

Entrenamiento para emergencia con realidad aumentada en caso de tsunami o terremoto en la ciudad de Arica

Emergency training with augmented reality in case of tsunami or earthquake in the Arica city

Ignacio Rojas Jorquera^{1*} Diego Aracena Pizarro^{1*}

Recibido 06 de enero de 2022, aceptado 10 de mayo de 2022

Received: January 06, 2022 Accepted: May 10, 2022

RESUMEN

Este trabajo se centra en el desarrollo de una aplicación móvil que permita el entrenamiento a la comunidad ariqueña que viven en zonas de riesgo, utilizando Realidad Aumentada y Geolocalización en casos de emergencia como tsunami o terremoto. La ciudad de Arica se vio afectada por el terremoto del año 1868 de magnitud 8,6 en escala Richter generando olas de 15 a 18 metros de alto, desde aquel suceso hasta la fecha no se ha producido una catástrofe de magnitud similar, encontrándose en una laguna sísmica. Presentado el problema mencionado anteriormente, se decidió realizar una aplicación móvil que incluya zonas de seguridad, rutas de evacuación, mapas y una evaluación de entrenamiento para el usuario. Para desarrollar y conseguir la solución se utilizó la metodología ágil SCRUM en las etapas de análisis, diseño e implementación. Para la solución propuesta se espera que las personas logren estar preparadas para evitar accidentes y mejorar el rendimiento al momento de evacuar de las zonas que representan un peligro para la integridad personal.

Los resultados de las pruebas realizadas demuestran que la Realidad Aumentada es apropiada en la ayuda para llegar a zonas seguras mediante uso de GPS, la locación del usuario es señalada sin problemas en los mapas presentados en la aplicación móvil. La opción para utilizar una ruta de evacuación necesitó utilizar internet móvil para indicar el camino, los mapas temáticos permitieron visualizar los punteros que representan las zonas seguras configuradas por coordenadas y su funcionamiento puede ser independiente del internet móvil. Además, la opción de entrenamiento permitió observar el tiempo cronometrado de evaluación mientras el usuario realizaba el test navegó en las diferentes opciones sin problemas de funcionalidad al momento de grabar y borrar el tiempo de evaluación del usuario.

Palabras clave: Entrenamiento, emergencia tsunamis, realidad aumentada, geolocalización.

ABSTRACT

This work focuses on developing a mobile training application using Augmented Reality and Geolocation in emergency cases such as tsunamis or earthquakes. The city of Arica was affected by the 1868 earthquake of magnitude 8.6 on the Richter scale, generating waves of 15 to 18 meters high; since that event to date, there has not been a catastrophe of similar magnitude being in a seismic lagoon. Given the problem above, it is decided to make a mobile application that includes security zones, evacuation routes, maps, and a training evaluation for the user. The agile SCRUM methodology was used in the analysis, design and implementation stages to develop and achieve the solution. For the proposed solution, it is expected

¹ Universidad de Tarapacá. Departamento de Ingeniería en Computación e Informática. Arica, Chile.
E-mail: ignaciorojasjorquera@outlook.es, daracena@academicos.uta.cl

* Autores de correspondencia: ignaciorojasjorquera@outlook.es, daracena@academicos.uta.cl

that people will be prepared to avoid accidents and improve performance when evacuating from areas that represent a danger to personal integrity.

The tests carried out show that Augmented Reality is appropriate in helping to reach safe areas using GPS. The user's location is indicated without problems on the maps presented in the mobile application. The option to use a route of the evacuation needed to use mobile internet to indicate the way. The thematic maps made it possible to visualize the pointers that represent the safe areas configured by coordinates, and their operation can be independent of the mobile internet. Additionally, the training option allowed observing the timed evaluation time while navigating the different options at the same time, the user performed the test without causing functionality problems when recording and deleting the user's evaluation time.

Keywords: Training, tsunami emergency, augmented reality, geolocation.

INTRODUCCIÓN

Chile es un país sísmico con un amplio historial de terremotos y tsunamis a nivel nacional y mundial [1], estos terremotos se ven causados debido a la localización de Chile, por hacer parte del cinturón del pacífico, sumado a la que se encuentra sobre la zona de subducción entre la placa Nazca y Sudamericana. En registros del año 1868 al 2014, la ciudad de Arica ha sido afectada por cuatro fuertes sismos de características tsunamigénicas [2], siendo el terremoto del año 1868 de magnitud 8,6 en escala de Richter el más catastrófico [3], generando un tsunami con olas de 15 a 18 metros de alto [4]. En este contexto, se puede evidenciar que las condiciones geográficas de la ciudad de Arica hacen necesario que las personas tomen conocimiento y los resguardos adecuados frente a un evento de tal magnitud como es el caso de un tsunami o terremoto, con el fin de evitar accidentes fatales.

Registros del último gran sismo ocurrió hace más de 150 años en 1868, lo que nos indica que se está en presencia de una laguna sísmica. Arica es zona costera y el 98% de la población vive en zona urbana, su mayoría habitan a orillas del mar, esto significa si un sismo con epicentro en la placa de Nazca o cerca, generaría un tsunami [5]. Además según las cartas de inundación por tsunami elaboradas por el SHOA o Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile y la población levantada por el Censo 2017 de INE, identificaron a nueve comunas que más del 10% de su población está expuesta a tsunamis, entre estas comunas Arica se encuentra con el 21,8% de la población expuesta ante un posible tsunami, siendo una de las tres comunas más afectadas [6].

En la actualidad Chile, específicamente Arica, no posee una aplicación móvil que utilice la Realidad Aumentada y Geolocalización que permita el entrenamiento ante un posible tsunami o terremoto conociendo previamente las rutas de evacuación, puntos de encuentro, zonas seguras, información de contacto, instructivos, consejos, etc., si existen documentos de planificación de acción por amenaza de sismo y tsunami, los cuales no está orientado al entrenamiento. La aplicación está dirigido a personas de 15 años en adelante que vivan en zona de riesgo y posean un móvil. Entre los beneficios se encuentra mejorar el rendimiento de evacuación, tener conciencia e importancia de las acciones, controlar situaciones de emergencia y peligros para evitar accidentes. La aplicación puede ser usada en simulacros oficiales o de libre disponibilidad.

La viabilidad del proyecto se sustenta en la información de investigación en emergencia en caso de desastres nucleares [7], simulación de desastres [8] y evaluación tecnológica de Realidad Aumentada inmersa en seguridad crítica [9], exponiendo la falta de un área poco desarrollada para la evacuación de catástrofes, y argumentos para mejorar el entrenamiento con Realidad Aumentada [10].

