




Augmented Reality Mobile App for Earthquake Preparedness in High School Students

Cortez Benites, Erik Anderson¹; Barrios Aedo, Julio Enrique²; Rojas Malasquez, Royer Edelwer³

^{1,2,3}Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201810133@upc.edu.pe, u201912137@upc.edu.pe, pcisrroj@upc.edu.pe

Abstract– Earthquakes are natural events that can cause severe damage and loss of life, especially in seismic zones. Education on preparedness and response to these events is crucial, particularly for children and youth. The “Tremor Kid” project proposes an augmented reality mobile application aimed at educating children and young people about earthquake preparedness and response. The application, created with augmented reality technologies such as Unity, Vuforia and ARCore, offers a series of interactive and educational activities guided by a virtual assistant who dynamically explains safety protocols. Users interacted with the images provided by the application that were placed in their environment, learned how to identify safe areas, prepare emergency backpacks and first aid kits, and participated in activities to identify safe locations during an earthquake. To evaluate the effectiveness of the application, a pilot study was conducted with nine students from the “Jesus Reparador” school, applying questionnaires before and after the use of the application. The results of the study showed that users obtained an improvement in earthquake preparedness and response.

Keywords– Augmented Reality, Earthquake, Safety Protocols, Students, Serious Games.

Aplicación Móvil De Realidad Aumentada Para La Preparación De Terremotos En Estudiantes De Nivel Secundaria

Cortez Benites, Erikc Anderson¹; Barrios Aedo, Julio Enrique²; Rojas Malasquez, Royer Edelwer³

^{1,2,3}Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201810133@upc.edu.pe, u201912137@upc.edu.pe, pcisrroj@upc.edu.pe

Resumen– Los terremotos son eventos naturales que pueden causar graves daños y pérdidas de vidas, especialmente en zonas sísmicas. La educación sobre preparación y respuesta ante estos eventos es crucial, particularmente para niños y jóvenes. El proyecto "Tremor Kid" propone una aplicación móvil de realidad aumentada destinada a educar a niños y jóvenes sobre la preparación y respuesta ante terremotos. La aplicación, creada con tecnologías de realidad aumentada como Unity, Vuforia y ARCore, ofrece una serie de actividades interactivas y educativas guiadas por un asistente virtual que explica de manera dinámica los protocolos de seguridad. Los usuarios interactuaron con las imágenes brindadas por la aplicación que se colocaron en su ambiente, adquirieron conocimientos sobre cómo identificar áreas seguras, preparar mochilas de emergencia y botiquines de primeros auxilios y participaron en actividades para identificar lugares seguros durante un terremoto. Para evaluar la efectividad de la aplicación, se realizó un estudio piloto con nueve estudiantes del colegio "Jesús Reparador", aplicando cuestionarios antes y después del uso de la aplicación. Los resultados del estudio mostraron que los usuarios obtuvieron una mejora en la preparación y respuesta ante terremotos.

Palabras clave-- Realidad Aumentada, Terremoto, Protocolos De Seguridad, Estudiantes, Juegos serios

I. INTRODUCCIÓN

Los terremotos, capaces de causar devastación y pérdidas humanas en cuestión de segundos, plantean un problema crítico que requiere una preparación adecuada para minimizar sus efectos. A pesar de la gravedad de estos eventos, muchas personas carecen del conocimiento necesario para reaccionar de manera efectiva durante un sismo. Por ejemplo, en un estudio realizado con 1 164 estudiantes en Lushan, el 97.8% tenía experiencia sísmica, pero los niveles de conocimiento y respuesta ante un terremoto fueron alarmantemente bajos, con índices de 0.45 y 0.46, respectivamente, según el índice EDCRI [1].

Es crucial abordar este problema porque los terremotos pueden ocurrir sin previo aviso, como lo demostró el devastador sismo de magnitud 7.6 que golpeó Japón el 1 de enero de 2024, resultando la pérdida de 64 vidas [2]. Por lo tanto, es importante encontrar métodos eficaces para educar y preparar a la población.

Los métodos tradicionales de enseñanza sobre terremotos suelen ser insuficientes para lograr una comprensión profunda y preparar adecuadamente a las personas para responder en situaciones de emergencia [3], ya que no logran captar

completamente la atención del usuario ni simulan de manera realista el estrés y las decisiones críticas que se deben tomar durante un sismo. Para abordar estas deficiencias, este trabajo de investigación propone desarrollar una aplicación móvil de realidad aumentada que ofrezca una experiencia educativa interactiva y más efectiva.

