



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Facultat d'Informàtica de Barcelona



FACULTAD DE INFORMÁTICA DE BARCELONA  
GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA  
ESPECIALIDAD DE COMPUTACIÓN

# Estudio y evaluación de técnicas de navegación para Realidad Virtual colaborativa

TRABAJO DE FIN DE GRADO  
ENTREGA 4: DOCUMENTO FINAL

*José Luis Pontón Martínez*

Directora: Nuria Pelechano Gómez  
Codirector: Carlos Andújar Gran  
Tutor GEP: Joan Subirats Soler

16 de marzo de 2020

# Índice

<b>1. Introducción y contextualización</b>	<b>4</b>
1.1. Contexto . . . . .	5
1.2. Conceptos . . . . .	5
1.2.1. Realidad Virtual . . . . .	5
1.2.2. Espacio físico y virtual . . . . .	5
1.2.3. Colaborativo . . . . .	6
1.3. Identificación del problema . . . . .	6
1.3.1. Navegación . . . . .	7
1.3.2. Colaborativo . . . . .	7
1.4. Agentes implicados . . . . .	8
<b>2. Justificación</b>	<b>8</b>
2.1. Estudio soluciones existentes . . . . .	8
2.2. Herramientas . . . . .	9
2.2.1. Dispositivos realidad virtual . . . . .	10
2.2.2. <i>Software</i> . . . . .	11
2.3. Conclusiones . . . . .	12
<b>3. Alcance</b>	<b>12</b>
3.1. Objetivos . . . . .	12
3.2. Requerimientos . . . . .	13
3.2.1. Requerimientos funcionales . . . . .	13
3.2.2. Requerimientos no funcionales . . . . .	13
3.3. Obstáculos y riesgos . . . . .	14
<b>4. Metodología</b>	<b>14</b>
4.1. Herramientas . . . . .	15
<b>5. Planificación temporal</b>	<b>15</b>
5.1. Descripción de las tareas . . . . .	15
5.2. Recursos . . . . .	19
5.2.1. Recursos humanos . . . . .	19
5.2.2. Recursos materiales . . . . .	19
5.3. Gestión del riesgo . . . . .	21
<b>6. Gestión económica</b>	<b>21</b>
6.1. Presupuesto . . . . .	22
6.1.1. Costes de personal . . . . .	22
6.1.2. Costes genéricos . . . . .	22
6.1.3. Contingencia . . . . .	25
6.1.4. Imprevistos . . . . .	25
6.1.5. Coste total . . . . .	26
6.2. Control de gestión . . . . .	26

<b>7. Sostenibilidad</b>	<b>27</b>
7.1. Autoevaluación . . . . .	27
7.2. Dimensión Económica . . . . .	28
7.3. Dimensión Ambiental . . . . .	28
7.4. Dimensión Social . . . . .	29
<b>8. Bibliografía</b>	<b>30</b>
<b>9. Anexos</b>	<b>32</b>
Anexo 1. Diagrama de Gantt . . . . .	32

## Índice de figuras

1. <i>Grupo de usuarios usando RV colaborativa</i> . . . . .	4
2. <i>Método de navegación basado en teletransporte</i> . . . . .	9
3. <i>Ejemplos de dispositivos de RV</i> . . . . .	10
4. <i>Diagrama de Gantt</i> . . . . .	32

## Índice de tablas

1. <i>Comparativa cascos RV</i> . . . . .	11
2. <i>Tareas</i> . . . . .	20
3. <i>Costes personal</i> . . . . .	22
4. <i>Partidas por tarea</i> . . . . .	23
5. <i>Costes software</i> . . . . .	24
6. <i>Costes hardware</i> . . . . .	24
7. <i>Contingencia</i> . . . . .	25
8. <i>Imprevistos</i> . . . . .	26
9. <i>Presupuesto total</i> . . . . .	26

## 1. Introducción y contextualización

La realidad virtual (RV) se podría definir como la representación de entornos tridimensionales (escenas) producidas por un sistema informático, que dan la sensación de su existencia real. En la actualidad, gracias al aumento de dispositivos *hardware* para RV, existen numerosas aplicaciones que permiten una alta inmersión en escenas virtuales. Los ámbitos de uso son cada vez más numerosos, algunos ejemplos son los videojuegos, el entrenamiento de profesionales en sectores como la medicina, y la visualización de modelos en la arquitectura [1].

