realizó una evaluación preliminar del efecto en el aprendizaje de las actividades de dinámica y cinemática presentes en FisicARTivo, con 24 estudiantes de una universidad ubicada en Culiacán, Sinaloa, México. Con el fin de efectuar un análisis comparativo entre los diferentes enfoques de XR en la herramienta de aprendizaje, se crearon dos grupos experimentales: el grupo AR que utiliza el modo AR de FisicARTivo y grupo VR realiza sus actividades en el modo VR. Los participantes se asignaron de manera aleatoria, pero tomando en consideración los dispositivos de AR y/o VR a los que tenían acceso.

El proceso de evaluación se realizó en 3 pasos con una semana de separación entre ellos. En el primer paso se realizó una evaluación pre-test (20 minutos) para determinar el conocimiento previo de los estudiantes. En el segundo paso, se realizó la intervención con la herramienta FisicARTivo, la cual estaba compuesta de un pequeño tutorial (10 minutos) y de la sesión de actividades en AR o en VR de dinámica y cinemática (30 minutos) de acuerdo con el grupo experimental. Para finalizar, el tercer paso consistió en una evaluación post-test (20 minutos).

Para confirmar que la muestra tiene una distribución normal, se realizó una prueba de Shapiro-Wilk a los resultados obtenidos en la evaluación pre-test de ambos grupos experimentales (ver Fig. 5). Cuando se requiere hacer pruebas de normalidad, varios estudios han demostrado que Shapiro-Wilk tiene un mejor rendimiento en la mayoría de las situaciones [24], siendo recomendado para usarse en análisis de muestras pequeñas ($N < 50$). En casos cuando el tamaño de la muestra es muy grande ($N > 2000$), este tipo de pruebas se vuelven muy sensibles, siendo el caso en donde se sugiere hacer inspecciones visuales en histogramas o gráficas Q-Q.

Los resultados de la condición de AR ($N=12$, $w=0.343$, $M=6.75$, $SD=2.301$) y de la condición de VR ($N=12$, $w=0.660$,

M=6,18, SD=2.275) demuestran que la normalidad se satisface. Además, a partir de los resultados de una prueba t para muestras independientes ($t(24)=0.357$, $p=0.725$) se confirma que el nivel de conocimientos previos de los participantes para ambos grupos es similar.

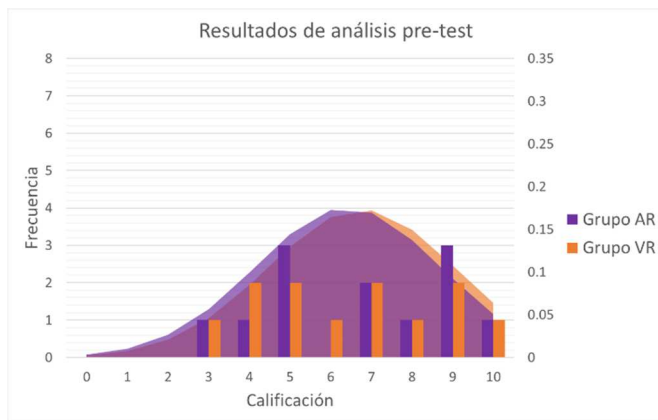


Fig. 5. Resultados de análisis pre-test.

Posteriormente, se realizó una prueba t para analizar los resultados post-test de los estudiantes (ver Fig. 6), con la finalidad de comparar el impacto de FísicARTivo en su aprendizaje tanto del grupo AR (M=8.42, SD=1.311) y el grupo VR (M=7.921, SD=1.621). los resultados obtenidos ($p=0.415$, $t=0.831$) indican que no existe una diferencia entre ambos grupos experimentales, implicando que ambos grupos tuvieron un desarrollo similar en su aprendizaje de física con la herramienta de aprendizaje.