Se ha identificado que las aplicaciones educativas de este tipo pueden mejorar significativamente el aprendizaje y la retención de información [4], lo cual será evaluado mediante un cuestionario pre y post uso del aplicativo, utilizando una muestra de estudiantes del colegio "Jesús Reparador". Si bien el enfoque tiene el potencial de incrementar la efectividad de la educación sobre preparación ante terremotos, también presenta limitaciones, como la necesidad de acceso a dispositivos móviles y la curva de aprendizaje asociada al uso de tecnología avanzada. Sin embargo, las ventajas superan estos desafíos, ofreciendo una herramienta poderosa para educar y preparar a las personas, con el objetivo final de salvar vidas. De acuerdo con las fuentes revisadas, los juegos serios han mostrado gran efectividad en la creación de conciencia y aprendizaje sobre cómo actuar ante desastres naturales. Por ejemplo, en Turquía se utilizó una aplicación web para entender cómo prepararse ante un terremoto a través de juegos en la plataforma Scratch [5].

II. ANTECEDENTES

Los terremotos son fenómenos naturales impredecibles que pueden causar gran devastación. La educación de la población, en especial de niños y jóvenes, sobre cómo actuar ante un terremoto es esencial para reducir el riesgo de lesiones y pérdidas humanas. Sin embargo, la falta de preparación y conocimiento sobre cómo reaccionar ante estos eventos sigue siendo una preocupación [6].

A. Tecnologías Inmersivas para la Educación en Terremotos

1) *Realidad virtual en la educación sobre terremotos:* la realidad virtual (VR) se ha aplicado en la enseñanza a través de Oculus Rift para educar a los estudiantes sobre cómo actuar durante un terremoto. Esta solución se implementó en un aula de clase virtual [7]. Sin embargo, el uso de Oculus Rift implica una alta inversión que podría no ser accesible para todas las escuelas o estudiantes. Similarmente, en Australasia, la realidad virtual fue utilizada en una escuela secundaria para permitir a los estudiantes elegir opciones sobre cómo actuar durante un terremoto [8]. Una limitante de esta alternativa es

el costo que implica estos dispositivos, por ejemplo, el Oculus Rift.

2) *Videos 360° y soluciones interactivas*: En Filipinas, se utilizaron videos de 360 grados para brindar a los estudiantes de primaria una experiencia inmersiva de lugares afectados por desastres naturales, incluyendo terremotos [9]. No obstante, esta implementación carece de un enfoque práctico sobre cómo reaccionar ante un desastre. En Taiwán, se implementó una solución con códigos QR que proporcionaban información sobre cómo evacuar un salón en caso de quedar atrapados después de un terremoto [10]. No obstante, no aborda la preparación para antes de un terremoto.

B. Tecnologías Geoespaciales y Análisis de Datos

1) *Uso de Web GIS*: En China, se incorporó el uso de Web GIS en las clases de Geografía para educar sobre desastres naturales mediante mapas interactivos, aunque no se enfocaba en cómo actuar ante dichos eventos [11]. Por otro lado, en Taiwán, se implementó un sistema de sismología para estudiantes y maestros que permitía analizar las ondas sísmicas y determinar el epicentro de los terremotos [12]. Aunque útil para entender sobre los terremotos, este sistema no instruye sobre cómo actuar durante uno. En Japón, se utilizó el sistema YOU@RISK, que a través de tabletas y mapas informaba sobre el riesgo de tsunamis, aunque se centraba más en la educación geográfica que en las acciones a tomar durante un desastre [13].

III. CONTEXTO

A continuación, se presentará el marco teórico de este proyecto que sustenta las bases conceptuales y las teorías claves de la investigación.

A. Definiciones

Se identificarán y establecerán palabras claves que serán fundamentales para el desarrollo y comprensión del presente proyecto.