Inicialmente, las escenas eran relativamente simples, incluso, no requerían de ningún tipo de método de navegación. No obstante, con el auge de la tecnología, surge la necesidad de representar escenas cada vez más grandes y complejas, así como métodos de navegación para recorrerlas.

En los ámbitos donde la cooperación es esencial, se están empezando a desarrollar aplicaciones donde varios usuarios pueden colaborar o coexistir en una misma escena virtual. La colaboración en RV busca la interacción natural entre los diferentes usuarios, de forma que estos interactúen como lo harían en la realidad. En la Figura 1 se muestra un grupo de usuarios haciendo uso de realidad virtual colaborativa.



*Figura 1: Grupo de usuarios debatiendo un diseño mediante RV colaborativa. [2]*

Por otro lado, tanto las técnicas de navegación como las de colaboración en RV presentan dificultades. Son habituales los mareos y la desorientación espacial en la navegación, así como, en RV colaborativa, uno de los problemas es saber dónde está situado el otro usuario para evitar colisiones.

Este trabajo de fin de grado (TFG) pretende desarrollar diferentes técnicas de navegación y colaboración en RV, así como su estudio y evaluación para evitar los problemas mencionados.

## 1.1. Contexto

Dentro del Grado en Ingeniería Informática, impartido por la Facultad de Informática de Barcelona, existen diferentes menciones. Este trabajo de fin de grado pertenece a la mención de computación, concretamente, al ámbito de los gráficos por ordenador o computación gráfica. El proyecto se realiza dentro del marco de desarrollo del grupo de investigación ViRVIG [3] especializado, entre otros temas, en RV.

El proyecto parte del trabajo realizado para la Sagrada Familia [1] para la visualización de modelos en RV. La Sagrada Familia es una basílica de Barcelona diseñada por el arquitecto Antoni Guadí; iniciada en 1882, en la actualidad todavía se encuentra en construcción. Es uno de los máximos exponentes de la arquitectura modernista catalana y uno de los monumentos más visitados de España.

En el proyecto inicial, los arquitectos de la Sagrada Familia podían visualizar las escenas virtuales de forma individual en RV, hecho que les permitía debatir y presentar los diseños con mayor fidelidad que con herramientas clásicas. En este trabajo se pretende ampliar las soluciones existentes a varios usuarios, de forma que estos puedan interactuar con mayor naturalidad.

## 1.2. Conceptos

A continuación, se definen los conceptos clave de este trabajo, así como los temas relacionados con la realidad virtual que pueden generar mayor confusión.

### 1.2.1. Realidad Virtual

Realidad virtual presenta dos términos aparentemente contradictorios, la realidad es todo aquello que es auténtico y no forma parte de la fantasía o de la imaginación [4]; por lo tanto, se dice que algo es real cuando pertenece a lo que consideramos verdadero. En cambio, virtual se podría definir como lo contrario a lo real.

Sin embargo, cuando se habla de RV, comúnmente se refiere a la simulación de una realidad a través de un entorno informático. En consecuencia, mediante aplicaciones *software* y diferentes dispositivos *hardware*, el objetivo es crear una experiencia inmersiva donde el usuario tenga la sensación de que está interactuando con elementos reales.

Es habitual pensar que RV solo contempla la visualización de las escenas, no obstante, para ofrecer una experiencia inmersiva es necesario tener en cuenta otros factores, ya sean otros sentidos como el oído, o conceptos más generales como la percepción que se adquiere sobre el entorno virtual o sobre otro usuario.

### 1.2.2. Espacio físico y virtual

Un concepto que de entrada puede crear confusión en RV, es la distinción entre el espacio físico y el virtual.

Inicialmente, y dependiendo del dispositivo de RV que se use, se define un área sobre la que los usuarios podrán moverse en el mundo real, formando así el espacio físico; el usuario podrá moverse libremente por dicha superficie.

Por otro lado, el espacio virtual es el mundo que se está representando informáticamente. Normalmente el espacio virtual será superior al físico, pues las escenas a representar serán mucho más grandes que el lugar donde se encuentre el usuario físicamente.

Por último, cabe destacar que un movimiento en el espacio físico suele implicar el mismo movimiento en el espacio virtual, no obstante, es habitual realizar movimientos en el espacio virtual sin que el usuario tenga la necesidad de moverse físicamente.

### **1.2.3. Colaborativo**

Aunque colaborativo es un concepto muy amplio, esta sección se limita a explicar su relación con RV.

