



Diseño e implementación de un simulador basado en realidad aumentada móvil para la enseñanza de la física en la educación superior

Design and implementation of a mobile augmented reality simulator for physics teaching in higher education

 Francisco Aguilar Acevedo¹; aguilar.afco@sandunga.unistmo.edu.mx

 Jesús Alberto Flores Cruz²; jafloresc@ipn.mx

Cesar Adrián Hernández Aguilar¹; cesar_hdez@sandunga.unistmo.edu.mx

 Daniel Pacheco Bautista¹; dpachecob@bianni.unistmo.edu.mx

Resumen

Los beneficios atribuidos a la realidad aumentada (RA) en la enseñanza de diferentes campos del conocimiento, han propiciado la intersección de modalidades y métodos de enseñanza-aprendizaje que buscan potencializar las fortalezas de dicha tecnología aplicada en la educación. Uno de estos enfoques, entrelaza a la realidad aumentada con el aprendizaje móvil y actividades de aprendizaje basadas en simulación. No obstante, el cómo desarrollar estas aplicaciones a fin de que permitan proporcionar una experiencia de aprendizaje, es una línea que continúa construyéndose. En este artículo se presentan las fases de desarrollo de un simulador en realidad aumentada móvil, cuya formulación parte de la experiencia de un grupo de estudiantes al usar un simulador web. Además, se presentan los resultados de la evaluación de la calidad de los objetos de realidad aumentada, obteniendo una valoración positiva en los aspectos técnicos, de utilización y guía, lo que sugiere una integración adecuada de tecnología de realidad aumentada con los aspectos pedagógicos considerados en el diseño de la aplicación.

Palabras clave: Simulador, Realidad Aumentada Móvil, Enseñanza de la Física, Ingeniería de Software.

Abstract

The benefits attributed to augmented reality (AR) in the teaching of different fields of knowledge have led to the intersection of teaching and learning modalities and methods that seek to enhance the strengths of this technology applied to education. One of the approaches intertwines augmented reality with mobile learning and simulation-based learning activities. However, how to develop these applications in order to provide a learning experience is a line that continues to be built. In this article presents the development phases of a mobile augmented reality simulator, whose formulation is based on the experience of a student group using a web simulator. In addition, evaluation results of quality augmented reality objects are presented, obtaining a positive assessment in the technical aspects, use and guide, which suggests an adequate integration of augmented reality technology with the pedagogical aspects considered in the application design.

Keywords: Simulator, Mobile Augmented Reality, Physics Teaching, Software Engineering.

¹ Universidad del Istmo (México)

² Instituto Politécnico Nacional (México)



1. INTRODUCCIÓN

En Física, a menudo se usa más de un formato representativo para transmitir información y apoyar la construcción del conocimiento (Opfermann et al., 2017). De esta forma, en la enseñanza y aprendizaje de la Física se requiere que los estudiantes usen y se “muevan” entre diferentes tipos de representaciones externas, como pueden ser experimentos reales, diagramas conceptuales, simulaciones por computadora, ecuaciones matemáticas, tablas o gráficas (Kind et al., 2017). Al respecto Handhika et al. (2016) señalan la importancia que tiene la consistencia de símbolos (visuales y matemáticos) en los recursos de enseñanza y aprendizaje de la Física, para superar una concepción incorrecta. Una manifestación clara de estas dificultades conceptuales, es el origen y persistencia de ideas alternativas que tiene el estudiante sobre el concepto de fuerza (Mora y Benítez, 2007), dificultades que para Hubber et al. (2010) son de naturaleza fundamentalmente representativa, lo que sugieren que el uso de diversas representaciones puede ayudar a los estudiantes a resolver problemas y comprender los conceptos de física (Umrotul et al., 2022).

En este sentido, Kapp et al. (2020) señalan que los entornos de aprendizaje que se apoyan en la tecnología pueden contener múltiples fuentes de información, mientras Flores et al. (2014), afirman que por más detalles que contengan los esquemas en 2D (dos dimensiones), estos no ofrecerán la misma cantidad de información que un modelo en 3D (tres dimensiones) creado por computadora. Así, en años recientes, gran parte de las investigaciones sobre la incorporación de tecnologías para la enseñanza y el aprendizaje se han enfocado en tecnologías virtuales, que permiten la exposición de ideas abstractas mediante el uso de modelos en 3D con los que se puede interactuar (Martín-Gutiérrez et al., 2017; Ibáñez et al., 2017; Mystakidis et al., 2021; Faridi et al., 2021). Dentro de estas tecnologías, destaca la llamada Realidad Aumentada (RA), particularmente por su facilidad de uso, su bajo costo y el alcance que tiene por la masificación de dispositivos móviles entre los estudiantes. Para Billinghamurst y Dünser (2012) la interactividad adicional y la representación visual que ofrece la realidad aumentada puede ser más eficaz en la enseñanza de temas con un fuerte componente espacial, lo que la convierte en una alternativa tecnológica para visualizar conceptos difíciles de relacionar con experiencias del mundo real, al permitir entender conceptos abstractos y mejorar el sentido de la realidad (Özdemir, 2017; Liono et al., 2021; Yilmaz, 2021). Lo anterior, favorece el uso de la realidad aumentada en la enseñanza de ciencias como la Física, en donde con frecuencia es necesario que los estudiantes construyan modelos mentales (representaciones internas) que deben incluir abstracciones, y factores invisibles para los cuales no tienen referencias reales (Ibáñez et al., 2014).

Sobre la forma en cómo se manifiesta, la realidad aumentada puede conformarse de elementos estáticos 3D, animaciones 3D, simuladores 3D, video y/o multimedia (Afandi et al., 2019). Para su representación actualmente se utilizan diversos dispositivos tecnológicos, incluidos dispositivos móviles, como tabletas y celulares, y sistemas en forma de gafas como google glass o cascos (helmet) como LiveMap. En este sentido, el aumento en el uso y prestaciones de los dispositivos móviles ha derivado en un mayor interés por integrar el aprendizaje móvil (m-learning) y la realidad aumentada, bajo la llamada realidad aumentada móvil (MAR, *Mobile Augmented Reality*). Más aún, la forma en cómo se presenta y la tecnología que se usa, ha dado lugar a líneas de trabajo sobre el cómo desarrollar simuladores en realidad aumentada para dispositivos móviles con propósitos de enseñanza de la Física (Abu-Bakar et al., 2018; Fidan y

Tuncel, 2019; Morales et al., 2019; Ropawandi et al., 2022), en busca de potencializar los beneficios de la realidad aumentada, bajo los preceptos del aprendizaje móvil y el desarrollo de actividades de aprendizaje basadas en la simulación, aludiendo al nivel de interacción (estudiantes-objetos) que presentan las simulaciones en entornos virtuales tridimensionales (Dalgarno y Lee, 2010).

