

# TREBALL DE FI DE GRAU

# Visita virtual a la Universitat de les Illes Balears

# Jaume Mesquida Lanas

Grau de: Enginyeria Informàtica Facultat de: Escola Politècnica Superior

Any acadèmic 2021-22

# Tour UIB 360°

# Jaume Mesquida Lanas

# Treball de Fi de Grau Facultat de: Escola Politècnica Superior Universitat de les Illes Balears Any acadèmic 2021-22

Paraules clau del treball: Vídeo en 360º, streaming adaptativo, recorrido virtual, realidad virtual

Nom del tutor / la tutora del treball: Antoni Oliver Tomàs Nom del segon tutor / la tutora del treball: Antoni Bibiloni Coll

Autoritz la Universitat a incloure aquest treball en el repositori	Au	tor/a	Tut	tor/a
institucional per consultar-lo en accés obert i difondre'l en línia, amb	Sí	No	Sí	No
finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	$\boxtimes$		$\boxtimes$	

Este trabajo lo dedico con mucho amor a mi gato Alfonso, que a pesar de habernos dejado hace menos de un año, ha sido mi fuente de felicidad y motivación durante toda la carrera.

# Tabla de contenidos

Tabla de contenidos	<i>i</i>
Índice de figuras	<i>iii</i>
Índice de tablas	v
Nomenclatura	vii
Rosumon	ir
Canítulo 1 Introducción	, iA 1
1 1 Contoutuolizosión	1
<b>1.2. Niotivacion</b>	2
<b>1.3.</b> Objetivos	3
1.4. Alcance del proyecto	3
1.5. Estructura del documento	4
Capítulo 2. Estado del arte	7
Capítulo 3. Desarrollo del proyecto	15
3.1. Gestión del provecto	
3.1.1. Metodología de desarrollo	
3.1.2. Planificación temporal	16
3.2. Análisis	17
3.2.1. Usuarios	
3.2.2. Requisitos de usuario	
3.2.2.1. Requisitos funcionales	
3.2.2.1.1. Requisitos del jugador	
3.2.2.1.2. Requisitos del administrador	
3.2.2.1.3. Requisitos del analista	
3.2.2.2. Requisitos no funcionales	
3.2.2.2.1. Usabilidad	
3.2.2.2.2. Kendimento	
<b>2 2 Di</b> ceño	
3.3. Disello	
3.3.1.1. Sistema	
3.3.1.2. Jugador	
3.3.1.3. Administrador	
3.3.1.4. Analista	
3.3.2. Modelos de datos	
3.3.2.1. Tablas y diccionario de atributos	
3.3.2.2. Consultas y modificaciones por módulos	
3.3.3. Diseño arquitectónico	
3.4. Implementación	
3.4.1. Grabar y editar	
3.4.2. Recorrido virtual	
3.4.3. Editor	
5.4.5.1. Gestion de videos	
3.4.3.2. Oestión de marcadores	

## Tabla de contenidos

3.4.4. Análisis	
3.4.5. Pruebas	
3.4.5.1. Pruebas unitarias	
3.4.5.2. Pruebas de integración	
Capítulo 4. Resultados	
4.1. Recorrido virtual	63
4.2. Editor del recorrido	
4.3. Estadísticas del recorrido	64
Capítulo 5. Conclusión y trabajo futuro	
5.1. Conclusión	65
5.2. Líneas futuras	
Referencias y Bibliografía	69

# Índice de figuras

Figura 1. Mapa de los vídeos grabados en el campus	3
Figura 2. Película interactiva Kinoautomat (1967).	7
Figura 3. Galería de imágenes de la UIB	8
Figura 4. Herramienta Google Maps.	8
Figura 5. Herramienta Google Street.	9
Figura 6. Captura de pantalla de la visita virtual del Museo del Prado	9
Figura 7. Captura de pantalla de la visita virtual de la basílica	10
Figura 8. Captura de pantalla de la visita virtual de la Alhambra.	10
Figura 9. Esquema de las fases iterativas del desarrollo	15
Figura 10. Planificación temporal del proyecto	16
Figura 11. Diagrama de los casos de uso de "Utilizar el sistema" (CU-Sist-0)	20
Figura 12. Diagrama de los casos de uso de "Realizar el recorrido virtual" (CU-	
Jug-1)	21
Figura 13. Diagrama de los casos de uso de "Configurar el recorrido virtual" (C	U-
Adm-1)	23
Figura 14. Diagrama de los casos de uso de "Gestionar los vídeos" (CU-Adm-	
1.1)	24
Figura 15. Diagrama de los casos de uso de "Gestionar los puntos de interés"	
(CU-Adm-1.2).	26
Figura 16. Diagrama de los casos de uso de "Gestionar los marcadores" (CU-	
Adm-1.3)	29
Figura 17. Diagrama de los casos de uso de "Visualizar el análisis" (CU-Ana-1)	).
	33
Figura 18. Modelo de datos del sistema.	36
Figura 19. Esquema básico del cliente-servidor	39
Figura 20. Arquitectura del sistema con todos los componentes	40
Figura 21. Comando FFmpeg para cambiar la calidad del vídeo	41
Figura 22. Comandos para fragmentar los vídeos	42
Figura 23. Comandos para crear los manifiestos	42
Figura 24. Archivos resultantes de un manifiesto	43
Figura 25. Componentes del recorrido virtual.	43
Figura 26. Esfera utilizada para reproducir el vídeo	44
Figura 27. Ejemplo de un marcador del recorrido	45
Figura 28. Representación de las coordenadas esféricas de la Tierra [43]	46
Figura 29. Representación de las coordenadas en un vídeo,	46
Figura 30. Diagrama de secuencia para cargar el segundo vídeo	48
Figura 31. Captura de pantalla del editor de vídeos.	50
Figura 32. Captura de pantalla del reproductor 3D de vídeo	51
Figura 33. Captura de pantalla del editor de marcadores	51

# Índice de figuras

Figura 34. Captura de pantalla del editor de puntos de interés	52
Figura 35. Diagrama de secuencia para borrar un punto de interés	53
Figura 36. Captura de pantalla de la página web de análisis	53
Figura 37. Captura de pantalla del gráfico circular.	54
Figura 38. Captura de pantalla del gráfico de líneas.	55
Figura 39. Captura de pantalla del gráfico de columnas.	55
Figura 40. Captura de pantalla del histograma.	56
Figura 41. Consulta QUERY para obtener los pesos.	56
Figura 42. Comandos para solicitar los datos a la base de datos desde el serv	vidor.
	57
Figura 43. Captura de pantalla del mapa de calor de todos los vídeos	57
Figura 44. Consulta QUERY para obtener los pesos juntamente con los tien	npos.
Figura 45. Captura de pantalla del mapa de calor interactivo	58
Figura 46. Diagrama de secuencia para visualizar un mapa de calor	59

# Índice de tablas

Tabla 1. Principales características de los museos virtuales.10Tabla 2. Comparativa de las herramientas base del proyecto.11Tabla 3. Comparativa de los frameworks del proyecto.12Tabla 4. Comparativa de herramientas para el servidor.12Tabla 5. Descripción del caso de uso "Comenzar un recorrido virtual" (CU-Jug-21
Tabla 6. Descripción del caso de uso "Desplazarse en el recorrido virtual" (CU-
Jug-1.2)
Tabla 7. Descripción del caso de uso "Cambiar idioma" (CU-Jug-1.3)22
Tabla 8. Descripción del caso de uso "Consultar información de los puntos de
interés" (CU-Jug-1.4)
Tabla 9. Descripción del caso de uso "Subir un vídeo" (CU-Adm-1.1.2)
Tabla 10. Descripción del caso de uso "Borrar un vídeo" (CU-Adm-1.1.3)25
Tabla 11. Descripción del caso de uso "Previsualizar un vídeo" (CU-Adm-1.1.4).
Tabla 12. Descripción del caso de uso "Modificar los atributos de un vídeo" (CU-
Adm-1.1.5)
Tabla 13. Descripción del caso de uso "Añadir un punto de interés" (CU-Adm-
1.2.1)
Tabla 14. Descripción del caso de uso "Modificar un punto de interés" (CU-Adm-
1.2.2)
Tabla 15. Descripción del caso de uso "Eliminar un punto de interés" (CU-Adm-1.2.3)
Tabla 16. Descripción del caso de uso "Añadir un marcador a un vídeo" (CU-
Adm-1.3.1)
Tabla 17. Descripción del caso de uso "Modificar los atributos de un marcador"
(CU-Adm-1.3.2)
Tabla 18. Descripción del caso de uso "Eliminar un marcador" (CU-Adm-1.3.3).
Tabla 19. Descripción del caso de uso "Consultar el número de visitas virtuales"
(CU-Ana-1.1)
Tabla 20. Descripción del caso de uso "Consultar el idioma más utilizado" (CU-
Ana-1.2)
Tabla 21. Descripción del caso de uso "Consultar el número medio de vídeos en una visita" (CU-Ana-1.3).   34
Tabla 22. Descripción del caso de uso "Consultar el número de visualizaciones de
un vídeo" (CU-Ána-1.4)
Tabla 23. Descripción del caso de uso "Consultar donde miran los usuarios
durante un vídeo" (CU-Ana-1.5)

Tabla 24. Descripción del caso de uso "Consultar donde miran los usuarios	s en los
vídeos" (CU-Ana-1.6).	
Tabla 25. Descripción de los atributos de la tabla de videos	
Tabla 26. Descripción de los atributos de la tabla de puntosInteres	
Tabla 27. Descripción de los atributos de la tabla de marcadores	
Tabla 28. Descripción de los atributos de la tabla de usuarios	
Tabla 29. Descripción de los atributos de la tabla de visitas	
Tabla 30. Descripción de los atributos de la tabla de recorridos	
Tabla 31. Descripción de los atributos de la tabla de videos	
Tabla 32. Descripción de los atributos del comando FFmpeg	42
Tabla 33. Atributos del comando para cada resolución	42

# Nomenclatura

- LTIM Laboratori de Tecnologies de la Informació Multimèdia.
- **UIB** Universitat de les Illes Balears.
- **HTML** Hypertext Markup Language.
- **CDN** Content Delivery Network.
- JS Javascript Language.
- **CSS** Cascading Style Sheets.
- **SQL** Structured Query Language.

## Resumen

En el actual Trabajo de Fin de Grado se presenta el diseño y la implementación de un recorrido virtual 360° por las instalaciones de la Universitat de les Illes Balears. También, se muestra el desarrollo de un editor de contenidos que permita gestionar el recorrido virtual y un sistema de análisis con estadísticas del funcionamiento de la aplicación.

La metodología utilizada para la gestión del proyecto es una metodología ágil basada en el desarrollo iterativo e incremental, dado que se han implementado varios módulos.

El proyecto ha sido desarrollado en HTML, JS y CSS como lenguajes base de programación y se utiliza la librería de A-Frame para el contenido de realidad virtual y 360°. Además, el proyecto implementa el estándar CMAF para la transmisión de vídeo, usando herramientas de edición de vídeo como FFmpeg o Bento4.

Para poder almacenar los datos del proyecto se ha implementado un sistema de gestión de base de datos basado en MySQL. La página de análisis está realizada a partir de la librería *highchart* dedicada a la creación de gráficos y la librería *heatmap* enfocada en la creación de mapas de calor.

La arquitectura del sistema se basa en el esquema cliente-servidor. Se ha implementado el módulo del servidor mediante *node.js* y las peticiones del cliente hacia el servidor se han realizado con el protocolo HTTP.

Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de los módulos, se ha realizado un juego de pruebas completo dividido en dos etapas. La primera etapa ha consistido en llevar a cabo las pruebas unitarias comprobando cada módulo de manera individual. En la segunda etapa se han realizado las pruebas de integración comprobando que cada módulo se relaciona de manera adecuada con los demás.

Este proyecto ha dado como resultados tres sistemas funcionales que permiten realizar una visita virtual a la Universitat de les Illes Balears, gestionar su contenido y estudiar el comportamiento de los usuarios.

# Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se va a mostrar al lector una visión general del proyecto, explicando el contexto en el que se encuentra el TFG y los motivos, tanto personales como externos, por los cuales se ha decidido llevarlo a cabo. Además, se van a definir los objetivos que se quieren conseguir, el alcance del proyecto y la estructura del documento.

## 1.1. Contextualización

Los efectos de la pandemia han impactado negativamente en la mayoría de los sectores presentes en nuestro día a día, especialmente, en el turismo. El desplazamiento entre comunidades o hacia otros países se ha visto dificultado por las distintas regulaciones propias de cada lugar. Un remedio que ha encontrado la sociedad para facilitar las circunstancias durante las restricciones ocasionadas por el COVID-19 es el uso de las tecnologías. Durante el confinamiento, se popularizaron las visitas virtuales ya que eran un medio que permitía visitar lugares emblemáticos desde cualquier dispositivo electrónico [1]. Esta tecnología es precisamente la temática que presenta este proyecto.

Un sector que podría verse interesado ante la llegada de estas nuevas tecnologías es el universitario, ya que uno de sus principales objetivos es atraer al mayor número de estudiantes posible. El diario económico "El Economista" escribió un artículo donde comentaba que la UIB había aumentado el número de estudiantes en un 6,4% en el curso 2020-21 respecto al curso anterior [2]. Por tanto, observamos que, a pesar de ya estar atrayendo nuevos estudiantes, sigue siendo beneficioso para la universidad realizar acciones que puedan mantener y favorecer esta tendencia de crecimiento.

Un aspecto importante para los estudiantes a la hora de seleccionar una universidad es el campus y sus instalaciones [3]. De toda la infraestructura que se encuentra en la UIB, destacan 18 puntos de interés divididos entre edificios y zonas de servicio. Los edificios del campus son Anselm Turmeda, Guillem Cifre de Colonya, Guillem Colom Casasnovas, Ramon Llull, Mateu Orfila i Rotger, Gaspar Melchor de Jovellanos, Antoni Maria Alcover i Sureda, Beatriu de Pinos y Arxiduc Lluís Salvador. Las zonas de servicio son la estación de metro, los servicios cientificotécnicos, la librería, las instalaciones deportivas, Cas Jai, el CTI, la residencia de estudiantes y Son Lledó. A pesar del elevado número de instalaciones, en la página web oficial de la universidad se ofrece poca información visual referente a los puntos de interés del campus [4].

#### 1. Introducción

Como se ha explicado anteriormente, una de las opciones para visitar un lugar de manera digital es mediante un tour virtual. Las visitas virtuales permiten al usuario recorrer un lugar desde un dispositivo electrónico, independientemente de su ubicación. Según Hosteltur, en Google han aumentado el número de búsquedas de visitas virtuales en España [1] y ya hay zonas emblemáticas del país, como la Basílica de la Sagrada Familia [5], que han implementado esta nueva tecnología para atraer turistas.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados anteriormente, este proyecto presenta una visita virtual por los puntos de interés de la Universitat de les Illes Balears. En este tour se darán a conocer las instalaciones y se podrá realizar un recorrido por el campus.

# 1.2. Motivación

Personalmente, siempre he tenido interés por los vídeos 360°. Desde que aparecieron en YouTube en el año 2015 [6], los vídeos con este formato me han llamado mucho la atención y he querido tener la oportunidad de grabar y editar alguno propio. Mis vídeos favoritos de 360° son los de la cuenta oficial de la F1, la competición reina de automovilismo, que muestra cómo circula un coche de competición desde todos los ángulos [7].