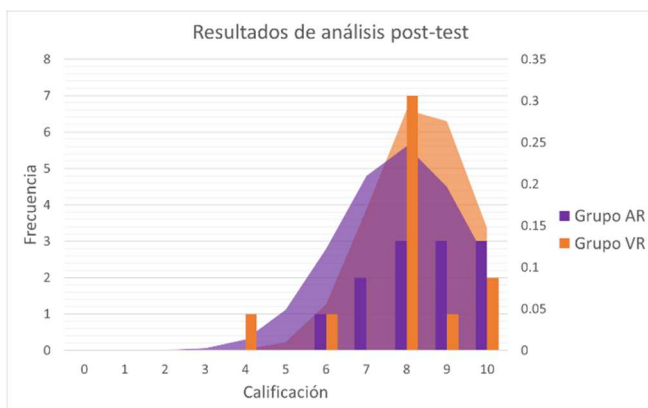


Fig. 6. Resultados de análisis post-test.

V. CONCLUSIÓN

Actualmente hay una demanda por ofrecer herramientas de aprendizaje digitales a través de la web como alternativa para dar clases. Por esa razón se presenta la implementación de una herramienta de aprendizaje que permite la adquisición de conocimientos mediante enfoques interactivos basados en el uso de tecnologías XR. En este artículo se explora la adquisición de conocimientos relacionados con temas de física newtoniana a través de una herramienta llamada FísicARTivo, que ofrece a los estudiantes la capacidad de interactuar con elementos virtuales que simulan el comportamiento de fenómenos físicos de la na-

turalidad, con la finalidad de mejorar sus capacidades de abstracción y comprensión de temas relacionados con la dinámica y cinemática. FísicARTivo ofrece una forma de aprender mucho más dinámica e interactiva en comparación con metodologías de enseñanza más tradicionales. Además, es capaz de mostrar nuevas formas de presentación de contenido didáctico, con la posibilidad de observar, analizar y experimentar con un sistema de simulación de física desde un entorno interactivo virtual.

Esta herramienta de aprendizaje se encuentra en una etapa beta de pruebas con estudiantes de nivel bachillerato y universidad como demografías de usuario final, en donde se pueden presentar cambios potenciales en su lanzamiento oficial. Se espera que en el futuro se hagan pruebas de la aceptación tecnológica de los estudiantes respecto al uso de enfoques basados en XR en la web con una orientación en la educación. Es importante mencionar que FísicARTivo tiene como propósito ofrecer una herramienta de aprendizaje suplementaria, y que no intenta sustituir ninguna otra metodología de enseñanza. Además, para el desarrollo de este software se tomó como base el material didáctico oficial en las escuelas mexicanas de acuerdo con la SEP.

REFERENCIAS

- [1] M. B. Ibáñez and C. Delgado-Kloos, "Augmented reality for STEM learning: A systematic review," *Comput. Educ.*, vol. 123, pp. 109–123, 2018, doi: 10.1016/j.compedu.2018.05.002.
- [2] S. Gargish, A. Mantri, G. Singh, and Harun, "Measuring Students' Motivation towards Virtual Reality Game-Like Learning Environments," *Indo - Taiwan 2nd Int. Conf. Comput. Anal. Networks, Indo-Taiwan ICAN 2020 - Proc.*, pp. 164–169, 2020, doi: 10.1109/Indo-TaiwanICAN48429.2020.9181362.
- [3] S. Kavanagh, A. Luxton-Reilly, B. Wuensche, and B. Plimmer, "A Systematic Review of Virtual Reality in Education," *Themes Sci. Technol. Educ.*, vol. 10, no. 2, pp. 85–119, 2017.
- [4] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino, "Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum," in *Telemanipulator and telepresence technologies*, 1995, vol. 2351, pp. 282–292.
- [5] J. G. Tromp, D.-N. Le, and C. Van Le, *Emerging Extended Reality Technologies for Industry 4.0: Early Experiences with Conception, Design, Implementation, Evaluation and Deployment*. John Wiley & Sons, 2020.
- [6] A. Çöltekin *et al.*, "Extended reality in spatial sciences: A review of research challenges and future directions," *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 9, no. 7, 2020, doi: 10.3390/ijgi9070439.
- [7] M. Fidan and M. Tuncel, "Integrating augmented reality into problem based learning: The effects on learning achievement and attitude in physics education," *Comput. Educ.*, vol. 142, no. July, p. 103635, 2019, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103635.
- [8] A. M. Afjar, Musri, and M. Syukri, "Attention, relevance, confidence, satisfaction (ARCS) model on students' motivation and learning outcomes in learning physics," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1460, no. 1, p. 12119, doi: 10.1088/1742-6596/1460/1/012119.

