



**UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA  
ESCUELA SUPERIOR DE INFORMÁTICA**

**MÁSTER UNIVERSITARIO  
EN INGENIERÍA INFORMÁTICA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Sistema avanzado de guía en expediciones  
mediante técnicas de Realidad Aumentada**

**Iván García Herrera**

Julio, 2020



**SISTEMA AVANZADO DE GUÍA EN EXPEDICIONES MEDIANTE TÉCNICAS  
DE REALIDAD AUMENTADA**





**UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INFORMÁTICA**  
**Tecnologías y Sistemas de Información**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Sistema avanzado de guía en expediciones  
mediante técnicas de Realidad Aumentada**

Autor: Iván García Herrera

Tutor: Javier Alonso Albusac Jiménez

Julio, 2020





**UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INFORMÁTICA**  
**Tecnologías y Sistemas de Información**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Sistema avanzado de guía en expediciones  
mediante técnicas de Realidad Aumentada**

Fdo.: Iván García Herrera

Fdo.: Javier Alonso Albusac Jiménez

Julio, 2020



## **Iván García Herrera**

Ciudad Real – Spain

*E-mail:* Ivan.Garcia16@alu.uclm.es

*Teléfono:* +34 628 669 551

© 2020 Iván García Herrera

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

Se permite la copia, distribución y/o modificación de este documento bajo los términos de la Licencia de Documentación Libre GNU, versión 1.3 o cualquier versión posterior publicada por la *Free Software Foundation*; sin secciones invariantes. Una copia de esta licencia esta incluida en el apéndice titulado «GNU Free Documentation License».

Muchos de los nombres usados por las compañías para diferenciar sus productos y servicios son reclamados como marcas registradas. Allí donde estos nombres aparezcan en este documento, y cuando el autor haya sido informado de esas marcas registradas, los nombres estarán escritos en mayúsculas o como nombres propios.



**TRIBUNAL:**

**Presidente:**

**Vocal:**

**Secretario:**

**FECHA DE DEFENSA:**

**CALIFICACIÓN:**

**PRESIDENTE**

**VOCAL**

**SECRETARIO**

Fdo.:

Fdo.:

Fdo.:



# Resumen

Las expediciones en la montaña son cada vez más comunes, gracias al auge de deportes al aire libre como el montañismo o el senderismo. Estas rutas pueden ser realizadas de forma individual, aunque destacan aquellas encabezadas por uno o varios guías, que conocen el terreno por el que transcurre la ruta y velan por la seguridad de los participantes en la misma. La seguridad en entornos al aire libre es uno de los factores más importantes y los guías deben tenerla siempre presente, ya que existen numerosos riesgos que pueden resultar en una tragedia. Entre ellos destacan las caídas de personas durante la marcha y la pérdida de un usuario en un entorno de montaña, por no conocer el terreno por el que transcurre una ruta o por una mala orientación durante esta. Además, muchas de las personas con menos experiencia en la montaña tienen problemas al interpretar mapas de terreno en dos dimensiones, lo que puede provocar problemas de orientación, dificultad a la hora de escoger el camino adecuado por el que continuar y aumento del riesgo de pérdida en la montaña por escoger el camino erróneo.

El presente Trabajo de Fin de Máster (TFM) pretende abordar esta problemática creando una aplicación móvil que, haciendo uso de técnicas avanzadas de visualización de información basadas en Realidad Aumentada (RA), sirva como ayuda a los usuarios de expediciones al aire libre para mejorar su orientación y evitar perderse durante la ruta.

En este proyecto, los usuarios podrán hacer uso de su dispositivo móvil para visualizar mediante RA una representación tridimensional del terreno por el que transcurre la expedición sobre la que se dibujará la ruta que se está realizando e indicadores en las posiciones en las que se encuentran los demás usuarios. Además, la aplicación también puede ser usada para visualizar el camino correcto por el que un usuario debe continuar, integrando sobre la escena una línea recta que sugiere la dirección adecuada que el usuario debe seguir. Para que los participantes sean conscientes en todo momento de la situación completa del grupo de expedición, la aplicación también mostrará hologramas en los lugares en los que se encontrarían el resto de usuarios del grupo.



# Abstract

Outdoor expeditions are becoming more common because the number of people who go hiking or mountaineering has increased. These routes can be carried out individually, although those led by one or more guides, who know the terrain through which the route takes place and ensure the safety of the participants, stand out. Safety in outdoor environments is one of the most important factors and guides should always keep it in mind. In the mountains there are many risks that can result in a tragedy. Among them are falls of people during the route and the loss of a user in the mountain, due to the lack of knowledge of the terrain through which a route passes or a bad orientation during the route. In addition, many of the people with less experience in the mountains have problems interpreting two-dimensional terrain maps. This can lead to problems with orientation, difficulty in choosing the right route to follow and increased risk of loss on the mountain due to choosing the wrong route.

This TFM intends to solve this problem by creating a mobile application. The application uses advanced information visualization techniques based on Augmented Reality, and helps users on outdoor expeditions to improve their orientation and avoid getting lost during the route.

In this project, users will be able to use their mobile device to visualize a three-dimensional representation of the terrain through which the expedition passes. Thanks to the use of Augmented Reality, the route being taken will be drawn as well as indicators in the positions where the other users are. In addition, the application can also be used to visualize the correct path for a user to continue along. To do this, it integrates on the scene a straight line that suggests the right direction that the user should follow. In order for the participants to be aware at all times of the complete situation of the expedition group, the application will also display holograms in the places where the rest of the users in the group would be.



# Agradecimientos

En primer lugar a toda mi familia y en especial a mis padres Rafa y Oliva, por ser un pilar fundamental a lo largo de toda mi formación universitaria. Gracias por creer en mi y darme la posibilidad de formarme en la profesión que siempre he querido. A mis hermanos Diego y Óscar por su cariño y apoyo a lo largo de mi vida.

A Lidia, mi compañera de vida y apoyo fundamental durante estos años. Gracias por ser el hombro en el que impulsarme para seguir subiendo con fuerza.

A todos mis compañeros, pero en especial a Jesús y Alberto con los que he compartido los mejores momentos de este máster.

A mis amigos, a los de toda la vida, gracias por estar ahí durante todo este tiempo y por los mejores momentos de desconexión de la rutina.

Por último, pero no por ello menos importante, gracias al profesorado de la Escuela Superior de Informática por los conocimientos y la pasión transmitida durante mi etapa universitaria. En particular, me gustaría agradecer a Javier Alonso Albusac su entera dedicación y disposición incluso en los momentos más difíciles de estos últimos meses.

A todos vosotros, mi mas sincera gratitud.

Iván.



*A mi abuelo Mateo*



# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>V</b>
<b>Abstract</b>	<b>VII</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>IX</b>
<b>Índice general</b>	<b>XIII</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>XV</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>XVII</b>
<b>Índice de listados</b>	<b>XIX</b>
<b>Listado de acrónimos</b>	<b>XXI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>5</b>
2.1. Objetivo general . . . . .	5
2.2. Objetivos específicos . . . . .	5
<b>3. Antecedentes</b>	<b>9</b>
3.1. Trabajos relacionados . . . . .	9
3.2. Aplicaciones para mejorar la orientación en entornos exteriores, haciendo uso de RA . . . . .	11
3.2.1. <i>Google Maps</i> y <i>Live View</i> . . . . .	11
3.2.2. <i>Peak Finder</i> . . . . .	12
3.3. Plataformas para la representación de información geográfica . . . . .	13
3.3.1. <i>Mapbox</i> . . . . .	13
<b>4. Método de Trabajo</b>	<b>15</b>
4.1. Metodología Propuesta . . . . .	15

0.		
	4.1.1. Iteraciones . . . . .	16
4.2.	Características <i>hardware</i> y <i>software</i> del desarrollo . . . . .	18
	4.2.1. Medios <i>hardware</i> . . . . .	18
	4.2.2. Medios <i>software</i> . . . . .	19
<b>5.</b>	<b>Resultados</b>	<b>21</b>
	5.1. Arquitectura . . . . .	21
	5.2. Tratamiento previo de los datos procedentes de las fuentes de información .	25
	5.2.1. Obtención de información para <i>testing</i> . . . . .	26
	5.3. Aplicación Móvil y técnicas de visualización avanzadas basadas en RA . . .	28
	5.3.1. Integración de <i>Mapbox</i> en <i>Unity</i> . . . . .	28
	5.3.2. Construcción de mapas tridimensionales y visualización mediante RA	30
	5.3.3. Indicaciones visuales sobre mundo real . . . . .	34
<b>6.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>41</b>
	6.1. Cumplimiento de objetivos . . . . .	42
	6.2. Competencias trabajadas durante este proyecto . . . . .	43
	6.3. Trabajo futuro . . . . .	44
	<b>Referencias</b>	<b>45</b>

# Índice de tablas

3.1. Tabla comparativa de las principales características de las aplicaciones de RA para la exploración de picos montañosos . . . . .	13
4.1. Estimación del esfuerzo dedicado a cada una de las tareas . . . . .	17
4.2. Descripción resumida de la primera iteración . . . . .	17
4.3. Descripción resumida de la segunda iteración . . . . .	18
4.4. Descripción resumida de la tercera iteración . . . . .	18
5.1. Precio de uso de la Application Programming Interface (API) de <i>Mapbox</i> para <i>Unity</i> . . . . .	29



# Índice de figuras

1.1.	sistema de visualización de mapas de terreno bidimensionales en GVIDI . . .	3
3.1.	representación gráfica tridimensional de información geográfica. Imagen extraída de [Lia05] . . . . .	11
3.2.	funcionalidad de <i>Live View</i> integrada dentro de la aplicación <i>Google Maps</i> <sup>1</sup>	12
3.3.	aplicación de RA <i>Peak Finder</i> para la identificación de picos montañosos <sup>2</sup> .	13
3.4.	integración tridimensional de una ciudad sobre una superficie real. <sup>3</sup> . . . .	14
4.1.	metodología iterativa e incremental usada en este proyecto, junto con los resultados de cada uno de los incrementos. . . . .	16
4.2.	diagrama de Gantt del proyecto. . . . .	20
5.1.	esquema general de GVIDI, incluyendo el sistema de visualización avanzado que se ha desarrollado en este proyecto. . . . .	22
5.2.	arquitectura general del proyecto, en la que se observan los componentes principales que lo componen, así como las relaciones entre los mismos. . .	23
5.3.	Comparación de la ruta Pico Peñafiel y La Cercera con un mapa tradicional y la aplicación desarrollada en este TFM. La ruta fue compartida con la comunidad en la plataforma <i>Wikiloc</i> <sup>4</sup> . . . . .	27
5.4.	menú para la selección del modo de uso de la aplicación de RA . . . . .	30
5.5.	información de la ruta y las alertas generadas durante una expedición, integrada sobre un mapa tridimensional del terreno por el que transcurrió. . . .	34
5.6.	usuario visualizando la ruta completa de la expedición sobre un mapa virtual tridimensional del terreno. . . . .	34
5.7.	Transformación de coordenadas, de grados a radianes . . . . .	36
5.8.	Fórmula de <i>Harvesine</i> . . . . .	36
5.9.	Distancia ortodrómica entre dos puntos sobre la superficie de una esfera <sup>5</sup> .	37
5.10.	Uso de la herramienta durante la marcha para visualizar la ruta por la que continuar y el holograma del guía. . . . .	39



## Índice de listados

5.1. Formato de la información de expediciones proporcionada a la aplicación de RA. . . . .	25
5.2. Fragmento de código de la herramienta para simular expediciones que muestra las variaciones en el ritmo de los participantes con respecto al guía. . . . .	28
5.3. Clase serializable que representa la expedición, formada por un guía y un conjunto de participantes . . . . .	30
5.4. Deserialización de JSON en un objeto que representa la expedición . . . . .	30
5.5. Transformación de coordenadas del mundo real a coordenadas virtuales con información de elevación . . . . .	32
5.6. Creación de la malla poligonal que conforma la ruta de la expedición . . . . .	33
5.7. Obtención de las siguientes coordenadas de la ruta . . . . .	36
5.8. Posicionamiento del holograma del guía de la expedición en la escena . . . . .	38



# Listado de acrónimos

<b>FEDME</b>	Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada
<b>TFM</b>	Trabajo de Fin de Máster
<b>RA</b>	Realidad Aumentada
<b>3D</b>	3 Dimensiones
<b>TFG</b>	Trabajo de Fin de Grado
<b>DEM</b>	Digital Elevation Model
<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>SDK</b>	Software Development Kit
<b>RV</b>	Realidad Virtual
<b>JSON</b>	JavaScript Object Notation
<b>UTC</b>	Coordinated Universal Time
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GPX</b>	GPS Exchange Format
<b>RAM</b>	Random Access Memory
<b>PT</b>	Paquetes de Trabajo
<b>T</b>	Tareas



## Capítulo 1

# Introducción

EN los últimos años, los deportes en la montaña han experimentado un aumento en el número de personas que los practican. Si atendemos a los datos del último anuario realizado por la Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada (FEDME) [FED18], existen un total de 116.271 personas federadas en nuestro país. Los números han evolucionado significativamente en la última década, experimentando un aumento de casi 40.000 personas federadas.

Con este aumento en el número de personas que practican deportes en la montaña, también ha aumentado el número de accidentes en la montaña [Sou17]. Según [Her16], en España en el año 2013 la unidad de rescate de la Guardia Civil contabilizó un total de 1579 accidentados, de los cuales 94 accidentados fallecieron, 475 resultaron heridos y 1010 resultaron ilesos. Por tanto, aproximadamente un 36 % de los accidentados sufrieron algún tipo de daño. Cabe destacar que estos datos no representan la totalidad de accidentes en la montaña en dicho año, ya que la Guardia Civil no actúa en todo el territorio nacional y además se producen rescates no contabilizados por esta entidad (ya que son realizados por otros equipos de rescate). Según los estudios de la tesis citada, en el año 2014 hubo un total de 3223 rescates y un 4,69 % de los deportistas federados tuvo que ser rescatado. Este porcentaje es bastante elevado y puede indicar que realmente existe una necesidad de sistemas, aplicaciones o herramientas que busquen maximizar la seguridad de los usuarios en las expediciones al aire libre.