Además, otro aspecto que me ha motivado a realizar este trabajo es que, antes de comenzar mis estudios en la UIB, yo nunca había visitado el campus de la universidad ni las instalaciones. En la página web de la universidad había algunas imágenes del campus y de algunas clases, pero me hubiera gustado poder ver más información. Por eso, pienso que puede resultar muy útil para aquellos estudiantes que sean de fuera de Mallorca que se estén decidiendo si venir a estudiar a la Universitat de les Illes Balears poder realizar una visita virtual, para así, conocer más los distintos puntos de interés y motivarlos a venir a estudiar aquí.

La universidad también podría estar interesada en disponer de un tour virtual ya que, como se ha explicado anteriormente, aporta numerosos beneficios entre los que se encuentran:

- 1. Proyectar una imagen moderna de la universidad.
- 2. Mejorar la representación del campus de forma internacional.
- 3. Conseguir una ventaja competitiva respecto al resto de universidades.
- 4. Ahorrar costes ya que no es necesario hacer tantas visitas presenciales.

En definitiva, la realización de este proyecto aprovechando el auge de los tours virtuales puede dar como resultado final la atracción de nuevos estudiantes para la universidad.

## 1.3. Objetivos

El proyecto de "Visita virtual a la Universitat de les Illes Balears" tiene los siguientes objetivos:

- 1. Desarrollar un reproductor de vídeo 360° interactivo que permita desplazarse entre distintas zonas cambiando el vídeo y visualizar el interior de algunas instalaciones de la Universitat de les Illes Balears. Además, ofrecer información de los puntos de interés en varios idiomas.
- 2. Implementar un gestor de vídeo que permita administrar el contenido de la visita virtual.
- 3. Crear un panel interactivo que permita analizar y conocer el comportamiento de los usuarios y los puntos de interés más concurridos en el reproductor de video 360°.

## 1.4. Alcance del proyecto

La base del proyecto es el recorrido de la visita virtual. Para decidir el contenido que se va a mostrar se ha estudiado el mapa del campus de la universidad. Al ser una zona muy amplia se ha optado por centrarse en la zona sur del campus donde se concentran la mayoría de los puntos de interés. El inicio del recorrido se va a fijar en la entrada de acceso al metro, ya que es el punto por donde llegan la mayoría de los nuevos estudiantes. En la *figura 1*, se puede observar en color verde el recorrido que podrá realizar el usuario de manera bidireccional, en color naranja los puntos donde el vídeo se mantiene en estático y te permite decidir el siguiente punto hacia donde ir y en círculos amarillos los edificios de los cuales se puede observar su interior.



Figura 1. Mapa de los vídeos grabados en el campus.

#### 1. Introducción

El usuario ha de poder visualizar todo el contenido de los vídeos 360° y ha de poder avanzar en el recorrido. Para eso, no se va a avanzar mediante las teclas del teclado o los botones de un controlador, sino que se van a visualizar marcadores seleccionables en cada vídeo que permitan dirigirse a los otros vídeos.

El recorrido virtual será accesible desde los navegadores más utilizados entre los que se encuentran Google Chrome, Microsoft Edge y Safari. También, funcionará en múltiples dispositivos como ordenadores, tablets o teléfonos inteligentes. Además, estará disponible para dispositivos de realidad virtual como los dispositivos tipo Google CardBoard [8] o las gafas de realidad virtual.

Las restricciones del reproductor de vídeo 360° son que no se grabarán vídeos de la zona norte del campus ni del interior de los edificios de Arxiduc Lluís Salvador, Antoni Maria Alcover i Sureda o Beatriu de Pinós, siempre se comenzará desde el vídeo situado en el acceso al metro y, solamente, habrá un vídeo del interior de cada edificio.

El editor contempla la gestión de los elementos que aparecen en el recorrido virtual del campus. Los elementos son los siguientes:

- Vídeos: grabaciones estáticas o en movimiento de las instalaciones del campus.
- Puntos de interés: zonas del campus como edificios o calles.
- Marcadores: elementos que aparecen en los vídeos que permiten al usuario desplazarse entre distintos puntos de interés

La gestión implica poder añadir, modificar o eliminar elementos al recorrido virtual. Lo que no está contemplado en el editor es la gestión de archivos, por lo que el editor podrá borrar el contenido que desee del recorrido virtual para que no aparezca en la visita, pero no podrá borrar el archivo del servidor. Esto se ha decidido así porque se va a plantear el sistema para que en un futuro se pueda implementar un CDN.

La página de análisis consistirá en un *dashboard*, es decir, un tablero en el que se refleja, mediante una representación gráfica, las principales métricas del comportamiento humano dentro del recorrido virtual. Las métricas más destacadas a recopilar serán el idioma seleccionado para realizar el recorrido, el número de recorridos de cada día, el número de visualizaciones de cada vídeo o cuantos vídeos se visualizan en un recorrido. Además, se va a mostrar donde miran los usuarios en cada vídeo.

## 1.5. Estructura del documento

El presente documento se encuentra divido en varios capítulos, donde cada uno explica información relacionada con el desarrollo de este proyecto. A continuación, se nombrará a cada uno de ellos.

El segundo capítulo es el estado del arte y se explica en él los conceptos y las herramientas que forman este trabajo. El tercer capítulo es el desarrollo del proyecto formado por los apartados de gestión del proyecto, análisis, diseño, implementación y pruebas. El cuarto capítulo es el de resultados y contiene una explicación de los productos resultantes. Finalmente, el quinto capítulo contiene las conclusiones que se han obtenido realizando este trabajo y las posibles mejoras.

# Capítulo 2. Estado del arte

El objetivo de este capítulo es presentar los conceptos relacionados con la temática de este proyecto y las tecnologías que pueden ofrecer una solución similar al problema planteado en la introducción. La finalidad es facilitar al lector el entendimiento de los siguientes capítulos y esclarecer todos los conceptos de forma que pueda valorar adecuadamente las contribuciones del proyecto.

La solución que presenta este proyecto está basada en el concepto de *hypervideo* [9]. El *hypervideo* o vídeo con hipervínculos es un flujo de vídeo que contiene enlaces que permiten la navegación entre el vídeo y otros elementos hipermedia [10]. Por tanto, el *hypervideo* es análogo al *hypertext*, que permite al lector hacer clic en una palabra de un documento y recuperar información de otro documento o de otro lugar del mismo documento [11]. Un factor diferencial respecto al *hypertext* es que *hypervideo* combina vídeo con una estructura de información no lineal, lo que permite al usuario tomar decisiones según el contenido del vídeo. En la *figura* 2 se muestra la portada de la primera película interactiva llamada Kinoautomat del año 1967. Los sistemas modernos de *hypervideo* implementa algunos de los conceptos básicos de esta película, como la narrativa no lineal y la interactividad.



Figura 2. Película interactiva Kinoautomat (1967).

En la actualidad, el laboratorio de tecnología y de la información multimedia de la Universitat de les Illes Balears (LTIM) ha llevado a cabo diversos proyectos basados en *hypervideo*. Concretamente, el LTIM ha publicado un artículo de investigación relacionado con este concepto de *hypervideo* [12] y, además, ha realizado un recorrido virtual 360° por Palma [13] y un documental 360° sobre los refugiados en Grecia [14].

Las visitas virtuales se han popularizado en los últimos años [1] pero también existen otras maneras de dar conocer las instalaciones de un centro. La forma más antigua y utilizada es llevar a cabo visitas guiadas donde, de manera presencial, vas recorriendo el lugar y observando cada zona. El principal problema de esta modalidad es la necesidad de ir presencialmente al lugar para poder realizarla, ya que, si eres una persona que reside en otra comunidad autónoma o en el extranjero,

#### 2. Estado del arte

es necesario tener que desplazarte muchos kilómetros con el único fin de realizar la visita.

Otra manera de visitar una instalación es mediante imágenes y videos. En la página web de la UIB [4] hay algunos disponibles como la galería de imágenes que se muestra en la *figura 3*, pero no son suficientes para visitar los edificios de la universidad, así como los otros puntos de interés. Además, no ofrece tanta interactividad como las visitas virtuales, dado que los usuarios solamente pueden escoger entre las distintas imágenes que hay disponibles en la página web.



Figura 3. Galería de imágenes de la UIB.

Otras alternativas, como vemos en la *figura 4* y en la *figura 5* son el caso de Google Maps, que ofrece una visión aérea de prácticamente todo el mundo, y Google Street, que permite recorrer las carreteras de casi todos los países. Ambas son unas de las herramientas más útiles para navegar por ciudades, pero no permiten recorrer zonas peatonales, como en este caso el campus de la universidad, ni acceder al interior de los edificios.



Figura 4. Herramienta Google Maps.



Figura 5. Herramienta Google Street.

Hoy en día, muchas zonas emblemáticas del país como la Basílica de la Sagrada Familia [5], el Museo Nacional del Prado [15] o la Alhambra de Granada [16] ya tienen un tour virtual propio donde generan expectativas para atraer turistas. Para dar unas cifras del alcance de estos tours, en marzo de 2020 más de dos millones de usuarios visitaron el Museo del Prado, incrementado las visitas en un 258% respecto al mes anterior [17]. Con el objetivo de obtener un mejor proyecto, se ha realizado un estudio de estos tours.

El Museo Nacional del Prado [15], mostrado en la *figura 6*, está formado por vídeos 360°, su contenido es de pago e incluye una audioguía juntamente con información escrita de cada cuadro. Todo el museo se muestra en un solo vídeo que va recorriendo las distintas salas y los pasillos.



Figura 6. Captura de pantalla de la visita virtual del Museo del Prado.

Como se puede observar en la *figura 7*, la Basílica de la Sagrada Familia [5] muestra fotos 360°, su contenido es gratuito sin audioguía, pero con información escrita. No es un recorrido, sino que vas seleccionando las imágenes. La visita de la Alhambra de Granada [16], mostrada en la *figura 8*, tiene imágenes planas y gratuitas con información escrita. Está formada por 20 fotos seleccionables. El museo nacional Reina Sofia también muestra imágenes planas y gratuitas con información escrita. El contenido es notorio, formado por unas 90 fotos seleccionables.

#### 2. Estado del arte



Figura 7. Captura de pantalla de la visita virtual de la basílica.

# MAPA 3D DE ALHAMBRA

Disfrute de este recorrido virtual



Figura 8. Captura de pantalla de la visita virtual de la Alhambra.

Como se muestra en la tabla 1, se han anotado las principales características.

Museo	Vídeo / Foto	360°	Gratuito / de Pago	Audioguía	Información	N.fotos / vídeos	Rec.
Museo del Prado	Vídeo	Sí	De Pago	Sí	No	1	Sí
Basílica de la Sagrada Familia	Foto	Sí	Gratuito	No	Sí	6	No
Alhambra de Granada	Foto	No	Gratuito	No	Sí	20	No
Museo Nacional Reina Sofia	Foto	No	Gratuito	No	No	90	No

Tabla 1. Principales características de los museos virtuales.

A partir de la anterior tabla, se han observado las principales características y se han tomado las siguientes decisiones:

- 1. La visita virtual al campus estará formada por vídeos y no por fotos.
- 2. Los vídeos del tour serán 360° para proporcionar una mayor inmersión al usuario.
- 3. Será gratuito ya que es un TFG y quiero que todos los usuarios tengan acceso.
- 4. Una audioguía es un buen complemento a la visita, pero no es algo imprescindible.
- 5. Todos los puntos de interés tendrán información descriptiva.
- 6. El número de vídeos rondará entre 20 y 30, ya que, así, habrá bastante contenido.
- 7. Para ir de zona en zona se hará un recorrido porque proporciona más fluidez a la visita virtual.

Para seleccionar las herramientas que voy a utilizar a la hora de implementar este proyecto, he realizado un estudio. Primero, he llevado a cabo un análisis de las herramientas principales enfocadas en la programación. A continuación, he seleccionado la librería especializada en la creación y gestión del entorno 360°. Posteriormente, he escogido la herramienta encargada del funcionamiento del servidor. Finalmente, he decidido el sistema utilizado para la implementación de la base de datos.

El primer estudio ha consistido en realizar una comparativa entre HTML5 y Unity. HyperText Markup Language (HTML) [18], juntamente con JS y CSS, es un lenguaje de código abierto orientado al desarrollo de aplicaciones web. Unity [19] es un motor multiplataforma orientado al desarrollo de videojuegos. La *tabla 2* muestra las ventajas y desventajas de ambos entornos.

Cualidad	Unity	HTML5
Potencia	$\checkmark$	×
Código abierto	×	$\checkmark$
Interfaz	$\checkmark$	×
Orientado a web	×	$\checkmark$
Experiencia previa	×	$\checkmark$

Tabla 2. Comparativa de las herramientas base del proyecto.

Teniendo en cuenta la *tabla 2*, he escogido HTML5 como la herramienta base para el desarrollo del proyecto debido a que ya tengo experiencia previa, está orientado al desarrollo de aplicaciones web y es de código abierto.

A continuación, he investigado los *frameworks* compatibles con HTML5 enfocados en realidad virtual y vídeos 360°. Los entornos de trabajo encontrados son React360 [20], Three.js [21], D3.js [22] y A-Frame [23]. Todos los entornos son de código abierto y están orientados a la creación de experiencias de realidad virtual. React360 es un *framework* web que combina WebGL con el poder declarativo de React.

#### 2. Estado del arte

A-Frame crea gráficos para escenas 3D mediante un poderoso motor de entidadcomponente. Por otro lado, D3.js es una biblioteca de JavaScript utilizada para la elaboración de gráficos dinámicos e interactivos en navegadores web. En último lugar, Three.js es una librería programada en JavaScript para crear y mostrar gráficos en 3D utilizando el elemento *canvas* de HTML5. La *tabla 3* muestra una comparativa entre todas las herramientas.

Cualidad	React360	Three.js	D3.js	A-Frame
Mantenimiento	×	$\checkmark$	$\checkmark$	$\checkmark$
Fácil de usar	$\checkmark$	×	$\checkmark$	$\checkmark$
Entidades 3D	$\checkmark$	$\checkmark$	×	$\checkmark$

Tabla 3. Comparativa de los frameworks del proyecto.

Considerando la *tabla 3*, he descartado React360 dado que la librería ya no está actualmente en mantenimiento. Al igual que la anterior, Three.js tampoco ha sido seleccionada porque el nivel de complejidad en su uso es muy superior al resto de librerías. En definitiva, he escogido la herramienta de A-Frame, ya que su motor está orientado a la gestión de las entidades 3D.

El desarrollo de la parte del servidor se va a implementar con PHP o Node.js. PHP es un lenguaje de código abierto síncrono orientado al desarrollo web [24]. Node.js es un entorno de código abierto que utiliza el lenguaje de JS para la capa del servidor de manera asíncrona [25].

Cualidad	PHP	Node.js
Rendimiento	×	$\checkmark$
Fácil de usar	$\checkmark$	×
Crecimiento	×	$\checkmark$

Tabla 4. Comparativa de herramientas para el servidor.

He decidido utilizar Node.js porque en temas de rendimiento es superior al PHP debido a su naturaleza asíncrona y, a pesar de ser más complejo, es una tecnología que su uso está en aumento [26].

La última sección de las herramientas está enfocada en la base de datos. Existen dos tipos de lenguaje para implementarla, SQL o No-SQL. El primer lenguaje es utilizado para desarrollar esquemas de bases de datos relacionales mientras que el segundo lenguaje implica bases de datos no relacionales. MySQL está considerada como la base de datos SQL de código abierto más popular del mundo [27]. Mongo es un sistema de base de datos NoSQL, orientado a documentos y de código abierto [28]. Dado que el esquema que se va a implementar en el proyecto es un esquema relacional he decidido utilizar un lenguaje SQL, por lo que la herramienta utilizada será MySQL.