Realidad virtual colaborativa se refiere a cuando dos o más usuarios comparten un mismo espacio virtual. Típicamente, para que dos usuarios puedan interactuar es necesario representarles virtualmente, para ello, se usan representaciones virtuales (avatares) que marcan la posición y orientación de estos. La correcta representación de los usuarios puede tener un gran impacto en la inmersión o en la percepción de los demás usuarios [5], o incluso, en la de uno mismo [6].

Podemos clasificar las aplicaciones colaborativas de dos formas a partir del espacio físico:

- Compartido - Se refiere a cuando todos los usuarios comparten el espacio físico, es decir, se encuentran en la misma sala. En este tipo de interacción los usuarios pueden colisionar accidentalmente.
- Separado - Por tal de compartir espacio virtual no es necesario encontrarse en el mismo lugar físicamente, en este caso cada usuario se encuentra en una sala diferente y la interacción es exclusivamente virtual.

## **1.3. Identificación del problema**

En este trabajo se va a desarrollar una aplicación que permita a varios usuarios interactuar y navegar en un espacio virtual. Por ello, se puede dividir el problema en dos bloques, por una parte, la navegación en entornos virtuales, y por otra parte, la posibilidad de permitir a varios usuarios colaborar de forma natural en dichos entornos. A continuación, se concretan los problemas a resolver de cada bloque.

### 1.3.1. Navegación

En [7] se discute el concepto de *cybersickness* que se puede desarrollar durante el uso de RV. Entre otros motivos, el hecho de mover virtualmente a un usuario, sin que este se esté moviendo físicamente, puede producir mareos, hecho que anula por completo la inmersión y el uso práctico de la aplicación. Además, dependiendo del tipo de desplazamiento realizado, es fácil inducir desorientación espacial al usuario, es decir, que pierda el sentido de donde se encuentra y de su orientación.

El método de navegación natural en RV es el propio movimiento del usuario en su espacio físico, es decir, si el usuario se mueve físicamente, su posición virtual se desplaza acorde con el movimiento realizado. Este tipo de movimiento no presenta problemas de mareos o desorientación espacial, no obstante, usado de forma exclusiva, limita la capacidad de desplazamiento en el entorno virtual al tamaño de la habitación física en la que nos encontremos. En el apartado 1.2.2 se explicaba que el entorno virtual suele ser más grande que el físico, por lo tanto, surge la necesidad de elaborar técnicas de navegación virtuales.

Una posibilidad para reducir los problemas de mareos y desorientación es permitiendo solo movimiento físico al usuario, no obstante, como se exponía anteriormente, la capacidad de movimiento sería muy limitada. Por lo tanto, se presentan dos variables opuestas: capacidad de movimiento, y *cybersickness*. Se busca desarrollar una solución flexible con un compromiso entre las dos variables, es decir, obtener la mayor capacidad de movimiento posible sin inducir *cybersickness* o desorientación.

### 1.3.2. Colaborativo

En realidad virtual colaborativa, además de los problemas de navegación, surgen otros relacionados con la percepción. Fundamentalmente, existen tres conceptos relacionados con la percepción de un usuario sobre los demás [8]: conocimiento de la posición de los otros usuarios, hacia donde están mirando, y gestos no verbales.

En una aplicación colaborativa, ya sea con espacio físico separado o compartido, es importante conseguir los puntos anteriores para que los usuarios puedan interactuar con naturalidad. Esto les permitirá expresar intenciones y conseguir una mayor inmersión [9]. Además, si el espacio físico es compartido, es importante evitar que los usuarios puedan colisionar accidentalmente. Tal y como se muestra en [10], conocer hacia donde mira un usuario y su orientación puede ayudar a evitar colisiones.

Por lo tanto, se buscan métodos para evitar colisiones entre usuarios, mejorar la inmersión y la percepción que se tiene sobre los demás usuarios, así como conseguir interacciones naturales.

## 1.4. Agentes implicados

El sistema a desarrollar va dirigido a diferentes ámbitos donde se necesite cooperación entre varios usuarios, algunos ejemplos son: el entrenamiento de profesionales de diferentes sectores como la medicina o la ingeniería, la visualización de modelos arquitectónicos, o incluso, gracias a las técnicas de navegación, también puede ser utilizado por aplicaciones que típicamente utilizan grandes espacios virtuales, como por ejemplo los videojuegos.