- [9] X. Qiao, P. Ren, S. Dustdar, L. Liu, H. Ma, and J. Chen, "Web AR: A Promising Future for Mobile Augmented Reality-State of the Art, Challenges, and Insights," *Proc. IEEE*, vol. 107, no. 4, pp. 651–666, 2019, doi: 10.1109/JPROC.2019.2895105.
- [10] Š. Korečko, M. Hudák, B. Sobota, M. Sivý, M. Pleva, and W. Steingartner, "Experimental performance evaluation of enhanced user interaction components for web-based collaborative extended reality," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 9, 2021, doi: 10.3390/app11093811.
- [11] A. Al-Amri, M. Osman, and A. Al Musawi, "The effectiveness of a 3D-virtual reality learning environment (3D-VRLE) on the omani eighth grade students' achievement and motivation towards physics learning," *Int. J. Emerg. Technol. Learn.*, vol. 15, no. 5, pp. 4–16, 2020, doi: 10.3991/IJET.V15I05.11890.
- [12] M. Dergham and A. Gilányi, "Application of Virtual Reality in Kinematics Education," in *2019 10th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, 2019, pp. 107–112, doi: 10.1109/CogInfoCom47531.2019.9089971.
- [13] C. Pittman and J. J. L. V. Jr, "PhyAR: Determining the Utility of Augmented Reality for Physics Education in the Classroom," *Proc. - 2020 IEEE Conf. Virtual Real. 3D User Interfaces, VRW 2020*, pp. 761–762, 2020, doi: 10.1109/VRW50115.2020.00231.
- [14] M. S. Abdusselam and H. Karal, "The effect of using augmented reality and sensing technology to teach magnetism in high school physics," *Technol. Pedagog. Educ.*, vol. 29, no. 4, pp. 407–424, 2020, doi: 10.1080/1475939X.2020.1766550.
- [15] H. Faridi, N. Tuli, A. Mantri, G. Singh, and S. Gargrish, "A framework utilizing augmented reality to improve critical thinking ability and learning gain of the students in Physics," *Comput. Appl. Eng. Educ.*, vol. 29, no. 1, pp. 258–273, 2021, doi: <https://doi.org/10.1002/cae.22342>.
- [16] K. Yang, X. Zhou, and I. Radu, "XR-Ed Framework: Designing Instruction-driven andLearner-centered Extended Reality Systems for Education," 2020, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2010.13779>.
- [17] J. Flotyński, "Extended Reality Environments," *Knowledge-Based Explor. Ext. Real. Environ.*, pp. 11–28, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-59965-2_2.
- [18] D. Catuhe, M. Rousseau, P. Lagarde, and D. Rousset, "Babylon.js a 3D engine based on webgl and javascript." 2014, [Online]. Available: <https://www.babylonjs.com/>.
- [19] A. Boduch, *React Material-UI Cookbook: Build captivating user experiences using React and Material-UI*. Packt Publishing Ltd, 2019.
- [20] Stefan Hedman, "Cannon.js," 2021. <http://www.cannonjs.org/> (accessed Feb. 07, 2022).
- [21] B. MacIntyre and T. F. Smith, "Thoughts on the Future of WebXR and the Immersive Web," in *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, 2018, pp. 338–342, doi: 10.1109/ISMAR-Adjunct.2018.00099.
- [22] G. Moiola, "Introducing Blender 3.0," in *Introduction to Blender 3.0*, Springer, 2022, pp. 1–63.
- [23] L. Moroney, "The firebase realtime database," in *The Definitive Guide to Firebase*, Springer, 2017, pp. 51–71.
- [24] B. W. Yap and C. H. Sim, "Comparisons of various types of normality tests," *J. Stat. Comput. Simul.*, vol. 81, no. 12, pp. 2141–2155, Dec. 2011, doi: 10.1080/00949655.2010.520163.