Los deportes en la montaña tienen un aspecto social muy importante [Boz19] y son comunes los grupos de expedición liderados por uno o más guías [gui15] que conocen el terreno por el que transcurrirá la ruta. A estos grupos de expedición acuden personas con distinto nivel de experiencia en la montaña y distinto nivel de forma física, por lo que tener un control sobre el grupo completo es una tarea difícil para los guías. Son muy comunes las situaciones en las que conforme avanza la ruta, el grupo tiende a dispersarse formando grupos más pequeños de los usuarios iniciales. Esta dispersión es un factor de peligrosidad que debe ser controlado por los guías.

En este contexto, surgió “GVIDI: Monitorización inteligente de grupos de expedición para la mejora de seguridad” [Her19]. Dicho proyecto fue realizado por el mismo autor de es-

## 1. INTRODUCCIÓN

te TFM y fue defendido en Julio de 2019 en la Escuela Superior de Informática de Ciudad Real, obteniendo una calificación de **10: Matrícula de Honor**. Además, el proyecto obtuvo el premio a mejor Trabajo de Fin de Grado (TFG) otorgado por *aula alpinia*, de la compañía *Alpinia*<sup>1</sup> y el segundo premio a mejor TFG otorgado por *aula smact*, de la compañía *Avanttic*<sup>2</sup>.

GVIDI surgió como un sistema que permitía a los guías mantener un control completo del grupo de expedición (de su localización, de sus condiciones físicas, de posibles alertas por situaciones de peligro, etc.) y mostraba indicadores para ayudar a los guías en la toma de decisiones como por ejemplo la realización de paradas de reagrupación, minimizar el ritmo al que se camina para agrupar a todas las personas o acudir al rescate de un usuario por una posible caída, entre otras. Dicho sistema también era útil para los usuarios de la expedición, que visualizaban en todo momento el lugar en el que se encuentra cada uno de los usuarios (incluido el guía de la expedición), minimizando el riesgo de pérdida en la montaña. El objetivo de GVIDI es la mejora de la seguridad en grupos de expedición y para ello diseñó una arquitectura que integraba:

- Un **dispositivo físico**, que toma información acerca del entorno del usuario mediante una serie de sensores que tenía conectados a este. Este dispositivo físico hace uso del microcontrolador Arduino UNO para su funcionamiento.
- Una **aplicación móvil**, que toma la información recibida por el dispositivo físico y la contrasta con información captada por los sensores que incluyen los *smartphone*. Esta aplicación se encarga de realizar el procesamiento de la información y generar alertas que son recibidas en tiempo real por el guía. La aplicación móvil incluye una serie de algoritmos que son usados para maximizar la seguridad de los usuarios de las rutas. Entre estos algoritmos destacan: detector de caídas en tiempo real, algoritmo de cálculo del riesgo de caída en un momento dado (haciendo uso de lógica difusa) y cálculo del grado de dispersión del grupo de expedición (un grupo muy disperso es más propenso a sufrir accidentes fatales durante una expedición).
- Una **plataforma web** que muestra información detallada de la expedición tanto en tiempo real, como de forma histórica con el objetivo de poder analizar la expedición una vez realizada. Esta plataforma web también puede servir para que familiares o amigos del participante en la expedición contemplen el estado de éste durante la marcha, aportándoles una mayor tranquilidad.

En GVIDI, la información se representa mediante mapas de terreno bidimensionales (véase Figura 1.1), sobre los que se añade información acerca de las posiciones del guía y el resto de participantes. En muchas expediciones, antes de comenzar, se reparte un mapa a cada uno de los integrantes con información acerca de la ruta que van a realizar como por ejemplo el

---

<sup>1</sup><https://alpinia.digital/>

<sup>2</sup><https://avanttic.com/>

camino por el que transcurre, puntos de interés que se encuentran a lo largo de la ruta, lugares en los que se realizarán paradas técnicas para la reagrupación, etc. Sin embargo, para muchas personas esto no es una gran ayuda ya que no conocen como interpretar de forma correcta un mapa en dos dimensiones, en espacios al aire libre y con muy pocas referencias visuales (como pueden ser grandes rascacielos o edificios representativos en las ciudades).

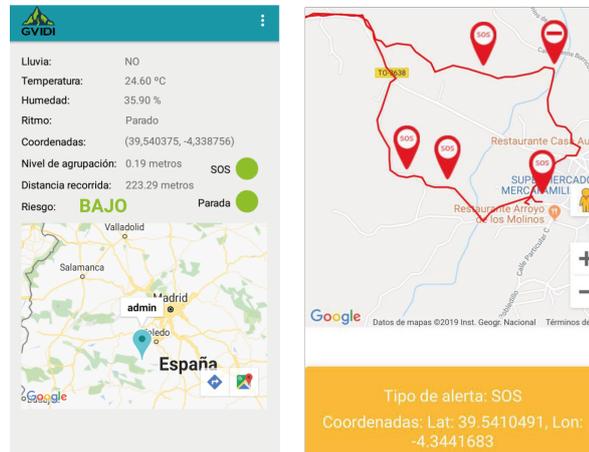


Figura 1.1: sistema de visualización de mapas de terreno bidimensionales en GVIDI

La visualización de los mapas bidimensionales a través de un computador (de forma que se pueda hacer *zoom* y moverse por el mapa libremente) en vez de en papel no es la solución al problema, ya que la extracción de información acerca de la topografía y el relieve del terreno de un mapa en dos dimensiones no es una tarea sencilla. Incluso si se añade información extra al mapa como líneas de contorno, sombras y distintos colores dependiendo de la elevación, no es posible garantizar que todos los usuarios de una expedición sepan interpretar correctamente la información del mapa.

En los últimos años, se ha manifestado el auge de tecnologías de visualización avanzadas como la Realidad Virtual (RV) [vrb18] [Du18] o la RA [Chu18] que mejoran la interpretabilidad de la información frente a los sistemas más clásicos. En concreto, la RA es una tecnología que permite agregar información adicional a una imagen o escena del mundo real. Para visualizar esta información, son necesarios dispositivos externos como *smartphones* o gafas de RA que ofrecen al usuario una realidad transformada. Sin embargo, no cualquier tipo de información añadida a una escena real se considera RA. Según [Azu97], para que un sistema sea considerado RA, debe cumplir tres características:

1. Combinar información del mundo real y el virtual.
2. Integrar la información en tiempo real.
3. Registro en 3D, es decir, no se contemplan como RA sistemas que tan solo superpongan información bidimensional en una escena real.

En el presente TFM, se toma el sistema GVIDI como punto de partida. Sobre este proyecto,

## 1. INTRODUCCIÓN

se construirá un sistema avanzado de visualización, basado en técnicas de RA para paliar las dificultades que tienen las personas para orientarse en la montaña. La principal dificultad que tienen los usuarios al interpretar la información de mapas tradicionales está relacionada con la topografía y el relieve del terreno. El sistema de RA que se propone en este proyecto pretende mejorar la orientación de los usuarios en la montaña y ayudar a maximizar la seguridad de estos durante las expediciones.

Gracias a este sistema, los usuarios podrán visualizar la expedición en 3D sobre una representación gráfica del terreno por el que transcurre. Se desarrollará una aplicación de RA que, a través de dispositivos de visualización como las gafas de RA o un *smartphone*, sea capaz de mostrar la ruta por la que transcurre la expedición sobre una representación tridimensional del terreno por el que se camina, que se sobrepone al mundo real. Sobre esta representación tridimensional, el usuario podrá moverse libremente (desplazándose alrededor de la propia representación virtual o mediante gestos predefinidos para hacer *zoom* o realizar desplazamientos laterales). Además, también podrá visualizar dónde se encuentran cada uno de sus compañeros de expedición y la orografía del terreno que los separa, con el fin de tomar decisiones como sugerir al guía la realización de una parada.

Además, esta aplicación también integrará sobre el propio terreno indicaciones que sugieren a los usuarios el camino que hay que tomar con el fin de evitar pérdidas de usuarios durante la expedición. Esta característica puede ser muy útil si un usuario (o grupo de usuarios) se ha separado demasiado del guía y, mientras seguían su ruta, se han encontrado con una bifurcación del camino. Ante esta situación, los usuarios pueden hacer uso de la aplicación que aquí se propone, indicándoles cuál es el camino correcto a seguir, sin necesidad de visualizar e interpretar ningún mapa. Todas estas características ayudarán a mejorar la orientación de los usuarios durante la ruta.

## Capítulo 2

# Objetivos

**E**N este capítulo se va a presentar tanto el objetivo que se pretende cumplir con el desarrollo de este TFM, como los distintos hitos necesarios para lograr el objetivo principal.

### 2.1 Objetivo general

El objetivo principal de este TFM es la **representación de información relevante durante expediciones en la montaña, usando técnicas basadas en Realidad Aumentada.**

Para llevar a cabo este objetivo, se mostrará en tiempo real información relacionada con la localización de los usuarios en la expedición para mejorar la orientación de estos durante la ruta. Esta información será mostrada usando técnicas de visualización avanzadas, basadas en RA. Entre estas técnicas destacan la integración de información virtual dentro de la escena real a través de dispositivos como *smartphones* o gafas de RA o la exposición de una representación gráfica tridimensional del terreno por el que transcurre la expedición.

### 2.2 Objetivos específicos

1. **Integración con el sistema de almacenamiento de datos de GVIDI, para tomar la información relevante a representar.**

Como se ha comentado anteriormente, este TFM toma como base un TFG realizado anteriormente. Este TFG genera cierta información, que es almacenada en una base de datos en tiempo real en la nube. Entre esta información destacan los datos de localización de cada uno de los integrantes de la expedición (tanto guías como participantes) por lo que el proyecto que aquí se propone debe ser capaz de tomar esta información previamente almacenada para visualizarla posteriormente mediante las nuevas técnicas avanzadas. Por tanto, destacan las siguientes acciones para lograr el objetivo aquí propuesto:

- a) Conexión con el sistema de almacenamiento de datos en tiempo real usado por GVIDI. Para ello, se implementará un *software* que realizará la conexión con la base de datos en tiempo real en la nube para tomar la información de la expedi-

## 2. OBJETIVOS

ción que el usuario está realizando en un momento dado. También será posible recibir la información de expediciones pasadas para analizarlas en un entorno de RA.

- b) Manipulación de la información de expediciones obtenida para su tratamiento por parte de la aplicación de RA. Para que la aplicación de RA propuesta en este TFM pueda usar los datos que han sido previamente tomados de la base de datos en tiempo real, es necesario realizar un proceso de tratamiento de datos para adaptarlos al formato demandado por dicha aplicación.
- c) Sistema de carga de la información de expediciones en la aplicación de RA. Se diseñará un procedimiento para cargar la información de la expedición en curso y expediciones pasadas en la aplicación de RA.

### 2. **Gestión y tratamiento de la información para su representación mediante técnicas de RA.**

La aplicación de RA que en este proyecto se propone necesita información acerca de la localización de los usuarios en las expediciones, previamente almacenada por GVIDI. Sin embargo, para que este sistema no sea una limitación en el uso de la aplicación propuesta, también será posible la representación visual de información tomada a través de otras aplicaciones o dispositivos.

Para que dicha información pueda ser representada mediante técnicas de RA necesita homogeneizarse. La RA permite añadir contenido virtual a la escena real, por lo que es necesario que la información que ya se tiene (del mundo real) sea gestionada y tratada adecuadamente, de forma que pueda ser integrada virtualmente en el mundo real. Entre los tratamientos necesarios destaca la conversión de coordenadas del mundo real a coordenadas dentro de un espacio tridimensional virtual, en las que hay que tener en cuenta la rotación y posición del dispositivo de visualización (ya sean gafas de RA o un *smartphone*) con respecto a la escena.

### 3. **Integración de la información anterior sobre un mapa en 3D.**

Con la aplicación que se pretende desarrollar en este proyecto, será posible visualizar una representación tridimensional del terreno por el que transcurre la expedición. Sobre dicha representación, se dibujará información relevante para los usuarios en tiempo real como puede ser la posición de cada uno de sus compañeros, las alertas que se han generado (que pueden indicar tramos dificultosos) o el camino que se ha recorrido, para permitir volver atrás sin pérdidas durante el camino.

La representación tridimensional del terreno permitirá a los usuarios una mejor orientación durante la expedición, al igual que les facilitará la toma de decisiones. El principal problema que se pretende solventar con este objetivo es la capacidad para interpretar datos relativos a la elevación y relieve del terreno. Con la representación

tridimensional que aquí se propone los usuarios tendrán una idea clara de la orografía que tienen por delante, en todo momento.

#### **4. Visualización de la información durante la expedición, en una aplicación móvil de RA**

Para visualizar la información usando técnicas de RA se propone la implementación de una aplicación móvil de RA, usando para ello Unity y ARKit. Esta aplicación móvil será capaz de integrar la representación tridimensional (mencionada en el objetivo anterior) en la escena real.

La aplicación móvil no solo mostrará la información relevante durante la expedición sobre una representación tridimensional del terreno, sino que también se encargará de mostrar dicha información directamente sobre el mundo real. Se dibujará sobre el suelo una línea que sugiera a los usuarios el camino correcto a seguir, además de añadir marcadores en los lugares de la escena real en los que se encuentran los compañeros y guías de expedición.



## Capítulo 3

# Antecedentes

**E**N este capítulo se van a presentar todos los conceptos necesarios para comprender el proyecto que se va a llevar a cabo, tanto los elegidos para la realización del mismo como otros que se consideren relevantes para una correcta comprensión del problema.

Se explican también los proyectos existentes en el mercado, relacionados de una forma u otra con la problemática que se pretende atajar en este TFM, justificando la necesidad del mismo. En el mercado se pueden encontrar distintas aplicaciones y dispositivos que pueden tener una relación con el objetivo principal de este proyecto, la representación de información relevante durante expediciones en la montaña, mediante técnicas de RA.

### 3.1 Trabajos relacionados

La problemática principal que se quiere abordar con este TFM es la dificultad para representar mapas de terreno bidimensionales por parte de los usuarios de las expediciones. Para ello, se propone el uso de técnicas de RA que integren mapas tridimensionales en la escena real. En el trabajo desarrollado por [Oul09], se hace un estudio acerca de cómo las diferencias en la representación de mapas en 2D y en 3D se refleja en las estrategias de los usuarios para llevar a cabo tareas. Estos últimos, dependen de la perspectiva de la persona, otorgan más grados de libertad en el movimiento y los detalles de los objetos de alrededor cambian dinámicamente. Este estudio muestra como los mapas 3D otorgan características (formas de los edificios, detalles en las fachadas, puntos conocidos) que hacen más sencilla la orientación y son preferidas por los usuarios, frente a otras que se usan más en mapas en 2D (nombres de calles, números de edificios o direcciones cardinales).