Concretamente, los primeros beneficiarios del sistema a desarrollar son los arquitectos de la Sagrada Familia, tal y como se detalla en la sección 1.1. Actualmente, los arquitectos visualizan modelos aún por construir para discutir los diseños o para presentarlos a dirección para su aprobación. El problema es que sólo un usuario puede usar la aplicación mediante unas gafas o casco de RV, mientras, los demás ven lo mismo en una pantalla. En consecuencia, difícilmente pueden interactuar entre ellos, pues no pueden realizar acciones tan simples como apuntar a algún lugar para comentarlo.

A partir de este trabajo, varios usuarios podrán interaccionar a través de la escena virtual, hecho que les permitirá aumentar la productividad de dichas reuniones y mejorar la experiencia inmersiva.

## 2. Justificación

La realidad virtual colaborativa es un área de estudio relativamente nueva, por lo general aún hay mucho por innovar, por este motivo, aunque se busca desarrollar una aplicación que pueda ser usada por la Sagrada Familia, se enfocará como un trabajo de investigación. En consecuencia, dados los problemas planteados en la sección 1.3, se desarrollarán estudios sobre el trabajo realizado para determinar que alternativas son las más adecuadas y producen mejores resultados.

A continuación, se presentan las soluciones existentes para determinar si es necesario el desarrollo de la aplicación que se plantea, además, se revisan los estudios realizados sobre navegación y colaborativo en RV. Seguidamente, se analizan las herramientas necesarias para la realización del proyecto.

### 2.1. Estudio soluciones existentes

Dado que RV es una tecnología relativamente nueva y en constante evolución, es difícil estandarizar los métodos y dispositivos con los que se trabaja, por este motivo, la mayoría de soluciones son aplicaciones *in-house*<sup>1</sup>, que difícilmente se pueden aplicar más allá del contexto de la empresa que las desarrolla.

---

<sup>1</sup>Aplicaciones creadas para el uso interno de una empresa.



A pesar de las dificultades, la empresa *TechViz* [11] desarrolla un producto de realidad virtual colaborativa, que aparentemente, se puede utilizar en un amplio número de contextos. Principalmente, se centra en la visualización en colaborativo de modelos creados con software de diseño *CAD*<sup>2</sup> (usado comúnmente en diseños de ingeniería o arquitectura).

No obstante, la tecnología de *TechViz* no es una alternativa viable para el sistema que se quiere desarrollar. Por un lado, no incorpora capacidades de navegación más allá del propio movimiento físico, por otro lado, no sería posible la integración del sistema con la aplicación actual que usan los arquitectos, basada en *Unity3D* [12]. Por lo tanto, es necesario desarrollar un sistema propio que permita el desarrollo e investigación de nuevas técnicas, así como la fácil integración con las herramientas actuales.

Desde el punto de vista académico, sí existen diferentes estudios que pueden ser de utilidad para el desarrollo de las técnicas de navegación y colaboración. En la sección 1.3 se presentan diferentes estudios que exponen el problema del *cybersickness* en RV, así como métodos para minimizarlo. Otros estudios presentan técnicas de navegación, por ejemplo, en [13] se presenta una técnica basada en el teletransporte<sup>3</sup> tal y como se muestra en la Figura 2, el usuario apunta a la escena para elegir su nueva posición.



Figura 2: Método de navegación basado en teletransporte. [14]

## 2.2. Herramientas

Para el desarrollo de la aplicación es necesario un conjunto de herramientas *software* y *hardware* especializadas en RV. Dado que el mercado de RV todavía está en crecimiento, las herramientas son limitadas y en constante evolución, a continuación, se realizará un estudio de las diferentes alternativas.

---

<sup>2</sup>CAD o diseño asistido por computadora se refiere al uso de programas de ordenador para crear representaciones 2D o 3D de objetos físicos.

<sup>3</sup>Teletransporte es el proceso de mover algo de un lugar a otro instantáneamente.

### 2.2.1. Dispositivos realidad virtual

Primero de todo, es necesario algún sistema de visualización de entornos tridimensionales, para ello se encuentran dos tipos de dispositivos basados en RV:

- Realidad virtual semiinmersiva - típicamente consiste en una serie de pantallas que muestran el mundo virtual y permiten la interacción del usuario con elementos reales, el ejemplo más representativo es el *CAVE* [15], tal y como se puede ver en la Figura 3a, se trata de un lugar de trabajo rodeado de pantallas donde las imágenes se presentan de acuerdo con la posición y la dirección de la mirada del usuario.
- Realidad virtual inmersiva - los sistemas inmersivos, a diferencia de los semiinmersivos, aíslan completamente al usuario del exterior; se visualiza y se manipula el entorno virtual a través de dispositivos como cascos o guantes. La Figura 3b muestra un usuario utilizando un sistema inmersivo basado en un casco y unos controladores.