La sustentación teórica, se centra en dos áreas de importancia como la Realidad Aumentada y Geolocalización. La Realidad Aumentada ha ganado popularidad en los últimos años con el lanzamiento al mercado de software para móviles, como por ejemplo en aplicaciones educativas [11] y culturales [12]. En cuanto a la Geolocalización cada vez se encuentra inmersa en nuestro día a día entregando diferentes servicios en redes sociales. En las secciones siguientes se presenta los trabajos

relacionados, la solución adoptada para la aplicación, para finalmente mostrar las pruebas reales realizadas y conclusiones del trabajo.

Realidad aumentada

Ronald Azuma [13] considera que la Realidad Aumentada (AR): “combina elementos reales y virtuales, es interactiva en tiempo real y está registrada en 2D y 3D”. En otras palabras, es una tecnología que añade contenido virtual al mundo real para la interacción con el usuario, este contenido virtual presentado en 2D y 3D como animaciones u objetos son insertados con técnicas de reconocimiento que interactúa con el mundo real a través de una pantalla como intermediario entre el usuario, ver Figura 1.

Una definición de Realidad Aumentada fue realizada por Milgram y Kishinio [14] que expusieron un marco conceptual, donde los extremos de un continuo de virtualidad representan los entornos que abarca de lo real a lo virtual, pasando por una realidad mixta que presenta los objetos de ambos mundos en una sola pantalla, esto se subdivide en Realidad Aumentada, más cerca a la realidad, y la Virtual Aumentada, más próxima a la virtualidad pura [15].

Además en [10] explica que el contenido de AR puede presentarse a través de una variedad de dispositivos, que tienen diferencias notables en cómo el contenido es mostrado y cómo se usa el dispositivo de visualización. Como se explica en [16], el desarrollo de esta tecnología abre múltiples posibilidades en el ámbito educativo, también favorece acciones socializantes e inclusivas en personas con necesidades especiales.

Existen diferentes tipos de tecnologías como gafas inteligentes y dispositivos móviles que utilizan la Realidad Aumentada. Estos dispositivos cuentan con procesador, GPS, cámara, micrófono y pantalla para una mejor experiencia.

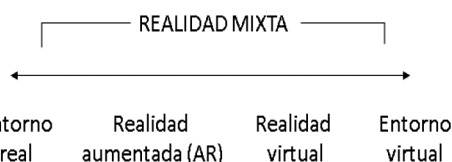


Figura 1. Representación de un “continuo de virtualidad”.

En [8] explica “Los sistemas WIAR (Wearable Immersive Augmented Reality) son por definición portátiles “vestibles” (wereable), lo que significa que la tecnología AR inmersiva es transportable y se puede llevar en el cuerpo, lo que proporciona libertad de movimiento; acceso a la información sin cables; y niveles de interacción más difíciles con tecnologías de pantalla fija.

Algunos dispositivos RA denominados “ver a través de” que se utilizan en la actualidad son:

- **Magic Leap One:** Superpone contenido de Realidad Aumentada a través de sus lentes y permite interactuar mediante un mando con botón central y touchpad.
- **Epson Moverio:** Lentes transparentes desarrollados por la empresa Epson que permiten visualizar imágenes de Realidad Aumentada brillantes y de alta calidad, utilizan un procesador Intel Atom 5 y funciona con Android para facilitar el desarrollo de aplicaciones.
- **Google Glass Enterprise Edition:** Diseñado por Google que permite utilizar la voz para controlar el dispositivo. Enfocado en brindar mejor experiencia en el trabajo obteniendo instrucciones de manuales proyectadas en las gafas.
- **Microsoft HoloLens 2:** Es un dispositivo con lentes transparentes de Realidad Aumentada desarrollado por Microsoft, incorpora diferentes sensores como por ejemplo de luz visible, infrarrojos, profundidad, acelerómetro, giroscopio y magnetómetro, junto a una fibra óptica altamente desarrollada para incluir objetos holográficos al mundo real.
- **Dispositivos Móviles:** Es la tecnología más distribuida en el mundo de mayor acceso que permite interactuar con la Realidad Aumentada por medio de aplicaciones desarrolladas con bibliotecas como Vuforia, ARCore y ARKit. Para este proyecto se utilizó ARCore, se puede encontrar como Google Play Services for AR, desarrollado por Google como un kit de software que permite crear aplicaciones de Realidad Aumentada.

Geolocalización

La Geolocalización es una herramienta que permite ubicar personas u objetos en el espacio mediante coordenadas de latitud, longitud y altura, sirviendo

de comunicación entre el mundo físico y el digital, en [17] se explica que existe una confusión de términos entre el acrónimo GPS, Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global) y localización siendo algo más genérico. Además aclara que estos términos están definidos en el Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia de la Lengua como:

- GPS: Sistema que permite conocer la posición de un objeto móvil gracias a la recepción de señales emitidas por una red de satélites.
- Localización: Determinar o señalar el emplazamiento que debe tener alguien o algo, quizás es lo que más se acerca a la definición de geolocalizar.

Por lo tanto Geolocalización se utiliza como expresión popular más difundida de la localización de personas, objetos o cosas mediante el uso de un sistema GPS o similar [17].

En la actualidad las aplicaciones que utilizan Geolocalización son Facebook, Twitter, Whatsapp, Uber, Waze, Google Maps, entre otros. Los ejemplos mencionados otorgan servicios como buscar amistades cercanas, publicar la ubicación en redes sociales, visitar o encontrar lugares de interés y entregar información GPS a un contacto de confianza como medida de seguridad, en este contexto existe la importancia de conocer el paradero y ruta de la persona.

Trabajos relacionados

Considerando los trabajos recientes que se basan en el desarrollo de una aplicación móvil en Android mediante el uso de la Realidad Aumentada y geolocalización, se tiene el trabajo desarrollado por Tsai, M.K., Lee, Y.C., Lu, C.H., Chen, M.H., Chou, T.Y., & Yau, N.J. [7], la cual explica que durante los accidentes nucleares, cuando los materiales radiactivos se propagan al medio ambiente, las personas en las áreas afectadas deben evacuar de inmediato. Debido a los pocos sistemas de información disponibles sobre pautas de escape para accidentes nucleares, estudiaron la forma de construir pautas de escape en dispositivos móviles. Una de las opciones es la información geográfica que ofrece múltiples representaciones; el otro es la realidad aumentada que proporciona servicios de información semi realistas.

En Mitsuahara, Iwaka, Kozuki y Shishibori [8], se centra en la educación sobre desastres utilizando la

tecnología de la información y las comunicaciones para desarrollar simulacros de evacuación sobre desastres mostrando al usuario o turista situaciones en Realidad Aumentada dependiendo de su ubicación geográfica.

Solución de la aplicación

Se implementó una aplicación móvil en Android mediante el uso de la Realidad Aumentada y Geolocalización, para el entrenamiento en caso de tsunami o terremoto que permite observar mapas de los puntos de encuentro bajo zona de seguridad y cartografía de inundación. La finalidad es entregar al usuario toda la información necesaria y realizar entrenamientos de evacuación para evitar posibles accidentes.