No obstante, la diversidad de estudios alrededor de las posibilidades del uso de la realidad aumentada en la enseñanza de las ciencias, existen señalamientos sobre la necesidad de seguir realizando investigaciones para desarrollar aplicaciones de realidad aumentada que puedan incorporarse a situaciones de enseñanza (Cabero y Barroso, 2016; Villalustre et al., 2017; Liono et al., 2021; Laurens-Arredondo, 2022). En este sentido, se señala que los contextos inmersivos y realistas que ofrecen los entornos de realidad aumentada “bien diseñados” contribuyen al desarrollo de habilidades cognitivas y a la transferencia de conocimientos a entornos de la vida real (Fidan y Tuncel, 2019), remarcando el éxito de este tipo de aplicaciones cuando se diseñan específicamente para satisfacer las necesidades y preferencias de los usuarios de un contexto educativo particular (Garzón, 2021), lo que apunta a que, el hacer al software de realidad aumentada más estable y más fácil de usar, promoverá la accesibilidad cognitiva (Cai et al., 2014).

En este artículo se presenta el diseño y desarrollo de un simulador en realidad aumentada para dispositivos móviles con el propósito de apoyar la enseñanza de las leyes de Newton. La metodología propuesta para el desarrollo del simulador vincula los resultados de la experiencia de un grupo de estudiantes universitarios al usar un simulador web, con un método para el desarrollo de prototipos de software. Finalmente se presentan los resultados de la evaluación de la calidad de los objetos de realidad aumentada, realizada por parte de otro grupo de estudiantes universitarios quienes hicieron uso de las simulaciones en realidad aumentada móvil desarrolladas.

2. MÉTODO

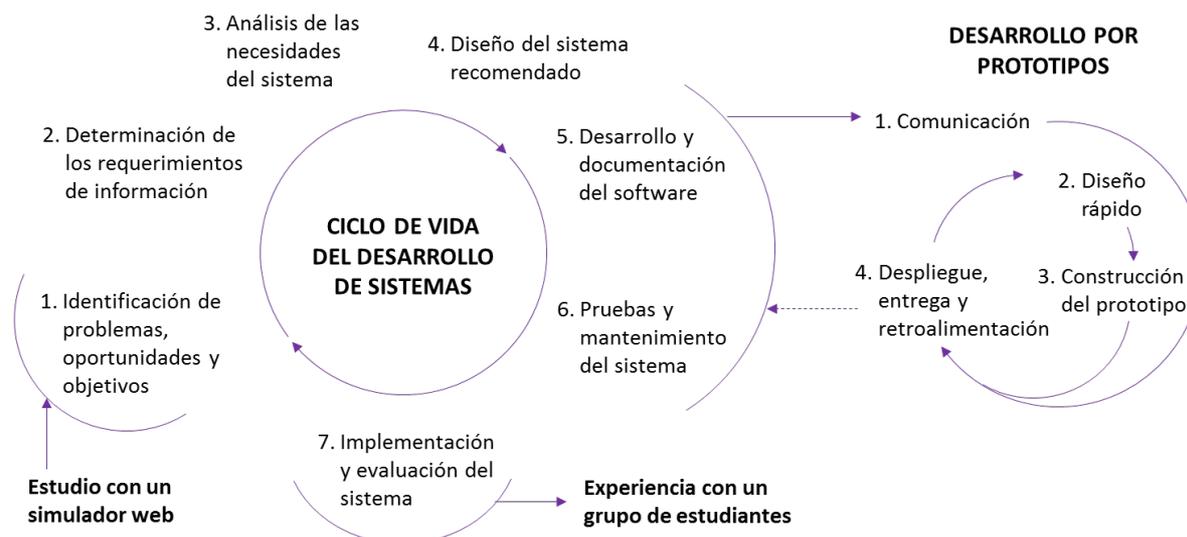
El diseño e implementación del simulador en realidad aumentada móvil se enmarcó en las siete fases del ciclo de desarrollo de sistemas señaladas por Kendall y Kendall (2011), considerando para las fases de desarrollo y prueba, el método de prototipos descrito por Pressman (2010). En la Figura 1 se muestra la relación entre las fases de la metodología y el método señalado. Como se observa, la primera fase del ciclo de vida del sistema se realizó a través de un estudio cuasi-experimental con un simulador web, mientras que la fase de implementación y evaluación se centró en una experiencia con un grupo de estudiantes que hizo uso del simulador en realidad aumentada móvil.

Para la identificación de problemas y oportunidades se realizó un estudio de diseño cuasi-experimental del tipo antes-después con 11 estudiantes (54% mujeres y 46% hombres), quienes recibieron cinco sesiones de clases virtuales (de una hora) para la instrucción de las leyes de Newton apoyada de dos simulaciones PhET (*Physics Education Technology*) denominadas “Fuerza y Movimiento” y “Rampa: Fuerzas y movimiento” y disponibles a través del portal web <https://phet.colorado.edu/>, que permitieron ilustrar los contenidos y realizar

experimentos relacionados con las leyes de Newton. De la población muestra, el 82% de los estudiantes cursaron alguna asignatura de física en el nivel bachillerato.

Figura 1

Metodología y métodos para el desarrollo del simulador. Fuente: adaptado de Cantón et al. (2017)



Se hizo uso del Inventario del Concepto de Fuerza (FCI) de Hestenes et al. (1992), usado con frecuencia para evaluar el aprendizaje conceptual en cursos introductorios a la Física (Fazio y Battaglia, 2019). En el análisis de los datos, se consideró la identificación realizada por Caballero et al. (2012) que relaciona las leyes Newton con 19 de las 30 preguntas del FCI, categorizando estas en tres subconjuntos de 7, 7 y 5 preguntas, etiquetados en este estudio como $N1=\{6,7,8,10,12,21,23\}$, $N2=\{3,9,22,24,25,26,27\}$ y $N3=\{4,5,15,16,28\}$. El instrumento FCI fue administrado de manera previa y posterior a la instrucción, haciendo uso de la diferencia en el desempeño como medio para identificar el efecto de la instrucción apoyada por los simuladores web.

Analizando el promedio de respuestas correctas de cada ítem del FCI, el 68% (13/19) de los ítems mostraron variaciones positivas en el desempeño, el 16% (3/19) no mostró cambios {12, 9, 25}, y el 16% (3/19) manifestó diferencias negativas {8, 21, 24}. En el caso de los ítems 8 y 21, estos se relacionan con la trayectoria de un objeto bajo la acción de una fuerza impulsiva (ítem 8) o constante (ítem 21), mientras que el ítem 24, se desprende de la interpretación de una trayectoria (ítem 23) en ausencia del empuje inicial del movimiento (del ítem 21). Respecto a las preguntas como conjunto, el puntaje promedio pasó de 4.5/19 (0.23) a 5.8/19 (0.30), con desviaciones estándar de 1.6 y 3.2. A nivel de subconjunto se obtuvo un valor medio a favor de los resultados del pos-FCI en cada uno de los subconjuntos, siendo más notoria en el subconjunto N1 (2.5/7 respecto a 3.2/7) relacionado con la primera ley de Newton, que sin embargo muestra una mayor dispersión en los datos.