(a) Sistema semiinmersivo CAVE

(b) Casco de RV inmersivo

Figura 3: Ejemplos de dispositivos de RV. [3] [16]

Los sistemas de RV semiinmersiva presentan diferentes inconvenientes para el tipo de aplicación que se quiere realizar. Por una parte, suelen ser dispositivos que requieren mucho espacio y tiempo de montaje, hecho que dificultaría su instalación y uso más allá del ámbito académico o de grandes empresas. Otro inconveniente, es la incapacidad de que cada usuario pueda tener su posición y punto de vista en la escena, en los sistemas tipo *CAVE* sólo se puede visualizar lo que ve un usuario. Es por estos motivos que, para este trabajo, se considera más adecuado el uso de técnicas de RV inmersiva.

Una vez decidido el uso de RV inmersiva, es necesario analizar los dispositivos que se encuentran en el mercado. Afortunadamente, gracias al auge de la tecnología, existe una gran oferta de cascos de RV con altas prestaciones y precios relativamente asequibles. Principalmente, para aplicaciones de ordenador, existen los cascos mostrados en la Tabla 1. Como se puede ver, todos comparten características muy similares, a excepción del tipo de pantalla, donde las *HTC* se basan en tecnología *LED* y puede sugerir una mayor calidad.

Casco	Pantalla	Resolución	Refresco
Oculus Rift S	LCD	2560x1440px	80Hz
HTC Vive	OLED	2160x1200px	90Hz
HTC Vive Pro	AMOLED	2280x1600px	90Hz

Tabla 1: Comparativa entre los diferentes cascos de RV disponibles en el mercado de ordenador. [17] [18] [19]

Finalmente, dado que el desarrollo de la aplicación se realiza en el Centro de Realidad Virtual<sup>4</sup>, se usarán los cascos ya disponibles en las instalaciones: *HTC Vive* y *HTC Vive Pro*.

### 2.2.2. Software

Una vez seleccionados los dispositivos a utilizar, es necesario un motor gráfico que permita visualizar las escenas tridimensionales, así como la creación de *scripts*<sup>5</sup> que permitan desarrollar la aplicación.

Un motor gráfico es un conjunto de herramientas para desarrollar aplicaciones visuales, es decir, para renderizar<sup>6</sup> escenas 2D o 3D. Además, suelen contener otros sistemas útiles en el desarrollo de aplicaciones relacionadas con la computación gráfica, por ejemplo, pueden contener un motor de físicas. La interacción con el motor se suele realizar a través de una *API*.

Para el desarrollo profesional de aplicaciones de RV se usa principalmente *Unity3D* [12] y *Unreal Engine* [20]. En la actualidad, ambos motores presentan prestaciones similares, la principal diferencia es el lenguaje de programación con el que se programan los *scripts*: *C#* en *Unity3D* y *C++* en *Unreal Engine*. En cuanto a RV ofrecen características muy similares, especialmente porque ambos se basan en la librería *SteamVR* [21] para el uso de los cascos *HTC*.

Finalmente, ya que ambos motores ofrecen características similares en RV, se usará *Unity3D* para el desarrollo del trabajo por motivos de compatibilidad, ya que la aplicación que usan actualmente los arquitectos para visualizar los diseños se ha desarrollado con *Unity3D*.

<sup>4</sup>Sede del grupo de investigación ViRVIG [3]

<sup>5</sup>En motores gráficos, típicamente se introduce el código necesario para desarrollar la aplicación a través de fragmentos de código que interaccionan con el núcleo del motor.

<sup>6</sup>Proceso de generar imágenes a partir de modelos 2D o 3D.

## 2.3. Conclusiones

Al principio de esta sección, se ha visto que hay empresas que ofrecen soluciones al problema de la colaboración en RV, no obstante, dichas soluciones carecen de elementos de navegación, y no presentan la posibilidad de integración con la herramienta usada actualmente, *Unity3D*. Además, es necesario crear una aplicación propia de cara a la investigación de nuevos métodos de navegación y colaboración. Por estos motivos, es conveniente desarrollar una aplicación en vez de usar una existente.

Otra decisión esencial es el uso de RV inmersiva, ya que presenta grandes mejoras respecto a la RV semiinmersiva. Por un lado, es más adecuado para sistemas colaborativos porque cada usuario tiene su punto de vista y puede interactuar con el entorno individualmente, y por otro lado, es más asequible, ocupa menos espacio y reduce la complejidad.