En el estudio propuesto por [Pop13] se puede observar una comparación del seguimiento ocular de una serie de usuarios ante mapas tridimensionales y bidimensionales. Las visualizaciones tridimensionales del terreno deberían ser más comprensibles para los usuarios que no tuviesen formación cartográfica previa. También se realizó un cuestionario a estos usuarios, para cerciorarse de los resultados del seguimiento ocular. Este estudio se centró en la comprensión de los mapas y la estética y los resultados muestran que los usuarios que participaron en el estudio prefieren la visualización en 3D. De igual forma, en el estudio realizado por [Pet06] se concluye que incluso los usuarios que están familiarizados con los

### 3. ANTECEDENTES

mapas topográficos en 2D y que conocen los símbolos de objetos particulares en los mapas topográficos, encuentran más sencillo la representación simbólica en 3D para la mayoría de objetos propuestos.

En el trabajo desarrollado por [Hed02] se muestra el uso de tecnologías como la RA, la Realidad Virtual inmersiva y la visión por computador para crear interfaces de usuario para la visualización de datos geográficos. En este trabajo, se sobreponen representaciones tridimensionales de los objetos reales sobre patrones que están enlazados con las representaciones virtuales. Una vez que la cámara que porta el usuario detecta el patrón, se mostrará la representación tridimensional del mapa a través del dispositivo de visualización. La experiencia de usuario usando este tipo de sistemas es positiva, encontrándolo de fácil uso.

En los trabajos desarrollados por [Wie17], [Car17a] y [Car17b] se muestra una implementación de una visualización de mapas topográficos en 3D mediante el uso de RA y que pretende servir como una herramienta colaborativa usada durante la sesión informativa preliminar de las expediciones y rutas al aire libre. Este sistema es propuesto como una alternativa al uso de mapas topográficos comunes en 2D, por proporcionar un mejor entendimiento acerca de la dificultad del entorno.

En el trabajo desarrollado por [Fed16] se muestra una aplicación de RA que ayuda a crear referencias visuales con el objetivo de mejorar la orientación a través de la identificación de picos montañosos. Esta aplicación funciona de forma distinta a la aplicación *Peak Finder*, comentada anteriormente. En este caso, se hace uso de un algoritmo de RA basado en contenido, que no solo toma como entradas la posición y la orientación del dispositivo móvil (o gafas de RA), sino que también hace uso de un Digital Elevation Model (DEM) que contiene una representación en tres dimensiones de la superficie terrestre. Este modelo de elevación se puede superponer a las imágenes capturadas por la cámara del dispositivo para identificar de forma más fiable los picos montañosos.

Este tipo de aplicaciones, como se ha comentado anteriormente, son muy útiles para los usuarios que realizan rutas al aire libre ya que les ayudan a mejorar su orientación. Sin embargo, no ayudan en el control de un grupo de expedición, formado por un conjunto de personas y encabezado por uno o varios guías. Este trabajo no es capaz de gestionar una ruta (previamente cargada o en tiempo real) ni mostrar las posiciones de los usuarios y guías.

En el trabajo desarrollado por [Lia05] se presenta un sistema interactivo para la visualización de información geográfica. Este sistema muestra reconstrucciones tridimensionales de información geográfica en tiempo real y expone la idea de examinar la representación digital de un mapa desde cualquier ángulo y a cualquier distancia, a través del uso de marcas físicas sobre las que se dibujará el mapa. La información geográfica que aquí se expone no está limitada a entornos de montaña, sino que también se muestran ejemplos de visualización de información en ciudades, con representaciones tridimensionales de los edificios de estas.

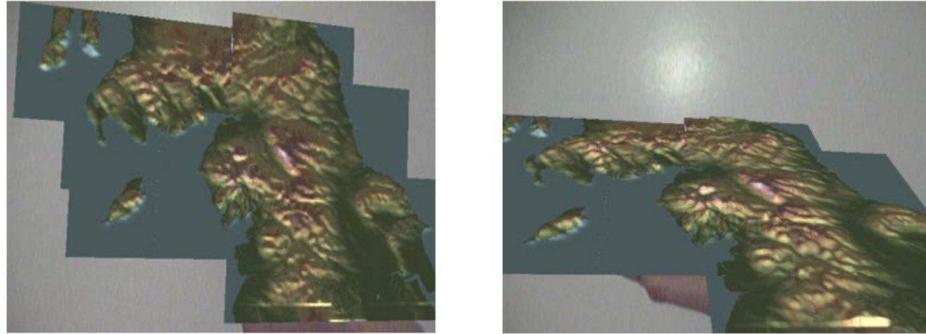


Figura 3.1: representación gráfica tridimensional de información geográfica. Imagen extraída de [Lia05]

La idea del uso de marcas físicas para dibujar el mapa tridimensional es adoptada por el proyecto que se pretende realizar. En este TFM se va a mostrar un mapa tridimensional que se integrara sobre una superficie plana del mundo real (por ejemplo, el suelo). Sin embargo, no solo estará limitado a mostrar la representación tridimensional del mapa, sino que sobre este se integrará información relevante para los usuarios de los grupos de expedición como el recorrido de la ruta que se está realizando o las posiciones de los compañeros.

## 3.2 Aplicaciones para mejorar la orientación en entornos exteriores, haciendo uso de RA

### 3.2.1 *Google Maps y Live View*

*Google* anunció en el año 2018, que añadía la tecnología de RA a su conocida aplicación para mapas (*Google Maps*). Esta funcionalidad toma el nombre de *Live View*<sup>1</sup> y aun se encuentra en fase de pruebas, por lo que su funcionamiento no es definitivo. La idea detrás de *Live View* es hacer uso de la RA para identificar el entorno de las personas y mostrar indicaciones en la pantalla del móvil que sugieran a los usuarios cuál es el camino que tienen que tomar para llegar al destino deseado. Estos indicadores se muestran en forma de flecha dirigida y antes de visualizarlos es necesario realizar una calibración apuntando a los edificios que hay en la calle, con el objetivo de que las indicaciones que se muestren tengan la orientación adecuada.

Sin embargo, esta tecnología tiene sus limitaciones a día de hoy. Funciona relativamente bien en ciudades y grandes núcleos urbanos siempre que el usuario vaya caminando. Si el usuario se desplaza en un coche, la aplicación no funciona de forma adecuada. De igual manera, en lugares alejados de las ciudades la aplicación deja de ser tan confiable. De hecho, *Google* comenta que *Live View* es usable solo en zonas con una buena cobertura de *Street*

<sup>1</sup><https://support.google.com/maps/answer/9332056>

<sup>2</sup>Imagen original extraída de <https://www.milenio.com/uploads/media/2019/08/08/google-maps-casa-usando-realidad.0.46.680.424.jpg>

### 3. ANTECEDENTES



Figura 3.2: funcionalidad de *Live View* integrada dentro de la aplicación *Google Maps* <sup>2</sup>

*View*<sup>3</sup>. En lo que a este proyecto concierne, *Live View* no es una alternativa válida en la actualidad. Como se ha comentado, en lugares alejados de las ciudades no funciona de forma adecuada y menos aún en entornos al aire libre como puede ser la montaña. En estos entornos destacan los senderos y caminos que *Live View* no identifica como válidos, por lo que no es posible que esta aplicación ayude a los usuarios a tomar el camino correcto para alcanzar un destino propuesto en la montaña.

#### 3.2.2 *Peak Finder*

*Peak Finder*<sup>4</sup> es una aplicación de RA para dispositivos móviles que permite a los usuarios explorar cuáles son las montañas que tiene a su alrededor. Este es un claro ejemplo del tipo de aplicaciones de RA que existen hoy en día para ayudar a los usuarios en sus expediciones al aire libre. El objetivo de esta aplicación es mejorar la orientación de los usuarios en la montaña, gracias a la identificación de picos montañosos. Por tanto, la aplicación *Peak Finder* pretende añadir información virtual a través del dispositivo móvil para identificar las cadenas montañosas visibles gracias a la cámara del *smartphone*. Entre esta información virtual destaca el nombre del pico y la altitud del mismo.

Esta aplicación puede resultar muy útil para mejorar la orientación de un usuario en una expedición, ya que es capaz de identificar siempre qué montañas son las que tiene a su alrededor y usarlas a modo de referencia durante su ruta. Además, la aplicación da la posibilidad de elevar la vista del terreno, para que los usuarios puedan tener una mejor comprensión de la orografía de la superficie que tienen por delante.

En este mismo apartado se pueden nombrar otras aplicaciones que realizan exactamente el

<sup>3</sup><https://support.google.com/maps/answer/9332056>

<sup>4</sup><https://www.peakfinder.org>

<sup>5</sup>Imagen original extraída de <https://www.peakfinder.org/javafx.faces.resource/app/manual/screenshots/es/adjustment.jpg.xhtml?ln=images>

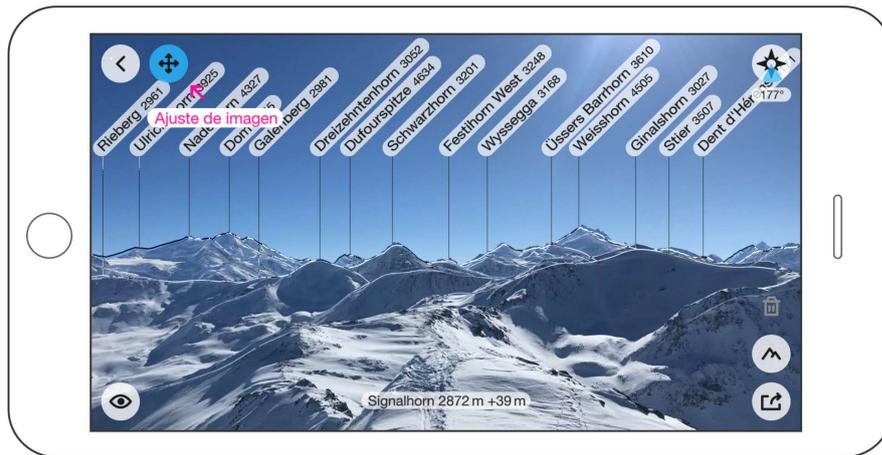


Figura 3.3: aplicación de RA *Peak Finder* para la identificación de picos montañosos <sup>5</sup>

mismo cometido, como pueden ser: *AR Mountains Map*<sup>6</sup> o *View Ranger*<sup>7</sup>. En la Tabla 3.1 se puede encontrar una comparación de las principales características de las aplicaciones aquí nombradas.

Tabla 3.1: Tabla comparativa de las principales características de las aplicaciones de RA para la exploración de picos montañosos

Aplicación	Sistema Operativo	Reconocimiento de picos	Funcionamiento sin conexión	Número de picos que reconoce	Componente social	Precio
<i>Peak Finder</i>	iOS y Android	✓	✓	650.000	×	4.69€ para siempre
<i>AR Mountains Map</i>	Android	✓	✓	400.000	×	Gratuito (con anuncios)
<i>View Ranger</i>	iOS y Android	✓	✓	No especificado	✓	Freemium (4.99€ al año)

Aunque como se ha comentado, estas aplicaciones pueden ser útiles para mejorar la orientación de los usuarios durante una expedición, se centran sobre todo en un uso individual de la misma. Estas aplicaciones no son capaces de controlar situaciones que engloban a un grupo de expedición completo, encabezado por un guía. Tampoco son capaces de mostrar la localización de otros usuarios (bien formen parte del grupo de expedición o no), por lo que no son aplicables a la problemática que en este TFM se pretende abordar.

### 3.3 Plataformas para la representación de información geográfica

#### 3.3.1 *Mapbox*

*Mapbox* es una plataforma *open source* para el diseño de mapas personalizados. *Mapbox* proporciona acceso a su API a través de un modelo de licencias *pay as you go*. Sin embargo, se puede usar la API de forma gratuita siempre y cuando no se superen unos generosos umbrales establecidos.

*Mapbox* proporciona también varios Software Development Kit (SDK) para ayudar a los desarrolladores a integrar esta solución de mapas en sus proyectos. Entre los SDK destacan

<sup>6</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chuna0.ARYamaNaviU&hl=es>

<sup>7</sup><https://www.viewranger.com/en-US/skyline/bring-your-maps-to-life>

### 3. ANTECEDENTES

el de *iOS*, que permite integrar *Mapbox* en aplicaciones móviles para el Sistema Operativo móvil de *Apple*, el de *Android* que tiene la misma función pero con dispositivos móviles de este Sistema Operativo y el de *Unity*, que permite integrar mapas en juegos y aplicaciones desarrolladas con el motor de videojuegos *Unity* y que pueden ser portadas después a muchas plataformas distintas. Es posible, por tanto, desarrollar una sola aplicación en *Unity* y poder utilizarla después en dispositivos móviles tanto *Android* como *iOS*.

Además, el SDK de *Mapbox* para *Unity* integra una funcionalidad de RA, que hace uso de las librerías *ARCore*<sup>8</sup> de *Google* en dispositivos *Android* y de *ARKit*<sup>9</sup> de *Apple* en dispositivos *iOS*.



Figura 3.4: integración tridimensional de una ciudad sobre una superficie real.<sup>10</sup>

Gracias a esta funcionalidad, es posible añadir mapas tridimensionales virtuales a la escena real. *Mapbox* también hace posible la superposición de mapas e información tridimensional en la escena real, a través de la cámara del dispositivo móvil. Todas estas características hacen a *Mapbox* un proveedor de mapas perfecto para integrarlo en la aplicación que se pretende desarrollar.

<sup>8</sup><https://developers.google.com/ar>

<sup>9</sup><https://developer.apple.com/augmented-reality/>

<sup>10</sup>Imagen original extraída de <https://docs.mapbox.com/unity/assets/tabletop-ar-new-york-1210-85a95764582d76cd6828d8cda2e3659e.png>

## Capítulo 4

# Método de Trabajo

Este capítulo describe la metodología usada en este proyecto, así como la manera en la que se ha llevado a cabo. En la Sección 4.2 se incluyen los medios tanto *hardware* como *software* empleados en este proyecto.