Como resultado del estudio con el simulador web, se identificaron los requerimientos de información y por consiguiente las necesidades del sistema. En la Figura 2 se muestra la relación entre requerimientos y necesidades del sistema listados en las Tablas 1 y 2, que dan origen a dos planteamientos para el simulador, que corresponden al movimiento: S1) en un plano

horizontal de un cuerpo sobre el que actúa una fuerza de contacto y la gravedad, y S2) en un plano inclinado de un cuerpo que se encuentra solo bajo la influencia de la gravedad.

Figura 2

Relación entre ítems, requisitos y necesidades

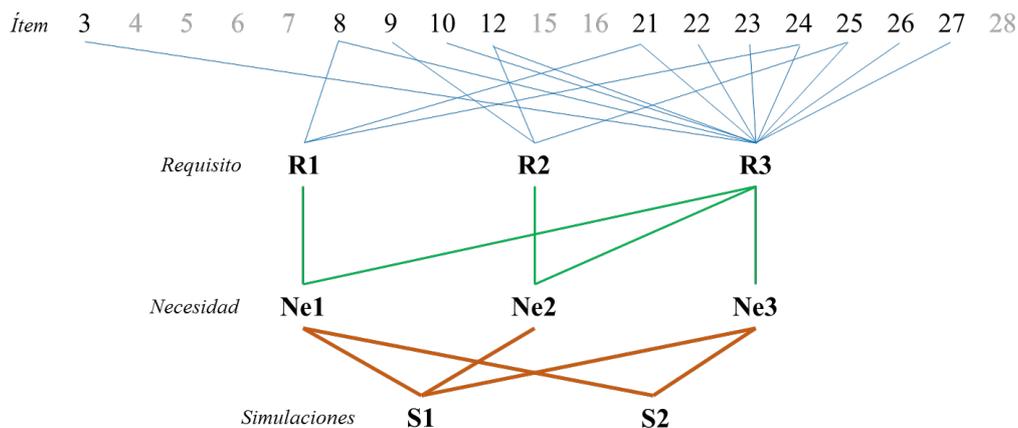


Tabla 1

Determinación de requisitos del sistema

Requisitos	
R1	Considerar los planteamientos de los ítems {8,21,24} que mostraron una diferencia negativa de desempeño posterior a la instrucción.
R2	Considerar los ítems {9,12,25} que no mostraron mejora en el desempeño.
R3	Involucran el mayor porcentaje posible de ítems, que se relacionan con los ítems de R1 y R2.

Tabla 2

Análisis de necesidades del sistema

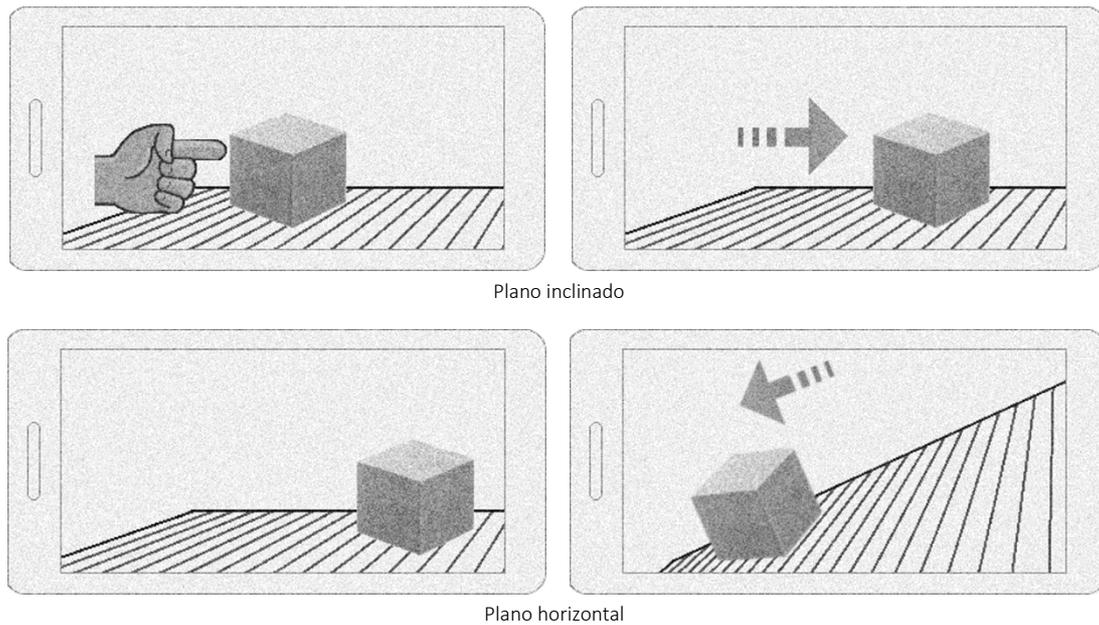
Necesidades	
Ne1	Descripción del movimiento (en dos dimensiones) de un objeto que actúa bajo una fuerza impulsiva {8,9,10} o constante {21,22, 23,24}.
Ne2	Descripción del movimiento de un objeto a velocidad constante {9,25}.
Ne3	Descripción del movimiento de un objeto sobre el que actúa la gravedad {3, 12, 25, 26, 27}.

Basada en el análisis de necesidades, se realizó un diseño lógico del sistema a través de un prototipado visual que describe la experiencia del usuario con el simulador. En la Figura 3 se ilustra la interacción del usuario para mover un objeto sobre un plano horizontal e inclinado. El movimiento sobre la superficie horizontal corresponderá a la aplicación de una fuerza impulsiva en una de las cuatro caras laterales del objeto (cubo), mientras el movimiento sobre la

superficie inclinada responderá al grado de inclinación. En ambos diseños se considera el efecto de la gravedad y la existencia de fricción entre las superficies de contacto.

Figura 3

Prototipo visual del movimiento de un objeto sobre un plano



Respecto a las fases de desarrollo y pruebas, estas se enmarcaron bajo el paradigma de “hacer prototipos”. El proceso iterativo tuvo como participante a un profesor con vasta experiencia en la impartición de asignaturas que abordan la temática de leyes de Newton (Figura 4). En la Tabla 3 se resumen las particularidades de las tres iteraciones del prototipado, señalando los aspectos técnicos a nivel de software más destacados

Figura 4

Evaluación de prototipo por parte de un profesor



En la Figura 5 se muestra a través de máquinas de estados el diseño lógico resultado de la tercera iteración del desarrollo por prototipos, mientras en la Tabla 4 se describen cada uno los estados.