La edición que explicaremos en el capítulo de desarrollo del proyecto se ha realizado para implementar una tecnología conocida como *streaming* adaptativo y es utilizada en la mayoría de los servicios de retransmisión de vídeo. El *streaming* 

adaptativo [29] consiste en detectar las capacidades del usuario que está consumiendo el contenido multimedia y adaptar el flujo de video en función de su capacidad, como, por ejemplo, el ancho de banda. El objetivo de esta tecnología es proporcionar en cada momento la mejor calidad posible según el contexto particular de cada cliente.

Existen dos protocolos que permiten implementar el *streaming* adaptativo que son HLS [30] y MPEG-DASH [31]. Estos protocolos dividen los vídeos en fragmentos más pequeños con diferentes niveles de calidad. Eso permite cambiar de un nivel de calidad a otro durante la transmisión de vídeo. Las diferencias entre los dos protocolos son las siguientes:

- 1. **Formato de codificación**: MPEG-DASH permite usar cualquier estándar de codificación mientras que HLS requiere el uso de H.264 o H.265.
- 2. **Compatibilidad con dispositivos**: HLS es el único formato compatible con los dispositivos de Apple
- 3. **Estandarización**: MPEG-DASH es una norma internacional mientras que HLS fue desarrollado por Apple y no ha sido publicado como un estándar internacional.

Observamos que MPEG-DASH ofrece una mejor codificación por formatos y es una norma internacional pero no es compatible con todos los dispositivos. Por eso, he decidido que se van a implementar los dos protocolos.

Existe un problema a la hora de implementar los dos protocolos de vídeo y es la duplicidad de archivos. MPEG-DASH utiliza un manifiesto con los fragmentos del vídeo y HLS también utiliza un manifiesto con los fragmentos, pero a diferencia de MPEG-DASH utiliza un formato de vídeo llamado *ts*. Por lo que el vídeo estaría duplicado, uno con el formato *mp4* y otro con el formato *ts*. Para solucionarlo, se ha utilizado un estándar emergente que tiene la intención de simplificar la transmisión de vídeo conocido como CMAF [32]. Este estándar permite la compatibilidad de los dos protocolos de vídeo sin la duplicidad de archivos.

# Capítulo 3. Desarrollo del proyecto

En este capítulo de la documentación se va a detallar, en diferentes apartados, los aspectos más importantes de la fase de desarrollo del proyecto. En resumen, primero se va a presentar la gestión del proyecto, a continuación, el análisis, el diseño y la implementación del sistema y, finalmente, el juego de pruebas.

## 3.1. Gestión del proyecto

En este apartado se va a presentar la gestión del proyecto formada por la metodología seleccionada para el desarrollo de este y la planificación temporal que se ha realizado.

## 3.1.1. Metodología de desarrollo

La metodología utilizada para el desarrollo de este proyecto es una metodología ágil basada en el desarrollo iterativo e incremental. Al tener que realizar varios módulos como una aplicación web para la visita virtual, un editor para el administrador del tour y una sección de datos para el analista, he considerado que la manera más cómoda para ir progresando en el trabajo es esta forma de funcionamiento, ya que me permite obtener pequeñas versiones funcionales del proyecto, ir viendo el resultado final y poder mostrar al tutor los avances.



Figura 9. Esquema de las fases iterativas del desarrollo.

Como se muestra en la *figura 9*, el tour virtual se va a desarrollar en 5 versiones. En la primera versión habrá un menú de inicio y un vídeo 360° de la universidad ( $\mathbf{RV}_1$ ). En la segunda versión ya aparecerán marcadores que cambiarán el video 360° que se muestra ( $\mathbf{RV}_2$ ). La tercera versión aplicará una diferenciación entre los vídeos en bucle y los vídeos que direccionan a otros vídeos al finalizar ( $\mathbf{RV}_3$ ). La cuarta versión estará centrada en implementar una base de datos y que la aplicación web utilice estos datos para los vídeos y los marcadores ( $\mathbf{RV}_4$ ). Finalmente, en la última versión se añadirán las descripciones de los marcadores y un selector de idioma, además de mejorar el menú inicial ( $\mathbf{RV}_5$ ).

El editor del tour modificará los vídeos, los marcadores y los puntos de interés. Por lo tanto, se ha decidido que se va a desarrollar en 3 versiones. La primera versión consistirá en previsualizar los vídeos que hay en la aplicación, modificar los atributos de estos vídeos y añadir nuevos vídeos (**ER\_1**). La segunda versión consistirá en las mismas funcionalidades, pero centrado en los puntos de interés (**ER\_2**). Finalmente, la última versión ya permitirá añadir marcadores en los vídeos con la información de los puntos de interés (**ER\_3**). Este orden permite ir probando el editor a medida que se va realizando.

La página de análisis se va a realizar en 6 versiones. Habrá una versión para cada uno de los gráficos y mapas que se van a mostrar. Las 4 primeras versiones serán para los gráficos con los distintos datos que se registran de las visitas virtuales como los idiomas seleccionados o el número de visualizaciones de cada vídeo (AR\_1) (AR\_2) (AR\_3) (AR\_4). En las 2 últimas versiones se realizarán los mapas de calor con la información de donde suelen mirar los usuarios en los vídeos (AR\_5) (AR\_6).



## 3.1.2. Planificación temporal

Figura 10. Planificación temporal del proyecto.

La planificación de este proyecto se ha dividido en los 10 meses que dura el curso. Como se muestra en la *figura 10*, el primer mes se ha utilizado para recaudar información de las distintas propuestas que había en la base de datos de la universidad y, después de estudiar varias temáticas, me he decantado por trabajar con vídeos 360°.

Los dos siguientes meses se utilizarán para estudiar el framework empleado para programar con los vídeos y coger práctica para poder realizar un proyecto de manera fluida. Una vez haya entendido como funciona el framework y el proyecto que voy a realizar, me dedicaré durante un mes a escribir la introducción de la documentación y los requisitos iniciales sobre la funcionalidad de mi sistema.

Los siguientes cinco meses se utilizarán para hacer la implementación, definir los requisitos finales y redactar el resto de la documentación. Finalmente, el último mes serán para las pruebas del sistema y para redactar las conclusiones del documento.

# 3.2. Análisis

En el análisis del proyecto se van a presentar los distintos usuarios que van a participar en la aplicación web y los requisitos de usuario. Estos requisitos están diferenciados entre funcionales y no funcionales. Los requisitos funcionales están divididos por cada tipo de usuario.

## 3.2.1. Usuarios

El objetivo de este trabajo es generar una aplicación web para visualizar las instalaciones de la universidad, permitiendo su gestión y análisis. Todo esto debe organizarse de tal manera que se permita diferenciar entre los distintos perfiles de usuarios que están involucrados en el proceso, ya que no todos los usuarios acceden a las mismas funcionalidades. También, ha de tenerse en cuenta que debe ser un sistema separado en módulos para que cada tipo de usuario pueda acceder a su servicio fácilmente desde sus equipos.

Por eso, para los requisitos y los casos de uso se hará una distinción entre los 3 tipos de usuarios existentes. Estos usuarios y su función son:

**Jugador**. Es el usuario que entra en la aplicación web para realizar una visita virtual de las instalaciones.

**Administrador**. Es el usuario que gestiona y administra los vídeos y los puntos de interés que aparecen en la visita virtual.

**Analista**. Es el usuario que estudia el funcionamiento del tour virtual con datos que proporciona la aplicación web.

### 3.2.2. Requisitos de usuario

A continuación, se describirán los requisitos finales obtenidos tras las fases iterativas con el objetivo de mostrar que debe cumplir la aplicación para su correcto funcionamiento. Los requisitos se separarán en funcionales y no funcionales.

## 3.2.2.1. Requisitos funcionales

Requisitos encargados de especificar todas las funcionalidades que el sistema debe satisfacer.

## 3.2.2.1.1. Requisitos del jugador

**RF-01**. Un jugador podrá acceder al tour virtual y visualizar vídeos 360° de la universidad.

**RF-02**. Un jugador podrá seleccionar entre los puntos de interés que aparecen en el vídeo para avanzar en el recorrido virtual.

**RF-03**. Un jugador podrá consultar información relativa a los puntos de interés cercanos que le ayuden a ubicarse.

**RF-04**. Un jugador podrá seleccionar al inicio del tour entre 3 idiomas (castellano, catalán e inglés) y la información que le aparezca se adaptará al idioma escogido.

### 3.2.2.1.2. Requisitos del administrador

**RF-05**. Un administrador podrá añadir, modificar, previsualizar o borrar vídeos del recorrido virtual.

**RF-06**. Un administrador podrá añadir, modificar o borrar los puntos de interés que aparecen en el recorrido virtual.

**RF-07**. Un administrador podrá añadir, modificar o borrar los marcadores que aparecen en un vídeo.

#### 3.2.2.1.3. Requisitos del analista

**RF-08**. Un analista podrá consultar cual es la proporción utilizada de cada uno de los 3 idiomas en los tours.

**RF-09**. Un analista podrá consultar cuantas visitas virtuales se han realizado desde el lanzamiento de la aplicación.

RF-10. Un analista podrá consultar cuantas visualizaciones ha tenido cada video.

**RF-11**. Un analista podrá consultar la media de vídeos visualizados en una visita virtual.

**RF-12**. Un analista podrá consultar un mapa de calor que muestre donde miran los usuarios en los vídeos seleccionados.

**RF-13**. Un analista podrá seleccionar un vídeo para generar un mapa de calor de donde miran los usuarios durante cada segundo de dicho vídeo.

#### 3.2.2.2. Requisitos no funcionales

Estos requisitos representan restricciones, necesidades o condiciones de las funcionalidades del sistema, o algunos aspectos de la seguridad del mismo.

#### 3.2.2.2.1. Usabilidad

**RNF-01**. Al inicio, el sistema mostrará de forma precisa unas instrucciones sobre cómo funciona la aplicación web.

**RNF-02**. El sistema facilitará al usuario el recorrido por el campus deteniendo el movimiento de la cámara cuando el usuario decida avanzar.

**RNF-03**. Debe tener una interfaz intuitiva, para que cualquier usuario pueda aprender a utilizar el sistema.

#### 3.2.2.2.2. Rendimiento

**RNF-04**. Cualquier operación de la aplicación no debe de tardar más de 1 segundo en completarse, a excepción de la obtención de estadísticas.

**RNF-05**. El sistema tendrá la capacidad de soportar múltiples conexiones simultaneas.

**RNF-06**. El sistema deberá poder gestionar el acceso a los recursos en distintos dispositivos

#### 3.2.2.3. Interactividad multidispositivo

**RNF-07**. El sistema permitirá mover la cámara del usuario desde un ordenador o portátil mediante el movimiento ratón.

**RNF-08**. El sistema permitirá seleccionar un marcador desde un ordenador o portátil mediante el clic del ratón.

**RNF-09**. El sistema permitirá mover la cámara del usuario desde un teléfono inteligente mediante el giroscopio.

**RNF-10**. El sistema permitirá seleccionar un marcador desde un teléfono inteligente manteniendo el cursor encima del marcador.

**RNF-11**. El sistema permitirá mover la cámara del usuario desde unas gafas de realidad virtual mediante los *joysticks* del mando de las gafas.

**RNF-12**. El sistema permitirá seleccionar un marcador desde unas gafas de realidad virtual mediante los botones del mando de las gafas.

#### 3.3. Diseño

El objetivo de la etapa de diseño es definir las distintas acciones que puede realizar cada usuario, detallar la estructura de datos que va a utilizar el sistema y especificar los componentes, tanto hardware como software, del sistema para precisar la arquitectura.

#### 3. Desarrollo del proyecto

En esta fase se va a utilizar toda la información obtenida en la etapa de análisis con el objetivo de obtener una solución a todas las necesidades de los usuarios.

### 3.3.1. Casos de uso

Tras la definición de requisitos, se procede a realizar la definición de los casos de uso. Los actores que interactuarán con el sistema son los mencionados anteriormente: el jugador, el administrador y el analista.

Los casos de uso muestran el comportamiento del sistema a través de las funciones que puede realizar el usuario. La descripción de estos se realizará mediante el uso tablas. Aquellos casos que luego se desglosen en otros no tendrán tabla, dado que tratarán casos más generales.

#### 3.3.1.1. Sistema

El sistema está formado por tres módulos y cada uno ha de ser accesible por el actor correspondiente. La *figura 11* muestra los actores interactuando con el sistema.

CU-Sist-0. Utilizar el sistema. CU-Jug-1. Realizar el recorrido virtual. CU-Adm-1. Configurar el recorrido virtual. CU-Ana-1. Visualizar el análisis.



Figura 11. Diagrama de los casos de uso de "Utilizar el sistema" (CU-Sist-0).

#### 3.3.1.2. Jugador

CU-Jug-1.1. Comenzar un recorrido virtual.

- CU-Jug-1.2. Desplazarse en el recorrido virtual.
- CU-Jug-1.3. Consultar la información de un punto de interés.

CU-Jug-1.4. Cambiar el idioma del recorrido virtual en el menú inicial.


Figura 12. Diagrama de los casos de uso de "Realizar el recorrido virtual" (CU-Jug-1).

CU-Jug-1.1	Comenzar un recorrido virtual
Objetivo	Ofrecer a los usuarios un menú inicial el cual contenga una explicación del funcionamineto de la aplicación y un botón de iniciar.
Requisitos asociados	RF-01.
Descripción	El sistema permitirá iniciar la reproducción del tour virtual mediante un menú.
Secuencia principal	1. El usuario selecciona el idioma del recorrido.
	2. El usuario presiona en la zona de iniciar el recorrido.
Postcondición	El sistema muestra el primer vídeo del tour.
Excepciones	En caso de no seleccionar un idioma, de manera predeterminada se seleccionará en castellano.

ا متغنية ما م

Tabla 5. Descripción del caso de uso "Comenzar un recorrido virtual" (CU-Jug-1.1).

CU-Jug-1.2	Desplazarse en el recorrido virtual
Objetivo	Ofrecer a los usuarios una manera para poder moverse entre los vídeos y así recorrer el campus.
Requisitos asociados	RF-02.
Descripción	El sistema permitirá acceder a otro vídeo mediante un marcador que aparecerá en el vídeo que se está reproduciendo actualmente.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza el marcador y coloca el cursor encima del mismo.</li> <li>El usuario presiona en el marcador para desplazarse al vídeo.</li> </ol>
Postcondición	El sistema muestra la zona seleccionada.
Excepciones	-

Tabla 6. Descripción del caso de uso "Desplazarse en el recorrido virtual" (CU-Jug-1.2).

CU-Jug-1.3	Cambiar idioma
Objetivo	Ofrecer a los usuarios distintos idiomas para realizar la visita virtual.
Requisitos asociados	RF-04.
Descripción	El sistema permitirá en el menú inicial modificar el idioma del tour mediante unas imágenes
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario en el menú inicial presiona la bandera que representa el idioma deseado.</li> </ol>
Postcondición	El sistema mostrará la información de los puntos de interés en el idioma seleccionado por el usuario.
Excepciones	-

Tabla 7. Descripción del caso de uso "Cambiar idioma" (CU-Jug-1.3).

CU-Jug-1.4	Consultar información de los puntos de interés
Objetivo	Ofrecer a los usuarios información de los puntos de interés que aparecen en cada vídeo.
Requisitos asociados	RF-03.
Descripción	El sistema permitirá que el usuario en cada marcador pueda seleccionar que se muestre información del punto de interés.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario presiona en el punto de información que aparece al lado del marcador.</li> </ol>
Postcondición	El sistema mostrará la información del punto de interés.
Excepciones	-

Tabla 8. Descripción del caso de uso "Consultar información de los puntos de interés" (CU-Jug-1.4).