### 4.1 Metodología Propuesta

El desarrollo de este TFM ha estado motivado por una metodología basada en un desarrollo iterativo e incremental debido a que se trata de una metodología que se ajusta de forma apropiada a las características de este proyecto. Para llevar a cabo el TFM, se han seguido una secuencia de pasos no lineales de forma que cada poco tiempo se disponía de una versión operativa del producto final. Por ejemplo, en primer lugar se obtuvo una versión únicamente con la funcionalidad de detección de una superficie plana y representación de un mapa tridimensional sobre la misma. A esta versión operativa inicial, se le fue añadiendo más funcionalidad en forma de incrementos además de corregir posibles errores que se detectasen en la versión anterior. La máxima que se ha seguido a lo largo del desarrollo del proyecto es que iteraciones sucesivas no disminuyesen la calidad de la aplicación, por lo que no se implementaba nueva funcionalidad si la funcionalidad que ya estaba implementada no funcionaba correctamente. Al final de cada iteración se ha mantenido una reunión con el tutor del TFM, que identificaba fallos en el trabajo realizado hasta el momento y proponía mejoras y nuevas funcionalidades.

En la Figura 4.1 se puede observar la metodología que se ha usado en este TFM, junto con los tres resultados completamente operativos de cada iteración. Cada una de las iteraciones de este proyecto se ha dividido en una lista de tareas, que han recibido una prioridad al inicio de la iteración. La característica principal de estas tareas es su corta duración, de una a tres semanas como máximo. Al final de cada iteración, se entregaba un producto *software* con tan solo una parte de la funcionalidad final, pero completamente funcional y operativo. La comunicación con el tutor del TFM ha sido continua durante la ejecución de las tareas. Se ha realizado principalmente a través de videoconferencia, manteniendo reuniones al final de cada iteración o cuando algún problema lo requería.

En la Tabla 4.1 se puede observar la estimación (medida en horas) del esfuerzo dedicado

## 4. MÉTODO DE TRABAJO



Figura 4.1: metodología iterativa e incremental usada en este proyecto, junto con los resultados de cada uno de los incrementos.

a cada una de las tareas en las que se ha dividido el proyecto.

Tanto para el desarrollo del proyecto, como para la confección de esta documentación, se ha usado *git* como sistema de control de versiones, manteniendo un registro detallado de los cambios que se realizan en cada uno de los archivos gestionados por el sistema de control de versiones.

En la Figura 4.2 se puede observar la descomposición temporal del proyecto en paquetes de trabajo y tareas. Para el diseño, implementación y pruebas de la aplicación de RA que aquí se expone se han definido un total de tres Paquetes de Trabajo (PT), cada uno de los cuales está dividido en una serie de Tareas (T).

### 4.1.1 Iteraciones

Este TFM está compuesto por un total de tres iteraciones. A continuación, se van a detallar cada una de las iteraciones realizadas:

#### Iteración 1

En esta iteración se llevaron a cabo las tareas relacionadas con la recogida de requisitos, con el objetivo de establecer los detalles específicos que se van a trabajar durante la consecución del proyecto. Durante esta iteración también se estudió el funcionamiento de la plataforma de desarrollo que se iba a usar para la implementación, así como las librerías y SDKs de terceros. La salida de esta iteración es una versión de la aplicación de RA que es capaz de detectar una superficie plana, integrar un mapa tridimensional de terreno sobre dicha superficie y mostrar sobre el mapa la expedición que se está realizando, así como los usuarios que la conforman y posibles alertas que se puedan producir.

#### Iteración 2

Durante esta iteración se llevó a cabo un módulo de simulación externo a la aplicación de RA, basado en expediciones reales realizadas por otros usuarios y tomadas de plataformas abiertas como *Wikiloc*. Este módulo era necesario para poder obtener expediciones con las que realizar las pruebas de la aplicación que se estaba desarrollando, ya que no era posible realizar expediciones reales por la situación de Estado de Alarma causada por el virus SARS-CoV-2.

Tabla 4.1: Estimación del esfuerzo dedicado a cada una de las tareas

ID	Tarea	Iteración	Estimación (h)
1	Especificación de requisitos	1	8
2	Estudio de funcionamiento de Unity	1	5
3	Integración de Mapbox en Unity	1	5
4	Detección de superficie plana e integración de mapa tridimensional	1	4
5	Captura de información de expediciones	1	10
6	Integración de información en aplicación móvil	1	4
7	Malla poligonal de la ruta de la expedición	1	8
8	Integración de malla poligonal en mapa	1	15
9	Integración de usuarios en mapa	1	8
10	Integración de alertas en mapa	1	7
11	Captura de información desde Wikiloc	2	5
12	Adaptación de información a formato adecuado	2	5
13	Pruebas de aplicación con nueva información	2	7
14	Cálculo del camino a seguir	3	5
15	Integración del camino a seguir en la escena real	3	10
16	Representación holográfica del resto de usuarios en escena real	3	8
			114

Tabla 4.2: Descripción resumida de la primera iteración

Paquetes de Trabajo	Tareas a las que afecta	Objetivos alcanzados	Fecha Inicio	Fecha Fin	Tiempo Estimado
1	T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recogida de requisitos</li> <li>- Alcance del proyecto</li> <li>- Conexión con el sistema de almacenamiento de datos</li> <li>- Manipulación de la información para su tratamiento por parte de la aplicación de RA</li> <li>- Sistema de carga de información en la aplicación de RA</li> <li>- Integración de la información anterior sobre mapa 3D</li> </ul>	01/12/2019	20/02/2020	74h

### Iteración 3

Esta es la última iteración del proyecto, en la que se llevó a cabo la implementación del algoritmo que calcula cuál es la ruta que un usuario debe tomar. Este algoritmo se usó para mostrar una línea sobre el suelo que sirve a los como una guía constante durante la expe-

#### 4. MÉTODO DE TRABAJO

Tabla 4.3: Descripción resumida de la segunda iteración

Paquetes de Trabajo	Tareas a las que afecta	Objetivos alcanzados	Fecha Inicio	Fecha Fin	Tiempo Estimado
2	T11, T12, T13	- Simulación de expediciones	10/03/2020	10/04/2020	17h

dición. También se añadieron representaciones holográficas del resto de los usuarios, que simbolizan la dirección en la que se encuentran los mismos, incluso si no son visibles desde la posición actual. Al finalizar esta iteración, la aplicación de RA posee la funcionalidad que satisface los objetivos planteados al inicio de este TFM por completo.

Tabla 4.4: Descripción resumida de la tercera iteración

Paquetes de Trabajo	Tareas a las que afecta	Objetivos alcanzados	Fecha Inicio	Fecha Fin	Tiempo Estimado
3	T14, T15, T16	- Algoritmo del cálculo del camino a seguir - Integración del camino a seguir en la escena real y representación holográfica de los usuarios	10/04/2020	24/05/2020	23h

## 4.2 Características *hardware* y *software* del desarrollo

En esta sección se van a exponer los componentes *hardware* y *software* que se han empleado para la consecución de este proyecto.

### 4.2.1 Medios *hardware*

Los componentes *hardware* que se han usado a lo largo de este proyecto son los siguientes:

- **Equipo de trabajo.** Ordenador portátil Lenovo Idea G50-80, con las siguientes características principales:
  - Procesador Intel Core i7-5500U.
  - Memoria Random Access Memory (RAM) de 8 GB de capacidad.
  - 1 TB de almacenamiento HDD y 500 GB de almacenamiento SSD.
  - Tarjeta gráfica AMD Radeon HD 8690M.
  - *Dual boot* (Microsoft Windows 10 y Ubuntu 18.04).
- **Dispositivo móvil,** que se ha usado para probar la aplicación en un entorno real. Se trata de un teléfono móvil *Android* con las siguientes características:
  - Marca y modelo: Samsung Galaxy S7.
  - Procesador: Snapdragon 820 a 2,15 GHz.
  - 32 GB de almacenamiento interno.
  - 4 GB de memoria RAM.

- Sistema operativo: *Android* versión 8.0.0

## 4.2.2 Medios *software*

A continuación se muestran las herramientas *software* usadas durante este proyecto:

### Sistemas Operativos

- **Windows 10.** Sistema operativo utilizado para la implementación de la aplicación móvil de RA.
- **Ubuntu 18.04.** Este sistema operativo se ha utilizado para maquetar la documentación de este TFM.
- **Android 8.0.0.** La aplicación móvil de RA ha sido desplegada y probada en un teléfono móvil cuyo sistema operativo es el aquí indicado.

### Herramientas de desarrollo

- **Unity.** Se trata de una plataforma de desarrollo en tiempo real que se ha usado para la implementación de la aplicación móvil de RA expuesta en este proyecto.
- **Visual Studio 2019.** Es el entorno de desarrollo integrado que se ha elegido para implementar la funcionalidad de los *scripts Unity*. Su uso está motivado por la buena interacción con *Unity* y el código en lenguaje C#.
- **Git.** Se trata del *software* de control de versiones usado a lo largo de este proyecto. Se ha usado para gestionar los distintos cambios en el código fuente y en la documentación.

### Lenguajes de programación

- **Python.** Este lenguaje de programación ha sido utilizado para crear las herramientas adicionales de captación y adaptación de la información.
- **C#** es el lenguaje usado para el desarrollo de los *scripts* de la aplicación *Unity*.

### Documentación

- **Texmaker** es el editor de texto  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  que se ha utilizado para la confección del presente documento.
- **Adobe Illustrator** es el *software* utilizado para la creación de las imágenes y diagramas de este proyecto.



# Resultados

EN este capítulo se van a mostrar los resultados obtenidos, fruto de la aplicación de la metodología de trabajo presentada en el Capítulo 4. Se va a presentar el sistema desarrollado a lo largo de este TFM y se discutirán las alternativas que se han contemplado, los problemas que han surgido y cómo han sido resueltos. El código se puede consultar en el repositorio GitHub<sup>1</sup>

## 5.1 Arquitectura

La arquitectura está compuesta por una serie de componentes que debidamente interrelacionados pretenden resolver la problemática general del proyecto, permitiendo una visualización avanzada de expediciones en la montaña a través de técnicas basadas en RA.

En la Figura 5.1 se puede observar el esquema general del proyecto GVIDI en el que se basa este TFM. Este esquema incluye también el trabajo desarrollado en el presente TFM. Cabe destacar que aunque este TFM parta de una base anterior y tenga como objetivo complementar un proyecto anteriormente realizado, puede ser utilizado también de forma aislada, utilizando datos de otras plataformas ajenas a GVIDI como se comentará en secciones posteriores. En el esquema general de GVIDI se puede observar un microcontrolador equipado con una serie de sensores (de temperatura, de humedad, de aceleración, etc.) que se encargan de tomar información acerca del entorno de los usuarios y enviarla a través de *Bluetooth* a un dispositivo móvil. Este dispositivo móvil procesa la información y la analiza con el objetivo de detectar caídas en tiempo real, estimar el riesgo de caída de un usuario en un cierto instante dependiendo del entorno del mismo y controlar el grado de agrupación del grupo de expedición que puede usarse como un indicador de riesgo si el grupo se encuentra demasiado disperso. Además, también se muestra información relevante para los usuarios mientras están completando la ruta. Todos estos datos son almacenados en una base de datos en la nube, a la que accede la plataforma *web* con el objetivo de mostrar estadísticas más detalladas para realizar un análisis de la expedición a posteriori.

En el esquema general del proyecto se observa como la aplicación móvil de RA proporciona a los usuarios un mecanismo adicional de visualización de la información (otras

---

<sup>1</sup><https://github.com/ivangarrera/TFM>

## 5. RESULTADOS



Figura 5.1: esquema general de GVIDI, incluyendo el sistema de visualización avanzado que se ha desarrollado en este proyecto.

alternativas son la visualización a través de una aplicación móvil *Android* o a través de una plataforma *web*). Este proyecto permite a los participantes y guías de expediciones visualizar información relevante haciendo uso de RA. Por tanto, los usuarios podrán utilizar su dispositivo móvil u otros dispositivos más avanzados como gafas de RA para integrar información virtual de la expedición en el mundo real, facilitando su orientación y la interpretación de esta información.

Con el sistema de visualización avanzada que se presenta en este proyecto y haciendo uso de tecnologías avanzadas de representación como la RA, se consigue resolver la problemática que tienen las personas para interpretar información geográfica en entornos al aire libre.

En la Figura 5.2 se observa la arquitectura general de este proyecto que está dividida en tres niveles. En el nivel más bajo de la arquitectura, se encuentran los componentes que se encargan de realizar una preparación de los datos relacionados con las expediciones, de forma que puedan servir para visualizar la información a través de RA. Este primer nivel está formado por distintos componentes *software* que toman la información de diversas fuentes. Como se ha comentado anteriormente, la fuente principal desde la que se toman los datos es el propio sistema de almacenamiento de datos de GVIDI, que hace uso de una base de datos *cloud* en tiempo real como es *Google Firestore*<sup>2</sup>. Los datos almacenados por GVIDI son captados en su mayoría a través de varios sensores equipados por un microcontrolador y tratados posteriormente por una serie de algoritmos para detectar caídas, calcular el riesgo de caída en un cierto instante o calcular el grado de dispersión del grupo de expedición.