TABLA 1
Palabras claves

Realidad Aumentada	Es una tecnología que mezcla el mundo físico con elementos virtuales, creando entornos interactivos [14].
Terremoto	Desastre natural que ocurre cuando se libera de forma repentina una gran cantidad de energía acumulada en la corteza terrestre. Esto provoca vibraciones o movimientos del suelo que pueden variar en intensidad y duración [15].
Protocolos De Seguridad	Conjunto de normas, procedimientos y acciones diseñados para prevenir riesgos, minimizar daños y garantizar la protección de las personas, bienes o sistemas [16].
Juegos Serios	Los juegos serios son videojuegos diseñados para educar o entrenar en lugar de solo entretener. Estos juegos mejoran el aprendizaje mediante la interactividad y la experiencia práctica. En este proyecto, se implementará un juego serio con simulaciones de realidad aumentada para enseñar a

niños y jóvenes qué hacer antes, durante y después de un terremoto [17].
--

B. Herramientas

1) *Unity*: Es un motor de juego multiplataforma que permite la creación de juegos y experiencias interactivas en 2D y 3D. Es ampliamente utilizado en la industria del videojuego y utiliza el lenguaje de programación C#. Además, cuenta con una gran comunidad que comparte recursos y tutoriales.

2) *OpenGL*: Es una API de gráficos en 3D que permite a los desarrolladores crear aplicaciones y juegos con gráficos tridimensionales. Proporciona herramientas para interactuar con la GPU y es compatible con diversos tipos de hardware y dispositivos, lo que la hace versátil.

3) *Git*: Es un sistema de gestión de versiones descentralizado que permite monitorear cambios en archivos y coordinar el trabajo en proyectos de software. Los desarrolladores pueden crear ramas para trabajar en nuevas funcionalidades o correcciones sin afectar el código principal, y luego fusionar esos cambios. Es conocido por su eficiencia y velocidad, lo que lo hace ideal para proyectos grandes y complejos.

4) *GitHub*: Es un servicio en la nube de control de versiones que actúa como un repositorio de Git en línea. Permite a los desarrolladores colaborar en proyectos de software, ya sean abiertos o privados, y ofrece herramientas para el control de versiones, gestión de problemas, seguimiento de proyectos y revisión de código.

5) *ARCore*: Es una plataforma de realidad aumentada de Google para Android que utiliza la cámara y sensores de movimiento para integrar objetos virtuales en el entorno real. Facilita el desarrollo de diversas aplicaciones de realidad aumentada, como juegos y herramientas de diseño.

6) *Vuforia*: Es una plataforma de realidad aumentada que permite crear experiencias interactivas en dispositivos móviles. Utiliza el reconocimiento de imágenes para rastrear y superponer contenido digital en el mundo real, siendo popular en aplicaciones de juegos, marketing y entrenamiento.

7) *Blender*: Es un software gratuito y de código abierto para modelado, animación y edición de video. Usado por artistas 3D en animación, efectos visuales y diseño de juegos, ofrece herramientas para crear modelos y escenas realistas, respaldado por una comunidad activa.

8) *SpringBoot*: Se utiliza creación de servicios web y la integración con bases de datos, permitiendo construir aplicaciones escalables y fáciles de mantener.

IV. CONTRIBUCIÓN

La hipótesis planteada es que los estudiantes de nivel secundaria que utilicen la aplicación de realidad aumentada desarrollarán un nivel significativo de conocimientos y habilidades sobre cómo actuar de manera apropiada y segura durante un terremoto, en comparación con sus conocimientos actuales. Este estudio tiene como propósito evaluar el impacto educativo de la aplicación y su capacidad para mejorar la preparación y la respuesta ante desastres naturales, específicamente en el contexto de terremotos, esperando un

resultado de 17% de mejora de conocimientos. Para esta investigación, se utilizó un teléfono Android con giroscopio para interactuar con la aplicación de realidad aumentada. Antes de iniciar la aplicación, es necesario colocar las imágenes de escaneo en los lugares indicados, siguiendo las instrucciones proporcionadas por la misma. Al comenzar la aplicación, el usuario será recibido por un guía virtual que le explicará los protocolos de seguridad antes y durante un terremoto. Además, al escanear las imágenes, se desplegarán modelos 3D correspondientes a cada imagen escaneada, acompañados de explicaciones detalladas por parte del guía sobre su relevancia y cómo actuar en caso de un terremoto. Las imágenes de escaneo se han evaluado meticulosamente para asegurar una óptima captación y diferenciación por parte de la aplicación de realidad aumentada, utilizando el sistema de clasificación de Vuforia. Durante este proceso, se observó que la primera imagen diseñada presentaba una baja captación. Esto permitió ajustar y mejorar las imágenes subsecuentes, garantizando así una experiencia más fluida y efectiva para el usuario. La Fig.1 muestra un ejemplo de esta baja captación, subrayando la importancia de un diseño adecuado de las imágenes de escaneo para el correcto funcionamiento de la aplicación.