## 3.3.1.3. Administrador

CU-Adm-1.1. Gestionar los vídeos. CU-Adm-1.2. Gestionar los puntos de interés. CU-Adm-1.3. Gestionar los marcadores.



Figura 13. Diagrama de los casos de uso de "Configurar el recorrido virtual" (CU-Adm-1).

CU-Adm-1.1.1. Subir vídeo. CU-Adm-1.1.2. Borrar vídeo. CU-Adm-1.1.3. Previsualizar un vídeo.

CU-Adm-1.1.4. Modificar los atributos de un vídeo.



Figura 14. Diagrama de los casos de uso de "Gestionar los vídeos" (CU-Adm-1.1).

CU-Adm-1.1.1	Subir un vídeo
Objetivo	Ofrecer al administrador un botón que permita añadir un vídeo al recorrido virtual.
Requisitos asociados	RF-05.
Descripción	El sistema permitirá que el administrador pueda añadir un vídeo al tour con los atributos deseados.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario presiona en el botón de añadir vídeo.</li> <li>El sistema crea una sección vacía para que el usuario la rellene con los datos del vídeo.</li> <li>El usuario escribe en la sección con los datos deseados.</li> <li>El usuario presiona el botón de actualizar el servidor para guardar el nuevo vídeo.</li> </ol>
Postcondición	El sistema se actualizará con la información del nuevo vídeo.
Excepciones	En caso de utilizar un tipo de datos erróneo, el sistema lanzará una alerta.

Tabla 9. Descripción del caso de uso "Subir un vídeo" (CU-Adm-1.1.1).

CU-Adm-1.1.2	Borrar un vídeo
Objetivo	Ofrecer al administrador un botón que permita eliminar un vídeo al recorrido virtual.
Requisitos asociados	RF-05.
Descripción	El sistema permitirá que el administrador pueda eliminar los vídeos deseados.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza una tabla que contiene la información de cada vídeo.</li> <li>El usuario presiona en el botón de eliminar que esta junto a la descripción del vídeo que desea borrar.</li> <li>El usuario confirma la intención de eliminar el vídeo.</li> </ol>
Postcondición	La información del vídeo y sus marcadores son eliminados del sistema y ya no formará parte del recorrido virtual.
Excepciones	-

Tabla 10. Descripción del caso de uso "Borrar un vídeo" (CU-Adm-1.1.2).

CU-Adm-1.1.3	Previsualizar un vídeo
Objetivo	Ofrecer al administrador un botón que permita visualizar un vídeo desde el editor.
Requisitos asociados	RF-05.
Descripción	El sistema permitirá al administrador ver los vídeos seleccionados.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza una tabla que contiene la información de cada vídeo.</li> <li>El usuario presiona en el botón de prever que esta junto a la descripción del vídeo.</li> <li>El usuario visualiza el vídeo en la parte superior de la página.</li> </ol>
Postcondición	El sistema reproduce el vídeo seleccionado.
Excepciones	-

Tabla 11. Descripción del caso de uso "Previsualizar un vídeo" (CU-Adm-1.1.3).

CU-Adm-1.1.4	Modificar los atributos de un vídeo
Objetivo	Ofrecer al administrador poder editar la información de un vídeo
Requisitos asociados	RF-05.
Descripción	El sistema permitirá al administrador ver la información de los vídeos y modificarla.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza una tabla que contiene la información de cada vídeo.</li> <li>El usuario selecciona la casilla que contiene la información que desea modificar.</li> <li>El usuario escribe los nuevos datos del vídeo.</li> <li>El usuario presiona en el botón de guardar en el servidor para mantener los cambios.</li> </ol>
Postcondición	El sistema muestra la información de todos los vídeos actualizada.
Excepciones	En caso de utilizar un tipo de datos erróneo, el sistema lanzará una alerta.

Tabla 12. Descripción del caso de uso "Modificar los atributos de un vídeo" (CU-Adm-1.1.4).

## CU-Adm-1.2.1. Añadir un punto de interés.

CU-Adm-1.2.2. Eliminar un punto de interés.

CU-Adm-1.2.3. Modificar la información del punto de interés.





CU-Adm-1.2.1	Añadir un punto de interés
Objetivo	Ofrecer al administrador poder añadir un nuevo punto de interés.
Requisitos asociados	RF-06.
Descripción	El sistema permitirá al administrador añadir un nuevo punto de interés.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza una tabla que contiene la información de cada vídeo.</li> <li>El usuario presiona el botón de editar un vídeo.</li> <li>El usuario presiona el botón de modificar los puntos de interés.</li> <li>El usuario presiona el botón de añadir un punto de interés.</li> <li>El usuario rellena la información del nuevo punto de interés.</li> <li>El usuario presiona el botón de guardar en el servidor.</li> </ol>
Postcondición	El sistema añade la información del nuevo punto de interés al recorrido
Excepciones	En caso de no rellenar todos los campos, el sistema lanzará una alerta.

Tabla 13. Descripción del caso de uso "Añadir un punto de interés" (CU-Adm-1.2.1).

CU-Adm-1.2.2	Modificar un punto de interés
Objetivo	Ofrecer al administrador poder modificar un punto de interés.
Requisitos asociados	RF-06.
Descripción	El sistema permitirá al administrador modificar la información relacionada con un punto de interés.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza una tabla que contiene la información de cada vídeo.</li> <li>El usuario presiona el botón de editar un vídeo.</li> <li>El usuario presiona el botón de modificar los puntos de interés.</li> <li>El usuario selecciona la casilla que contiene la información que desea alterar.</li> <li>El usuario rellena el campo con la nueva información.</li> <li>El usuario presiona el botón de guardar en el servidor.</li> </ol>
Postcondición	El sistema actualiza la información del punto de interés.
Excepciones	En caso de no rellenar todos los campos, el sistema lanzará una alerta.

Tabla 14. Descripción del caso de uso "Modificar un punto de interés" (CU-Adm-1.2.2).

CU-Adm-1.2.3	Eliminar un punto de interés
Objetivo	Ofrecer al administrador poder eliminar un punto de interés.
Requisitos asociados	RF-06.
Descripción	El sistema permitirá al administrador eliminar la información relacionada con un punto de interés.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza una tabla que contiene la información de cada vídeo.</li> <li>El usuario presiona el botón de editar un vídeo.</li> <li>El usuario presiona el botón de modificar los puntos de interés.</li> <li>El usuario presiona el botón de eliminar situado junto a la información del punto de interés que desea borrar.</li> <li>El usuario confirma la intención de eliminar el punto.</li> </ol>
Postcondición	El sistema elimina la información del punto de interés.
Excepciones	

Tabla 15. Descripción del caso de uso "Eliminar un punto de interés" (CU-Adm-1.2.3).

CU-Adm-1.3.1. Añadir un marcador a un vídeo.

CU-Adm-1.3.2. Eliminar un marcador de un vídeo.

CU-Adm-1.3.3. Modificar los atributos del marcador.



Figura 16. Diagrama de los casos de uso de "Gestionar los marcadores" (CU-Adm-1.3).

CU-Adm-1.3.1	Añadir un marcador a un vídeo
Objetivo	Ofrecer al administrador poder añadir un marcador a un vídeo.
Requisitos asociados	RF-07.
Descripción	El sistema permitirá al administrador añadir un marcador asociado a un vídeo.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza una tabla que contiene la información de cada vídeo.</li> <li>El usuario presiona el botón de editar asociado al vídeo deseado.</li> <li>El usuario visualiza una tabla que contiene los marcadores de ese vídeo.</li> <li>El usuario presiona el botón de añadir marcador.</li> <li>El usuario rellena los campos de información del nuevo marcador.</li> <li>El usuario presiona el botón de actualizar el servidor para guardar los datos.</li> </ol>
Postcondición	El sistema añade un nuevo marcador en el vídeo del recorrido virtual.
Excepciones	En caso de utilizar un tipo de datos erróneo, el sistema lanzará una alerta.

Tabla 16. Descripción del caso de uso "Añadir un marcador a un vídeo" (CU-Adm-1.3.1).

CU-Adm-1.3.2	Modificar los atributos de un marcador
Objetivo	Ofrecer al administrador poder modificar la información asociada un marcador.
Requisitos asociados	RF-07.
Descripción	El sistema permitirá al administrador modificar los atributos de un marcador.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza una tabla que contiene la información de cada vídeo.</li> <li>El usuario presiona el botón de editar asociado al vídeo deseado.</li> <li>El usuario visualiza una tabla que contiene los marcadores de ese vídeo.</li> <li>El usuario selecciona la casilla que contiene la información que desea alterar.</li> <li>El usuario rellena el campo con la nueva información.</li> <li>El usuario presiona el botón de actualizar el servidor para guardar los datos.</li> </ol>
Postcondición	El sistema actualiza el marcador con la nueva información introducida por el usuario.
Excepciones	En caso de utilizar un tipo de datos erróneo, el sistema lanzará una alerta.
Tabla 17. Descripción del caso de uso "Modificar los atributos de un marcador" (CU-Adm- 1.3.2).	

CU-Adm-1.3.3	Eliminar un marcador
Objetivo	Ofrecer al administrador poder eliminar un marcador asociado a un vídeo.
Requisitos asociados	RF-07.
Descripción	El sistema permitirá al administrador eliminar el marcador seleccionado de un vídeo del recorrido virtual.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza una tabla que contiene la información de cada vídeo.</li> <li>El usuario presiona el botón de editar asociado al vídeo deseado.</li> <li>El usuario visualiza una tabla que contiene los marcadores de ese vídeo.</li> <li>El usuario presiona el botón de eliminar asociado al marcador.</li> <li>El usuario confirma la intención de eliminar el marcador del vídeo</li> </ol>
Postcondición	El sistema actualiza el vídeo eliminando el marcador seleccionado por el usuario.
Excepciones	-

Tabla 18. Descripción del caso de uso "Eliminar un marcador" (CU-Adm-1.3.3).

## 3.3.1.4. Analista

CU-Ana-1.1. Consultar el número de visitas virtuales en un día en específico.

CU-Ana-1.2. Consultar el idioma más utilizado en las visitas.

CU-Ana-1.3. Consultar el número medio de vídeos visualizados en una visita.

CU-Ana-1.4. Consultar el número de visualizaciones de cada vídeo.

**CU-Ana-1.5**. Consultar en un mapa de calor donde miran los usuarios durante un vídeo.

**CU-Ana-1.6**. Consultar en un mapa de calor donde miran los usuarios en un conjunto de vídeos.



Figura 17. Diagrama de los casos de uso de "Visualizar el análisis" (CU-Ana-1).

CU-Ana-1.1	Consultar el número de visitas virtuales
Objetivo	Ofrecer al analista poder consultar el número de visitas virtuales.
Requisitos asociados	RF-08.
Descripción	El sistema mostrará un gráfico de líneas con el número de visitas desde el lanzamiento de la aplicación.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza el gráfico relacionado con el número de visitas.</li> <li>El usuario selecciona la zona deseada para ver un día en específico</li> </ol>
Postcondición	-
Excepciones	-

Tabla 19. Descripción del caso de uso "Consultar el número de visitas virtuales" (CU-Ana-1.1).

CU-Ana-1.2	Consultar el idioma más utilizado
Objetivo	Ofrecer al analista poder consultar el idioma más utilizado en las visitas virtuales
Requisitos asociados	RF-09.
Descripción	El sistema mostrará un gráfico de circular con el porcentaje de uso de cada idioma.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza el gráfico relacionado con el idioma.</li> <li>El usuario selecciona idioma para ver más información.</li> </ol>
Postcondición	-
Excepciones	-

Tabla 20. Descripción del caso de uso "Consultar el idioma más utilizado" (CU-Ana-1.2).

CU-Ana-1.3	Consultar el número medio de vídeos en una visita
Objetivo	Ofrecer al analista poder consultar el número medio de vídeos que se visualizan en un recorrido virtual.
Requisitos asociados	RF-10.
Descripción	El sistema mostrará un histograma que muestra los rangos de vídeos vistos en los recorridos virtuales.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza el histograma relacionado con el número medio de vídeos visualizados.</li> <li>El usuario selecciona una columna para ver más información.</li> </ol>
Postcondición	-
Excepciones	-

Tabla 21. Descripción del caso de uso "Consultar el número medio de vídeos en una visita" (CU-Ana-1.3).

CU-Ana-1.4	Consultar el número de visualizaciones de un vídeo
Objetivo	Ofrecer al analista poder consultar el número de visualizaciones de cada vídeo.
Requisitos asociados	RF-11.
Descripción	El sistema mostrará un gráfico de columnas con el número de visualizaciones de cada vídeo.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario visualiza el gráfico relacionado con el número de visualizaciones.</li> </ol>
Postcondición	-
Excepciones	-

Tabla 22. Descripción del caso de uso "Consultar el número de visualizaciones de un vídeo" (CU-Ana-1.4).

CU-Ana-1.5	Consultar donde miran los usuarios durante un vídeo
Objetivo	Ofrecer al analista poder consultar donde miran los usuarios durante la reproducción de un vídeo.
Requisitos asociados	RF-12.
Descripción	El sistema mostrará un mapa de calor con un reproductor para poder visualizar donde miran los usuarios.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario selecciona el vídeo que quiere consultar.</li> <li>El usuario presiona el botón de aplicar.</li> <li>El usuario presiona el botón de <i>play</i> para comenzar la reproducción.</li> </ol>
Postcondición	-
Excepciones	-

Tabla 23. Descripción del caso de uso "Consultar donde miran los usuarios durante un vídeo" (CU-Ana-1.5).

CU-Ana-1.6	Consultar donde miran los usuarios en los vídeos
Objetivo	Ofrecer al analista poder consultar donde miran los usuarios en un conjunto de vídeos.
Requisitos asociados	RF-13.
Descripción	El sistema mostrará un mapa de calor para poder visualizar donde miran los usuarios.
Secuencia principal	<ol> <li>El usuario selecciona un vídeo, varios o todos.</li> <li>El usuario presiona el botón de aplicar.</li> <li>El usuario visualiza el mapa de calor de los vídeos seleccionados.</li> </ol>
Postcondición	-
Excepciones	-

Tabla 24. Descripción del caso de uso "Consultar donde miran los usuarios en los vídeos" (CU-Ana-1.6).

#### 3.3.2. Modelos de datos

El sistema utilizado para implementar y gestionar la base de datos es un modelo relacional. La base de datos del proyecto está compuesta por 7 tablas. La *figura 18* muestra el modelo de datos del proyecto.



Figura 18. Modelo de datos del sistema.

En relación a la base de datos, no todas las tablas son utilizadas en todos los módulos del sistema, sino que el uso de las tablas depende del servicio que esté utilizando el usuario. Por consiguiente, primero se va a detallar el propósito de cada tabla y el diccionario de los atributos, para luego especificar que tablas utiliza cada módulo.

#### 3.3.2.1. Tablas y diccionario de atributos

La tabla de **videos** contiene toda la información relacionada con los vídeos como puede ser la fuente, si es un bucle o un recorrido o la geoposición. La tabla 25 muestra los atributos de la tabla videos.

#### Tabla de videos

IdVideo	Identificador numérico del video
101100	
NameVideo	Fuente del video.
GeoPos	Coordenadas en la Tierra de la ubicación del vídeo.
IdNextVideo	ID del vídeo que se va a reproducir una vez finalice este.
IsLoop	Booleana que indica si es un bucle o un recorrido.
Tabla 25. Descripción de los atributos de la tabla de videos	

25. Descripción de los atributos de la tabla de videos.

La tabla de puntosInteres contiene información relacionada con los puntos de interés de la visita virtual. Los puntos de interés son las facultades y las distintas zonas con vídeos en estático. La tabla 26 muestra los atributos de la tabla puntosInteres.