Para realizar las pruebas del sistema, hay que tener en cuenta que GVIDI almacena los datos de expediciones que se realizan en tiempo real. Sin embargo, durante el desarrollo de este

<sup>2</sup><https://firebase.google.com/docs/firestore>

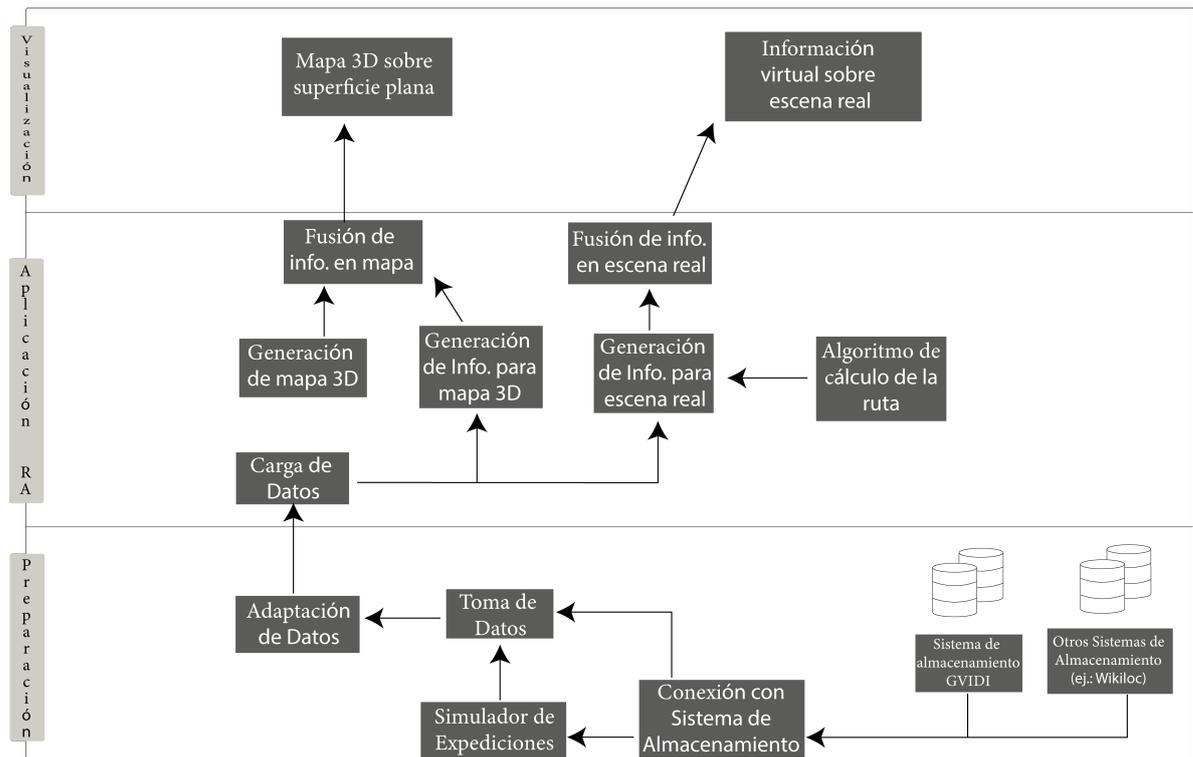


Figura 5.2: arquitectura general del proyecto, en la que se observan los componentes principales que lo componen, así como las relaciones entre los mismos.

TFM ha surgido una alerta sanitaria mundial por la enfermedad infecciosa COVID-19 causada por el virus SARS-CoV-2, que imposibilita la realización de expediciones en tiempo real. Durante gran parte del desarrollo del proyecto, España se ha encontrado en situación de Estado de Alarma<sup>3</sup> por lo que la prohibición de salir a la calle ha perjudicado las pruebas de este proyecto. La necesidad de realizar pruebas cuando la prohibición de salir a la calle estaba vigente y existía una dificultad de obtención de información de expediciones en tiempo real, ha conducido al desarrollo de un componente paralelo que permite obtener información de expediciones de otras fuentes abiertas, como puede ser *Wikiloc*<sup>4</sup>. Esta es una de las plataformas activas con mayor número de rutas compartidas (más de 15.700.000 rutas en el momento en el que se escribe este documento), por lo que se ha pensado que más allá de por motivos de pruebas, tiene mucho sentido permitir la integración de rutas previamente realizadas por usuarios de estas plataformas para que otros usuarios puedan visualizarlas de una forma interactiva y tengan facilidades para completarlas, si así lo consideran oportuno. Además, este componente paralelo de captación de información de expediciones demuestra que el sistema que aquí se presenta es independiente.

Como se ha comentado anteriormente, este proyecto no pretende tan solo ser una herramienta individual que pueda servir como ayuda a un usuario en su viaje a la montaña, sino que se pretende construir una herramienta que sirva para gestionar el control de un grupo

<sup>3</sup><https://administracion.gob.es/pag.Home/atencionCiudadana/Estado-de-alarma-crisis-sanitaria.html>

<sup>4</sup><https://www.wikiloc.com/>

## 5. RESULTADOS

de expedición al completo, encabezado por uno o varios guías. Los datos previamente almacenados por GVIDI tienen ya el formato adecuado (de guías y participantes). Sin embargo, los datos descargados de plataformas como *Wikiloc* tan solo tienen información acerca de la ruta que un usuario realizó, por lo que se ha desarrollado un simulador de expediciones que toma dichos datos y genera de forma artificial una expedición encabezada por un guía. Esta especie de guía virtual puede servir a otro usuario o grupo de usuarios para completar la misma expedición por sí solos.

Una vez se han tomado los datos y se han adaptado a un formato comprensible por los distintos algoritmos de RA, se pasa a un segundo nivel de la arquitectura. En este segundo nivel se encuentra la aplicación de RA que, en primer lugar, tiene que realizar la carga de la información previamente comentada. Para guiar a los miembros de la expedición y ayudarles a mejorar su orientación durante la ruta, la aplicación de RA genera estructuras tridimensionales que incluyen información de elevación del terreno y representan la ruta que se está realizando. También se añaden marcadores tridimensionales que representan la posición del guía y de los demás usuarios de la expedición (de modo que los usuarios son conscientes en todo momento de su posición con respecto al resto del grupo de expedición), así como marcadores que representan las alertas generadas durante la ruta en base a la salida de una serie de algoritmos que analizan posibles riesgos a partir de los datos procedentes de los sensores. El sistema tendrá otro componente que se encarga de generar un mapa tridimensional que se situará sobre una superficie plana del mundo real (como puede ser el suelo del terreno). Por último, es necesario un componente que se encargue de fusionar las estructuras tridimensionales generadas a partir de la información de la expedición, con el mapa tridimensional. Este componente tendrá que ajustar las coordenadas del mundo real (latitud y longitud de cada uno de los lugares por los que transcurre la expedición) a coordenadas virtuales que representan ese mismo punto en el mapa tridimensional. Además, también se deben tener en cuenta otros aspectos como el escalado del mapa y la orientación del mismo.

De forma paralela, los usuarios pueden hacer uso de la aplicación de RA para decidir cuál de los desvíos hay que tomar ante una bifurcación del camino. Para ello, la aplicación implementa un algoritmo que, teniendo en cuenta las posiciones por las que anteriormente ha pasado el guía de la expedición, sugiere al usuario por dónde debería continuar su marcha. La salida del algoritmo se usa para generar una estructura tridimensional en forma de flecha que se integra sobre el mundo real. También se añaden a la escena real una serie de representaciones holográficas de todos los participantes de la expedición, para saber dónde están situados sin que estén dentro del campo de visión del usuario.

El tercer y último nivel de la arquitectura general se encarga de mostrar a los usuarios la información anteriormente comentada. La información se puede mostrar a través del propio *smartphone* o a través de dispositivos de RA como gafas, que producen una sensación de mayor inmersión a los usuarios. Los usuarios podrán elegir visualizar la información de dos

modos distintos:

- Un primer modo genera un mapa tridimensional virtual al que se le añadirá información acerca de la ruta que se está realizando y la localización de sus compañeros y guías. De esta forma, los usuarios son conscientes de la orografía del terreno que tienen por delante y pueden elegir pedir ayuda o solicitar una parada si lo consideran necesario antes de que se puedan dar otras situaciones de riesgo debido a problemas como la fatiga.
- Un segundo modo añade información virtual que se dibuja sobre el mundo real y pretende ayudar a los usuarios a elegir el camino correcto a seguir y minimizar la pérdida de miembros del grupo de expedición.

## 5.2 Tratamiento previo de los datos procedentes de las fuentes de información

La aplicación de RA que se expone en este TFM necesita la información sobre expediciones para poder llevar a cabo su cometido. Esta información, debe proporcionarse en un fichero JavaScript Object Notation (JSON), con la estructura que se muestra en el Listado 5.1. El fichero consta de dos objetos principales: el guía de la expedición y una lista con la información de todos los participantes en la misma. Para cada persona (ya sea guía o participante) se requiere la misma información, una lista con las coordenadas (latitud y longitud) por las que ha pasado a lo largo de la expedición y la marca de tiempo en formato Coordinated Universal Time (UTC) que indica en qué instante el usuario se encontraba en esa localización.

### Listado 5.1: Formato de la información de expediciones proporcionada a la aplicación de RA.

```

1  {
2    "participants": [
3      [
4        {
5          "lat": "0.000",
6          "lon": "0.000",
7          "time": "2020-01-01T00:00:00Z"
8        }
9      ],
10   "guide": [
11     {
12       "lat": "0.000",
13       "lon": "0.000",
14       "time": "2020-01-01T00:00:00Z"
15     }
16   ]
17 }

```

## 5. RESULTADOS

Las coordenadas de los lugares por los que ha pasado el guía se usan para generar la ruta de la expedición y poder dibujarla sobre un mapa tridimensional. Se usan estas coordenadas (y no las coordenadas del propio usuario o cualquier otro participante) porque se considera que el guía es la persona con más conocimiento acerca de la expedición que se ha realizado (o se está realizando) y que los lugares por los que ha pasado son aquellos por los que deberían pasar el resto de los usuarios de la expedición.

Las coordenadas de los usuarios son necesarias para mostrar la localización de los mismos al resto de los compañeros. Así, una persona que haga uso de la aplicación móvil puede visualizar en todo momento su situación con respecto al resto de sus compañeros. Además, tanto las coordenadas de los participantes, como las coordenadas del guía y las marcas temporales son necesarias para el cálculo del camino a seguir en un cierto instante. Este algoritmo se comentará en profundidad en la sección 5.3.3.

Toda la información acerca de las expediciones es generada por GVIDI y almacenada en *Firestore*, una base de datos no relacional en tiempo real. En el momento de implementación de este TFM, *Firestore* no está soportado de forma oficial en *Unity* pero *Google* ya se encuentra trabajando en ello. Como no ha sido posible tomar directamente los datos de *Firestore* desde la aplicación *Unity*, se decidió implementar un *script* que tomase la información mediante el SDK de *Firestore* para *Javascript*<sup>5</sup>.

La información almacenada en la base de datos es bastante más extensa que la información necesaria para llevar a cabo el sistema de visualización avanzado, ya que se almacena información extra como el nivel de batería en el dispositivo móvil, la temperatura del ambiente y la humedad en un cierto instante de tiempo. Toda esta información es útil para mostrar estadísticas detalladas de la expedición, pero es prescindible para llevar a cabo el objetivo de este TFM. Por esto, esta información es omitida y no se incluye en el fichero JSON comentado anteriormente.

### 5.2.1 Obtención de información para *testing*

Aunque obtener la información de las expediciones de *Firestore* sea la forma preferida de obtención de datos, durante el desarrollo de este TFM ha tenido lugar una pandemia a nivel global causada por el virus SARS-CoV-2 que ha hecho imposible generar expediciones reales para llevar a cabo la implementación y pruebas de la aplicación móvil que aquí se expone. El estado de alarma en España ha implicado la imposibilidad de realizar rutas al aire libre para obtener la información necesaria para llevar a cabo este proyecto.

Para solventar este inconveniente, se plantearon dos alternativas posibles. La primera de ellas era generar expediciones de forma completamente virtual, escogiendo unas coordenadas de inicio y unas coordenadas de fin y generando un camino aleatorio que uniese ambas coordenadas. Este enfoque tiene varios problemas que lo hacen inservible para el propósito

---

<sup>5</sup><https://firebase.google.com/docs/reference/js/firebase.firestore>

del proyecto. En primer lugar, el uso de aleatoriedad para generar un camino entre dos puntos puede llevar a expediciones que sigan rutas sin sentido, con idas y venidas constantes. Sin embargo, el problema principal es conseguir encajar la ruta generada virtualmente entre dos puntos con los caminos rurales y senderos que existen en el mundo real. Este problema haría que las rutas no pudiesen llevarse por un grupo de expedición, ya que la expedición que se generaría virtualmente no sería transitable en el mundo real.

Por tanto, en este proyecto se decidió llevar a cabo la segunda de las alternativas que se plantearon. Esta alternativa consiste en tomar datos de expediciones reales, almacenadas en bases de datos de uso libre por parte de la comunidad. De entre todas las bases de datos que almacenan rutas al aire libre, se decidió usar *Wikiloc* por tratarse de la plataforma más usada para visualizar información geográfica acerca de las rutas realizadas con anterioridad por otras personas (véase Figura 5.3). Además, en *Wikiloc* también se almacena la marca de tiempo del instante en el que se obtuvieron unos datos de geolocalización, por parte del dispositivo Global Positioning System (GPS). Esto permite conocer la velocidad de marcha durante la expedición.

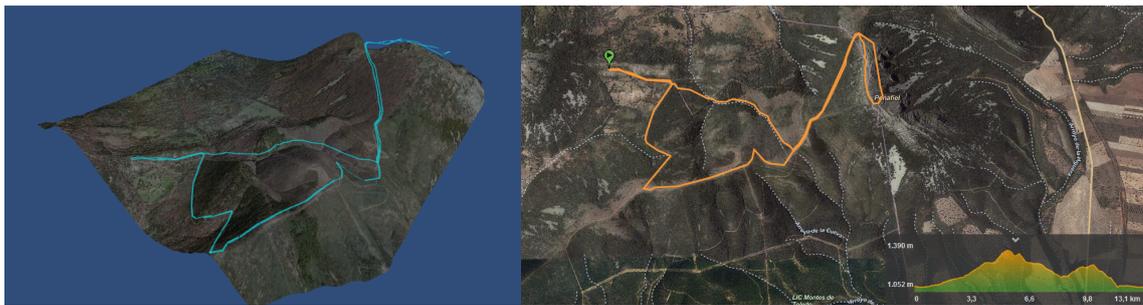


Figura 5.3: Comparación de la ruta Pico Peñafiel y La Cercera con un mapa tradicional y la aplicación desarrollada en este TFM. La ruta fue compartida con la comunidad en la plataforma *Wikiloc*<sup>7</sup>

En este proyecto se han realizado pruebas con datos de expediciones de senderismo, tanto en territorio nacional como en otros países. Sin embargo, también es posible tomar la información de otro tipo de rutas al aire libre como pueden ser las carreras de montaña, ciclismo de montaña o incluso *ski* de fondo. Los datos de todas las rutas se pueden descargar de forma completamente gratuita. En primer lugar, es necesario convertir a formato JSON el fichero de datos descargado desde *Wikiloc* en formato GPS Exchange Format (GPX). El fichero JSON se puede importar en una herramienta implementada en este trabajo, para generar la información en el formato que lo requiere la aplicación móvil de RA.