Fig.1 Primera imagen para la realidad aumentada

Con el objetivo de mejorar la calificación a 5 estrellas, se implementaron más patrones de colores en las imágenes de escaneo. Este ajuste se realizó tras observar que la diversidad de colores facilitaba una mejor captación y diferenciación por parte de la aplicación de realidad aumentada, mejorando significativamente su rendimiento. La Fig.2 ilustra cómo la adición de estos patrones de colores ha contribuido a una experiencia de usuario más robusta y precisa, asegurando que la aplicación funcione de manera óptima.

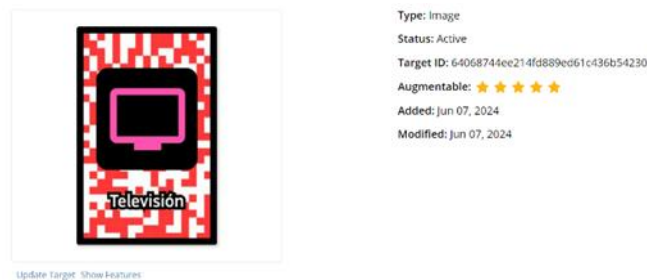


Fig.2 Versión final de la imagen para la realidad aumentada

A. Escenas

Se han implementado tres escenas en la aplicación. La primera escena se puede acceder mediante el botón Comenzar en el menú principal. En esta escena, el usuario aprenderá de manera general sobre las zonas seguras, las zonas no seguras, la mochila de emergencia y el botiquín.

Al comienzo de la primera escena, el usuario podrá interactuar con el guía virtual. Este guía hará preguntas y el usuario deberá responder al presionar el botón correspondiente, como se visualiza en la Fig.3. Esta interacción inicial tiene como objetivo familiarizar al usuario con la dinámica de la aplicación y asegurar que comprenda los conceptos básicos. Una vez que el guía haya proporcionado una explicación general sobre el propósito y el contenido de la aplicación, se habilitarán las imágenes colocadas alrededor de la habitación.



Fig.3 Guía virtual en la primera escena

El guía continuará ofreciendo explicaciones detalladas sobre cada una de las imágenes escaneadas, brindando información relevante sobre su importancia y cómo deben ser interpretadas en el contexto de la aplicación, como se visualiza en la Fig.4



Fig.4 Guía virtual explicando imágenes que estarán colocadas alrededor del ambiente

En la segunda escena, el usuario aprenderá sobre la mochila de emergencia y el botiquín con la ayuda de un nuevo guía virtual. Se colocarán imágenes QR en diferentes puntos de la habitación, las cuales el usuario deberá escanear para identificar los objetos esenciales de la mochila de emergencia. Al escanear cada QR, el guía virtual explicará la importancia del objeto, mostrando un modelo 3D y un video ilustrativo, como se describe en la Fig.5. Además, el guía virtual destacará la compatibilidad entre algunos objetos en su explicación, como la necesidad de un abrelatas para las comidas enlatadas. A medida que el usuario identifique correctamente cada objeto, estos se añadirán a una mochila virtual, que se llenará de forma progresiva.



Fig.5 Interacción para la mochila de emergencia virtual

Esto tiene como objetivo enseñar a los usuarios a completar la mochila de emergencia, permitiéndoles investigar qué elementos faltan y luego encontrarlos en la habitación escaneando las imágenes QR correspondientes. Una vez que el usuario haya completado la interacción con la mochila de emergencia, procederá a interactuar con los objetos del botiquín. En esta etapa, se le planteará una adivinanza sobre un objeto específico del botiquín, y el usuario deberá seleccionar el objeto 3D correspondiente entre varias opciones, tal como se ilustra en la Fig.6. Al acertar en la elección, el guía virtual le proporcionará una explicación detallada sobre la función y la importancia del objeto dentro del botiquín. Este enfoque busca reforzar el aprendizaje, permitiendo al usuario relacionar cada objeto con su utilidad práctica en situaciones de emergencia.



Fig.6 Explicación general de las imágenes que estarán colocadas alrededor del ambiente

Por último, en la tercera escena, el usuario se enfrentará a un desafío interactivo que pondrá a prueba su comprensión sobre los lugares seguros durante un terremoto. A través de la aplicación de realidad aumentada, se le presentará la

habitación con varios lugares marcados como seguros y otros como no seguros. La tarea del usuario será seleccionar todos los lugares seguros mientras evita seleccionar los lugares no seguros.