La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación se basa en el uso de SCRUM para el desarrollo ágil del software, permitiendo la flexibilidad de cambio de requerimientos planteando objetivos nuevos rápidamente, considerando metas en cortos plazos y obtener resultados rápidos que permita la entrega parcial y regular de prototipos del producto final hasta lograr el objetivo general. También se utilizó Github para alojar el proyecto con sistemas de control de versiones, permitiendo crear diferentes ramas de desarrollo y obtener el código lo más libre de errores posibles.

En el análisis de requerimientos del plan de acción específico por amenaza de sismo o tsunami [5] se obtuvieron funcionales y no funcionales. Los requerimientos funcionales y no funcionales son los siguientes:

- RF_1: La aplicación identifica zonas seguras en caso de inundación.
- RF_2: La aplicación permite observar las vías de evacuación y los 43 puntos de encuentro.
- RF_3: La aplicación permite identificar 48 establecimientos educacionales, 5 establecimientos de salud, 20 edificios públicos/institucionales, 21 edificios/condominios, 7 empresas privadas y servicios, bajo zona de seguridad.
- RF_4: La aplicación permite consultar información variada como instrucciones para actuar en tipos de accidentes, conocer fonos de contacto, medios de comunicación oficiales, sismos registrados, controlar el pánico, entre otras informaciones de ayuda.

- RF_5: La aplicación presenta el modo AR para utilizar la Realidad Aumentada mediante la cámara del móvil, el modo MAPA muestra la ubicación geográfica del usuario en el mapa reconociendo los diferentes puntos, el modo RUTA guía al usuario en la ruta para llegar a los puntos de interés y el modo INFO entrega las informaciones anteriormente mencionadas.
- RF_6: La aplicación permite ingresar a un mapa en modo offline con los puntos de encuentro y rutas.
- RF_7: La aplicación indica la distancia de proximidad de los puntos de interés de las zonas seguras.
- RF_8: La aplicación entrega un medio de evaluación de entrenamiento mediante el uso de cronómetro registrando el mejor tiempo.
- RNF_1: La aplicación funciona en sistema operativo Android 7 o superior.
- RNF_2: La aplicación necesita conexión a internet para el funcionamiento de algunos módulos como por ejemplo la opción RUTA.
- RNF_3: La aplicación tiene una interfaz de navegación intuitiva.
- RNF_4: La aplicación necesita utilizar Servicios de Google Play para RA compatible con los modelos anunciados por ARCore.

A partir de los requisitos funcionales y no funcionales se realizó el diagrama de caso de uso para definir el actor primario y la interacción con los procesos, observar Figura 2.

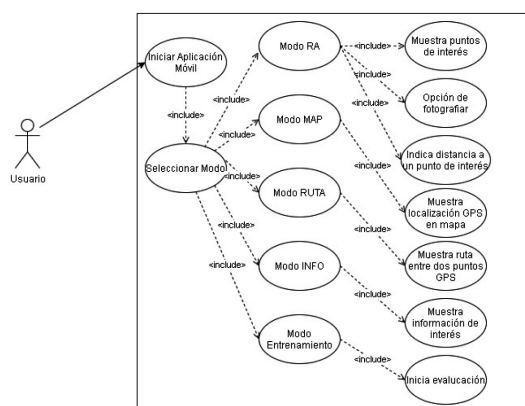


Figura 2. Modelo de Requisitos, casos de uso del actor primario y los procesos.

Luego se realizó el diagrama de flujo, que permite ver las opciones de navegación del usuario para conocer las secuencias de las actividades, ver Figura 3.

El diagrama de comunicación de componentes representa de forma estática la información y permite conocer una vista de alto nivel de los componentes dentro del sistema, junto con sus relaciones como se observa en la Figura 4.

Arquitectura del sistema

A partir de las identificaciones de las zonas seguras están especificadas de acuerdo a la carta de inundación por tsunami entregada por el SHOA en [18], la cual hace énfasis “en caso de alerta de sismo de mayor

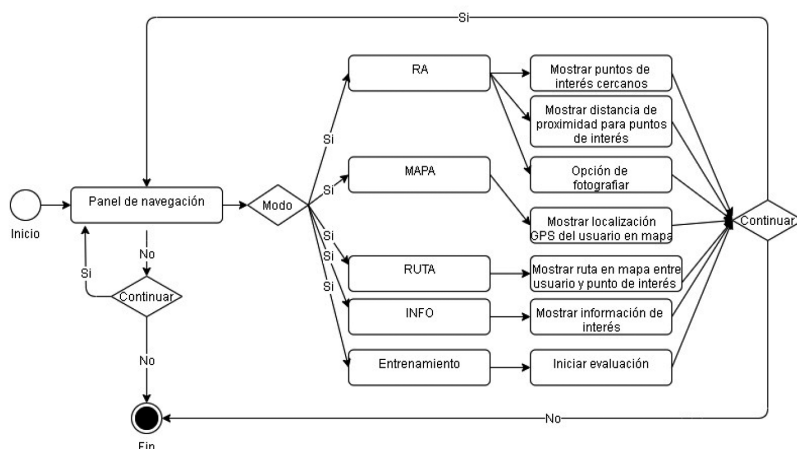


Figura 3. Diagrama de flujo.

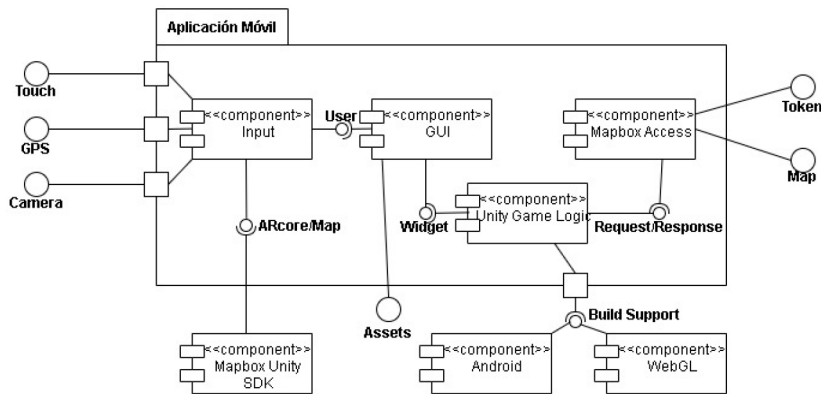


Figura 4. Diagrama de comunicación de componentes.

intensidad, la población costera debe evacuar a una altura superior a los 30 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), siguiendo la recomendación internacional, dada por el International Tsunami Information Center (ITIC)”.

Se implementó la aplicación móvil en Android con Realidad Aumentada y Geolocalización, para el entrenamiento en caso de tsunami o terremoto que permite observar mapas de los puntos de encuentro bajo zona de seguridad y cartografía de inundación. Una representación general de la solución se puede observar en la Figura 5.