Respecto al *hardware*, a pesar de que todas las opciones presentan características similares, se ha decidido utilizar los cascos *HTC Vive* y *HTC Vive Pro* ya que son los cascos disponibles en el Centro de Realidad Virtual.

Por último, era necesario escoger un motor gráfico para que sirva de base de la aplicación. Puesto que tanto *Unreal Engine* como *Unity3D* presentan características similares, se ha seleccionado *Unity3D* ya que la aplicación usada actualmente por los arquitectos está basada en dicha tecnología.

## 3. Alcance

Como en todo proyecto, es importante definir el alcance de este, pues el tiempo de desarrollo es limitado y es necesario definir los objetivos y requerimientos de la aplicación. A continuación, se definen los objetivos, los requerimientos no funcionales y los obstáculos y riesgos del proyecto.

### 3.1. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es el desarrollo, implementación y evaluación de diferentes técnicas de interacción y navegación en realidad virtual colaborativa. Para poder facilitar la comunicación entre usuarios, pues necesitan poder hablar e interactuar físicamente en el mismo espacio, se desarrollarán técnicas para espacios físicos compartidos. Seguidamente, se divide el objetivo en los siguientes subobjetivos:

1. Desarrollar una aplicación que permita la conexión de varios usuarios a una misma escena virtual, además debe permitir la transmisión de información entre usuarios para tareas de sincronización e interacción.
2. Investigar y desarrollar técnicas de navegación en entornos virtuales, dichos métodos deben intentar minimizar el *cybersickness* sin comprometer la capacidad de movimiento. Un ejemplo de técnica de navegación es el presentado en [13] basado en el teletransporte.

3. Investigar y desarrollar métodos de interacción entre usuarios en espacio físico compartido, se busca mejorar la presencia e inmersión, así como reducir la posibilidad de colisión de los usuarios en la escena. Por ejemplo, se puede trabajar con la representación virtual de los usuarios.
4. Estudio con usuarios sobre las técnicas de navegación implementadas, se busca averiguar qué métodos reducen el *cybersickness* y son lo suficientemente cómodos para los usuarios.
5. Estudio con usuarios de la sensación de presencia e interacción con otros usuarios. Además, se estudiará la evasión de colisiones en el espacio físico.

## 3.2. Requerimientos

### 3.2.1. Requerimientos funcionales

A pesar de que los principales requerimientos funcionales del sistema se definen en el objetivo, a continuación, se definen otros requisitos necesarios para el funcionamiento de la aplicación:

1. Compatibilidad dispositivos RV - Puesto que cada vez existen más dispositivos de RV, se plantea que el sistema tenga compatibilidad con diferentes dispositivos de RV inmersiva que se encuentran en el mercado.
2. Integración aplicación inicial - Tal y como se explica en la sección 1.1, el trabajo parte de una aplicación que se desarrolló para los arquitectos de la Sagrada Familia, el objetivo es que el nuevo desarrollo sea compatible con todo el trabajo previo.

### 3.2.2. Requerimientos no funcionales

A continuación, se definen los requisitos no funcionales del sistema, es decir, aquellos requerimientos que no hablan directamente del funcionamiento del sistema, sin embargo, se han de tener en cuenta desde el principio para el desarrollo de la aplicación:

1. Usabilidad - Los dispositivos de RV, así como el *software* necesario para su funcionamiento, suele ser complicado de preparar y usar, por ello, si la aplicación se ha de usar en ámbitos muy diversos, es importante que sea fácil de usar para incrementar su adopción. Se quiere automatizar los procesos de preparación de *software* y minimizar el *hardware*.
2. Eficiencia - Las aplicaciones gráficas en tiempo real suelen consumir muchos recursos ya que han de computar la escena entre 30 y 60 veces por segundo. Usando cascos de RV la eficiencia de la aplicación aún es más importante, pues la escena se calcula dos veces (una por cada ojo) y se ha de computar unas 90 veces por segundo para no generar mareos. Se tendrán que crear y modificar *shaders*<sup>7</sup> para mejorar el rendimiento.
3. Reusabilidad - Para facilitar la integración del sistema en otras aplicaciones, es interesante que las técnicas implementadas puedan integrarse en diferentes proyectos.

---

<sup>7</sup>Programa informático usado para especificar a la tarjeta gráfica como debe pintar la escena virtual.