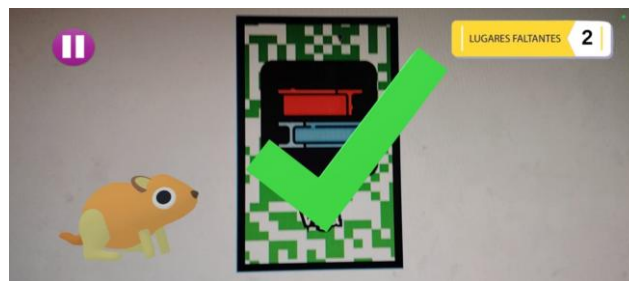


Fig.7 Actividad identificar lugar seguro

B. Muestra

Para evaluar la efectividad de la aplicación en la enseñanza de preparación ante un terremoto, se implementará un cuestionario dentro de la misma. Este cuestionario se presentará tanto antes del primer escenario como después del último escenario, permitiendo así una evaluación antes y después de la interacción con la aplicación. Para llevar a cabo esta evaluación, se seleccionó un grupo de participantes del colegio "Jesús Reparador", compuesto por 9 estudiantes de secundaria. La selección de estos participantes se realizó mediante un muestreo por conveniencia.

C. Procedimiento

El uso de la aplicación comprende un proceso estructurado en cinco pasos diseñados para utilizar y evaluar la efectividad de la herramienta educativa.

TABLA 2
Pasos al utilizar la aplicación

Paso 1	Descargar las imágenes y pegarlo en los respectivos espacios y objetos.
Paso 2	Al iniciar la aplicación, se realizó un cuestionario sobre los conocimientos de preparación ante un terremoto.
Paso 3	Los usuarios interactúan con aplicación de realidad aumentada.
Paso 4	Al finalizar la aplicación, los estudiantes completan nuevamente la misma evaluación.
Paso 5	Se recopilarán los puntajes de prueba sobre la preparación ante terremotos para evaluar sus conocimientos adquiridos.

C. Preguntas del cuestionario

Se elaboraron un total de 10 preguntas para los estudiantes dentro de la aplicación, las cuales se utilizaron para realizar una evaluación antes y después de su uso.

TABLE 3
Preguntas al iniciar la aplicación

Pregunta 1	¿Para qué sirve la mochila de emergencia?
Pregunta 2	¿Qué debe tener una columna para que sea seguro?
Pregunta 3	¿Cuál es la función principal de una zona de seguridad dentro de una edificación durante un movimiento sísmico?
Pregunta 4	¿Cuál de las opciones NO es bueno tener en nuestra mochila de emergencia?
Pregunta 5	¿Es bueno tener una radio en la mochila de emergencia?
Pregunta 6	¿Es importante tener pastillas en el botiquín?
Pregunta 7	¿Qué lugares se deben considerar como zonas seguras dentro de un edificio durante una evacuación?
Pregunta 8	¿Qué lugares se consideran peligrosos durante una evacuación en un edificio?
Pregunta 9	¿Dónde se ubicará el equipo de emergencia durante casos de terremotos u otros desastres para brindar ayuda en tu localidad?
Pregunta 10	¿Usar un ascensor es seguro durante un terremoto?

V. EXPERIMENTOS

A. Protocolo Experimental

1) *Entorno de desarrollo:* El entorno utilizado para el desarrollo de la aplicación fue AWS, donde se configuró una máquina virtual EC2 de tipo t2. micro con el sistema operativo Ubuntu. Esta configuración permitió realizar el despliegue eficiente de la API y la base de datos utilizando contenedores Docker. Además, se empleó Unity como motor gráfico para el desarrollo de la experiencia de realidad aumentada y Vuforia para la detección de imágenes.