Las expediciones descargadas de *Wikiloc* solo contienen los datos del usuario que la realizó. Sin embargo, en este proyecto se necesitan datos de una expedición completa, compuesta por un guía y una serie de participantes. La herramienta mencionada anteriormente, se en-

<sup>7</sup>Información completa de la ruta en <https://es.wikiloc.com/rutas-senderismo/pico-penafiel-y-la-cerecera-san-pablo-de-los-montes-toledo-3305084>

## 5. RESULTADOS

carga de tomar la información real de *Wikiloc* y generar de forma virtual una serie de participantes. Las localizaciones y marcas de tiempo del guía de la expedición serán exactamente las mismas que las de los datos originales. En el caso de los participantes, las localizaciones serán las mismas (para evitar que la ruta transcurra por lugares inaccesibles en el mundo real) pero las marcas de tiempo serán aleatoriamente posteriores a las del guía (indicando que los participantes se movían de forma más lenta) y dando lugar a varios grupos de personas ligeramente dispersos geográficamente (véase Listado 5.2).

### Listado 5.2: Fragmento de código de la herramienta para simular expediciones que muestra las variaciones en el ritmo de los participantes con respecto al guía.

```
1 # The guide should always walk a little bit faster (or the same pace) than the participants
2 lastVelocity = velocity - paceVariation
3 if velocity - paceVariation <= 0:
4     lastVelocity = velocity
5
6 # Calculate the amount of time the participant spent walking from point i to point i+1
7 timeInSeconds = (distance / lastVelocity) * 3600
8 initTime = datetime.datetime.strptime(expeditionData[i].split(',')[2].strip(), '%Y-%m-%dT%H:%M:%SZ')
9 # Calculate the end time, according to the previous calculated results
10 endTime = initTime + datetime.timedelta(seconds=timeInSeconds)
11 participantExpeditionData.append([expeditionData[i].split(',')[0], expeditionData[i].split(',')[1],
    endTime.strftime('%Y-%m-%dT%H:%M:%SZ')])
```

## 5.3 Aplicación Móvil y técnicas de visualización avanzadas basadas en RA

En este proyecto se ha desarrollado una aplicación móvil en *Unity*, usando *C#* como lenguaje de programación. La aplicación se ha probado en un dispositivo móvil *Android* aunque debería ser factible su instalación en un dispositivo móvil *iOS*. Para la implementación de esta aplicación se han hecho uso de librerías externas como *Google AR Core* que permite construir aplicaciones de RA y *Mapbox*, que proporciona una API para integrar mapas interactivos en aplicaciones *Unity*. También se hace uso de la librería *ARKit* de *Apple*, para soportar el despliegue de esta aplicación en dispositivos *iOS*.

### 5.3.1 Integración de *Mapbox* en *Unity*

Para poder visualizar mapas tridimensionales, es necesario hacer uso de una librería o API realizada por terceros que permita la gestión e integración de los mapas en otros desarrollos de *software*. En las primeras fases del desarrollo de este TFM se investigaron distintas alternativas posibles como por ejemplo *Google Maps*, que fue descartada porque no ofrece una visión tridimensional muy desarrollada ni libertad de visión en todos los ejes. También se contempló el uso de *OpenStreetMap* como una alternativa con licencia de código abierto,

pero seguía presentando el problema de que la representación de mapas tridimensionales era muy limitada.

*Mapbox* es una plataforma de mapas de código abierto que permite añadir información de localización a una aplicación móvil o *web*. En este proyecto, se usa la API de *Mapbox* para *Unity*, sin embargo es posible integrar *Mapbox* en otros entornos y lenguajes de programación como *iOS*, *Android* y *Qt*. Hacer uso de la API de *Mapbox* tiene un coste añadido, sin embargo existe una franja gratuita bastante generosa que permite integrar *Mapbox* en una aplicación o prototipo de forma completamente gratuita. En la Tabla 5.1 se puede observar el coste de integrar la API de *Mapbox* en un proyecto *Unity*.

Para la integración de *Mapbox* en *Unity*, es necesaria la creación de una cuenta una cuenta en *Mapbox*<sup>8</sup> y la descarga del SDK para *Unity*<sup>9</sup>. Este SDK se trata de un paquete *Unity* que contiene todas las dependencias necesarias para su correcto funcionamiento (incluye *Google AR Core* y *ARKit*).

Tabla 5.1: Precio de uso de la API de *Mapbox* para *Unity*

Número de usuarios activos al mes	Coste por cada 1000 usuarios
Hasta 25.000	Gratuito
De 25.001 hasta 125.000	\$4
De 125.001 hasta 250.000	\$3.2
De 250.001 hasta 1.250.000	\$2.4
Más de 1.250.000	Precio personalizado

Una vez se ha añadido el paquete de *Mapbox* en un nuevo proyecto *Unity*, será necesario añadir el *token* de acceso asociado a la cuenta de *Mapbox* al proyecto *Unity*. Este *token* es necesario para poder hacer uso de la API de *Mapbox* y para contar el número de recursos que se están consumiendo y poder llevar a cabo la facturación posteriormente.

La aplicación *Unity* que aquí se discute tiene dos modos de uso distintos, que se comentan en detalle en las Secciones 5.3.2 y 5.3.3. Se ha creado un sencillo menú de selección al inicio de la aplicación, que permite a los usuarios elegir entre ambos modos de uso (véase Figura 5.4). El primero de ellos, sobrepone en una superficie plana del mundo real un mapa tridimensional con información integrada acerca de la expedición. El segundo de los modos muestra sobre el suelo indicaciones que sugieren el camino correcto a tomar, así como las localizaciones del resto de los usuarios.

La funcionalidad común a ambos modos de uso es la necesidad de cargar la información que previamente hemos recibido y adaptado (véase Sección 5.2) para que pueda ser usada para la generación de la información que se integrará en el mapa tridimensional y para el algoritmo del cálculo del camino a seguir. La carga de información del fichero JSON se realiza

<sup>8</sup><https://account.mapbox.com/>

<sup>9</sup><https://www.mapbox.com/install/unity/>

## 5. RESULTADOS



Figura 5.4: menú para la selección del modo de uso de la aplicación de RA

automáticamente, deserializando el contenido del fichero en las estructuras de datos correspondientes. Los Listados 5.3 y 5.4 muestran el enfoque *JSON to entity* que se ha seguido en este proyecto para gestionar la información. Siguiendo este enfoque, toda la información se almacena automáticamente en objetos con una estructura fija ya definida, lo que permite una mayor facilidad al gestionar dicha información.

### Listado 5.3: Clase serializable que representa la expedición, formada por un guía y un conjunto de participantes

```
1 [Serializable]
2 public class Expedition
3 {
4     public IEnumerable<IEnumerable<ExpeditionUserData>> participants;
5     public IEnumerable<ExpeditionUserData> guide;
6 }
7 [Serializable]
8 public class ExpeditionUserData
9 {
10    public string lat { get; set; }
11    public string lon { get; set; }
12    public Vector2 CoordinatesRadians { get; set; }
13    public string time { get; set; }
14 }
```

### Listado 5.4: Deserialización de JSON en un objeto que representa la expedición

```
1 Expedition expedition = Newtonsoft.Json.JsonConvert.DeserializeObject<Expedition>(jsonFile.text)
```

## 5.3.2 Construcción de mapas tridimensionales y visualización mediante RA

Como se ha comentado con anterioridad, la mayor parte de los usuarios que no tienen formación previa en lo referente a cartografía están de acuerdo en que los mapas tridimensionales son más fáciles de interpretar y que mejoran la orientación de los usuarios que los

consultan. Este proyecto pretende ayudar a los usuarios a mejorar su orientación mientras realizan rutas de expedición gracias al uso de mapas tridimensionales junto a técnicas de representación avanzada de la información como la RA.

En el proyecto *Unity*, cada uno de los modos de uso se han implementado como una escena distinta. La escena de este modo de uso se denomina *MapAR* y consta de los siguientes elementos:

- Controlador de RA, que gestiona los aspectos relacionados con la cámara virtual (sirve para poder visualizar el mapa tridimensional).
- Gestión del mapa, que incluye el componente *MapRoot* necesario para renderizar un mapa de terreno tridimensional, ajustar la posición del mapa conforme cambia la posición de la cámara (por ejemplo, cuando el usuario mueve su dispositivo móvil alrededor del mapa) y un componente *GameObject* que se usa para añadir la información de expediciones al mapa tridimensional.
- Por último, también se incluye un componente *FocusSquare* que se usa para la detección de una superficie plana. Hasta que la aplicación no detecta una superficie plana, no se renderiza el mapa tridimensional.

La parte más recalable de este modo de uso son los *scripts* C# implementados para integrar la información de la expedición en el mapa tridimensional. Ambos *scripts* son añadidos como componentes del objeto *GameObject* comentado anteriormente y toman como referencia la instancia del mapa tridimensional que se crea en este modo de uso. Además de la instancia del mapa tridimensional, también se pueden establecer otros parámetros desde el editor *Unity* como el material que se le va a aplicar a la malla (para dotarla de propiedades como color o reflexión de la luz, entre otras) y la malla tridimensional del objeto que se integrará en el mapa (solo es relevante para las alertas y los usuarios, ya que la ruta de la expedición genera la malla de forma dinámica para unas determinadas coordenadas, en tiempo de ejecución).

- ***Script PlaceRouteOnMap.cs***. Este *script* se usa para generar la línea tridimensional que se situará sobre la superficie del mapa, indicando el camino a seguir. Esta línea se puede observar en color azul en la Figura 5.5. Una vez se ha tomado la información de la expedición, este *script* centra el mapa tridimensional en la localización donde comienza la ruta, para que pueda ser visualizada por los usuarios. La expedición se genera en tiempo de ejecución, como un conjunto de segmentos unidos. Cada uno de estos segmentos tiene como inicio y fin dos localizaciones geográficas, identificadas por coordenadas geográficas.

Cada localización geográfica importada en la aplicación tiene un formato de  $(\lambda, \omega)$  entendiéndose la latitud ( $\lambda$ ) como la distancia angular entre el meridiano de un lugar y el de *Greenwich* y entendiéndose la longitud ( $\omega$ ) como la distancia angular entre el paralelo de

## 5. RESULTADOS

un lugar y el Ecuador. Ambas medidas están expresadas en grados y décimas de grados, por ejemplo: (6,1213, -75,5411). Esta forma de medir geolocalizaciones no es la adecuada en el “mundo virtual” ya que las coordenadas virtuales del mapa son distintas a las coordenadas geográficas reales. Además, conforme se mueve la cámara o se desplaza el mapa por la pantalla, las coordenadas virtuales del mapa cambian, por lo que la malla tridimensional que representa la ruta de la expedición debe ser recalculada una vez por cada *frame*. En el Listado 5.5 se puede observar la transformación de coordenadas del mundo real a coordenadas virtuales relativas a la posición actual del mapa tridimensional. Para llevar a cabo esta transformación, en primer lugar se convierten las coordenadas de un formato textual a un formato de vector de dos dimensiones (la dimensión X se corresponde con la latitud y la dimensión Y se corresponde con la longitud). En segundo lugar, hay que tener en cuenta la instancia en concreto del mapa en la escena, ya que distintos mapas pueden estar configurados con distintos parámetros como *zoom*, posición central del mapa, nivel de detalle, etc. y cada uno de estos parámetros hace que la transformación a coordenadas del mundo varíe. Para cada uno de los puntos de coordenadas, también se obtiene información acerca de su elevación, para poder formar adecuadamente una malla tridimensional.

### Listado 5.5: Transformación de coordenadas del mundo real a coordenadas virtuales con información de elevación

```
1 foreach (var data in _expedition.guide)
2 {
3     // Transform each coordinate from "lat, lon" format to 3D vector (and normalize the X,Y,Z
4     // values to fit the map scale)
5     var coordVector2d = Conversions.StringToLatLon($"{data.lat},{data.lon}");
6     Vector3 worldPos = _abstractMap.GeoToWorldPosition(coordVector2d, true);
7     coordinatesData.Add(worldPos);
8 }
```

Por último, una vez que hemos adaptado todas las coordenadas al mundo virtual y encajan adecuadamente con la escala del mapa virtual que se mostrará al usuario, es necesario crear en tiempo de ejecución la línea poligonal que una todas las coordenadas y las muestre sobre el mapa. Para ello, se crea una malla poligonal a la que se le añaden los vértices, triángulos y texturas. En el Listado 5.6 se puede observar dicha creación de la malla poligonal, estableciendo en primer lugar el número de submallas de la malla poligonal y los vértices de la misma. A continuación, se establecen los triángulos de cada una de las submallas (en nuestro caso, solo hay una submalla). Por último, se establecen las texturas o UVs de la malla que conformará la ruta. Estas texturas dotarán a la malla de propiedades como color, brillo, reflejo de luz, etc. Esta operación se realiza una vez por cada *frame*, ya que la línea poligonal puede cambiar mientras el usuario se desplaza por el mapa y muestra nuevas partes de la ruta a la vez que oculta

otras, por ejemplo.

### Listado 5.6: Creación de la malla poligonal que conforma la ruta de la expedición

```

1  private void FillMeshWithData(Mesh mesh, MeshData data)
2  {
3      // Set the amount of "submeshes", the mesh has
4      mesh.subMeshCount = data.Triangles.Count;
5      // Set the vertices of the mesh
6      mesh.SetVertices(data.Vertices);
7      // Set the triangles of the mesh (for each submesh)
8      int counter = data.Triangles.Count;
9      for (int i = 0; i < counter; i++)
10     {
11         var triangle = data.Triangles[i];
12         mesh.SetTriangles(triangle, i);
13     }
14     // Set the UV of the mesh (for each submesh)
15     counter = data.UV.Count;
16     for (int i = 0; i < counter; i++)
17     {
18         var uv = data.UV[i];
19         mesh.SetUVs(i, uv);
20     }
21 }
    
```

Con esta funcionalidad implementada, un explorador podría realizar un alto en el camino y realizar sobre una superficie plana (preferiblemente el suelo, pero también ha funcionado correctamente sobre rocas) la representación tridimensional de la expedición para localizarse y visualizar el camino recorrido así como el camino que le separa del guía. Todo esto, facilita al explorador la toma de decisiones, evitando posibles situaciones de riesgo como la pérdida de este o caídas por lugares peligrosos que deberían evitarse durante la ruta.