### 3.3. Obstáculos y riesgos

Todo proyecto tiene diferentes dificultades que se deben analizar anticipadamente para minimizar su impacto. En la sección 5.3 se especifican los riesgos y obstáculos del proyecto con detalle, seguidamente, a modo de resumen, se enumeran las principales dificultades:

1. Teniendo en cuenta que el desarrollo de aplicaciones para RV inmersiva es una área relativamente nueva, es fácil encontrar problemas en las librerías o incluso en el *hardware*, además el desarrollo puede ser más pausado debido a la falta de información.
2. Dado los altos requerimientos de computación de las aplicaciones de RV, es necesario que el ordenador que ejecute la aplicación tenga *CPU* y *GPU* de última generación, esto puede limitar la adopción de la aplicación o incluso el propio desarrollo.
3. Acceso limitado al uso de los cascos de RV, ya que el desarrollo se lleva a cabo en el Centro de Realidad Virtual junto a otros proyectos, el uso de los cascos *HTC* no será exclusivo de este trabajo.

## 4. Metodología

El desarrollo de este trabajo está ligado con la investigación de las técnicas de navegación y colaboración, por lo tanto, es muy importante encontrar una metodología muy flexible que permita implementar funcionalidades, probarlas, y determinar si se han de descartar, dar por terminadas, o abren una nueva vía de investigación. La metodología ágil de desarrollo de software cumple con los requisitos expuestos, la idea es definir ciclos de desarrollo cortos (alrededor de una semana) donde se diseñe, implemente y pruebe una funcionalidad.

Concretamente, siguiendo con la metodología ágil, se realizarán reuniones semanales con los directores del proyecto, en las que se comprobarán los objetivos semanales, y en función del estado, se realizarán modificaciones en la planificación o se establecerán las nuevas tareas a realizar.

El desarrollo del proyecto se llevará a cabo en el Centro de Realidad Virtual, donde se tendrá acceso a los cascos *HTC*. También se dispondrá de una sala preparada para el uso de cascos de RV donde se realizarán los estudios y las pruebas necesarias.

De cara a la validación de las técnicas implementadas, cada vez que se termine una funcionalidad, se realizarán pequeñas pruebas piloto con el personal del Centro de Realidad Virtual, con estas pruebas se busca identificar más rápidamente los problemas para no interferir con el estudio final con usuarios externos.

## 4.1. Herramientas

Para facilitar el seguimiento de los objetivos se usará *Trello* [22], se trata de una herramienta *online* que permite establecer tareas en forma de tarjetas, listas y tableros virtuales. El objetivo es usar un tablero para el proyecto donde una lista representa el grupo de tareas a realizar en una semana, y cada tarjeta es una tarea a realizar.

El control de versiones es una herramienta importante en cualquier proyecto informático, permite hacer un seguimiento de los cambios del proyecto y sirve como copia de seguridad. Para ello se usará *GitLab* [23] ya que el grupo de investigación ViRVIG cuenta con su propio servidor de *GitLab* y se abrirá un repositorio para el proyecto. Se subirán los cambios al repositorio al acabar cada tarea, de esta forma será fácil realizar un seguimiento de los cambios.

Por último, se utilizará la herramienta *Ganttter* [24] para la planificación de las tareas. A través del diagrama de Gantt, se realizará un control del tiempo dedicado a cada tarea para asegurar la finalización del proyecto en el plazo establecido. En las reuniones semanales, se validará el tiempo empleado en cada tarea y se actualizará el diagrama en consecuencia.

## 5. Planificación temporal

Con el objetivo de finalizar este trabajo de fin de grado en la fecha estimada, y cumplir con los objetivos planteados previamente, en esta sección se realiza una planificación temporal del proyecto dividido en tareas.

El trabajo empieza el día 3 de febrero de 2020 y su finalización está prevista para el día 29 de junio de 2020. En total, el desarrollo del proyecto se llevará a cabo a lo largo de 137 días aproximadamente y con una duración estimada de 545 horas.

La dedicación diaria será de 4 horas aproximadamente, de lunes a viernes se realizarán tareas de desarrollo en el Centro de Realidad Virtual<sup>8</sup> donde se dispondrá del equipo de realidad virtual (RV) necesario. Los fines de semana se dedicarán a la documentación o tareas en las que no sea necesario el uso de equipo de RV, por lo tanto, se podrá trabajar desde casa.

### 5.1. Descripción de las tareas

En esta sección se detallan las tareas a realizar de forma individual, pero se agrupan por bloques para distinguir con mayor facilidad las distintas fases del proyecto. En la Tabla 2 se listan todas las tareas con la duración, dependencias y recursos necesarios, y en la Figura 4 se muestra la planificación inicial del proyecto.