#### Tabla de puntos Interes

NamePI	Nombre del punto de interés.
DescCast	Descripción del punto de interés en castellano.
DescCat	Descripción del punto de interés en catalán.
DescIng	Descripción del punto de interés en inglés.
Tabla 26 Descripción de los atributos de la tabla de puntosInteres	

Tabla 26. Descripción de los atributos de la tabla de puntosInteres.

La tabla de marcadores contiene toda la información relacionada con los marcadores que aparecen en los vídeos para desplazarse en la visita virtual. Como algunos marcadores se van moviendo en el tiempo es necesario guardar el tiempo inicial y el final, también la posición en el vídeo mediante la latitud y longitud inicial y final. La tabla 27 muestra los atributos de la tabla marcadores.

La tabla de **usuarios** contiene información relacionada con los usuarios que han utilizado las visitas virtuales. Del usuario se guarda su identificador y una cookie generada matemáticamente. La tabla 28 muestra los atributos de la tabla usuarios.

La tabla de **visitas** contiene la información de las visitas virtuales que se han realizado desde el lanzamiento de la aplicación. Por lo tanto, guarda la fecha de la visita, el idioma en el cual la ha realizado y el usuario que la ha realizado. La tabla 29 muestra los atributos de la tabla **visitas**.

IdMarker	Identificador numérico del marcador.
TempsIn	Tiempo inicial en segundos en el que aparece el marcador.
TempsF	Tiempo final en segundos en el que desaparece el marcador.
LatIn	Latitud inicial en grados.
LatF	Latitud final en grados.
LongIn	Longitud inicial en grados.
LongF	Longitud final en grados.
IdNextVideo	Identificador del video que se reproduce si se pulsa en el
	marcador.
IdVideo	Identificador del video en el que aparece el marcador.
NamePI	Nombre del punto de interés que hace referencia el marcador.
Tabla 27. Descripción de los atributos de la tabla de marcadores.	

#### Tabla de marcadores

## Tabla de usuarios

IdUsuario	Identificador numérico del usuario.
Cookies	Cookie generada del usuario.
Tabla	a 28. Descripción de los atributos de la tabla de usuarios.

#### Tabla de visitas

IdTour	Identificador numérico de la visita.			
Lengua	Idioma seleccionado en la visita.			
Fecha	Fecha en la que se realizó la visita			
IdUsuario	Identificador del usuario que realiza esta visita.			
Tabla 29. Descripción de los atributos de la tabla de visitas.				

La tabla de **recorridos** contiene la información de los vídeos que se visualizan en una visita virtual. La *tabla 30* muestra los atributos de la tabla **recorridos**.

## Tabla de recorridos

IdRecorregut	Identificador numérico del recorrido.			
Tipus	Identifica si es un bucle o un recorrido			
Nom	Nombre del video.			
IdTour	Identificador del tour relacionado con el recorrido.			
Tabla 30. Descripción de los atributos de la tabla de recorridos.				

La tabla de **orientaciones** contiene la información del tiempo y la posición donde miran los usuarios durante los vídeos. La *tabla 31* muestra los atributos de la tabla **orientaciones**.

# Tabla de videosIdOrientacionIdentificador numérico de la orientación.TempsTiempo actual del video en segundos.LatitudLatitud de la orientación.LongitudLongitud de la orientación.IdRecorregutIdentificador del recorrido.IdVideoIdentificador del video relacionado con la orientación.Tabla 31. Descripción de los atributos de la tabla de videos.

#### 3.3.2.2. Consultas y modificaciones por módulos

El módulo utilizado por el jugador consulta las tablas de videos, puntosInteres y marcadores para llevar a cabo la implementación de la visita virtual. También, añade información a las tablas de usuarios, visitas, recorridos y orientaciones.

El módulo del editor consultas tablas de videos, puntosInteres y marcadores para mostrar al administrador la información del recorrido virtual y permite modificar o añadir atributos a estas tablas.

El módulo del analista consulta las tablas de usuarios, visitas, recorridos y orientaciones para implementar gráficos y mapas de calor con la información de dichas tablas.

#### 3.3.3. Diseño arquitectónico

En este apartado se van a presentar los componentes que forman el sistema y la manera en la que interactúan entre ellos. Los componentes del sistema de más alto nivel son el cliente, el servidor y la base de datos.



Figura 19. Esquema básico del cliente-servidor.

La elaboración del diseño de la aplicación web, como se muestra en la *figura 19*, se ha basado en el modelo de arquitectura cliente/servidor, una de las arquitecturas de aplicación más utilizadas en estos casos.

La característica más fundamental y básica en este tipo de arquitecturas es la relación entre el cliente y el servidor, donde el primero es el que demanda el servicio y el segundo es el encargado de gestionar y responder la demanda. Esto, inicia un proceso de recursos compartidos, puesto que gran parte de los demandantes de estos servicios, comparten los mismos servidores, utilizando de esta forma los mismos recursos físicos y lógicos unos con otros.

Un sistema que emplea esta arquitectura presenta el siguiente esquema de funcionamiento:

- 1. El demandante de recursos (cliente) solicita información al servidor.
- 2. La petición del cliente es recibida por parte del servidor.
- 3. Dicha solicitud es procesada por el servidor.
- 4. El servidor envía el resultado al demandante del servicio.
- 5. El cliente procesa el resultado al recibirlo.

En la *figura 20* se muestra cada módulo de la aplicación utilizando el modelo anterior, detallando los dispositivos habilitados para cada uno y el tipo de solicitud.



Figura 20. Arquitectura del sistema con todos los componentes.

Tanto el módulo del recorrido virtual como el del editor se comunican con el servidor mediante el protocolo HTTP realizando peticiones GET y POST mientras que el módulo de análisis realiza solamente peticiones GET. El servidor se comunica con la base de datos a través de sentencias SQL realizando SELECT para obtener los datos y peticiones de INSERT, UPDATE y DELETE para modificarlos. Los dispositivos tipo CardBoard de Google [8] y las gafas de RV están contempladas para el módulo del recorrido virtual. Los ordenadores y los teléfonos inteligentes se pueden conectar a los tres módulos.

## 3.4. Implementación

En este capítulo se va a explicar la implementación de las aplicaciones web y, para eso, se va a dividir el contenido en distintos apartados. La visita virtual utiliza contenido multimedia para su funcionamiento, en concreto vídeos 360°, por eso, el primer apartado va a consistir en una explicación de cómo se ha obtenido el contenido audiovisual y de qué manera se ha trabajado con él. A continuación, se hará un capítulo por cada uno de los módulos realizados. Los módulos del sistema son el recorrido virtual, el editor del recorrido y la página de análisis. La parte del funcionamiento del servidor y la base de datos se va a explicar de manera

intercalada según su aparición en cada módulo, por consiguiente, no tendrán un capítulo propio, sino que aparecerán en los tres.

## 3.4.1. Grabación y edición de contenido multimedia

El recorrido virtual por las instalaciones de la universidad está formado por 26 vídeos, de los cuales, 6 vídeos son estáticos en la zona del campus, 14 son en movimiento por el campus, la mitad de ida y la otra mitad de vuelta, y los 6 últimos son estáticos en el interior de los edificios. En los vídeos estáticos, la persona que los está grabando se mantiene en el mismo sitio, mientras que, en los vídeos en movimiento, la persona que los está grabando recorre una distancia mientras lo hace.

Todo el material utilizado para grabar los vídeos ha sido facilitado por la Universitat de les Illes Balears y consiste en una cámara 360° modelo Garmin VIRB 360° y un casco de bicicleta con soporte para la cámara. Mediante el material, se ha grabado las tomas en estático con el casco y las tomas en movimiento con una bicicleta y el casco.

La cámara 360° modelo Garmin VIRB cuenta con una aplicación para móvil que permite controlar la cámara y editar los vídeos. Esta aplicación se ha utilizado para grabar los vídeos, estabilizar el movimiento y corregir la inclinación con el horizonte. Al ser un vídeo esférico y no plano, se puede corregir posibles sacudidas fácilmente ya que se puede rotar la esfera que contiene el vídeo.

La edición más básica se ha realizado mediante QuickTime Player y iMovie de iOS. El QuickTime Player permite recortar los vídeos eliminando las partes mal grabadas y el iMovie permite acelerar los vídeos. En los vídeos en estático se ha mantenido la velocidad de reproducción original, mientras que, en los vídeos en movimiento, se ha acelerado su reproducción por dos, ya que, de la otra forma, se hacían muy largos.

Para implementar CMAF se ha utilizado dos herramientas de software de vídeo: FFmpeg [33] y Bento4 [34]. FFmpeg es una herramienta de software libre que permite grabar, editar y convertir elementos de audio y vídeo. No tiene interfaz, sino que funciona mediante unos comandos en la consola del dispositivo. Después de descargar e instalar la herramienta, esta se ha utilizado para convertir el vídeo de calidad original a calidad 1080p y 720p. El comando utilizado es el de la *figura 21* para cada vídeo grabado.

```
ffmpeg -i input.mp4 -an -movflags +faststart -vsync 1 -c:v
libx264 -r 25 -preset slower -vf scale=M:N -b:v Xk -bufsize
Yk -maxrate Zk -bf 3 -refs 3 -force_key_frames
"expr:eq(mod(n,50),0)" -x264opts rc-
lookahead=50:keyint=100:min-keyint=50 output.mp4
```

```
Figura 21. Comando FFmpeg para cambiar la calidad del vídeo.
```

En la *tabla 31* se muestra una descripción de cada uno de los atributos utilizados en el anterior comando.

-an	Elimina el audio del vídeo.					
-vsync 1	Duplica los fotogramas para conseguir la velocidad					
	solicitada.					
-c:v libx264	Usa la codificación lbx264.					
-r 25	FPS del vídeo.					
-preset slower	Colección de opciones que proporcionan una determinada					
	velocidad de codificación. Un preajuste más lento					
	proporcionará una mejor compresión.					
-vf scale	Resolución del vídeo, donde M es la anchura y N la altura.					
-b:v Xk	Especifica la velocidad del <i>bitrate</i> objetivo que ha de utilizar					
	el codificador					
bufsize Vk						
-Dujsize Ik	Especifica el tamano del buffer del descodificador, que					
-Dujsize Ik	Especifica el tamano del buffer del descodificador, que determina la variabilidad de la tasa de <i>bits</i> de salida.					
-bujsize Tk -maxrate Zk	Especifica el tamano del buffer del descodificador, que determina la variabilidad de la tasa de <i>bits</i> de salida. Especifica una tolerancia máxima.					

Descripción comandos FFmpeg

Tabla 32. Descripción de los atributos del comando FFmpeg.

La sincronización de los fragmentos de vídeo se ha implementado mediante los *key frames*. Se crea uno cada 50 frames, es decir, cada 2 segundos. Para determinar la escala, la velocidad del *bitrate*, el tamaño del buffer y la tolerancia máxima se ha utilizado los datos de la *tabla 32*.

	-vf scale	-b:v	-bufsize	-maxrate
Full HD 1080p	1920:1080	4500k	9000k	4950k
HD 720p	1280:720	2500k	5000k	2750k

Tabla 33. Atributos del comando para cada resolución.

Los vídeos se van a fragmentar mediante la herramienta Bento4. Bento4 es una librería de código abierto diseñada para leer y escribir los protocolos MPEG-DASH, HLS y CMAF. Ejecutando el comando de la *figura 22* para todos los vídeos, estos se han transformado de *mp4* a *mp4* fragmentado. El formato *mp4* fragmentado permite que el servidor vaya ofreciendo el vídeo por segmentos con solo una petición HTTP/S.

```
mp4fragment --fragment-duration 2000 input.mp4 output-frag.mp4
Figura 22. Comandos para fragmentar los vídeos.
```

Finalmente, hay que generar los manifiestos de MPEG-DASH y HLS que apunten al mismo archivo de vídeo. Para eso, se ha utilizado la instrucción de la *figura 23* para cada conjunto de vídeos.

```
mp4dash --hls --no-split --use-segment-list
video1-HD-frag.mp4 video1-FullHD-frag.mp4
```

Figura 23. Comandos para crear los manifiestos.

Los archivos generados por la instrucción de la *figura 23* se muestran la *figura 24*.

0	anselm_720_frag.mp4
٢	anselm_1080_frag.mp4
NUMBER OF STREET	master.m3u8
	stream.mpd
NUM STATE STATE STATE	video-avc1-1_iframes.m3u8
Actual Sciences Sciences Sciences	video-avc1-1.m3u8
AURA SOAME SOAME SOAME	video-avc1-2_iframes.m3u8
AUTO SCALE SCALE SCALE	video-avc1-2.m3u8

Figura 24. Archivos resultantes de un manifiesto.

Se puede observar cómo hemos obtenido dos vídeos en distintas calidades y ambos fragmentados. También, en la carpeta se encuentran los dos manifiestos, el de HLS m3u8 y el de MPEG-DASH mpd.

## 3.4.2. Recorrido virtual

El recorrido virtual está formado por varios submódulos y componentes. En la *figura 25* se muestra los elementos que forman parte del sistema y como se relacionan entre ellos.



Figura 25. Componentes del recorrido virtual.

El submódulo principal es la escena. Para implementarla, se ha usado el elemento <a-scene> perteneciente al *framework* de A-Frame [35] y es utilizado para contener todas las entidades 3D. Inicialmente, la escena está formada por tres entidades propias del A-Frame y estas son: la iluminación, la esfera y la cámara. La

iluminación se ha establecido de tipo ambiental y de color blanco. Con el objetivo de transmitir una sensación de inmersión a los usuarios, la figura geométrica más adecuada para reproducir los vídeos con formato 360° es la esfera. En la *figura 26* se muestra la esfera vista desde el exterior. Para declarar una esfera en A-Frame se utiliza el componente <a-sphere>[36].



Figura 26. Esfera utilizada para reproducir el vídeo.

La visión del usuario se ha establecido mediante la creación de un componente en A-Frame llamado *camera* [37]. Este componente fija la posición inicial del usuario y el punto de observación. La cámara se ha inicializado en el interior de la esfera ya que, como se ha explicado anteriormente, da un efecto inmersivo al usuario. Además, ha sido necesario crear un cursor para que el usuario pueda escoger entre las distintas opciones que hay en el recorrido. Este cursor se ha declarado como hijo de la cámara, por lo que siempre aparecerá delante del usuario. Para activar los escuchadores de eventos por clic en entidades 3D, se ha declarado en el cursor un atributo llamado *raycaster* [38] que comprueba si el usuario está apuntado a la entidad.

Al comenzar el recorrido virtual, se modifica el atributo *material* de la esfera con una imagen 360° del campus y aparece el menú principal con las instrucciones del funcionamiento del sistema y las banderas correspondientes a los idiomas castellano, catalán e inglés. El usuario puede escoger mediante el cursor uno de los tres idiomas para que la información del recorrido virtual se muestre en dicho idioma. Finalmente, en el menú hay una zona señalizada para que el usuario inicie el recorrido presionando encima.

Cuando el usuario presiona en iniciar, primero se llama a una función indicándole el identificador del vídeo que se va a visualizar. Como estamos en el menú, el primer vídeo que se va a cargar es el que tiene como identificador un 0. A continuación, esta función realiza una solicitud al servidor mediante un GET consultando los marcadores asociados y la información del vídeo. El servidor recibe la solicitud, hace una consulta SQL a la base de datos y retorna el resultado. Una vez que se han obtenido todos los marcadores, se realizan dos métodos.