La Arquitectura del Sistema representa al cliente registrado en Mapbox que posee un token de acceso a la API de servicios Web permitiendo configurar los servicios de Mapbox como crear o solicitar mapas, navegación en mapas para determinar direcciones y rutas, búsqueda para la codificación geográfica, o sea, a partir de una dirección o nombre de un lugar permite convertir en valores latitud y longitud, por último se tiene acceso a la cuenta personal para administrar tokens.

Desarrollo de la aplicación

Los principales recursos software utilizados son Unity 2018.4.191f y SDK Mapbox versión v.2.1.1, el SDK debe ser importado a Unity, luego se inserta el token entregado al crear la cuenta en la pantalla de inicio de opciones con Mapbox, de este modo se elige entre las opciones prefabricadas (prefabs) o escenas (scene) de desarrollo para comenzar, ver Figura 6.

La vista AR/MAP se basa en la opción proporcionada en Mapbox llamada WordScaleAR, se aprecia puntos geográficos con Realidad Aumentada previamente definidos, junto con el mapa que indica la posición GPS del usuario, observar Figura 7a y Figura 7b. En esta vista se configuró las zonas de seguridad junto con los punteros 3D, se agregó la opción de mover mapa, hacer zoom, buscador, botón menú, cerrar y distancias.

Además, ésta vista contiene el botón Distancia que hace uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) basado en Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS 84), al ingresar a esta opción entrega una

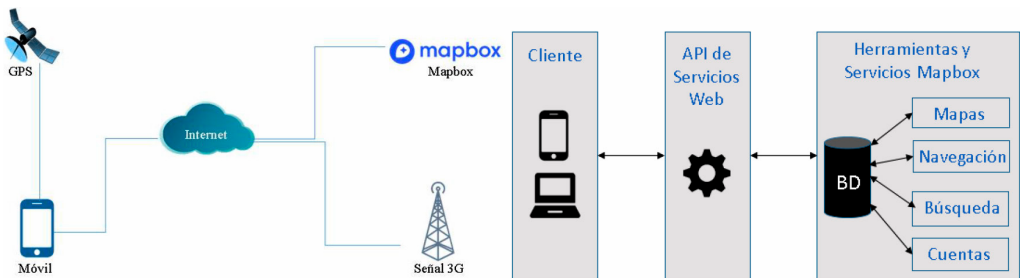


Figura 5. Diagrama y Arquitectura del Sistema.

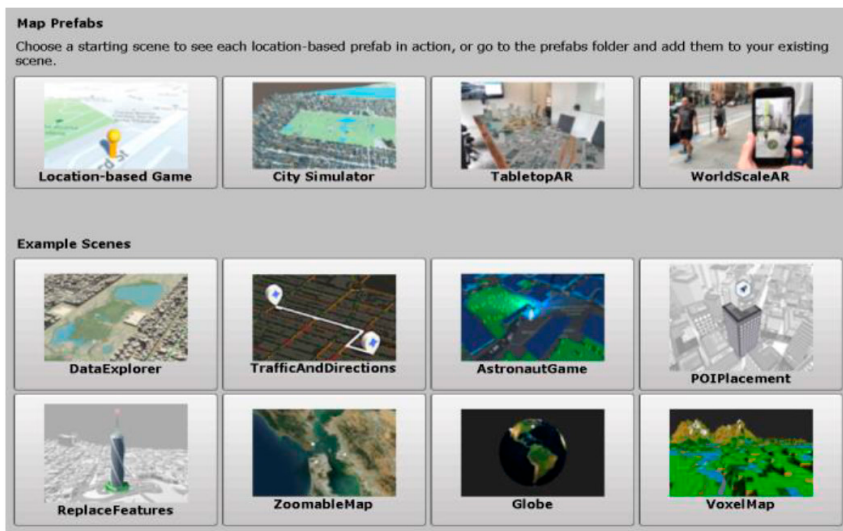


Figura 6. Opciones para comenzar con Mapbox.

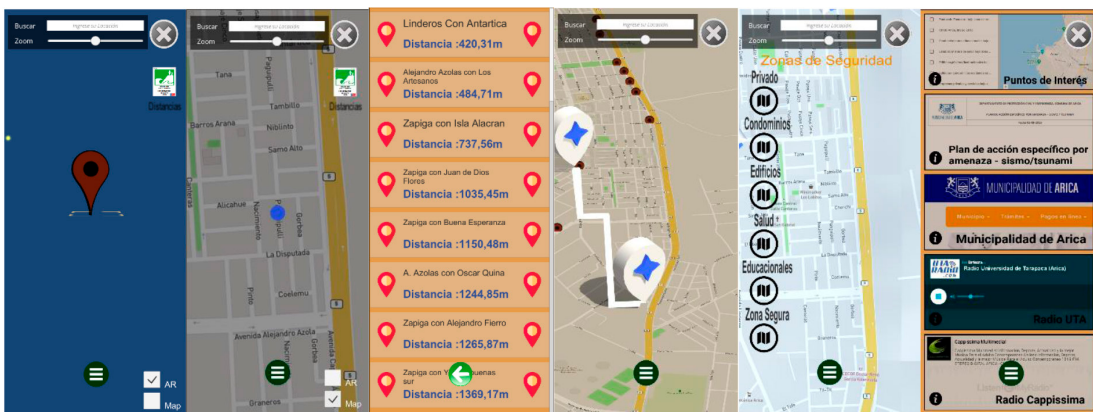


Figura 7. a) Vista AR; b) Vista Map, c) Distancia, d) Ruta, e) Mapas, f) Información.

lista de puntos cercanos de zonas seguras como se observa en la Figura 7c. Esta lista se genera haciendo uso de un prefab de botón para extraer los datos de nombres y coordenadas de las zonas de seguridad escritas en un archivo Json, las coordenadas utilizan la fórmula Haversine [19], se muestra en ecuación (1), ecuación (2) y ecuación (3) para calcular las distancias entre las coordenadas geográficas del usuario y zonas seguras, finalmente la lista es presentada de menor a mayor distancia en metros.

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(lat1) \cdot \cos(lat2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) \quad (1)$$

$$c = 2 \cdot \tan^{-1}\left(\sqrt{a} \cdot \sqrt{1-a}\right) \quad (2)$$

$$d = R \cdot c \quad (3)$$

Donde:

R = radio de la Tierra (6371 km).

$\Delta lat = lat2 - lat1$

$\Delta long = long2 - long1$

La Vista Ruta se implementó a partir de la opción TrafficAndDirections de Mapbox que proporciona dos punteros GPS que se desplazan para crear la ruta entre ambos. Se agregó las coordenadas de

zona segura, modelo 3D, zoom, desplazar mapa, búsqueda, botón de menú y cerrar, ver Figura 7d.

La opción ZoomableMap de Mapbox permitió desarrollar la vista mapa, el mapa es editable para insertar puntos geográficos como de inundación, buscar locaciones, desplazar y zoom como se observa en la Figura 7e, además se agregó punteros por coordenadas geográficas y otras temáticas de mapas.