Tabla 3*Descripción de las fases del desarrollo por prototipos*

Iteración 1	
1	Socialización de los prototipos visuales e identificación de los parámetros de las simulaciones.
2	Diseño lógico del simulador a través de máquinas de estado. Selección del motor de videojuego multiplataforma Unity (versión 2020.3.19f1) que incorpora el motor de física Physx de NVIDIA y del kit de desarrollo de software Vuforia (versión 10.1.4), para el desarrollo del simulador en realidad aumentada móvil. Definición de los elementos de interacción para modificar los parámetros de fricción, masa, fuerza e inclinación del plano.
3	Uso de los componentes <i>Box Collider</i> , <i>Rigidbody</i> , <i>Physic Material</i> , y <i>Constant Force</i> para físicas en 3D del motor de Unity.
4	Modificar la disposición de los elementos de la interfaz, y mejorar los mecanismos de interacción. Incorporar texturas para la representación del cambio en los parámetros de fricción y masa.
Iteración 2	
2	Selección de texturas y nuevos elementos de interacción. Nuevo trazado de interfaz a manera de controles de un videojuego.
3	Uso del componente <i>Mesh Renderer</i> (material) de Unity. Cambio de los elementos de UI (<i>User Interface</i>) en los <i>Canvas</i> (área donde se ubican los elementos UI) de cada simulación.
4	Incorporar elementos de audio representativos. Ampliar la superficie de desplazamiento del objeto sobre el plano horizontal.
Iteración 3	
2	Adición de sonido al contacto del objeto con paredes que limitan el plano horizontal. Adición de sonido y elementos visuales que ilustren la inclinación del plano.
3	Uso de componentes <i>Transform (Scale)</i> y <i>Audio Source</i> de Unity. Adición de elementos de UI en los <i>Canvas</i> de cada simulación.
4	Versión funcional de prototipo como "primer sistema".

Figura 5

Máquinas de estados para la simulación del movimiento de un objeto sobre un plano

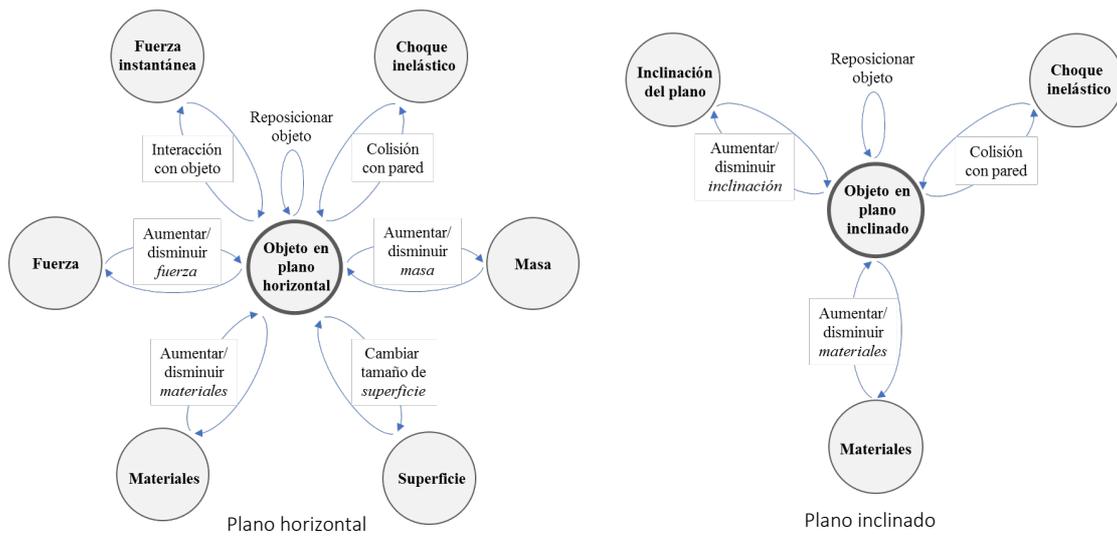


Tabla 4

Descripción de los estados de las máquinas

Estado	Descripción
Fuerza instantánea	Aplicación de fuerza instantánea (no siempre impulsiva) dada la magnitud establecida, y de acuerdo a la cara lateral del objeto (cubo) donde fue aplicada la fuerza.
Inclínación del plano	Cálculo y aplicación de las componentes de fuerza (derivadas de efecto de la gravedad) que actúan sobre el objeto, dado la modificación del ángulo de inclinación ($\pm 5^\circ$) del plano. Actualización del panel de información. Activación de audio que emula el cambio de inclinación.
Fuerza	Modificación ($\pm 1N$) del valor de la fuerza instantánea que se aplicará al objeto. Actualización del panel de información.
Masa	Modificación ($\pm 1kg$) de la masa del objeto y cálculo de la fuerza normal al plano. Variación en la opacidad de la textura. Actualización del panel de información.
Materiales	Modificación (sin fricción/hielo-hielo/madera-madera/metal-metal) de la fricción estática y dinámica de la física de los materiales y de las texturas de los objetos. Actualización del panel de información.
Choque inelástico	Se suprime el rebote de la colisión del objeto con la pared. Activación de audio que emula el choque con paredes limitantes de la superficie.
Superficie	Modificación (1X/2X) del tamaño de la superficie del plano horizontal.
Objeto en plano horizontal/ inclinado	Visualización de objetos en realidad aumentada en caso de presencia de marcador.

En el caso particular, el nivel de realidad aumentada abordado fue el basado en visión (marcadores), con el objeto de hacer disponible la tecnología en espacios educativos carentes de servicios de geo-localización. A cada simulación se le fue asociado un marcador específico. Para el desarrollo de la aplicación, se dispuso de una computadora con procesador Intel® Core i7, 8 GB de memoria y una tarjeta GPU NVIDIA GeForce® GTX 1050 Ti, y un Smartphone (Android) de gama alta. En la Figura 6 se muestra el trazado de la interfaz, mientras en la Figura 7 se observan algunas vistas en realidad aumentada de las simulaciones.