El primero consiste en comprobar si el dispositivo que está reproduciendo el tour es compatible con HLS o con MPEG-DASH, para eso, se ha utilizado las librerías de *hls.js* y *dash.js*. Un caso excepcional es el de los dispositivos IPhone, ya que, como no son compatibles con las librerías mencionadas anteriormente, se ha optado por utilizar el manifiesto directamente. En caso de que sean compatibles, se crea un objeto HLS o MPEG-DASH y se carga la fuente en el elemento <video> previamente declarado. Para mejorar el renderizado, se ha declarado el vídeo dentro del componente <a-assets>[39]. Finalmente, el atributo *material* de la esfera se ha declarado como la fuente del vídeo, luego se reproduce y, según la información del vídeo, se declara el atributo *loop* como verdadero o falso.

El marcador, mostrado en la *figura 27*, es el elemento que aparece en la escena que permite al usuario ir avanzando en el recorrido. El segundo método es el encargado de crear en la escena todos los marcadores asociados al vídeo que se está reproduciendo. Para lograr ese objetivo, utiliza la información consultada anteriormente y realiza un bucle en el cual crea cada marcador y le asocia su información correspondiente. Los marcadores son componentes <a-box> de A-Frame [40]. Todos los marcadores tienen declarada la misma imagen y el mismo tamaño. Cada marcador tiene asociado un componente <a-box> utilizada como icono de información. Cuando el usuario presiona en el botón se crea un panel encima del marcador con información del punto de interés en el idioma seleccionada en el menú. También, se crea un botón para que el usuario pueda cerrar el panel de información.



Figura 27. Ejemplo de un marcador del recorrido.

Como se ha comentado anteriormente, algunos vídeos son en movimiento lo que provoca que los marcadores tengan que modificar su posición y su orientación durante el vídeo. En caso de no modificar la orientación, el marcador ya no se vería de frente sino de costado y resultaría complicado para el usuario identificarlo. Para solucionarlo, se ha utilizado una librería llamada *look-at* que permite asignar a un objeto el atributo *look-at* indicándole un elemento [41]. Este atributo modifica la orientación del objeto continuamente para que siempre este orientado hacia el elemento indicado. Por consiguiente, los marcadores tienen el atributo *look-at* con

el objeto *camera* y así siempre están orientados hacia la cámara, es decir, hacia el usuario.

A-Frame permite registrar componentes y asignarlo a las entidades 3D [42]. Algunos marcadores están en movimiento y eso complica la tarea de seleccionarlo al usuario. Por eso, se ha registrado un componente que detiene el movimiento del objeto y de la reproducción del vídeo cuando el cursor este situado encima. Este componente se ha llamada *hover-video* y es declarado como atributo para cada marcador.

En la base de datos la posición de cada marcador está indicada mediante dos parámetros: latitud y longitud. Se han escogido estas dos medidas porque, como se muestra en la *figura 28*, es el sistema de referencia utilizado en la Tierra.



Figura 28. Representación de las coordenadas esféricas de la Tierra [43].

Entonces, en la *figura 29* se puede observar como cualquier localización en el vídeo se puede especificar con grados (90° de latitud y 180° de longitud). Por ejemplo, la posición central es (0,0) mientras que la superior sería (90,0).



Figura 29. Representación de las coordenadas en un vídeo,

La única problemática que conlleva utilizar este sistema de referencia es que la posición en el A-Frame no se puede declarar como coordenadas esféricas, sino que es necesario utilizar coordenadas cartesianas. El tiempo también es un factor clave ya que la posición se ve modificada a medida que se reproduce el vídeo. La información obtenida de la base de datos contempla la latitud inicial y final y la

longitud inicial y final. Teniendo en cuenta todos estos factores, se ha realizado una función que mediante una latitud inicial, latitud final, longitud inicial, longitud final, tiempo inicial, tiempo final y tiempo actual devuelve la posición en coordenadas XYZ en el tiempo actual. El tiempo inicial y el tiempo final son flexibles, dependerá del administrador situar cuando quiere que aparezca el marcador y cuando no. El tiempo actual son los segundos que lleve reproducido el vídeo.

La posición se calcula mediante interpolación lineal en coordenadas esféricas usando la fórmula de aviación de Ed William [44] y la adaptación realizada por el LTIM en un proyecto 360°. Como resultado, teniendo en cuenta un tiempo particular  $t, t_0 \le t \le t_1$ , y conociendo dos posiciones clave en  $t_0$  y  $t_1$ ,  $(t_0, \delta_0, \lambda_0)$  y  $(t_1, \delta_1, \lambda_1)$ , la posición  $p_t$  en coordenadas cartesianas para ese marcador en ese tiempo a una distancia de R (radio de la esfera) se obtiene mediante las fórmulas (3.1).

$$f = \frac{t - t_0}{t_1 - t_0}$$

$$d = \cos^{-1} [\cos \delta_0 \cos \delta_1 \cos (\lambda_0 - \lambda_1) + \sin \delta_0 \sin \delta_1]$$

$$A = \frac{\sin(1 - f) d}{\sin d}$$

$$B = \frac{\sin f \cdot d}{\sin d}$$

$$p_t = R \begin{bmatrix} A \cos \delta_0 \cos \lambda_0 + B \cos \delta_1 \cos \lambda_1 \\ A \sin \delta_0 + B \sin \delta_1 \\ A \cos \delta_0 \sin \lambda_0 + B \cos \delta_1 \sin \lambda_1 \end{bmatrix}$$
(3.1)

Debido a que la posición de los marcadores se ha de actualizar constantemente se ha registrado un componente llamado *comprovarEscena* que utiliza la función *tick* del A-Frame [45]. Esta función es llamada cada vez que se renderiza un frame o cada cierto tiempo, en este caso cada 100 milisegundos. Este componente se ha asociado a la escena, por lo que, cada poco tiempo, la escena llama a la función tick y esta función llama al método que comprueba los marcadores y el vídeo.

Comprobar los marcadores conlleva verificar si cada uno tiene que aparecer o si no tiene que aparecer en la escena. En ambos casos, se obtienen todos los marcadores de la escena. Para cada uno, si estamos en el caso de que aparezca en la escena se llama a la función del cálculo trigonométrico y se modifica la posición con la nueva obtenida. En caso de estar en la segunda situación, por temas de rendimiento, no eliminamos el objeto ya que luego tener que volverlo a crear produce una mayor carga de trabajo para el dispositivo, sino que lo situamos en el exterior de la esfera donde el usuario no lo puede visualizar.

Esta misma función es la encargada de cargar un nuevo vídeo en el caso de que estemos en un vídeo en movimiento y se haya llegado al final. Para eso, comprueba

si la duración actual del vídeo es igual a la final y, en caso de ser así, llama a la función de borrar todos los marcadores y luego a la función de cargar un nuevo vídeo. La función encargada de borrar los marcadores recorre todos los marcadores del vídeo y los va eliminando de la escena.

Las estadísticas que luego se van a utilizar en el módulo de análisis son obtenidas en el recorrido virtual. Las métricas que se van a recopilar son: usuarios, tours, vídeos visualizados y orientaciones. Cuando un usuario entra por primera vez a la aplicación se genera un ID que se almacena en el dispositivo que se ha conectado y en la base de datos. Para guardarlo de manera local en el dispositivo se utiliza el objeto *localStorage*. Almacenarlo en la base de datos conlleva hacer una solicitud al servidor mediante un POST de crear un nuevo usuario. El servidor recibe la solicitud, utiliza la librería *uuid4* para generar un identificador único que se utilizará como cookie y realiza una petición de INSERT en SQL para introducir el nuevo usuario con su cookie en la base de datos.

Al iniciar el recorrido en el menú, se genera una solicitud al servidor mediante un POST registrando el usuario que ha realizado la visita y el idioma seleccionado. El servidor recibe la petición, consulta la fecha actual e introduce los nuevos datos en la base de datos mediante SQL y retorna el identificador del tour. Al seleccionar un marcador, se genera una solicitud al servidor con un POST registrando el identificador del tour, si es un recorrido o un bucle y el nombre del vídeo. El servidor recibe la solicitud, realiza una petición a la base de datos para introducir el nuevo vídeo visualizado y retorna al cliente el identificador de la métrica.



Figura 30. Diagrama de secuencia para cargar el segundo vídeo.

La última métrica que se va a monitorizar es la orientación. Esta consiste en recopilar el punto en el que está mirando el usuario. Con ese objetivo, se consulta la orientación de la cámara tanto en el eje X como en el eje Y, ya que representa la longitud y la latitud respectivamente. Esta métrica se recoge cada 250 milisegundos y se envía al servidor mediante una solicitud POST con los datos de la longitud, la latitud, el tiempo actual del vídeo, el identificar del vídeo y el identificador de la métrica anterior. El servidor recoge esta solicitud y realiza una petición a la base de datos para introducir la nueva fila en la tabla de orientaciones. Para ejemplificar las solicitudes al servidor y a la base de datos, se ha diseñado el diagrama de secuencia de la *figura 30* que representa las peticiones necesarias desde el inicio de la aplicación para cargar el segundo vídeo en el recorrido virtual.

#### 3.4.3. Editor

El editor es el encargado de gestionar los vídeos, los puntos de interés y los marcadores que aparecen en el recorrido virtual. Con el objetivo de facilitar la gestión de los marcadores y de los vídeos, se ha implementado un reproductor 3D mediante A-Frame en la zona superior de la página.

Para comenzar, se va a explicar la implementación del reproductor de vídeo 3D. Muy similar al recorrido virtual, se ha hecho uso de una escena, compuesta por una esfera, un elemento vídeo y una cámara ubicada en el interior de la esfera. La diferencia con el recorrido es que en el editor se ha utilizado el atributo *embedded* para colocar la escena dentro de un contenedor HTML (*div*). Gracias a eso, la escena no ocupa toda la pantalla, sino que está contenida dentro de un rectángulo.

## 3.4.3.1. Gestión de vídeos

Al cargar la página, lo primero que aparece junto al reproductor es la tabla de vídeos. Para crear esta tabla, primero se ha hecho una petición al servidor solicitando la información de todos los vídeos. Por cada vídeo, se ha añadido una fila a la tabla con la información obtenida y tres botones para prever, editar y borrar. Todas las casillas de la tabla son editables excepto las que corresponden al identificador y al nombre de la carpeta del manifiesto del vídeo. Así, se evitan problemas de identificadores repetidos o de archivos inexistentes. La columna encargada de mostrar el siguiente vídeo, inicialmente se había realizado de tal manera que el administrador tenía que asignar los identificadores del vídeo. La problemática de realizarlo de esta manera es que era necesario memorizar cada identificador. Para solucionarlo, se ha implemente un elemento <select>, ya que permite seleccionar entre un conjunto de opciones. El selector se ha realizado mediante una librería de JS llamada *Bootstrap-select*. Las opciones son los nombres de todos los vídeos o, en caso de que no haya un vídeo a continuación, ningún vídeo asociado. Esta tabla se muestra en la *figura 31*.



Figura 31. Captura de pantalla del editor de vídeos.

El botón de prever modifica el atributo *material* de la esfera del reproductor para mostrar al usuario que vídeo ha seleccionado. El botón de borrar realiza una petición al servidor para eliminar la información del manifiesto. El servidor recibe la solicitud y envía la petición de borrado a la base de datos. Finalmente, el botón de editar dirige al administrador a la gestión de marcadores de dicho vídeo.

En la zona superior, encima de la tabla, hay un botón para añadir un manifiesto. Este botón añade una fila a la tabla con todas las casillas vacías y permite modificarlas. En la zona inferior, debajo de la tabla, hay un botón de actualizar este servidor. Este botón coge todos los valores de las tablas y los separa entre los que hay que actualizar y los que son nuevos. A continuación, envía una solicitud al servidor para actualizar e introducir los valores correspondientes dentro de la base de datos. El servidor recibe la solicitud y realiza las dos peticiones, la primera de actualizar todos los valores y la segunda de introducir los nuevos.

## 3.4.3.2. Gestión de marcadores

Al presionar el botón de editar, la tabla que contiene todos los vídeos es sustituida por una tabla que contiene todos los marcadores de dicho vídeo. Para hacer eso, el cliente envía una solicitud al sistema consultando por los marcadores del vídeo seleccionado. El servidor recibe la petición, realiza una consulta a la base de datos y retorna al cliente el resultado. Las columnas de la tabla son los atributos del marcador exceptuando su identificador. Los atributos numéricos, como la latitud, aceptan números de puntos flotante.

Además de esto, al acceder a la gestión de los marcadores, el reproductor comienza a reproducir el vídeo seleccionado. Como se muestra en la *figura* 32, debajo del reproductor aparecen 7 botones con la finalidad de ayudar al administrador a posicionar los marcadores en el lugar adecuado. El primer botón tiene la funcionalidad de reiniciar el vídeo. El segundo botón lo reproduce. El tercer botón es para detenerlo. El cuarto botón muestra los segundos actuales que lleva reproducido. El quinto botón muestra la duración total. El sexto y el séptimo botón

son los más importantes, ya que muestran al usuario la latitud y la longitud del punto observado por el cursor. Estos dos valores se han obtenido mediante la orientación de la cámara en el eje X y en el eje Y.



Figura 32. Captura de pantalla del reproductor 3D de vídeo.

Reset Video

Con el objetivo de facilitar la gestión al administrador y evitar errores, se ha implementado un elemento <select> para los atributos del punto de interés y del vídeo. El selector se ha realizado mediante la misma librería de JS mencionada en el apartado anterior. Evita los errores debido a que el administrador no podrá seleccionar un vídeo o un punto de interés que no esté en la base de datos. Para rellenar las opciones de los dos selectores se ha tenido que consultar los vídeos y los puntos de interés que na la base de datos.

De manera similar a la tabla de vídeos, en la zona superior hay un botón para añadir un marcador. Este botón añade una fila al final de la tabla con todas las casillas vacías y permite modificarlas. El identificador del nuevo marcador es generado de manera automática mediante un algoritmo de búsqueda. En la zona inferior de la tabla se visualizan dos botones. El primero tiene la funcionalidad de retornar a la tabla de vídeos. El segundo botón actualiza los cambios en el servidor y, posteriormente, vuelve a la tabla de vídeos. Para actualizar la base de datos, el cliente envía una solicitud al servidor mandando el contenido a actualizar y el nuevo. El servidor recibe la petición y hace las solicitudes necesarias a la base de datos para introducir los datos.

Reset Video Play Vide	Stop Vic	ieo Curre	ent Time:	Duration vid	leo: Ol	btener Latitud:	Obtener Longitud:		
TABLA DE MARCADORES									
Modificar los Puntos de Interés Añadir Marcador									
Punto de Interés	Tiempo Inicial	Tiempo Final	Latitud Inicial	Latitud Final	Longitud Inicial	Longitud Final	ID del siguiente video	Eliminar	
Anselm Turmeda&Cifre de Colonya -	0	28	0	0	-23	-23	rec_centre_anselm 👻	Borrar	
Estación de metro	0	28	1	1	-148	-148	carrer_metro •	Borrar	
Ramon Llull 🗸	0	28	-1	-1	-82	-82	ramon_llull 👻	Borrar	
Mateu Orfila i Rotger	0	28	3	3	99	99	orfila 🗸	Borrar	

Figura 33. Captura de pantalla del editor de marcadores.

Como se puede observar en la *figura* 33, en la zona superior, al lado del botón añadir un marcador hay un botón para modificar los puntos de interés.

# 3.4.3.3. Gestión de puntos de interés

Cuando el administrador presiona el botón de modificar los puntos de interés, la tabla de marcadores es sustituida por la de puntos de interés. Como se puede ver en la *figura 34*, los botones que había debajo del reproductor de vídeo son removidos. Para obtener toda la información de los puntos, el cliente realiza una petición al servidor. El servidor la recibe, consulta en la base de datos y envía la respuesta al cliente.