La Vista “Info” es una lista de botones con información necesaria para el usuario como puntos de interés, plan de acción específico por amenaza sismo/tsunami, web Municipalidad de Arica, Radio UTA y Cappissima, web de sismología, kit de emergencia, control del miedo, primeros auxilios en RCP (Reanimación Cardiopulmonar), fracturas y hemorragias y por último fonos de contacto, observar Figura 7f, cada opción se explica en un recuadro de texto al presionar el botón de información.

La Vista Test mide el rendimiento del usuario haciendo uso de un cronómetro para controlar y obtener el mejor tiempo, ver Figura 8a. Esta escena fue desarrollada con el patrón de diseño singleton para guardar el objeto tiempo y acceder a una instancia desde otra escena, el record se empleó con playerprefs para almacenar valores como el tiempo utilizado entre vistas de la aplicación móvil.

Opción Location permite conocer la ubicación GPS del usuario, observar Figura 8b, en esta escena se agregó el mapa de zona inundación.

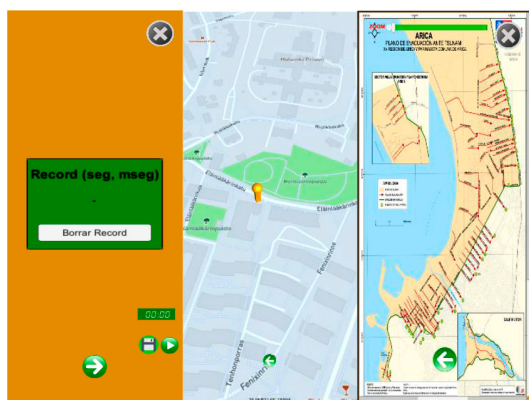


Figura 8. a) Test, b) Locación GPS y c) Mapa Offline.

El Mapa offline se encuentra en el menú principal que proporciona una imagen del mapa con puntos de encuentro y rutas, ver Figura 8c, entrega respaldo a la opción RUTA en caso de fallar el internet móvil. Además esta vista integra el objeto scrollbar, configurado por código para escalar la imagen del mapa y un scroll view que desplaza de forma vertical y horizontal.

Pruebas y análisis de resultados

Las pruebas se realizaron en un ambiente abierto para observar el comportamiento de la aplicación móvil, se utilizaron diferentes equipos para realizar una comparativa. Los resultados deseados son detectar la ubicación del objetivo (target) GPS en las coordenadas configuradas, lograr guiar al usuario con la opción de ruta y observar el mapa con puntos de zonas de seguridad.

Para analizar los resultados obtenidos se utilizaron tres móviles:

1. Móvil Moto One Fusion con Android 10, procesador Octacore Qualcomm Snapdragon 710, CPU Octacore 2,2 + 17, memoria RAM de 4GB, memoria del teléfono de 64 GB y pantalla 6,5 pulgadas.
2. Móvil Galaxy J7 Prime con Android 8.1, procesador Exynos, memoria RAM 3 GB, almacenamiento 32 GB y pantalla 5,5 pulgadas.
3. Móvil Galaxy A01 con Android 10, procesador Snapdragon 439, memoria RAM 2 GB, almacenamiento 32 GB y pantalla 5,7 pulgadas.

Los móviles Galaxy J7 Prime y Galaxy A01 obtuvieron resultados similares de rendimiento debido a la incompatibilidad con ARcore, por esta razón se omitió información de uno de los móviles.

La opción Realidad Aumentada en la vista AR/MAP, como indica la Figura 9 se puede observar el puntero de zona segura en avenida Azola con Artesanos, las coordenadas configuradas indican la locación GPS del target con exactitud para observar a través de la cámara del móvil Moto One Fusion.

En la opción mapa, el puntero indica correctamente la ubicación del usuario, ver Figura 10. Además se puede observar las coordenadas del usuario en la



Figura 9. Target insertado utilizando coordenadas geográficas.

opción log y vista Mi ubicación, esto demuestra estar cerca del puntero configurado en el objeto ArAlignedMap de Unity.

Otras pruebas de Realidad Aumentada y Geolocalización, son los puntos de zona segura en avenida Linderos con Antártica, ver Figura 11, avenida Zapiga con Isla Alacrán, observar Figura 12, pruebas simples en las avenidas Arturo Gallo con 21 de Mayo, ver Figura 13, avenida Mackenna con R. Sotomayor como muestra la Figura 14 y Yungay con Patricio Lynch, observar Figura 15.

Los resultados en el móvil Galaxy A01 y J7 prime no son satisfactorios al realizar la descarga en Play Store al momento de ingresar en la opción AR/MAP para utilizar la Realidad Aumentada de ARCore, notifica que el móvil no es compatible, haciendo imposible un análisis.

Continuando con el análisis, la vista Ruta presenta problemas de funcionamiento al no utilizar conexión a internet, para solucionar este problema existe la opción mapa offline en el menú principal, si existe señal de internet en los móviles de prueba se logra trazar la ruta, ver Figura 16a y Figura 16b que describe los casos anteriores.

La opción MAPA en los móviles de prueba funcionó exitosamente, no es necesario el uso de internet, los puntos mediante coordenadas son correctos, observar Figura 16c.

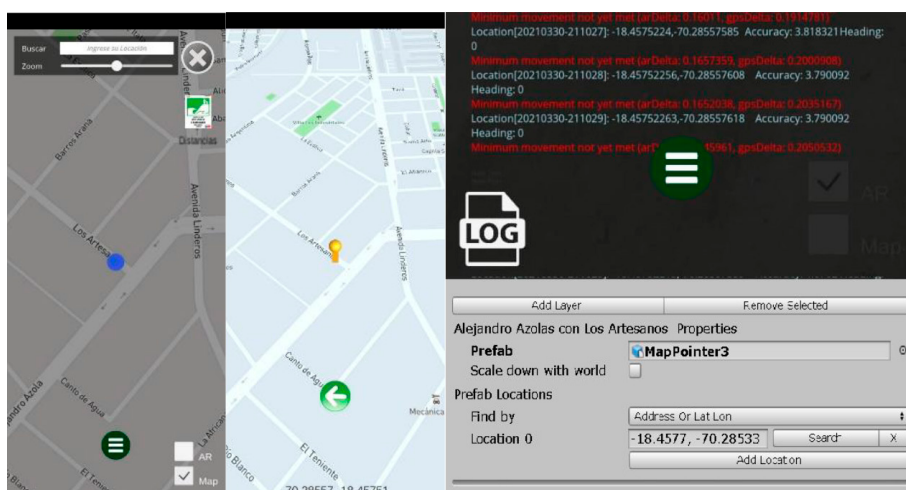


Figura 10. Locación del usuario GPS en mapa, Avenida Artesanos con A. Azolas.