2) *Datos utilizados:* Los datos que se emplearon en la aplicación provienen de fuentes institucionales sobre protocolos de emergencia, como objetos que deben estar en la mochila de emergencia y zonas seguras durante un terremoto. Para mejorar la experiencia interactiva, se utilizaron modelos 3D generados en Blender, los cuales fueron vinculados con códigos QR que los usuarios debían escanear con sus dispositivos móviles para obtener información.

c) *Desarrollo de la aplicación móvil:* La aplicación se desarrolló para dispositivos Android con giroscopio y un mínimo de 4GB de RAM. Durante el uso, los usuarios interactúan con un guía virtual que explica las medidas de seguridad, y mediante la realidad aumentada pueden visualizar objetos 3D al escanear códigos QR. Las pruebas de la aplicación revelaron la necesidad de ajustar los patrones de color de las imágenes para mejorar su captación por Vuforia, lo cual optimizó el rendimiento general.

d) *Código fuente:* El código de la aplicación y los recursos utilizados, como los modelos 3D y el API, están disponibles públicamente en <https://github.com/TremorKid>.

B. Resultados

Para evaluar el rendimiento de la aplicación desarrollada, se realizaron pruebas en dispositivos Android con las especificaciones mínimas establecidas, como 4GB de RAM y un giroscopio funcional. Los experimentos demostraron que la implementación de patrones de color más variados en las imágenes mejoró significativamente la precisión de detección en la realidad aumentada. Los usuarios interactuaron con la aplicación, completando tareas como llenar una mochila virtual de emergencia y seleccionar zonas seguras en diferentes escenarios simulados. Además, el uso de AWS para el despliegue del API permitió un acceso eficiente a los datos almacenados en la base de datos MariaDB, asegurando una experiencia fluida y sin interrupciones. La evaluación del rendimiento se centró en la capacidad de la aplicación para detectar correctamente las imágenes escaneadas y ofrecer una respuesta rápida a las acciones de los usuarios.

VI. RESULTADOS

En el experimento realizado, se obtuvo un 67.78% de respuestas correctas y un 32.22% de respuestas incorrectas en la muestra antes de utilizar la aplicación. Luego de utilizar la aplicación, se obtuvo 88.89% de respuestas correctas y un 11.11% de respuestas incorrectas. Se observó una mejora en el aprendizaje de preparación ante terremotos de los estudiantes al realizar el último quiz en la aplicación.

Total Encuestados (Antes del app)

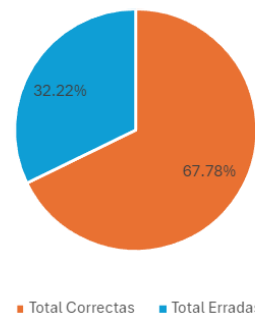


Fig.8 Resultados del cuestionario antes de comenzar la aplicación

Total Encuestados (Después del app)

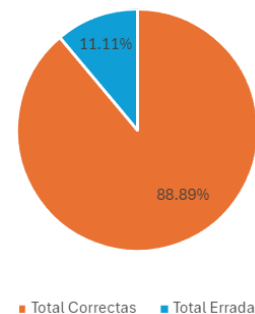


Fig.9 Resultados del cuestionario al terminar de usar la aplicación

Asimismo, se registraron de manera detallada las respuestas correctas e incorrectas de los estudiantes en relación con las 10 preguntas formuladas.

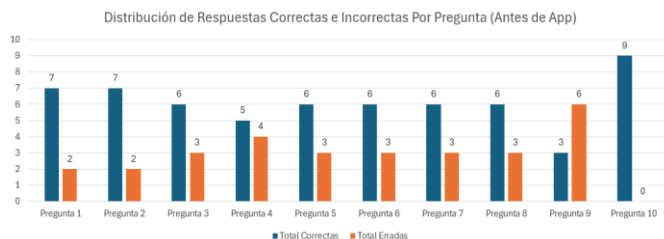


Fig.10 Distribución de respuestas del cuestionario antes de comenzar la aplicación

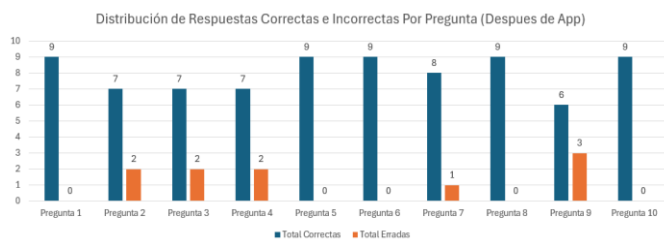


Fig.11 Distribución de respuestas del cuestionario al terminar de usar la aplicación