	TABLA DE PUNTO	OS DE INTERÉS						
Afladir un Punto de In								
Nombre del Punto de Interés	Descripción Castellano	Descripción Catalán	Descripción Inglés	Eliminar				
Anselm Turmeda	Interior del edificio Anselm Turmeda. En este edificio se	Interior de l'edifici Anselm Turmeda. En aquest edifici hij	Inside of the Anselm Turmeda building. The	Borrar				
Anselm Turmeda&Cifre de Colonya	Zona del campus que conecta con los edificios de "	Zona del campus que connecta amb els edificis de	Campus area that connects with the Anselm Turmeda	Borrar				
Anselm Turmeda&Cifre de Colonya&Jovellanos	Zona del campus que	Zona del campus que	Campus area that connects	Borrar				

Figura 34. Captura de pantalla del editor de puntos de interés.

En la tabla de puntos de interés se puede modificar las descripciones en castellano, catalán e inglés de cada punto. Al igual que en la tabla de vídeos y marcadores, cada uno tiene asociado un botón para eliminarlo de la base de datos. Cuando el administrador confirma la intención de borrar el punto, se envía una solicitud al servidor y se realiza la petición a la base de datos.

Finalmente, en la zona inferior hay dos botones. El primer botón tiene la función de volver a la tabla de marcadores anterior sin guardar los cambios. El segundo botón sirve para actualizar los cambios en la base de datos. Al igual que en las anteriores tablas, el contenido es dividido entre el que hay que actualizar y el nuevo. El diagrama de la *figura 35* representa la secuencia para borrar un punto de interés del servidor.



Figura 35. Diagrama de secuencia para borrar un punto de interés.

## 3.4.4. Análisis

La página de análisis está compuesta por cuatro gráficos y dos mapas de calor. Los gráficos se han implementado con la librería de *highcharts*. Los mapas de calor utilizan la librería de *heatmap*. Se ha decidido hacer seis representaciones de los datos porque, así, se obtiene información de la mayoría de los aspectos de una visita virtual y visualmente hay una simetría en la página como se puede observar en la *figura 36*.



Figura 36. Captura de pantalla de la página web de análisis.

Al acceder a la página web, el cliente realiza varias solicitudes al servidor. Primero, consulta los datos de los tours que se utilizará en el gráfico circular y el gráfico de líneas. Una vez se ha obtenido la información, se llaman a las funciones encargadas de implementar los dos gráficos.

La función del gráfico circular realiza un recorrido contabilizando cuantas visitas hay en cada idioma. Posteriormente, calcula el porcentaje multiplicando cada número de visitas en un idioma por 100 y lo divide entre el total. Finalmente, utilizamos la función *chart* de la librería de *highchart* indicándole el identificador del contenedor HTML donde queremos visualizar el gráfico. Dentro de esta función, también hay que indicar el tipo, en este caso un gráfico circular (*pie*) y los datos. Cabe destacar que todos los gráficos tienen una sección de accesibilidad con una descripción. El gráfico se puede observar en la *figura 37*.



Figura 37. Captura de pantalla del gráfico circular.

Los datos utilizados en la función del gráfico de líneas están declarados con un formato que representa los milisegundos transcurridos desde el 1 de enero de 1970 UTC (*UNIX timestamp*). Se ha implementado un algoritmo que para cada día desde el lanzamiento de la aplicación hasta el día actual va comprobando cuantos de los valores obtenidos de la base de datos coincide con cada día y lo guarda en un *array*.

Una vez se han obtenido los datos resultandos, se ha utilizado la función *chart* del tipo *zoom* con estos. El gráfico se puede observar en la *figura 38*.

En segundo lugar, el servidor consulta los datos de los vídeos visualizados para representar el gráfico de columnas y el histograma. Además, con la misma información llama a la función de crear los selectores que hay en los dos mapas de calor.

El gráfico de columnas realiza un recorrido de los datos contando de cada vídeo cuantas veces se ha visualizado. Con los valores resultantes y la función *chart* del tipo columnas se ha implementado la gráfica de la *figura 39*.



desde el lanzamiento de la aplicación. A partir de estos valores se puede observar la actividad que hay en la pàgina.

Figura 38. Captura de pantalla del gráfico de líneas.



cada vídeo desde el lanzamiento de la aplicación web. Se puede observar cuales son los vídeos que han llamado más la atención y cuales no.

Figura 39. Captura de pantalla del gráfico de columnas.

El histograma, mostrado en la *figura 40*, representa el número de vídeos visualizados en una visita virtual. Se ha establecido que el rango de cada columna es de 5 vídeos y el último rango es de 40 a infinito. Para calcular los valores, primero se ha recorrido los datos contabilizando cuantos vídeos había de cada uno de los recorridos. Posteriormente, se ha agrupado los valores en los rangos del histograma. Al igual que en el resto de los gráficos, se ha utilizado la función *chart* y los datos resultantes.

La función encargada de crear los dos selectores utiliza como parámetro la información de los vídeos. El selector del mapa de calor de un solo vídeo es el más sencillo. Este selector utiliza la librería de *Bootstrap-select* con una opción por cada vídeo existente. Similarmente, el selector del mapa de calor de múltiples vídeos

utiliza la misma librería con la diferencia de que se pueden escoger varias opciones. Esto implica que a la hora de obtener los valores seleccionados haya sido necesario crear un método que recorre las opciones del selector comprobando cuales han sido seleccionadas.



Figura 40. Captura de pantalla del histograma.

Al mismo tiempo, se han implementado tres *checkbox* que simbolizan escoger los vídeos estáticos, los vídeos en movimiento o todos los vídeos. Por lo que se ha tenido que programar que si el administrador selecciona una opción del selector se desmarquen todas las *checkboxs*. Al mismo tiempo, si se selecciona alguna casilla, se han de desmarcar el resto y todas las opciones del selector. Para actualizar el selector se ha utilizado una función de la librería llamada *refresh*.

En último lugar, el servidor realiza dos consultas de la tabla de orientaciones para implementar los dos mapas de calor. La librería *heatmap* utiliza tres valores para dibujar el mapa de calor: la posición X, la posición Y y el peso. Las dos posiciones son obtenidas mediante los atributos de latitud y longitud. La dificultad radica en calcular el peso de cada posición (X, Y). El peso consiste en el número de veces que aparece la posición indicada en los datos obtenidos de la base de datos. Para obtener directamente el valor X, Y y el peso en el mapa de calor de todos los vídeos se ha utilizado el comando de SQL de la *figura 41*.

```
SELECT FLOOR((lat * -1 + 90) / 10) as latid, FLOOR((lon +
180) / 10) as lonid, COUNT(*) as total FROM orientacions
GROUP BY 1, 2 ORDER BY 1, 2;
```

Figura 41. Consulta QUERY para obtener los pesos.

Esta información se ha de diseccionar ya que dependerá de los vídeos seleccionados por los usuarios. Cuando el servidor recibe la solicitud y los vídeos seleccionados crea la consulta como se ve en la *figura 42*.
```
var sql = "SELECT FLOOR(longitud + 180) as x, FLOOR(latitud * -1 + 90) as y,
COUNT(*) as value FROM orientaciones WHERE IdVideo =
sql += contId[0]
for(var i = 1; i < contId.length; i++) {</pre>
  sql += " OR IdVideo = "
   sql += contId[i];
sql += " GROUP BY 1, 2 ORDER BY 1, 2;"
     Figura 42. Comandos para solicitar los datos a la base de datos desde el servidor.
```

Con la información recibida se llama a la función de crear el mapa de calor. Esta función primero revisa si ya se ha creado el mapa. En caso de que ya este creado se borra. A continuación, se instancia el mapa en el contenedor HTML previamente

creado y se obtienen las medidas de este. Dentro del contenedor se ha declarado un elemento vídeo, ya que, en el caso de que el analista seleccione un solo vídeo aparecerá la imagen del vídeo y el mapa de calor, como se puede observar en la figura 43.



Mapa de calor de todos los vídeos

Figura 43. Captura de pantalla del mapa de calor de todos los vídeos.

La posición del vídeo se ha establecido en CSS como absolute para que aparezca debajo del mapa de calor. Para que las zonas de calor cuadren con el vídeo y el contenedor se ha modificado su posición con los valores de la anchura y la altura del contenedor. Finalmente, se han añadido todos los valores al mapa de calor con la función *setData* de la librería de *heatmap*.

```
SELECT FLOOR((lat * -1 + 90) / 10) as latid, FLOOR((lon + 180))
/ 10) as lonid, FLOOR(temps) as tempsid, COUNT(*) as total
FROM orientacions WHERE IdVideo = 'X' GROUP BY 1, 2
ORDER BY 1, 2;
```

Figura 44. Consulta QUERY para obtener los pesos juntamente con los tiempos.

El segundo mapa de calor solicita el mismo conjunto de datos, pero agrupados por segundos, por lo que la consulta es muy similar a la que realiza el otro mapa con la

#### 3. Desarrollo del proyecto

diferencia de que también tiene en cuenta el tiempo, como se puede ver en la *figura* 44.

Al igual que en el anterior mapa, se comprueba si ya hay uno existente y se modifican los valores según la anchura y la altura del contenedor para posicionarlo en la zona que le corresponde. También, se ha declarado el vídeo en la posición *absolute* debajo del mapa de calor. Sin embargo, al presionar el botón de generar el mapa, además de realizar la consulta y todo lo mencionada anteriormente, crea un botón en la parte superior del mapa de calor. El mapa se puede ver en la *figura 45*.



Mapa de calor temporal de un vídeo

Este mapa de calor interactivo permite seleccionar un vídeo y reproducirlo para poder observar las zonas donde miran los usuarios durante el vídeo. Así, se puede observar que llama más la atención a los usuarios durante los vídeos en estático o en movimiento.

Figura 45. Captura de pantalla del mapa de calor interactivo.

Al presionar el botón de play, el vídeo comienza a reproducirse y el mapa de calor muestra las zonas más y menos visualizadas actualizándose cada segundo. El funcionamiento del mapa se ha implementado mediante una función llamada *AnimationPlayer* de la librería *heatmap*. Mientras se reproduce, el botón de play cambia en un botón de pause, que detiene tanto la reproducción del vídeo como el mapa de calor.

Para visualizar las distintas solicitudes y respuestas que realizan el cliente, el servidor y la base de datos en la página de análisis para visualizar un mapa de calor se ha dibujado el diagrama de secuencia de la *figura 46*.



Figura 46. Diagrama de secuencia para visualizar un mapa de calor.

## 3.4.5. Pruebas

Como se ha visto en el apartado de casos de uso, hay muchas funcionalidades implementadas en cada uno de los módulos. Por eso, es necesario comprobar que todas las funcionalidades cumplen con los objetivos esperados. Realizar un juego de pruebas completo permite verificar el correcto funcionamiento de la aplicación y ayuda a encontrar puntos de error y posibles mejoras.

Aunque se vaya a realizar un juego de pruebas para cada uno de los módulos, es importante comprobar la interactividad entre los tres debido a que están internamente conectados, es decir, el editor modifica el recorrido y el recorrido modifica la página de análisis. Por lo que se realizarán primero pruebas unitarias y, luego, pruebas de integración.

## 3.4.5.1. Pruebas unitarias

Las pruebas del módulo del recorrido virtual son:

- 1. Maximizar y minimizar el menú inicial.
- 2. Iniciar el recorrido.
- 3. Seleccionar un idioma y consultar la información de un punto de interés.
- 4. Avanzar en el recorrido y visualizar todos los vídeos.

Las pruebas del módulo del editor son:

- 1. Añadir un vídeo.
- 2. Modificar un atributo de un vídeo.
- 3. Eliminar un vídeo.
- 4. Previsualizar un vídeo.
- 5. Añadir un marcador a un vídeo.

#### 3. Desarrollo del proyecto

- 6. Eliminar un marcador de un vídeo
- 7. Modificar la posición de un marcador de un vídeo.
- 8. Añadir un punto de interés.
- 9. Modificar la descripción de un punto de interés.
- 10. Eliminar un punto de interés.

Las pruebas del módulo de análisis son:

- 1. Mostrar un gráfico circular con datos fijos.
- 2. Mostrar un gráfico de líneas con datos fijos.
- 3. Mostrar un gráfico de columnas con datos fijos.
- 4. Mostrar un histograma con datos fijos.
- 5. Mostrar un mapa de calor con un selector de vídeos.
- 6. Mostrar un mapa de calor con un reproductor de vídeo.

Todas las pruebas unitarias han resultado satisfactorias.

#### 3.4.5.2. Pruebas de integración

Las pruebas de integración han consistido en:

- 1. Modificar el atributo del siguiente vídeo de un vídeo en específico en el editor y comprobarlo en el recorrido.
- 2. Modificar la posición de un marcador en el editor y comprobarlo en el recorrido virtual.
- 3. Modificar la descripción de un punto de interés y comprobarlo consultando la información en el recorrido.
- 4. Iniciar un tour y comprobar que el gráfico de idiomas se ha actualizado correctamente.
- 5. Iniciar un tour y comprobar que el gráfico de visitas virtuales se ha actualizado correctamente.
- 6. Avanzar en el recorrido y comprobar que el gráfico de columnas se ha actualizado correctamente.
- 7. Avanzar en el recorrido y comprobar que el histograma se ha actualizado correctamente.
- 8. Realizar un recorrido y comprobar que el mapa de calor de todos los vídeos muestra los valores correctos
- 9. Realizar un recorrido y comprobar que el mapa de calor interactivo muestra los valores correctos.

Todas las pruebas de integración han resultado satisfactorias.

Las pruebas se han ido realizando durante la implementación, una vez se había terminado un módulo se hacían el juego de pruebas correspondientes. Al finalizar todos los módulos, se han hecho todas las pruebas unitarias y, posteriormente, las pruebas de integración.

Las pruebas han sido muy útiles para detectar errores en el código y mejorar el funcionamiento de cara a los usuarios. En definitiva, al realizar todas las pruebas planificadas se ha comprobado el correcto funcionamiento de cada uno de los módulos por separado y junto.

## Capítulo 4. Resultados

A partir de la realización de este proyecto, se han obtenido tres productos finales que se esperan que sean útiles para la universidad. El primer producto y la base del proyecto es el recorrido virtual localizado en la siguiente dirección web <u>https://alumnes-ltim.uib.es/uib360/</u>. El segundo producto es el editor del recorrido situado en la siguiente dirección web <u>https://alumnes-ltim.uib.es/uib360/</u> editor.html . El tercer producto es la página que ofrece estadísticas relacionadas con la visita virtual localizado en la siguiente dirección web <u>https://alumnes-ltim.uib.es/uib360/</u> editor.html .

## 4.1. Recorrido virtual

La página web de la visita virtual logra mostrar el campus y las instalaciones de la universidad de manera clara al usuario. Al estar disponible en varias plataformas y en varios dispositivos, este producto llega a ser accesible para un gran conjunto de usuarios proporcionando diferentes experiencias para cada uno de ellos.

La diversidad en idiomas facilita la comprensión por parte de los usuarios del funcionamiento de la aplicación y expone de mejor manera la información relacionada con cada zona del campus de la universidad lo que conlleva un mejor entendimiento de todos los puntos de interés de la universidad.

La utilización del estándar CMAF en el reproductor de vídeo ha mejorado la transmisión de contenidos, así, los usuarios podrán disfrutar del servicio proporcionado por el producto final sin la necesidad de tener un gran ancho de banda.