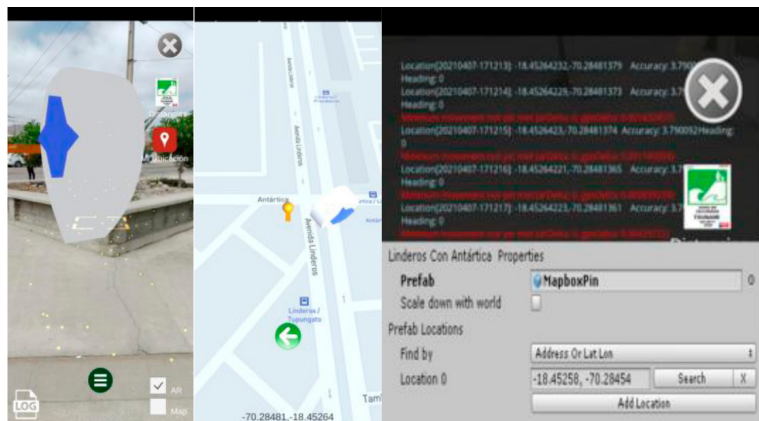


Figura 11. Locación del usuario GPS en mapa, Avenida Linderos con Antártica.

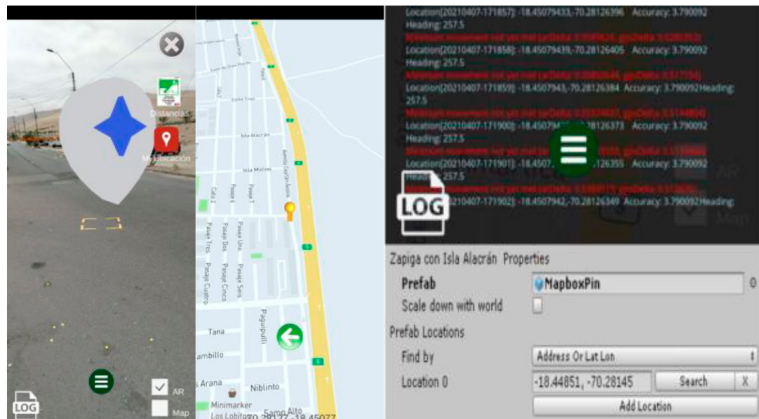


Figura 12. Locación del usuario GPS en mapa, Avenida Zapiga con I. Alacrán.

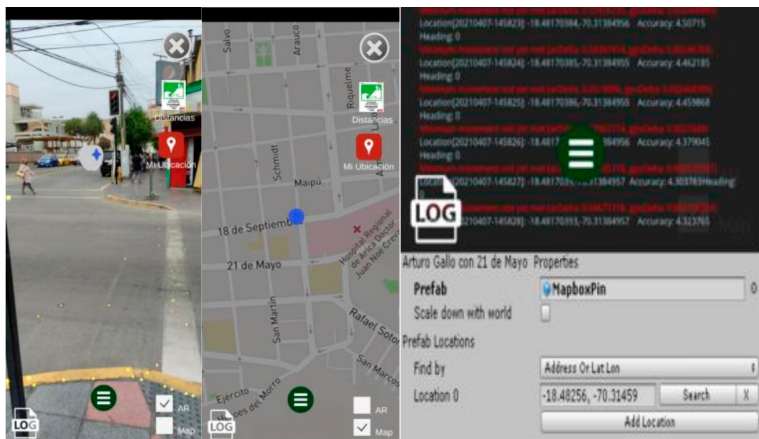


Figura 13. Locación del usuario GPS en mapa, Avenida A. Gallo con 21 Mayo.

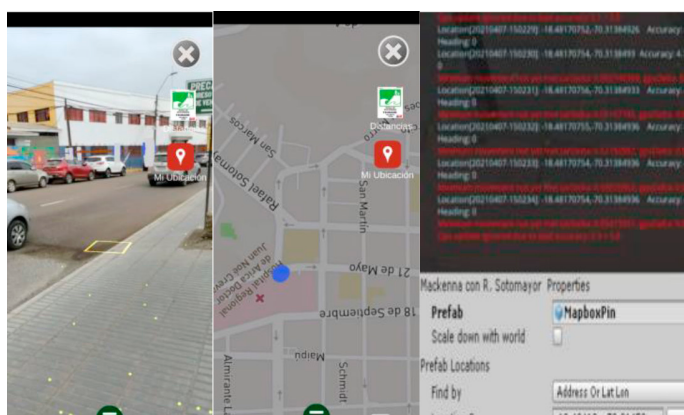


Figura 14. Locación del usuario GPS en mapa, Avenida Mackenna con R. Sotomayor.

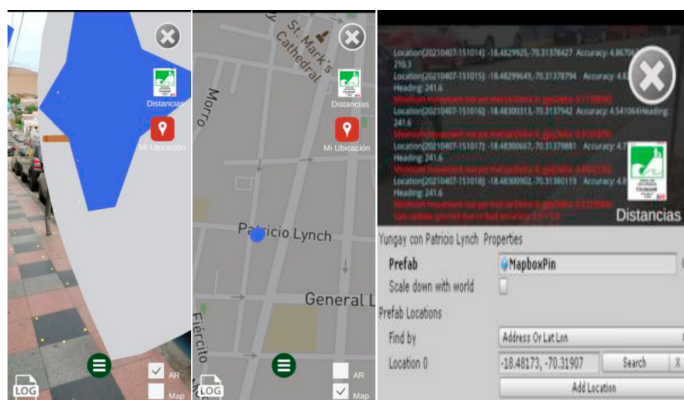


Figura 15. Locación del usuario GPS en mapa, Avenida Yungay con P. Lynch.

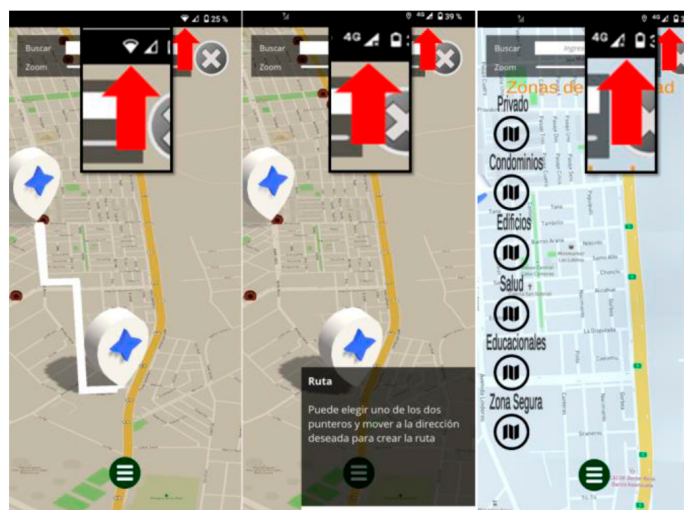


Figura 16. a) y b) Prueba de rutas y c) mapa dependiendo del internet móvil.