Figura 6

Disposición de elementos en la interfaz del simulador

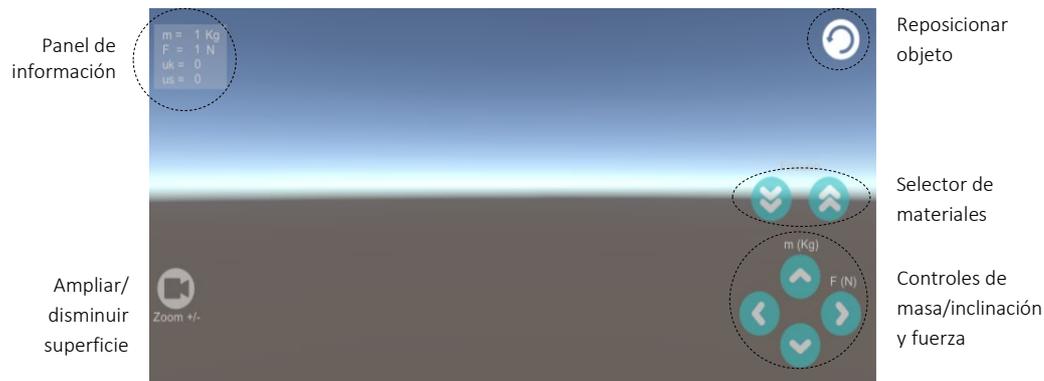
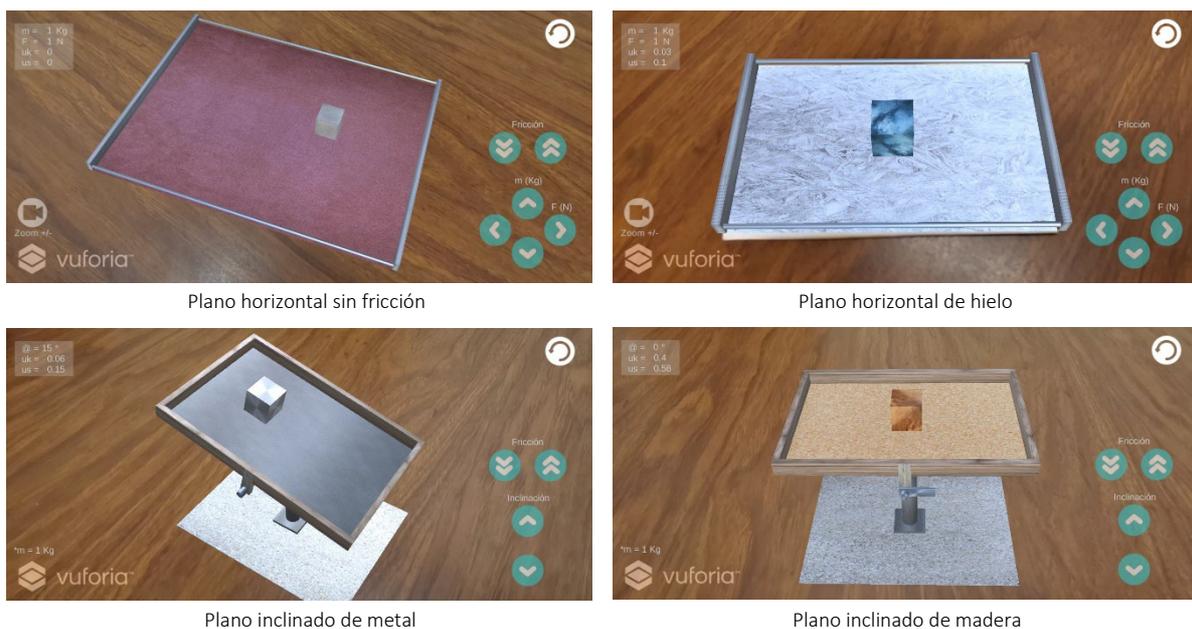


Figura 7

Prototipo de simulador en realidad aumentada móvil



Respecto a la evaluación del sistema, esta se realizó con un grupo de estudiantes universitarios quienes hicieron uso de las simulaciones. Se trabajó con una población de 16 estudiantes (19% mujeres y 81% hombres) inscritos en una asignatura de Física básica que contempla una unidad de aprendizaje de las leyes de Newton. El instrumento utilizado para la recolección de información fue una adaptación del instrumento de diagnóstico de la calidad técnica de los

objetos en realidad aumentada sugerido por Cabero-Almenara y Pérez (2018), que consta de 12 ítems con seis opciones de respuesta en escala Likert. El instrumento fue usado como un medio para valorar el proceso de desarrollo del simulador, considerando para ello las tres dimensiones propias del instrumento: Aspectos, Técnicos y Estéticos (ATE), Facilidad de Utilización (FU) y Guía/Tutorial del programa (GT). En la Figura 8 se observa la interacción de los estudiantes con el simulador en realidad aumentada móvil.

Figura 8

Estudiantes haciendo uso del simulador en realidad aumentada móvil



3. RESULTADOS

En la Tabla 5, se identifican las características del simulador en realidad aumentada móvil presentado, de acuerdo con la taxonomía de Maier y Größler (2000), quienes señalan al modelo subyacente, la interfaz humano-computadora y la funcionalidad, como rasgos distintivos de las simulaciones por computadora que apoyan el aprendizaje.

Tabla 5.

Características del simulador de acuerdo con la taxonomía de Maier y Größler (2000)

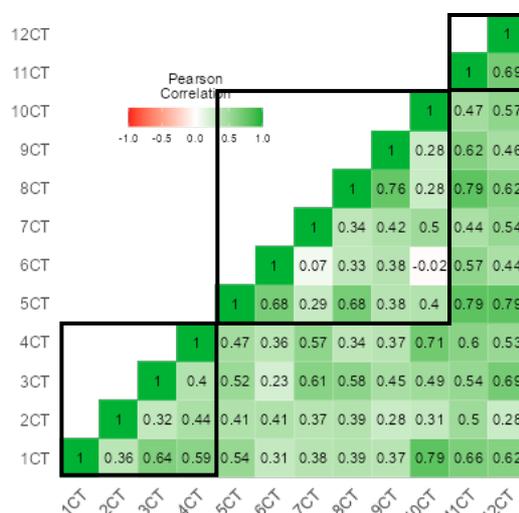
criterio	Característica	Valoración	
Modelo subyacente	Dominio del mundo real	Negocios	✓ Otro
	Generalidad del modelo con respecto al dominio	✓ Área especial	Dominio general
	Papel del modelo de simulación	✓ Generación activa de decisiones	Mecanismo aclarador para las decisiones del usuario
	Influencia de datos externos	✓ Con influencia	Sin influencia
	Progreso del tiempo en el "motor" de simulación	Discreto	✓ Continuo
	Dominio de las variables	Enteros	✓ Reales
	Comportamiento	✓ Determinístico	Estocástico

Criterio	Característica	Valoración	
Interfaz	Estructura	✓ Orientada a la realimentación	Orientada al proceso
	Posibilidad de intervención mientras se simula	✓ Periodos discretos	Simulación en una sola ejecución
	Modo de las entradas del usuario	Orientado a políticas	✓ Orientado a decisiones
Funcionalidad	Número de usuarios	✓ Monousuario	Multiusuario
	Grado de integración	✓ Simulación independiente	De integración a un entorno
	Área principal de aplicación	Orientado al modelado	✓ Orientado al juego
	Soporte por parte del docente-facilitador-guía	Aprendizaje autorregulado	✓ Apoyado por el docente-facilitado-guía
	Transparencia del modelo de simulación	✓ Caja negra	Caja transparente
	Avance del tiempo (de simulación)	✓ Controlado por reloj (sistema)	Controlado por el usuario

Posterior a la experiencia de los estudiantes con el simulador, se aplicó el instrumento de diagnóstico de la calidad técnica de los objetos en realidad aumentada, obteniendo un índice de fiabilidad a través del coeficiente alfa de Cronbach de 0.906 para todo el instrumento, y de 0.757, 0.770 y 0.820 para sus dimensiones ATE, FU y GT respectivamente, lo que de acuerdo con Tavakol y Dennick (2011) se consideran como valores aceptables. En la Figura 9 se muestra el mapa de calor generado mediante la hoja de cálculo Jamovi, que ilustran la dependencia lineal entre ítems del instrumento a través de la correlación de Pearson. Como se observa, en su mayoría las correlaciones son positivas entre moderadas y fuertes (Cohen, 1988), lo que indica una asociación directa entre ítems de cada dimensión.