VII. DISCUSIÓN

La evaluación del progreso y el aprendizaje de los estudiantes en el ámbito educativo se ha estudiado y se han utilizado diversas métricas de evaluación para medir eficazmente estos aspectos. Al examinar la literatura existente, se han identificado diferentes enfoques y herramientas utilizadas para obtener datos y evaluar el conocimiento de los estudiantes, de los cuales se demostró que los cuestionarios son eficaces para la evaluación. En una investigación se seleccionaron a 27 personas de entre 3 y 19 años, utilizando cuestionarios para evaluar su nivel de preparación ante desastres naturales [18]. Asimismo, se implementaron cuestionarios a 133 estudiantes extranjeros y 150 estudiantes japoneses para evaluar sus conocimientos sobre los terremotos [19]. También, se desarrolló un cuestionario para 2,105 niños de entre 8 y 12 años para evaluar sus conocimientos sobre percepciones de riesgo [20].

Se utiliza el motor gráfico Unity para el desarrollo de juegos serios con relación a desastres naturales, como son los terremotos. La aplicación de simulación de un terremoto con realidad virtual fue desarrollada en Unity para captar colisiones de los objetos en tiempo real [21]. Asimismo, se utilizó Unity para el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada enfocada en evacuaciones durante desastres artificiales [22]. Además, se utilizó Unity para el desarrollo de

una simulación de terremoto en un entorno de realidad virtual [23].

El uso de los dispositivos móviles para el aprendizaje en conjunto con la realidad aumentada facilita el aprendizaje más allá de las aulas, promoviendo mayor accesibilidad y flexibilidad [24]. Durante el desarrollo de la aplicación, se observó que la mayoría de los usuarios disponía de dispositivos Android, lo que llevó a orientar el diseño hacia esta plataforma. Esta decisión puede limitar su uso en otros sistemas operativos móviles y excluir a ciertos usuarios que utilizan estos dispositivos. Asimismo, los juegos serios se han implementado en diversas plataformas, como dispositivos móviles. Estas aplicaciones buscan ofrecer una experiencia avanzada, inmersiva y atractiva para los usuarios [25].

VIII. CONCLUSIONES

Los resultados del experimento indican que la aplicación de realidad aumentada es efectiva para mejorar el aprendizaje sobre cómo actuar de manera apropiada y segura durante un terremoto, superando ligeramente el resultado esperado del 67.68% con un 88.89% de respuestas correctas. Esta mejora confirma la hipótesis planteada de que los jóvenes y niños que utilicen la aplicación desarrollarán un nivel significativo de conocimientos y habilidades.

Los resultados demuestran que la interacción con el entorno de RA facilita una mejor comprensión y retención de la información, subrayando el impacto educativo positivo de la aplicación en la preparación y respuesta ante terremotos.

REFERENCIAS

- [1] Wei, B., Su, G., & Li, Y. (2020). Evaluating the cognition and response of middle/high school students to earthquake—a case study from the 2013 Mw6.6 Lushan earthquake-hit area, China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101825>
- [2] Euronews en Español. (2024, 1 de enero). Un terremoto de magnitud 7,6 deja al menos 64 muertos y graves daños en Japón. Euronews. <https://es.euronews.com/2024/01/02/alrededor-de-50-muertos-e-innumerables-danos-por-el-terremoto-del-1-de-enero-en-japon>
- [3] Hawthorn, S., Jesus, R., & Baptista, M. (2021). A review of digital serious games for tsunami risk communication. *International Journal of Serious Games*, 8(2), 21–47. <https://doi.org/10.17083/ijsg.v8i2.411>
- [4] Sutton, J., Fischer, L., James, L., & Sheff, S. (2020). Earthquake early warning message testing: Visual attention, behavioral responses, and message perceptions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101664>
- [5] Deveci, A., Kolburan, A. & Çoban, E. (2021). An analysis of the utility of digital materials for high school