La interactividad en cada dispositivo para seleccionar los marcadores funciona como se había planificado y las instrucciones del menú indican de manera breve los pasos a seguir para avanzar en el recorrido.

En definitiva, el recorrido virtual logra proporcionar una experiencia inmersiva al usuario recorriendo las distintas instalaciones que hay en la Universitat de les Illes Balears.

## 4.2. Editor del recorrido

La página web del editor consigue administrar el recorrido virtual que se muestra a los usuarios. Se ha implementado todo el conjunto de acciones necesarias para poder modificar el recorrido a medida. Como estaba planificado, se ha realizado

#### 4. Resultados

una gestión para cada uno de los elementos del recorrido. Todos los vídeos, marcadores y puntos de interés son editables, pudiendo modificar los atributos de cada uno, añadir uno nuevo o eliminar uno ya existente.

El control de errores asegura que los datos introducidos en el editor utilizan los tipos correctos. Además, comprueba que todos los campos han sido rellenados y necesita una confirmación a la hora de eliminar elementos.

El reproductor 3D es una gran incorporación ya que facilita bastante la tarea de situar los marcadores dentro de un vídeo y permite visualizar los vídeos que hay en la base de datos desde el reproductor. Los botones que aparecen debajo del reproductor cumplen su funcionalidad, a pesar de que estéticamente sean muy mejorables.

Como conclusión, el editor funciona correctamente permitiendo gestionar todos los elementos, controlando los posibles errores cometidos por el administrador y facilitando su tarea mediante el reproductor.

### 4.3. Estadísticas del recorrido

La página web de estadísticas consigue mostrar varios gráficos interesantes del comportamiento de los usuarios dentro del recorrido virtual. El alcance de la página establecido en la introducción se ha cumplido gratamente realizando los 4 gráficos planteados y los 2 mapas de calor.

Cada gráfico tiene una pequeña descripción, con el objetivo de ayudar al analista a entender que representa cada uno. Conjuntamente, los gráficos tienen funcionalidades para ver mejor los valores, como, por ejemplo, el *zoom* en el gráfico de líneas.

Los dos mapas de calor exponen mediante colores las zonas más y menos visualizadas por los usuarios en cada vídeo. El primer mapa permite seleccionar uno o varios vídeos y las 3 *checkboxs* implementadas son útiles para agilizar la selección de los vídeos según su tipo (estáticos o en movimiento). El segundo mapa permite reproducir el vídeo seleccionado y su correspondiente mapa de calor, lo que añade un factor de interactividad muy llamativo.

Como conclusión, la página de estadísticas cumple con los requisitos definidos en la parte de análisis. Funciona bien como un complemento al recorrido ya que permite conocer los datos relacionados con este, para así, plantear posibles mejoras en el recorrido.

# Capítulo 5. Conclusión y trabajo futuro

Por último, concluye el documento con un resumen acerca del desarrollo de la aplicación y las conclusiones obtenidas a lo largo del mismo, añadiendo una propuesta de líneas futuras de mejora.

## 5.1. Conclusión

La pandemia ha acelerado la transformación digital de la mayoría de las instituciones. El teletrabajo o las citas previas han sido algunas de las actividades que han tomado un gran protagonismo en 2022. La misma tendencia se ha dado con las visitas virtuales dado que muchos lugares turísticos han tenido que cerrar sus puertas o las regulaciones entre países han inhabilitado el desplazamiento entre ellas.

La Universitat de les Illes Balears se podría ver muy interesada en ofrecer visitas virtuales a sus clientes potenciales por diversos motivos. Principalmente, un tour virtual puede convencer a los estudiantes a seleccionar la universidad como su centro de estudio y la universidad tendría una imagen moderna, ya que son muy pocos los centros de estudios que ofrecen visitas virtuales con la tecnología 360° en formato vídeo.

Los objetivos, inicialmente propuestos en la introducción, se han cumplido de manera satisfactoria. El reproductor de vídeo 360° se ha desarrollado correctamente, ya que muestra vídeos 360° en torno al usuario y permite seleccionar marcadores que direccionan a otros vídeos, lo que significa, en otras palabras, que se ha implementado elementos de interactividad. Además, cada marcador tiene información del punto de interés al que hace referencia y el usuario puede consultarlo en cualquier momento.

El editor gestiona de manera adecuada el recorrido controlando los vídeos, los marcadores y los puntos de interés. Para cada elemento se han desarrollado las acciones básicas de gestión que son añadir, modificar o eliminar. Como conclusión, el editor cumple con el objetivo de gestionar la visita virtual.

La página de análisis muestra bastante información del comportamiento de los usuarios en el recorrido. Al realizar gráficos y mapas de calor se pueden visualizar datos muy diferentes del funcionamiento del recorrido virtual.

El alcance del proyecto se ha seguido íntegramente, grabando todos los vídeos previamente preparados en el mapa del campus e implementando el recorrido virtual para cada uno de los dispositivos electrónicos. A pesar de esto, se ha

#### 5. Conclusión y trabajo futuro

encontrado que en dispositivos iPhone en algunas ocasiones a la hora de ejecutar el recorrido no se carga el elemento vídeo.

La planificación temporal no se ha cumplido como estaba estipulada en la gestión. Al estar trabajando con nuevas tecnologías, el proceso de aprendizaje y adaptación ha sido más lento al esperado. La documentación también ha sido realizada con mayor lentitud a la calculada. No se ha previsto bien que una documentación formal y completa como la de un Trabajo Final de Grado conlleva un trabajo exhaustivo y minucioso de cada uno de los párrafos escritos en este.

La seleccionada para el desarrollo del proyecto ha sido la iterativa incremental y ha sido muy provechosa. Al obtener pequeñas versiones funcionales de cada módulo, he podido mostrárselas al tutor y entre los dos estudiar qué aspectos era necesario cambiar porque eran confusos o no funcionaban correctamente con la sintonía del proyecto. Un ejemplo de cómo ha sido útil esta metodología, es que en un principio se había desarrollado el editor sin selectores por lo que el administrador tenía que memorizar todos los identificadores. Mostrándoselo al tutor me di cuenta del error y lo modifiqué inmediatamente.

Personalmente, me ha gustado mucho la temática seleccionada para el proyecto de final de grado. Trabajar con vídeos 360°, páginas web, servidor y bases de datos me va a ser muy útil para el salto a la vida laboral. Además, me he dado cuenta de la importancia de asignaturas como Base de datos I, Ingeniería del Software, Gestión de Proyectos y Lenguajes de Programación. También, he ampliado mis conocimientos en asignaturas como Tecnología Multimedia y Gestión y Distribución de la Información Empresarial.

## 5.2. Líneas futuras

Aunque la aplicación, una vez finalizado su desarrollo, cumple con los requisitos establecidos al inicio del proyecto, es cierto que se pueden proporcionar mejoras en los tres módulos para que estén más completo en algunos aspectos.

El recorrido virtual puede mejorar su experiencia ofreciendo más puntos de interés del campus como el edificio de Turismo o las pistas de pádel. Una funcionalidad extra que podría ser muy útil sería implementar en el menú inicial un selector para escoger el punto de inicio del recorrido. También, hay la posibilidad de añadir más idiomas al recorrido como el francés o el italiano. Finalmente, se podría tener más vídeos del interior de los edificios para visualizar las aulas o el comedor.

El editor es muy completo, por lo que encontrar mejoras resulta más complicado. Principalmente, se podría mejorar el reproductor 3D y la gestión de los marcadores. El reproductor actual solo muestra el vídeo seleccionado, pero no los marcadores ni la información de cada punto. Una posible mejora sería implementar que el reproductor sea similar al recorrido virtual. De la gestión de los marcadores se podría implementar una manera para añadir un marcador desde el reproductor de vídeo para facilitar al administrador poder posicionarlo.

Los gráficos del análisis muestran los datos de manera adecuada, así que personalmente no creo que sea necesario implementar una mejora en estos. Como una posible mejora en la página, se podrían añadir más gráficos, como mostrar el país de origen desde donde realizan el recorrido o los vídeos que ha visualizado un usuario en concreto en una visita virtual.

## Referencias y Bibliografía

- [1] X. Canalís, «Aumenta el interés por las visitas virtuales, dice Google,» *Hosteltur*, 7 04 2020.
- [2] E. Press, «La UIB inicia el curso con 11.359 alumnos matriculados y más de 3.000 de nuevo ingreso, un 6,4% más,» *elEconomista*, 28 09 2020.
- [3] J. L. G. Alcaraz, «Factores considerados al seleccionar una universidad: caso Ciudad Juárez,» *SciELO*, vol. 17, nº 52, 2012.
- [4] «Mapa del campus de la Universitat de les Illes Balears,» UIB, [En línea]. Available: https://www.uib.cat/lauib/Visitants/localitzacio/Campus/Edificis/. [Último acceso: 23 06 2022].
- [5] «Visita Virtual a Basílica de la Sagrada Familia,» [En línea]. Available: https://sagradafamilia.org/es/visita-virtual. [Último acceso: 23 06 2022].
- [6] P. Moya, «YouTube ya soporta vídeos de 360 grados,» *El Español*, 13 03 2015.
- [7] F1, «F1 Spa-Francorchamps In 360 | 2017 Belgian Grand Prix,» 30 08
   2017. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=3xQZP1AInPA.
- [8] Google, «CardBoard RV,» [En línea]. Available: https://arvr.google.com/cardboard/. [Último acceso: 23 06 2022].
- [9] N. SAWHNEY, D. BALCOM y I. SMITH, «HyperCafe: narrative and aesthetic properties of hypervideo.,» de *Proceedings of the the seventh ACM conference on Hypertext.*, 1996.
- [10] M. Sadallah, O. Aubert y Y. Prie, «Hypervideo and Annotations on the Web,» Workshop on Multimedia on the Web, pp. 10-15, 2011.
- [11] Lithmee, «Pediaa,» 28 08 2018. [En línea]. Available: https://pediaa.com/difference-between-hypertext-andhypermedia/#:~:text=The% 20difference% 20between% 20hypertext% 20and ,and% 20still% 20or% 20moving% 20graphics.. [Último acceso: 2022 06 05].
- [12] Javier, T. BIBILONI y A. OLIVER, «Keys for successful 360° hypervideo design: A user study based on an xAPI analytics dashboard.,» *Multimedia Tools and Applications.*, 2020.
- [13] A. OLIVER, J. DEL MOLINO y A. BIBILONI COLL, «A 360-degree Web-based Multi-device Hypervideo.,» de ACM International Conference on Interactive Media Experiences., 2020.

- [14] A. Oliver, J. del Molino y A. Bibiloni, «Automatic View Tracking in 360° Multimedia Using xAPI,» de *Communications in Computer and Information Science, vol 813.*, Springer, Cham., 2018.
- [15] «Museo del Prado virtual,» [En línea]. Available: https://www.museodelprado.es/visitas-virtuales. [Último acceso: 06 23 2022].
- [16] «Alhambra virtual,» [En línea]. Available: https://www.alhambra.org/mapa-virtual-alhambra.html. [Último acceso: 23 06 2022].
- [17] F. GARCÍA, «La web del Prado alcanza los dos millones de visitas virtuales durante el confinamiento,» *La Vanguardia*, p. 1, 03 04 2020.
- [18] «HTML-W3C,» [En línea]. Available: https://dev.w3.org/html5/spec-LC/. [Último acceso: 30 05 2022].
- [19] «Unity,» [En línea]. Available: https://docs.unity3d.com/Manual/index.html.
- [20] «React 360,» [En línea]. Available: https://reactresources.com/topics/react-360. [Último acceso: 30 05 2022].
- [21] «Three.js,» [En línea]. Available: https://threejs.org. [Último acceso: 30 05 2022].
- [22] «D3.js,» [En línea]. Available: https://d3js.org. [Último acceso: 30 05 2022].
- [23] «A-Frame,» [En línea]. Available: https://aframe.io. [Último acceso: 30 05 2022].
- [24] «PHP Documentation,» [En línea]. Available: https://www.php.net/docs.php. [Último acceso: 13 06 2022].
- [25] «Node.js Documentation,» [En línea]. Available: https://nodejs.org/es/docs/. [Último acceso: 13 06 2022].
- [26] talentHackers, «¿Qué es Node.js y para qué se usa?,» 19 11 2021. [En línea]. Available: https://blog.talenthackers.net/que-es-node-js-y-para-quese-usa.
- [27] «DB-Engines,» 05 2022. [En línea]. Available: https://dbengines.com/en/ranking. [Último acceso: 27 05 2022].
- [28] «MongoDB,» [En línea]. Available: https://www.mongodb.com/docs/. [Último acceso: 13 06 2022].
- [29] S. Akhshabia y S. Narayanaswamya, «An experimental evaluation of rateadaptive video players over HTTP,» *Signal Processing: Image Communication*, vol. 27, nº 4, pp. 271-287, 2012.
- [30] A. Osman, R. Abozariba, A. T. Asyhari, A. Aneiba, A. Hussain, B. Barua y M. Azeem, «Real-Time Object Detection with Automatic Switching between Single-Board Computers and the Cloud,» *IEEE Symposium Series* on Computational Intelligence (SSCI), pp. 1-16, 2021.

- [31] I. 23009-1, «Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH),» de *Part 1: media presentation description and segment formats*, 2012.
- [32] I. 23000-19, «Common media application format (CMAF) for segmented media,» 2018.
- [33] «FFmpeg,» [En línea]. Available: https://ffmpeg.org/ffmpeg.html. [Último acceso: 14 06 2022].
- [34] «Bento4 Documentation,» [En línea]. Available: https://www.bento4.com/documentation/. [Último acceso: 14 06 2022].
- [35] A-Frame, «Scene Aframe,» [En línea]. Available: https://aframe.io/docs/1.3.0/core/scene.html. [Último acceso: 14 06 2022].
- [36] A-Frame, «A-sphere A-Frame,» [En línea]. Available: https://aframe.io/docs/1.3.0/primitives/a-sphere.html. [Último acceso: 14 06 2022].
- [37] A-Frame, «camera A-Frame,» [En línea]. Available: https://aframe.io/docs/1.3.0/components/camera.html#sidebar. [Último acceso: 14 06 2022].
- [38] A-Frame, «raycaster A-Frame,» [En línea]. Available: https://aframe.io/docs/1.3.0/components/raycaster.html#sidebar. [Último acceso: 14 06 2022].
- [39] A-Frame, «Asset Management System,» [En línea]. Available: https://aframe.io/docs/1.3.0/core/asset-management-system.html#sidebar. [Último acceso: 14 06 2022].
- [40] A-Frame, «A-box A-Frame,» [En línea]. Available: https://aframe.io/docs/1.3.0/primitives/a-box.html#sidebar. [Último acceso: 14 06 2022].
- [41] npm, «aframe-look-at-component,» [En línea]. Available: https://www.npmjs.com/package/aframe-look-at-component. [Último acceso: 14 06 2022].
- [42] A-Frame, «Writing a Component,» [En línea]. Available: https://aframe.io/docs/1.3.0/introduction/writing-acomponent.html#registering-the-component-with-aframeregistercomponent. [Último acceso: 14 06 2022].
- [43] «Portal educativo,» [En línea]. Available: https://www.portaleducativo.net/quinto-basico/686/Latitud-y-longitud. [Último acceso: 23 06 2022].
- [44] E. Williams, «Aviation Formulary V1.46.,» [En línea]. Available: https://www.edwilliams.org/avform.htm. [Último acceso: 14 06 2022].
- [45] A-Frame, «Best practices,» [En línea]. Available: https://aframe.io/docs/1.3.0/introduction/best-practices.html#tick-handlers. [Último acceso: 14 06 2022].