Figura 9

Mapa de calor de correlación para el instrumento de diagnóstico de la calidad técnica



En la Tabla 6 se presentan las medias, desviaciones típicas, modas y frecuencias por ítem y dimensión del instrumento de diagnóstico de la calidad técnica, que en su total presenta una media de 5.042 con una desviación típica de 0.885. En la Figura 10 se representa la relación existente entre las variables asociadas a cada una de las dimensiones del instrumento empleado, a partir de la media por categoría de las respuestas de cada participante, ratificando la relación lineal positiva entre las variables.

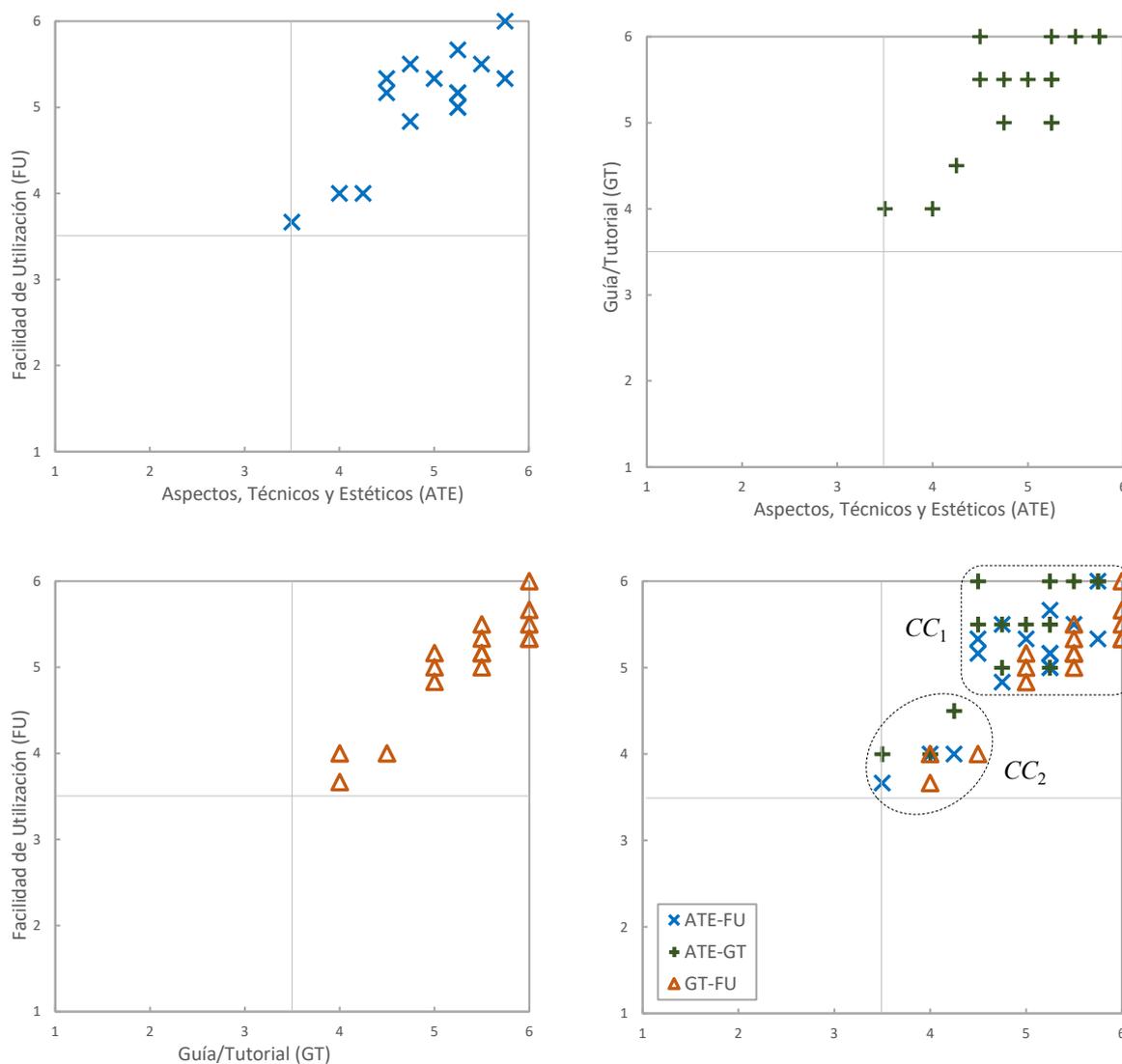
Tabla 6

Media, desviación típica, moda y frecuencia por ítem y dimensión

Ítem	M	S	Mo	f
Aspectos Técnicos y Estéticos (ATE)	4.906	0.811		
1. El funcionamiento de la aplicación de RA es:	4.875	0.719	5	11
2. En general, la estética de aplicación de RA la consideras.	4.875	0.957	5	5
3. En general, el funcionamiento técnico de la aplicación de RA lo calificaría de:	4.938	0.854	5	8
4. En general, cómo valorarías la presentación de la información en la pantalla.	4.938	0.772	5	10
Facilidad de Utilización (FU)	5.042	1.015		
5. Cómo calificarías la facilidad de utilización y manejo de la aplicación de RA.	5.313	0.793	6	8
6. Cómo calificarías la facilidad de comprensión del funcionamiento técnico de la aplicación de RA.	5.313	0.793	6	8
7. Desde tu punto de vista, cómo valoraría el diseño general de la aplicación de RA.	5.063	0.772	5	7
8. Desde tu punto de vista, cómo valoraría la accesibilidad/usabilidad de la aplicación de RA.	4.500	1.414	6	5
9. Desde tu punto de vista, cómo valoraría la flexibilidad de utilización de los elementos de RA en la aplicación.	4.813	0.655	5	9
10. El utilizar la aplicación de RA te fue divertido.	5.250	1.000	5	8
Guía/Tutorial del programa (GT)	5.313	0.738		
11. En general, cómo calificaría de eficaz y comprensible la información ofrecida para manejar la aplicación de RA.	5.188	0.750	5	7
12. La información ofrecida para manejar la aplicación en RA te fue simple y comprensible.	5.438	0.727	6	9

Figura 10

Representación de la relación entre variables del instrumento de diagnóstico de la calidad técnica



4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como se observa en la Tabla 6, las medias alcanzadas en todos los ítems del instrumento de diagnóstico de la calidad técnica superan el valor central de la escala de 3.5, con una desviación típica equiparable entre todas las dimensiones, lo que sugiere una buena valoración de los objetos en términos técnicos, de facilidad de uso y de guía. En este sentido, la media total (5.042) y desviación típica (0.885) observadas, resultan equiparables con las obtenidas en otros estudios relacionados, como en el caso de Cabero-Almenara et al. (2021) y Cabero-Almenara et al. (2022), en donde se evalúa la calidad técnica de objetos producidos en realidad mixta (aumentada y virtual) para la enseñanza de las matemáticas para arquitectos, y objetos en realidad aumentada para la enseñanza de historia del arte, obteniendo como resultado medias de 5.20 y 4.98, con desviaciones típicas de 0.94 y 1.17, respectivamente.