- **Script *PlaceUsersOnMap.cs***. Este *script* tiene una estructura general muy parecida al *script* que se acaba de comentar, sin embargo, en este caso se sustituye la línea poligonal que representa la ruta de la expedición por la malla de un objeto. En este proyecto se ha usado la malla de un punto de interés (véase Figura ??) para representar los usuarios y las alertas de la expedición, pero con distintos materiales para distinguir ambos casos.

En este caso, el cálculo de las coordenadas locales de los puntos de interés se realiza también una vez por cada *frame*, ya que los puntos de interés modifican sus coordenadas locales conforme se desplaza el usuario alrededor del mapa o se desplaza el propio mapa.

## 5. RESULTADOS

En la Figura 5.5 se puede observar el resultado de este modo de uso. En esta imagen, la expedición ya estaba completada por lo que no se muestran los indicadores del resto de usuarios.

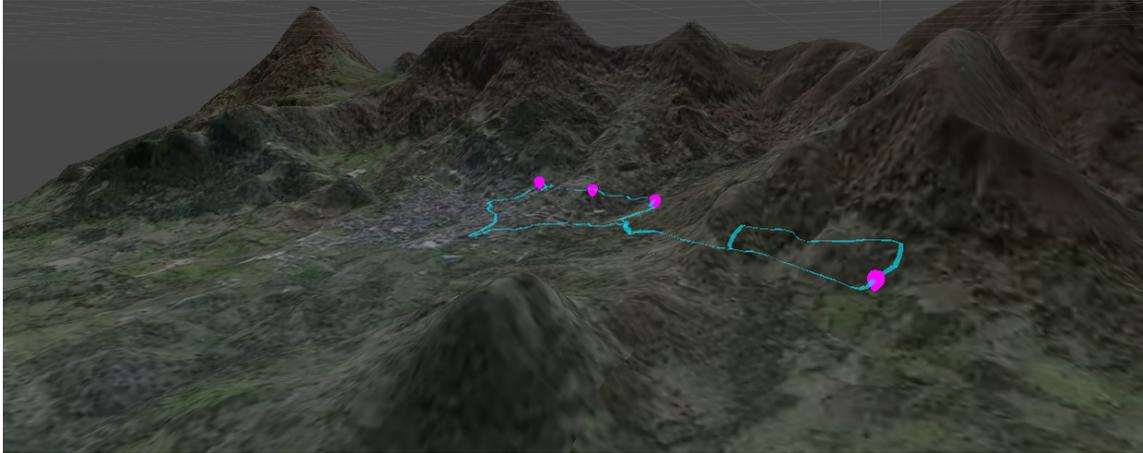


Figura 5.5: información de la ruta y las alertas generadas durante una expedición, integrada sobre un mapa tridimensional del terreno por el que transcurrió.

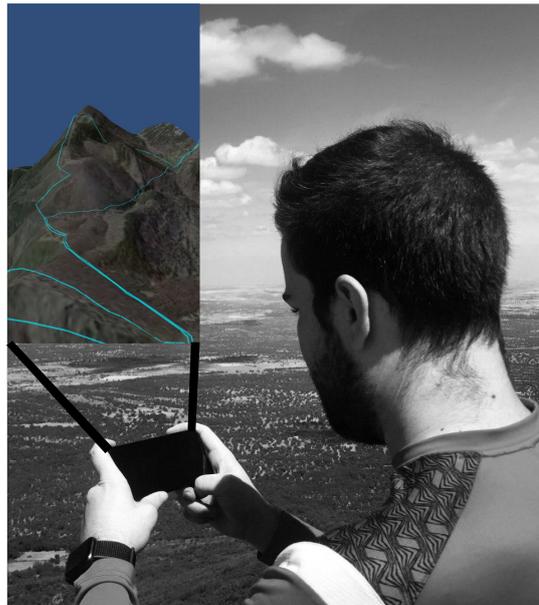


Figura 5.6: usuario visualizando la ruta completa de la expedición sobre un mapa virtual tridimensional del terreno.

### 5.3.3 Indicaciones visuales sobre mundo real

La escena de este modo de uso en el proyecto *Unity* se denomina *NextLocationAR* y consta de los siguientes elementos:

- Controlador de RA, que se encarga de gestionar la cámara virtual y el cálculo de distancias desde la cámara del dispositivo móvil hacia los distintos objetos de la escena real. Este cálculo de distancias sirve para posicionar los objetos virtuales en su lugar

correspondiente y decidir si se deben renderizar o no. Por ejemplo, un objeto virtual que se encuentre a una distancia mayor a la distancia del observador con respecto a una pared, no debería ser renderizado porque no es visible. Esto supone un ahorro de cómputo (no es necesario renderizar algunos objetos) y una mejora en el rendimiento de la aplicación.

- Instancia de mapa de *Mapbox*. Este mapa no es visible por parte de los usuarios. Es usado para realizar la correcta conversión entre coordenadas geográficas (latitud y longitud de un punto en la superficie terrestre) a las coordenadas del mundo de la escena de RA.
- Proveedor de localización. Este componente se encarga de proporcionar la información de localización geográfica del usuario que está usando la aplicación. Lo conforman una serie de *scripts*, que dependiendo del entorno en el que se ejecuta la aplicación (el propio editor de *Unity*, un dispositivo móvil *Android* o un dispositivo móvil *iOS*) tomará la información geográfica de una forma u otra. En el entorno de desarrollo de *Unity*, las localizaciones que devuelve este componente son fijas y establecidas por el usuario. Sin embargo, si se ejecuta la aplicación en un dispositivo móvil, se hará uso del GPS que se encuentra integrado en el dispositivo.
- Componentes para añadir a la escena los objetos virtuales propuestos en este TFM. Estos objetos virtuales son los hologramas del resto de participantes y guías y la línea que indica el camino por el que el usuario debe continuar. Ambos componentes se comentarán más en detalle a continuación.

De nuevo, al igual que ocurría anteriormente, la parte más recalable del trabajo realizado para poder visualizar la línea que indica cuál es el camino por el que el usuario debe continuar en un cierto instante y los hologramas que representan la posición en la que se encontrarían el resto de usuarios de la expedición son los dos *scripts* que implementan la funcionalidad comentada. Cada uno de los *scripts* se añaden en este caso a un componente *GameObject* y reciben como parámetros el archivo con los datos de la ruta que se está realizando y la instancia del mapa de *Mapbox*. En este caso el usuario no visualiza el mapa pero su existencia sigue siendo necesaria para tener en cuenta la orientación del dispositivo del usuario a la hora de calcular las coordenadas del mundo a partir de las coordenadas geográficas. De no existir el mapa, no sería posible calcular las coordenadas del mundo en las que se tendría que posicionar un holograma virtual, al no existir referencia con respecto a las coordenadas geográficas.

- ***Script CalculateExpeditionPath.cs***. Este *script* se encarga de calcular las coordenadas de la siguiente localización a la que el usuario que hace uso de la aplicación debe dirigirse. Además del cálculo de coordenadas, el *script* se encarga de dibujar una línea recta hacia el punto calculado para que los usuarios puedan visualizar la dirección en la que deben moverse.

## 5. RESULTADOS

Para realizar el cálculo de la ruta por la que un usuario tiene que continuar en un cierto instante se tienen en cuenta las posiciones por las que anteriormente ha pasado el guía. Esto es así porque se ha considerado que el guía siempre encabeza el grupo de expedición y se encuentra por delante del resto de los usuarios o junto a varios de ellos, formando un grupo que dirige al resto de la expedición. Por tanto, se ha desarrollado un algoritmo que teniendo en cuenta la lista de coordenadas del guía, obtiene la localización más cercana a la localización actual del usuario por la que ha pasado el guía anteriormente.

En el Listado 5.7 se puede observar el fragmento de código correspondiente al algoritmo para obtener las coordenadas de la siguiente localización a la que el usuario debe desplazarse. En primer lugar, se hace uso del componente proveedor de localización (en el caso de generar una versión de producción de la aplicación para dispositivos móviles *Android* se hace uso del propio GPS del dispositivo móvil) para obtener las coordenadas actuales en las que se encuentra el usuario. Las coordenadas se transforman de grados a radianes usando la Ecuación 5.7 ya que la fórmula para el cálculo de la distancia entre dos puntos geográficos requiere que las coordenadas se encuentren en esta unidad.

$$\text{Radianes} = \frac{\pi}{180 \cdot \text{grados}}$$

Figura 5.7: Transformación de coordenadas, de grados a radianes

La función `CalculateDistanceBetweenPoints` devuelve un número en punto flotante que indica la distancia total, medida en kilómetros, entre dos puntos geográficos. Para calcular esta distancia se hace uso de la fórmula de *Harvesine*, que calcula la distancia ortodrómica o mínima distancia entre dos puntos en la superficie terrestre (véase Figura 5.9), a partir de sus latitudes y longitudes en radianes. La fórmula de *Harvesine* es la siguiente:

$$d = 2 \cdot r \cdot \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cdot \cos(\phi_2) \cdot \sin^2 \left( \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right)$$

Figura 5.8: Fórmula de *Harvesine*

donde  $\phi_1, \lambda_1$  se refiere a la latitud y longitud del primero de los puntos,  $\phi_2, \lambda_2$  representa la latitud y longitud del segundo de los puntos y  $r$  representa el radio de la circunferencia que engloba los puntos (en este caso, el radio terrestre).

### Listado 5.7: Obtención de las siguientes coordenadas de la ruta

```
1 Vector2d currentLocation = locationProvider.CurrentLocation.LatitudeLongitude;
2 Vector2 locationRadians = new Vector2(ConvertToRadians(currentLocation.x), ConvertToRadians(
   currentLocation.y));
3 // Get the nearest guide position
```

```

4  double nearestDistance = double.PositiveInfinity;
5  ExpeditionUserData nearestGuidePosition = null;
6  foreach (var data in expedition.guide)
7  {
8      double distance = CalculateDistanceBetweenPoints(data.CoordinatesRadians, locationRadians
9          );
10     if (distance < nearestDistance)
11     {
12         nearestDistance = distance;
13         nearestGuidePosition = data;
14     }
15 }

```

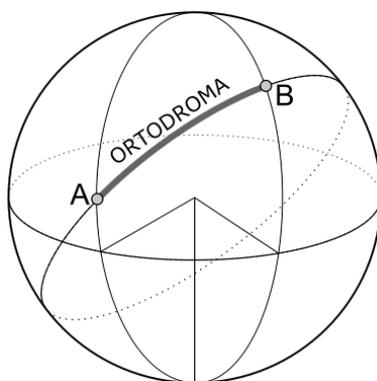


Figura 5.9: Distancia ortodrómica entre dos puntos sobre la superficie de una esfera <sup>10</sup>

Una vez se han calculado las coordenadas del siguiente punto al que el usuario debería dirigirse, se crea una malla poligonal en tiempo de ejecución con forma de línea recta. El origen del segmento es el punto en el que se encuentra actualmente el usuario, mientras que el destino del segmento es el punto al que el usuario se debería dirigir. El cálculo de estos puntos se hace con respecto a la instancia del mapa de *Mapbox* pasada como parámetro al *script*, para obtener de forma adecuada las coordenadas del mundo correspondientes a las localizaciones geográficas.

- ***Script CalculateUsersHolograms.cs***. Este *script* se encarga de añadir a la escena real información en forma de humano que se sitúa virtualmente en el lugar en el que estaría el usuario real, aunque no sea visible desde la posición actual. El *script* muestra tanto al resto de los participantes que conforman la expedición como al guía de la misma.

En el Listado 5.8 se puede observar el código empleado para posicionar a un usuario (en este caso al guía de la expedición) en la escena, en el lugar que estaría realmente. En primer lugar, se obtienen sus coordenadas geográficas y se convierten a coordenadas del mundo haciendo uso de la instancia del mapa recibida como parámetro del

<sup>10</sup>Imagen original extraída de <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c2/Ortodroma.svg/1200px-Ortodroma.svg.png>

## 5. RESULTADOS

*script*. Estas coordenadas pueden encontrarse a una distancia muy lejana de la posición del usuario y añadir el holograma a una distancia tan alejada hace que no se visualice en la pantalla (ya que el holograma se renderiza con un tamaño tan pequeño que no se puede apreciar por parte del observador). Para solucionar este problema, se realiza una traslación de las coordenadas en las que se encuentra el guía a unas coordenadas más cercanas al usuario. Estas nuevas coordenadas se encuentran en la misma dirección del vector con origen en la posición actual del observador y destino en la posición del guía.