Finalizando, la vista Mi Ubicación en móvil Moto One Fusion entregó ubicación y actualización de posición del usuario eficazmente, ver Figura 17a, si la pantalla del móvil se encuentra horizontal o vertical se modificará el rango visible del mapa, ver Figura 17b, el mapa de zona inundación delimita bien la zona de inundación en tiempo real.

En los móviles Galaxy J7 Prime y Galaxy A01 el mapa al cargar presentó problemas al mostrar en pantalla, destacar que esta opción funcionó sin internet móvil, ver Figura 18.

A continuación se presenta en la Tabla 1 una breve conclusión del objetivo analizado, para lograr los resultados se evaluaron a tres usuarios con diferentes móviles utilizando la aplicación en exteriores. El rango de evaluación es de 1 a 5 representando el nivel de funcionamiento, desde pésimo hasta excelente funcionamiento.



Figura 17. a) Secuencia movimiento del puntero en mapa modo vertical y b) horizontal.

A partir del análisis anterior se concluyó que las opciones entregadas por Mapbox requieren de un móvil de gama media alta o alta para el correcto funcionamiento, tener en consideración la compatibilidad del móvil con la Realidad Aumentada de ARCore. Además existe la importancia de crear una interfaz gráfica para pantallas de diferentes pulgadas. El mejor resultado correspondió a la opción MAPA que entrega mejor estabilidad en su funcionamiento, por el contrario la opción Distancia careció de funcionalidad en un móvil, no así en el IDE de Unity.

Para la opción Test se realizó un análisis similar a lo anteriormente descrito. Al ingresar en la opción Test en móvil One Fusion, ver Figura 19a, el cronómetro comienza inmediatamente simulando el aviso de las autoridades a evacuar, en la vista de Test se apreció el tiempo máximo en segundos representando el peor tiempo, Figura 19b, a medida que el usuario logró mejorar y guardar el registro este aparece en la vista inicial. En modo Test se puede navegar en la aplicación al presionar el botón siguiente representado por una flecha, las opciones de la aplicación se sincronizaron con el cronómetro para continuar con el test hasta lograr

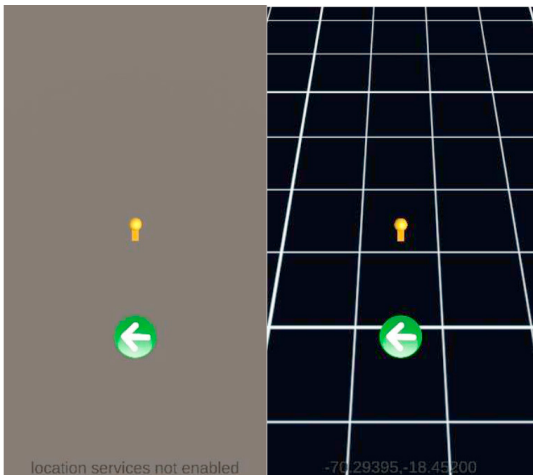


Figura 18. Falla al cargar mapa en zona inundación.

Tabla 1. Tabla resumen de opciones por móviles.

Móvil/Vistas	AR/MAP	Distancia	RUTA	MAPA	Mi ubicación
One fusion	5	1	3	5	5
Galaxy J7 Prime y A01	1	1	3	5	1

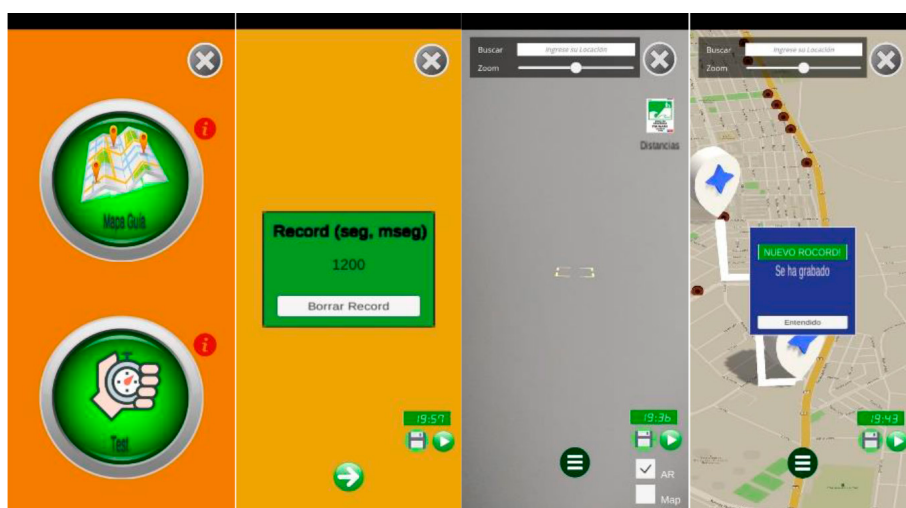


Figura 19. a) Opciones iniciales, b) Vista principal, c) Test en AR/MAP, d) Grabar tiempo.

grabar el mejor tiempo mientras el usuario evacuaba, observar Figura 19c, logrado un buen rendimiento y grabar el tiempo aparecerá un mensaje emergente de felicitaciones como se observa en la Figura 19d.

En los móviles Galaxy J7 Prime y A01 la opción Test funcionó con ciertos problemas por la modificación de pulgadas de la pantalla del móvil realizada por la configuración en Unity, el cronómetro se desplaza como muestra la Figura 20, el test siguió visible ejecutándose.

Según el análisis anterior se presenta la Tabla 2, el rango de evaluación es de 1 a 5 representando el nivel de funcionamiento, desde pésimo hasta excelente funcionamiento.

Se concluyó a nivel general que la opción Test es viable para mejorar los tiempos de evacuación, respecto a la interfaz gráfica algunos componentes como imágenes o botones varían su tamaño y posición dependiendo de las pulgadas de la pantalla



Figura 20. Test en móvil Galaxy J7 Prime y A01.

Tabla 2. Tabla resumen opción Test.

Móvil/Vistas	Record	Guardar y continuar	Cronómetro	Interacción en otras vistas
One fusion	5	5	5	5
Galaxy J7 Prime y A01	5	3	3	3

del móvil, para la interacción del cronómetro y las vistas se utilizó el patrón de diseño “singleton” resultando ser una técnica adecuada para el traspaso de datos del tiempo entre escenas y con “playerprefs” se guardó los datos entre sesiones, esta información se conservó al cerrar e iniciar la aplicación móvil.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Las pruebas realizadas en un ambiente libre permitieron analizar la funcionalidad de cada opción de la aplicación móvil, donde se considera el entrenamiento del usuario para reconocer puntos importantes de encuentro como zonas seguras, zonas de inundación, consultar información relevante, estas características en la aplicación móvil hacen aumentar la prevención, planificación de rutas y tener conocimiento del tiempo que tarda cada usuario en evacuar, desde zonas de inundación o sus cercanías hasta un punto seguro.