A nivel de dimensión, cabe señalar que es la dimensión GT relacionada con la guía o explicación del funcionamiento de la aplicación, la que presenta el valor medio más alto, lo que sugiere que los elementos de la interfaz resultaron adecuados, y que de manera particular se evidencia en el ítem 12 “La información ofrecida para manejar la aplicación en RA te fue simple y comprensible”, el cual presenta la media más alta (5.44) y una moda de 6 (muy positivo) con una frecuencia de 9 (de 16 registros), lo que sugiere que la aplicación es fácil de entender. Sobre los Aspectos Técnicos y Estéticos, es de remarcar que más del 60% de los participantes valoraron como Positivo el funcionamiento de la aplicación (ítem 1) y la presentación de la información (ítem 4).

Respecto a los ítems, es de remarcar el comportamiento de los ítems 8 y 9, los cuales presentan los valores medios más bajos y desviaciones extremas (la más baja y la más alta), no obstante que los restantes ítems que conforman la dimensión de Facilidad de Utilización presentan conductas contrapuestas. Este hecho se puede sumar al comportamiento irregular de las correlaciones entre los ítems de dimensión FU que se ilustra en la Figura 10, lo que podría sugerir como trabajo futuro una reformulación en la enunciación de estos dos ítems.

Por su parte, la agrupación etiquetada como C_1 en la Figura 10, presenta valores mínimos de 4.5, conteniendo el 83% de los pares de datos, lo que presume una percepción positiva de los usuarios, respecto a la calidad de los objetos de realidad aumentada. Es este sentido, es de denotar, que si bien los gráficos de la Figura 10 muestran una relación lineal positiva para todos los pares de variables, es la relación entre los Aspectos, Técnicos y Estéticos y la Facilidad de Utilización la que muestra una menor discrepancia en la percepción de los participantes, lo que lleva a reconocer a la capacidad de las simulaciones en realidad aumentada para presentar información a través de escenarios virtuales “reales”, como un elemento clave para su incorporación en actividades de enseñanza-aprendizaje. En el mismo sentido, de acuerdo con Maier y Größler (2000), las características de continuidad, retroalimentación y orientación al juego del simulador (véase Tabla 5), presuponen que este puede ser usado con propósitos de aprendizaje. No obstante, una valoración de los aspectos funcionales de la aplicación en realidad aumentada como simulador, se identifica como un trabajo futuro.

Así, los resultados de la evaluación del simulador en realidad aumentada por parte de un grupo de estudiantes universitarios, señalan una percepción positiva respecto a los aspectos técnicos, su utilidad y la guía/información que presenta para su uso, lo que permite afirmar que la metodología propuesta es una alternativa viable para el desarrollo de aplicaciones, que utilicen esta tecnología. En el mismo sentido, cabe señalar que, a diferencia de otras investigaciones en que los requisitos de las aplicaciones son definidos a través de entrevistas u opiniones de docentes-expertos (Abu-Bakar et al., 2018; Fidan y Tuncel, 2019) y/o bien mediante el análisis de los contenidos o libros de textos de las asignaturas (Morales et al., 2019; Ropawandi et al., 2022), la aplicación presentada en este artículo se cimienta en el análisis de una experiencia docente que forma parte del ciclo de desarrollo del software.

Finalmente, en los albores de la irrupción de las tecnologías virtuales en la enseñanza-aprendizaje de diferentes áreas del conocimiento, donde aún existen diversas interrogantes sobre su uso en la práctica docentes, investigaciones como la presentada en este artículo, buscan contribuir a dar respuesta al cómo integran los aspectos pedagógicos en el desarrollo de aplicaciones de esta índole, sin dejar de señalar la necesidad de validar los resultados obtenidos al momento, a través del uso del simulador en las aulas.

5. REFERENCIAS

- Afandi, B., Kustiawan, I., y Herman, N. D. (2019). Exploration of the augmented reality model in learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1375, Article 012082. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1375/1/012082>
- Abu-Bakar, J.A., Gopalan, V., Zulkifli, A.N., y Alwi, A. (2018). Design and Development of Mobile Augmented Reality for Physics Experiment. In N. Abdullah, W. A. Wan-Adnan, y M. Foth (Eds.), *Communications in Computer and Information Science: Vol. 886. User Science and Engineering* (pp. 47-58). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1628-9_5
- Billinghurst, M., y Dünser, A. (2012). Augmented Reality in the Classroom. *Computer*, 45(7), 56–63. <https://doi.org/10.1109/MC.2012.111>
- Caballero, M. D., Greco, E. F., Murray, E. R., Bujak, K. R., Marr, M. J., Catrambone, R., Kohlmyer, M. A., y Schatz, M. (2012). Comparing large lecture mechanics curricula using the Force Concept Inventory: A five thousand student study. *American Journal of Physics*, 80(7), 638–644. <https://doi.org/10.1119/1.3703517>
- Cabero, J., y Barroso, J. (2016). The educational possibilities of Augmented Reality. *New Approaches in Educational Research*, 5(1), 44–50. <https://doi.org/10.7821/naer.2016.1.140>
- Cabero-Almenara, J., Barroso-Osuna, J., y Martínez-Roig, R. (2021). Mixed, Augmented and Virtual, Reality Applied to the Teaching of Mathematics for Architects. *Applied Sciences*, 11(15), Article 7125. <https://doi.org/10.3390/app11157125>
- Cabero-Almenara, J., Llorente-Cejudo, C., y Martínez-Roig, R. (2022). The Use of Mixed, Augmented and Virtual Reality in History of Art Teaching: A Case Study. *Applied System Innovation*, 5(3), Article 44. <https://doi.org/10.3390/asi5030044>
- Cabero-Almenara, J., y Pérez, J. L. (2018). Validación del modelo TAM de adopción de la Realidad Aumentada mediante ecuaciones estructurales. *Estudios sobre Educación*, 34, 129–153. <https://doi.org/10.15581/004.34.129-153>
- Cai, S., Wang, X., y Chiang, F.-K. (2014). A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, 37, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.018>
- Cantón, D., Arellano, J. J., Hernández, M. Á., y Nieva, O.S. (2017). Uso didáctico de la realidad virtual inmersiva con interacción natural de usuario enfocada a la inspección de aerogeneradores. *Apertura*, 9(2), 8–23. <http://dx.doi.org/10.32870/Ap.v9n2.1049>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Dalgarno, B., y Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments?. *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10–32. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>