- students with intellectual disability and their effects on academic success. Universal Access in the Information Society. <https://doi.org/10.1007/s10209-021-00840-0>
- [6] Wei, B., Su, G., & Li, Y. (2020). Evaluating the cognition and response of middle/high school students to earthquake—a case study from the 2013 Mw6.6 Lushan earthquake-hit area, China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101825>
- [7] Rajabi, M., Taghaddos, H., & Zahrai, S. (2022). Improving Emergency Training for Earthquakes through Immersive Virtual Environments and Anxiety Tests: A Case Study. *Buildings*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/buildings12111850>
- [8] Feng, Z., González, V., Mutch, C., Amor, R., & Cabrera, G. (2021). Instructional mechanisms in immersive virtual reality serious games: Earthquake emergency training for children. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(2), 542–556. <https://doi.org/10.1111/jcal.12507>
- [9] Garcia, M., Nadelson, L., & Yeh, A. (2023). “We’re going on a virtual trip!”: a switching-replications experiment of 360-degree videos as a physical field trip alternative in primary education. *International Journal of Child Care and Education Policy*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s40723-023-00110-x>
- [10] Shyr, W., Chen, I., Lee, J., & Su, T. (2021). Applying interactive teaching experience and technology action puzzles in disaster prevention education. *Sustainability*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13094788>
- [11] Li, J., Xia, H., Qin, Y., Fu, P., Guo, X., Li, R., & Zhao, X. (2022). Web GIS for Sustainable Education: Towards Natural Disaster Education for High School Students. *Sustainability*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/su14052694>
- [12] Chen, K., Liang, W., Lin, C., & Wu, L. (2020). Citizen Seismology in Taiwan: Development, Outreach, and Formative Assessment of Near-Real Time Earthquake Game Competition Activities. *Frontiers in Earth Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00154>
- [13] Nagata, T., Ikeda, M., Kimura, R., & Oda, T. (2022). Development of Tsunami Disaster Risk Reduction Education Program for Children with No Experience of Earthquake Disaster – Practice and Verification at Shichigahama Town, Miyagi Prefecture. *Journal of Disaster Research*, 17(6), 1000–1014. <https://doi.org/10.20965/jdr.2022.p1000>
- [14] Rakhimzhanova, L., Issabayeva, D., Kultan, J., Baimuldina, N., Issabayeva, Z. & Aituganova, Z. (2024). Using Augmented Reality to Teach Digital Literacy Course to Primary School Children with Special Educational Needs. *Revista Europea de Investigación Educativa*, 14 (1), 55-71. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.14.1.55>
- [15] Violent, W. & Mark, R. (2021). Exploring Indonesian coastal communities' responses to the 2019 Ambon earthquake and preparedness for future disasters. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104961>
- [16] Jung H-O, Han S-W. Development and Validation of Earthquake Fire Response Simulation Protocol for Korean College Students in Health Programs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph19095764>
- [17] Schnitzer, B., Caserman, P. & Korn, O. (2024). Sky Dash: Evaluating the Effects of a Serious Low-Threshold Mobile Game on Learning Efficacy and User Experience in a Repetitive Learning Task. *JCSG* 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-74138-8_16
- [18] Bandecchi, A., Pazzi, V., Morelli, S., Valori, L., & Casagli, N. (2019). Geo-hydrological and seismic risk awareness at school: Emergency preparedness and risk perception evaluation. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101280>
- [19] Iizuka, A. (2022). Disaster perception and preparation among foreign versus local university students in Japan: A comparative study. *Progress in Disaster Science*, 15(3). <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2022.100239>
- [20] Zhong, S., Cheng, Q., Zhang, S., Huang, C., & Wang, Z. (2021). An impact assessment of disaster education on children’s flood risk perceptions in China: Policy implications for adaptation to climate extremes. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143761>
- [21] Zhang, F., Xu, Z., Yang, Y., Qi, M., & Zhang, H. (2021). Virtual reality-based evaluation of indoor earthquake safety actions for occupants. *Advanced Engineering Informatics*. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101351>
- [22] Kawai, J., Mitsuhara, H., Shishibori, M. & Iguchi, K. (2016). Game-based evacuation drill using augmented reality and head-mounted display. *Interactive Technology and Smart Education*, 13(3), 186-201. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2016.71>
- [23] Maragkou, V., Rangoussi, M., Kalogeras, I. & Melis, N. (2023). Educational Seismology through an Immersive Virtual Reality Game: Design, Development and Pilot Evaluation of User Experience. *Education Sciences*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/educsci13111088>
- [24] Lu, S., Lin, Y., Tan, K., & Liu, Y. (2022). Revolutionizing elementary disaster prevention education and training via augmented reality-enhanced collaborative learning. *International Journal of Engineering Business Management*, 14. <https://doi.org/10.1177/18479790211067345>
- [25] Feng, Z., González, V., Amor, R., Spearpoint, M., Thomas, J., Sacks, R., Lovreglio, R. & Cabrera, G. (2020). An immersive virtual reality serious game to enhance earthquake behavioral responses and post-earthquake evacuation preparedness in buildings. *Advanced Engineering Informatics*. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101118>