### Listado 5.8: Posicionamiento del holograma del guía de la expedición en la escena

```
1 // Get location of the guide
2 var coordinatesGuide = expedition.guide.FirstOrDefault();
3 var coordVector2d = Conversions.StringToLatLon($"{coordinatesGuide.lat},{coordinatesGuide.lon
4     }");
5 Vector3 worldPos = _abstractMap.GeoToWorldPosition(coordVector2d, false);
6 myGameObject.transform.SetPositionAndRotation(worldPos, _abstractMap.transform.rotation);
7 while (Math.Abs(transform.position.x) > 20f || Math.Abs(transform.position.y) > 20f || Math.
8     Abs(transform.position.z) > 20f)
9 {
10     myGameObject.transform.position = new Vector3(transform.position.x / 2f, transform.
11         position.y / 2f, transform.position.z / 2f);
12 }
13 myGameObject.transform.localPosition = new Vector3(myGameObject.transform.localPosition.x,
14     myGameObject.transform.localPosition.y + 1f, myGameObject.transform.localPosition.z);
```

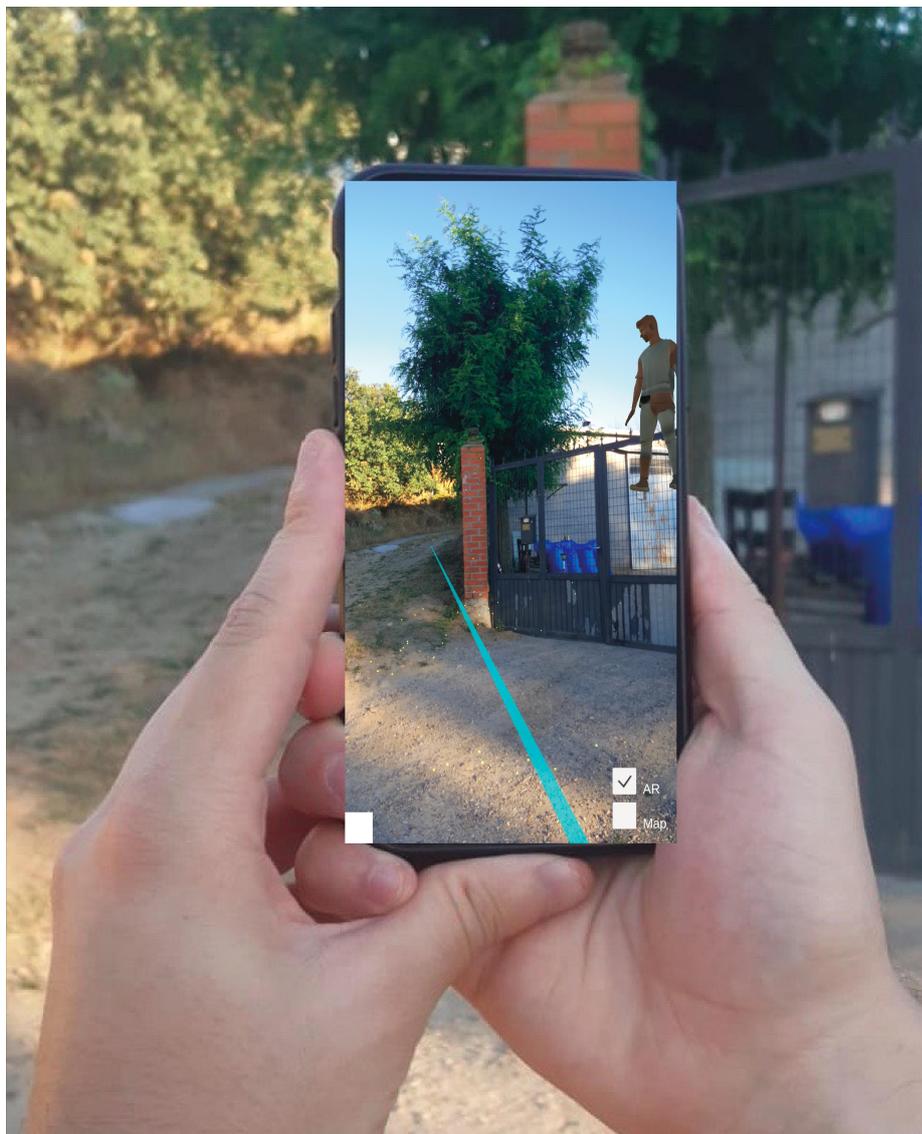


Figura 5.10: Uso de la herramienta durante la marcha para visualizar la ruta por la que continuar y el holograma del guía.



## Capítulo 6

# Conclusiones

**E**N este proyecto se ha implementado una aplicación móvil que hace uso de técnicas de visualización avanzadas como la RA para que los integrantes de expediciones puedan mejorar su orientación durante la marcha. El proyecto pretende minimizar el riesgo de pérdida de usuarios en entornos al aire libre y pretende otorgar al guía un mayor control de todos los miembros de la expedición, facilitando la toma de decisiones para mejorar su seguridad.

- El proyecto sirve como ayuda a los guías de la expedición para mantener un control de todos los participantes que toman parte en la misma, pudiendo observar sobre una representación tridimensional del terreno el lugar en el que se encuentran todos los usuarios de la ruta.
- También sirve como ayuda a los participantes de la expedición, que pueden usar la herramienta para escoger el camino correcto por el que continuar la ruta cuando el grupo se ha dispersado y no hay un guía lo suficientemente cerca. Los usuarios también pueden usar la herramienta para ver el estado general de la expedición, visualizar su estado con respecto al del resto de los usuarios y tomar decisiones como solicitar una parada de reagrupación.

La aplicación implementada en este TFM pretende complementar un trabajo novedoso anterior desarrollado en un TFG. El trabajo es novedoso debido a que actualmente no existen en el mercado herramientas, dispositivos o aplicaciones que cubran la necesidad del control de un grupo de expedición completo. Las herramientas que existen para los usuarios de actividades al aire libre se centran en un uso individual, pero no satisfacen el control completo de un grupo encabezado por uno o varios guías.

Además, en estos momentos se está escribiendo un artículo que se enviará a la revista *Information Systems*<sup>1</sup> en el que se expone la problemática que existe en el control de un grupo de expedición y se presenta el trabajo realizado por el TFG anterior y por este TFM como una opción que satisface dicha problemática.

---

<sup>1</sup><https://www.journals.elsevier.com/information-systems>

## 6.1 Cumplimiento de objetivos

El objetivo principal de este TFM es la representación de información relevante durante expediciones en la montaña, usando para ello técnicas de visualización avanzadas como la RA. Para llevar a cabo este objetivo principal se propusieron cuatro objetivos secundarios (véase Capítulo 2). A continuación se va a analizar la consecución de cada uno de los objetivos propuestos.

### 1. Integración con el sistema de almacenamiento de datos de GVIDI, para tomar la información relevante a representar.

Este objetivo se logró durante la primera iteración (véase Sección 4.1.1). La conexión con el sistema de datos de GVIDI se llevó a cabo por medio de un *script* externo a la aplicación móvil, que capta la información de la base de datos en tiempo real y la manipula para eliminar los datos que no son relevantes para el propósito de la aplicación móvil de RA y adaptar los datos que son necesarios a un formato adecuado. Por último, se ha desarrollado un procedimiento de carga de los datos en la aplicación móvil. Como se comentó en el Capítulo 5, los datos son cargados en la aplicación móvil en formato JSON y automáticamente adaptados a las estructuras de datos específicas gestionadas por la aplicación.

### 2. Gestión y tratamiento de la información para su representación mediante técnicas de RA.

Este objetivo se logró durante la primera iteración (véase Sección 4.1.1). Sin embargo, también se completó durante la segunda iteración (véase Sección 4.1.1), en la que se implementó un procedimiento para obtener información de expediciones al aire libre de fuentes externas como *Wikiloc*. El trabajo desarrollado durante la segunda iteración dotó a la aplicación de una independencia con respecto al sistema de almacenamiento de datos de GVIDI, añadiendo también posibilidades nuevas como la realización de expediciones de una forma autónoma, siempre y cuando existan datos anteriores de esa misma ruta. Tanto la información captada del sistema de almacenamiento de datos de GVIDI como la información captada de fuentes externas es homogeneizada y transformada a un formato común, generando expediciones virtuales si la información es captada de fuentes externas y transformando las coordenadas del mundo real en coordenadas del mundo virtual.

### 3. Integración de la información anterior sobre un mapa en 3D.

Este objetivo se logró durante la primera iteración (véase Sección 4.1.1). En primer lugar, se realizó una detección de una superficie plana, sobre la cual se superpone un mapa tridimensional del terreno por el que transcurre la expedición. Gracias a la información relativa a localización de cada uno de los usuarios de la expedición, se generó una malla poligonal en tres dimensiones con la ruta de la expedición, que se

añade al mapa tridimensional. También se generaron estructuras tridimensionales para representar la posición de los usuarios y de las posibles alertas generadas durante la ruta.

#### 4. **Visualización de la información durante la expedición, en una aplicación móvil de RA.**

Este objetivo se logró durante la primera y tercera iteración (véanse Secciones 4.1.1 y 4.1.1). En la primera iteración, se logró la visualización del mapa tridimensional comentado en el punto anterior. Durante la tercera iteración se implementó el algoritmo que calcula el camino que un usuario tendría que tomar para seguir los pasos del guía de la expedición. Este algoritmo se usó después para integrar en la escena real una flecha que sugiere a los usuarios el camino que deben seguir para completar la expedición. En la tercera iteración también se integraron hologramas tridimensionales que representan la localización en la que se encontrarían los usuarios de la expedición, incluso si no son visibles porque existe terreno entre ambos usuarios.

## 6.2 Competencias trabajadas durante este proyecto

Las competencias del Máster Universitario en Ingeniería Informática trabajadas a lo largo del desarrollo de este TFM son:

1. **Capacidad para la integración de tecnologías, aplicaciones, servicios y sistemas propios de la Ingeniería Informática, con carácter generalista, y en contextos más amplios y multidisciplinares.** Este proyecto ha integrado información gestionada por un TFG anterior denominado «GVIDI: Monitorización inteligente de grupos de expedición para la mejora de seguridad». Además, también ha hecho posible la integración de datos geográficos de plataformas de uso abierto, como *Wikiloc*.
2. **Capacidad de diseñar y desarrollar sistemas, aplicaciones y servicios informáticos en sistemas empotrados y ubicuos.** La aplicación de RA desarrollada en este TFM utiliza información del entorno del usuario captada a través de un microcontrolador equipado con una serie de sensores. El microcontrolador se comunica con un dispositivo móvil a través de *Bluetooth*, por lo que este proyecto se engloba dentro de un ámbito de computación ubicua.
3. **Capacidad para conceptualizar, diseñar, desarrollar y evaluar la interacción persona-ordenador de productos, sistemas, aplicaciones y servicios informáticos.** En este proyecto se ha hecho uso de mapas tridimensionales que se visualizan mediante técnicas de RA permitiendo nuevos paradigmas de interacción persona-ordenador, ya que los usuarios pueden girar alrededor del mapa con su dispositivo móvil o acercarlo y alejarlo de la imagen virtual.
4. **Capacidad para la creación y explotación de entornos virtuales, y para la crea-**

**ción, gestión y distribución de contenidos multimedia.** El resultado principal de este proyecto es una aplicación móvil, que hace uso de RA para integrar en la escena real información acerca de la expedición que está realizando un usuario.

### 6.3 Trabajo futuro

Las líneas de trabajo futuro más destacables para continuar con este proyecto son:

- **Integrar *Firestore* dentro del proyecto *Unity*.** Como se comentó en el capítulo de Resultados (Capítulo 5), no hay un soporte oficial para *Firestore* en *Unity*. Sin embargo, Google ya se encuentra trabajando en ello. Una vez que exista soporte oficial en *Unity* para *Firestore*, sería necesario añadir un *login* en la aplicación usando *Firebase* y obtener los datos de expediciones directamente desde la aplicación *Unity*, en vez de obtenerlos a través de un *script* externo y cargarlos en la aplicación.
- **Aplicación móvil para dispositivos *iOS*.** La aplicación móvil desarrollada en este proyecto ha sido desplegada y probada en un dispositivo móvil con sistema operativo *Android*. Aunque la aplicación integra la librería *ARKit* de *Apple* con soporte para RA, no se ha podido generar una *release* que probar en un dispositivo móvil con sistema operativo *iOS*.

## Referencias

- [Azu97] R. Azuma. A Survey of Augmented Reality. *Teleoperators and Virtual Environments*, 1997.
- [Boz19] Ivanov V. Slavcheva-Hinkova P. Bozhkova, A. “Off Campus Training in Bulgarian Language and Sport” as a way for socialization and formation of community. *Trakia Journal of Sciences*, 2019.
- [Car17a] Bermejo L. Carbonell, C. Augmented reality as a digital teaching environment to develop spatial thinking. *Cartography and Geographic Information Science*, 2017.
- [Car17b] Bermejo L. Carbonell, C. Landscape interpretation with augmented reality and maps to improve spatial orientation skill. *Journal of Geography in Higher Education*, 2017.
- [Chu18] Matthews J. Love-P. Chu, M. Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study. *Automation in Construction*, 2018.
- [Du18] et al. Du, J. Zero latency: Real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making. *Automation in Construction*, 2018.
- [Fed16] Frajberg D. Fraternali-P. Fedorov, R. A Framework for Outdoor Mobile Augmented Reality and its Application to Mountain Peak Detection. *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*, 2016.
- [FED18] FEDME. Anuario FEDME 2018. Technical report, FEDME, 2018.
- [gui15] *Mountaineering Tourism*, capítulo Guided mountaineering. Routledge, 2015.
- [Hed02] et al. Hedley, N. Explorations in the use of Augmented Reality for Geographic Visualization. *Presence Teleoperators Virtual Environments*, 2002.
- [Her16] Alberto Francisco Sánchez Hernández. *Accidentes de montaña: siniestros, rescates y acciones preventivas de los deportes de montaña en España*. PhD thesis, Universidad de Zaragoza, 2016.

- [Her19] Iván García Herrera. GVIDI: Monitorización inteligente de grupos de expedición para la mejora de seguridad. Master's thesis, UCLM, 2019.
- [Lia05] et al. Liarokapis, F. Mobile Augmented Reality Techniques for GeoVisualisation. *Information Visualisation*, 2005.
- [Oul09] et al. Oulasvirta, A. Embodied interaction with a 3D versus 2D mobile map. *Pers Ubiquit Comput*, 2009.
- [Pet06] Masera P. Petrovic, D. Analysis of User's Response on 3D Cartographic Presentations. *Proceedings of 5th ICA Mountain Cartography Workshop*, 2006.
- [Pop13] Brychtova A. Popelka, S. Eye-tracking Study on Different Perception of 2D and 3D Terrain Visualisation. *The Cartographic Journal*, 2013.
- [Sou17] Lefèvre B. Boutroy-E. Soulé, B. The dangerousness of mountain recreation: A quantitative overview of fatal and non-fatal accidents in France. *European Journal of Sport Science*, 2017.
- [vrb18] *Understanding Virtual Reality 2nd Edition*. Morgan Kaufmann, 2018.
- [Wie17] et al. Wiehr, F. ARTopos - Augmented Reality TerrainMap Visualization for CollaborativeRoute Planning. *ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, 2017.

Este documento fue editado y tipografiado con  $\text{\LaTeX}$  empleando la clase **esi-tfm** (versión 0.20181017) que se puede encontrar en:  
[https://bitbucket.org/esi\\_atc/esi-tfg](https://bitbucket.org/esi_atc/esi-tfg)

[respeta esta atribución al autor]