- Faridi, H., Tuli, N., Mantri, A., Singh, G., y Gargrish, S. (2021). A framework utilizing augmented reality to improve critical thinking ability and learning gain of the students in Physics. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 258–273. <https://doi.org/10.1002/cae.22342>
- Fazio, C., y Battaglia, R. (2019). Conceptual Understanding of Newtonian Mechanics Through Cluster Analysis of FCI Student Answers. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17, 1497–517. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-09944-1>
- Fidan, M., y Tuncel, M. (2019). Integrating augmented reality into problem based learning: The effects on learning achievement and attitude in physics education. *Computers y Education*, 142, Article 103635. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103635>
- Flores, J. A., Camarena, P., y Avalos, E. (2014). La Realidad Virtual una Tecnología Innovadora Aplicable al Proceso de Enseñanza de los Estudiantes de Ingeniería. *Apertura*, 6(2), 86–99.
- Garzón, J. (2021). An Overview of Twenty-Five Years of Augmented Reality in Education. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(7), Article 37. <https://doi.org/10.3390/mti507003>
- Handhika, J., Cari, C., Soeparmi, A., y Sunarno, W. (2016). Student conception and perception of Newton's law. *AIP Conference Proceedings*, 1708(1), Article 070005. <https://doi.org/10.1063/1.4941178>
- Hestenes, D., Wells, M., y Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141–158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Hubber, P., Tytler, R., y Haslam, F. (2010). Teaching and Learning about Force with a Representational Focus: Pedagogy and Teacher Change. *Research in Science Education*, 40, 5–28. <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9154-9>
- Ibáñez, M. B., De Castro, A. J., y Kloos, C. D. (2017). An empirical study of the use of an augmented reality simulator in a face-to-face Physics course. *Proceedings of the 17th International Conference on Advanced Learning Technologies, Romania*, 469–471. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2017.105>
- Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D., y Kloos, C. D. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education*, 71, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.004>
- Kapp, S., Thees, M., Beil, F., Weatherby, T., Burde, J., Wilhelm, T., y Kuhn, J. (2020). The Effects of Augmented Reality: A Comparative Study in an Undergraduate Physics Laboratory Course. *Proceedings of the 12th International Conference on Computer Supported Education*, 2, 197–206. <https://doi.org/10.5220/0009793001970206>
- Kendall, K. E., y Kendall, J. E. (2011). *Análisis y diseño de sistemas* (8va ed.). México: Pearson Educación.

- Kind, P. M., Angell, C., y Guttersrud, Ø. (2017). Teaching and Learning Representations in Upper Secondary Physics. In D. F. Treagust, R. Duit, y H. E. Fischer (Eds.), *Multiple Representations in Physics Education* (pp. 25–45). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58914-5_2
- Laurens-Arredondo, L. (2022). Mobile augmented reality adapted to the ARCS model of motivation: a case study during the COVID-19 pandemic. *Education and Information Technologies*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10933-9>
- Liono, R. A., Amanda, N., Pratiwi, A., y Gunawan, A. A. S., (2021). A Systematic Literature Review: Learning with Visual by The Help of Augmented Reality Helps Students Learn Better. *Procedia Computer Science*, 179, 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.12.019>
- Maier, F. H., y Größler, A. (2000). What are we talking about? - A taxonomy of computer simulations to support learning. *System Dynamics Review*, 16(2). 135–148. [https://doi.org/10.1002/1099-1727\(200022\)16:2<135::AID-SDR193>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1099-1727(200022)16:2<135::AID-SDR193>3.0.CO;2-P)
- Martín-Gutiérrez, J., Mora, C. E., Añorbe-Díaz, B., y González-Marrero, A. (2017). Virtual Technologies Trends in Education. *EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 13(2), 469–486. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00626a>
- Mora, C., y Benítez, Y. (2007). Errores conceptuales sobre fuerza y su impacto en la enseñanza. *Revista Cubana de Física*, 24(1), 41–45.
- Morales, A. D., Sanchez, S. A., Pineda, C.M., y Romero, H. J. (2019). Use of Augmented Reality for the Simulation of Basic Mechanical Physics Phenomena. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 519, Article 012021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/519/1/012021>
- Mystakidis, S., Christopoulos, A., y Pellas, N. (2021). A systematic mapping review of augmented reality applications to support STEM learning in higher education. *Education and Information Technologies*, 27, 1883–1927. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10682-1>
- Opfermann M., Schmeck A., y Fischer H. E. (2017). Multiple Representations in Physics and Science Education - Why Should We Use Them?. In D. F. Treagust, R. Duit, y H. E. Fischer (Eds.), *Multiple Representations in Physics Education* (pp. 1–22). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58914-5_1
- Özdemir, M. (2017). Educational Augmented Reality (AR) Applications and Development Process. In G. Kurubacak y H. Altinpulluk (Eds.), *Mobile Technologies and Augmented Reality in Open Education* (pp. 26–53). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2110-5.ch002>
- Pressman, R. S. (2010). *Ingeniería de software. Un enfoque práctico* (7ma ed.). McGraw-Hill Educación.
- Ropawandi, D., Halim, L., y Husnin, H. (2022). Augmented Reality (AR) Technology-Based Learning: The Effect on Physics Learning during the COVID-19 Pandemic. *International*

Journal of Information and Education Technology, 12(2), 132–140.
<https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.2.1596>

Tavakol, M., y Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*, 2, 53–55. <https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd>

Umrotul, U., Astria, A, Kusairi, S., y Adi, N. (2022). The ability to solve physics problems in symbolic and numeric representations. *Revista Mexicana de Física E.*, 19(1), Artículo 010209. <https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.19.010209>

Villalustre, L., Del Moral, M., Neira, M., y Herrero, M. (2017). Proyecto ACRA: experiencias didácticas en ciencias con realidad aumentada en los niveles pre-universitarios. *Eduotec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (62), Artículo a369. <https://doi.org/10.21556/edutec.2017.62.1009>

Yilmaz, O. (2021). Augmented Reality in Science Education: An Application in Higher Education. *Shanlax International Journal of Education*, 9(3), 136–148. <https://doi.org/10.34293/education.v9i3.3907>

Para citar este artículo:

Aguilar Acevedo, F., Flores Cruz, J. A., Hernández Aguilar, C. A., y Pacheco Bautista, D. (2022). Diseño e implementación de un simulador basado en realidad aumentada móvil para la enseñanza de la física en la educación superior. *Eduotec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (80), 66-83. <https://doi.org/10.21556/edutec.2022.80.2509>