En el estado del arte relacionado con el entrenamiento en caso de emergencia con RA y geolocalización, se identificaron trabajos interesantes provenientes de Japón orientado a emergencias nucleares y tsunamis, actualmente el crecimiento de la tecnología para la Realidad Aumentada ha facilitado la investigación y desarrollo de nuevas aplicaciones o software.

Las características de Mapbox son pilares importantes para implementar la Realidad Aumentada utilizando coordenadas Geográficas, dándole la facilidad de actuar sin internet.

La inserción junto con la observación en el ambiente real de punteros 3D mediante coordenadas geográficas y la funcionalidad de los mapas son puntos altos en la aplicación móvil, las zonas seguras tienen una gran exactitud, el punto más bajo es la función Rutas que depende del internet móvil. Además la Realidad Aumentada de ARCore debe ser compatible con ciertos modelos de móviles limitando la cantidad de usuarios.

Finalmente, la construcción de un test para medir el rendimiento en general mostró buenos resultados al utilizar el cronómetro mientras se navega por otras escenas con la posibilidad de guardar y borrar el mejor tiempo para comenzar un nuevo simulacro de evacuación.

El desarrollo de esta aplicación móvil utilizando coordenadas geográficas para insertar marcadores en Realidad Aumentada permite, contribuir a un tema relevante de un país sísmico como Chile, en beneficio de las comunidades en zona de peligro con la importancia de informar, orientar, prevenir, planificar, evitar accidentes y salvar vidas.

Considerar la integración de nuevas características de medición de distancia de manera automática, dirigir al usuario mediante flechas indicativas, trazar rutas de desplazamiento en tiempo real y lograr mayor personalización de componentes, entre otras.

Cabe destacar que este proyecto puede ser extensible a otros tipos de emergencias, como por ejemplo, desastres en caso de incendios forestales. También podría tener orientación en área educativa, turística o empresarial para capacitar al personal.

REFERENCIAS

- [1] Memoria chilena, Biblioteca nacional. “Los terremotos en Chile (1570-2010)”. Fecha de consulta: 19 de agosto de 2020. URL: <http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-printer-3576.html>
- [2] SHOA. “Cartas de Inundación por Tsunami (CITSU)”. Fecha de consulta: 20 de agosto de 2020. <http://www.shoa.cl/php/citsu.php>
- [3] Memoria chilena, Biblioteca nacional. “Terremoto y maremoto de Arica, 1868”. Fecha de consulta: 19 de agosto de 2020. URL: <http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-97954.html>
- [4] MINSAL. “1868... Arica bajo las olas”. Fecha de consulta: 19 de agosto de 2020. URL: <https://degreyd.minsal.cl/arica-bajo-las-olas/>
- [5] ONEMI. “Plan específico por variable de riesgo terremoto-tsunami Región Arica y Parinacota 2018. 2018. Fecha de consulta: 20 de agosto de 2020. URL: https://repositoriodigital.onemi.gov.cl/web/bitstream/handle/2012/1896/P-PEEVR-PO-ARD-04_XV_06.03.2018.pdf?sequence=8
- [6] CNDU. “Actualización #SIEDU: Un millón y medio de personas viven en zonas urbanas de alta recurrencia de incendios forestales”. 2021. Fecha de consulta: 22 de

- diciembre de 2021. URL: <https://cndu.gob.cl/actualizacion-siedu-un-millon-y-medio-de-personas-viven-en-zonas-urbanas-de-alta-recurrencia-de-incendios-forestales/>
- [7] M.-K. Tsai, Y.-C. Lee, C.-H. Lu, M.-H. Chen, T.-Y. Chou and N.-J. Yau. "Integrating geographical information and augmented reality techniques for mobile escape guidelines on nuclear accident sites". *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 109, pp. 36-44. 2012. DOI:10.1016/j.jenvrad.2011.12.025.
- [8] H. Mitsuhashi, K. Iwaka, Y. Kozuki, M. Shishibori, T. Inoue, K. Yamaguchi, Y. Takechi and M. Morimoto. "Penumbra tourism: Place-based disaster education via real-world disaster simulation". 2016 3rd International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM), pp. 1-7. 2016. DOI: 10.1109/ICT-DM.2016.7857222.
- [9] M. Grabowski, A. Rowen and J.P. Rancy. "Evaluation of wearable immersive augmented reality technology in safety-critical systems". *Safety Science*. Vol. 103, pp. 23-32. 2018. DOI: 10.1016/j.ssci.2017.11.013.
- [10] R. Lovreglio and M. Kinatder. "Augmented reality for pedestrian evacuation research: Promises and limitations". *Safety Science*. Vol. 128, pp. 104750. 2020. DOI: 10.1016/j.ssci.2020.104750.
- [11] D. Roopa, R. Prabha and G.A. Senthil. "Revolutionizing education system with interactive augmented reality for quality education". *Materials Today: Proceedings*. Vol. 46 Part 9, pp. 3860-3863. 2021. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.02.294.
- [12] M. Hincapié, C. Díaz, M.I. Zapata-Cárdenas, H.de.J.Toro Rios, D. Valencia and D. Güemes-Castorena. "Augmented reality mobile apps for cultural heritage reactivation". *Computers & Electrical Engineering*. Vol. 93, pp. 107281. 2021. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2021.107281.
- [13] R.T. Azuma. "A Survey of Augmented Reality". *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. Vol. 6 Issue 4, pp. 355-385. 1997. DOI: 10.1162/pres.1997.6.4.355.
- [14] P. Milgram and F. Kishino. "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays". *IEICE Transactions on Information and Systems*. Vol. 77, pp. 1321-1329. 1994. ISSN: 0916-8532.
- [15] K. Hsiao and H.F. Rashvand. "Body Language and Augmented Reality Learning Environment". 2011 Fifth FTRA International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering. Creta, Grecia. Junio, 2011.
- [16] J. Fombona Cadavieco, M.Á. Pascual Sevillano y M. Ferreira Amador. "Realidad aumentada, una evolución de las aplicaciones de los dispositivos móviles. Pixel-Bit. Revista de medios y educación". Nº 41, pp. 197-210. 2012. ISSN: 1133-8482.
- [17] G.B. López. "La geolocalización social". *Polígonos. Revista de Geografía*. Nº 27, pp. 97-118. 2015. ISSN: 2444-0272. DOI: 10.18002/pol.
- [18] ONEMI. "Plan específico por variable de riesgo tsunami Nacional". 2018. Fecha de consulta: 20 de agosto de 2020. URL: https://www.onemi.gob.cl/wp-content/uploads/2018/09/PEEVR_TSUNAMI_01_02_2018.pdf
- [19] M. Abramowitz, Irene A. Stegun and R.H. Romer. "Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables". *American Journal of Physics*. Vol. 56 Issue 10, pp. 78. 1988. DOI: 10.1119/1.15378.