---

<sup>8</sup>Sede del grupo de investigación ViRVIG. [3]

## **GP - Gestión del proyecto**

La gestión del proyecto es esencial para planificar, definir y documentar el trabajo a realizar, además, engloba las reuniones para la validación y propuesta de objetivos semanales. Se estima que en global el grupo de gestión tendrá una duración de 145 horas.

### **GP.1 - Alcance**

Antes de empezar con el trabajo es necesario acotar el desarrollo, por este motivo, se dedica tiempo inicial a definir qué se quiere conseguir con el trabajo, qué se va a desarrollar, y qué medios serán necesarios. La duración ha sido de 25 horas. Previamente al alcance, es necesario haber investigado sobre el estado del arte de las técnicas de navegación e interacción, pues es necesario tenerlo en cuenta antes de definir qué técnicas se desarrollarán.

### **GP.2 - Planificación**

Para cumplir con los objetivos propuestos en la definición del alcance del proyecto, se realiza una planificación temporal, así como de recursos y requerimientos asociados a cada tarea. Además, se definen los riesgos y obstáculos, y se plantean tareas alternativas para solventarlos. La duración de esta fase ha sido de 15 horas.

### **GP.3 - Presupuesto**

Se realizará un presupuesto para cuantificar el coste del proyecto, para ello, se realizarán partidas por cada tarea teniendo en cuenta los costes de personal y equipo, además, se cuantificarán los costes genéricos y partidas de imprevistos. Dado que los dispositivos de RV son costosos, es necesario definir adecuadamente el presupuesto, por ello se estima una dedicación de 10 horas.

### **GP.4 - Informe de sostenibilidad**

Se analizará a partir de un informe el impacto medioambiental, económico y social del proyecto, en concreto, de las fases de planificación y desarrollo. El tiempo estimado para realizar el informe es de 5 horas.

### **GP.5 - Reuniones**

Como en cualquier proyecto de investigación, es necesario realizar reuniones frecuentemente para analizar los resultados obtenidos según los objetivos semanales, y decidir si se han de cambiar aspectos de la planificación. Se prevén reuniones semanales de 1 hora con los directores del proyecto. En total, se ha estimado una duración de 20 horas.



## **GP.6 - Documentación**

Una parte importante del TFG es la memoria final, por lo tanto, a lo largo del desarrollo del proyecto se han de documentar las distintas fases. La documentación se realizará de forma paralela al resto del proyecto, de esta forma se irán incorporando las secciones en las que se trabaje. La duración estimada es de 60 horas.

## **GP.7 - Presentación**

Por último, una vez finalizada la documentación, es necesario preparar la presentación para el tribunal que evaluará el TFG. Se preparará material de soporte para la presentación, así como el guion, y se realizarán ensayos. En total la duración estimada es de 10 horas.

## **TP - Trabajo previo**

En este apartado se especifican las tareas a realizar antes del desarrollo del trabajo, es decir, tareas de preparación y estudio previo. Puesto que se trata de una fase de preparación, se puede realizar paralelamente a la mayoría de las tareas de gestión del proyecto. Se estima una duración de 25 horas.

### **TP.1 - Estudio del estado del arte**

Considerando que se busca innovar sobre las técnicas de navegación e interacción en RV colaborativa, es necesario investigar las técnicas punteras actuales para analizar lo que ya está hecho y para determinar qué se puede aportar con este TFG. Principalmente se analizarán artículos científicos. La duración estimada es de 15 horas.

### **TP.2 - Preparación del entorno de trabajo**

Teniendo en cuenta que la preparación de un entorno de trabajo de RV implica muchos dispositivos y aplicaciones diferentes, se ha establecido una tarea solo para la preparación del entorno. Concretamente, el equipo a preparar consiste en: dos ordenadores de altas prestaciones, un casco de RV *HTC Vive* [18] y uno *HTC Vive Pro* [19], y el motor gráfico *Unity3D* [12]. Puesto que el proyecto parte de una aplicación de RV, se estima que el tiempo de preparación se reduzca, por lo tanto, la duración aproximada es de 10 horas.

## **DC - Desarrollo aplicación colaborativa**

Primero es necesario desarrollar una aplicación que permita la conexión de varios usuarios a una misma escena virtual, de forma que todos los usuarios estén sincronizados y puedan interactuar. Se estima una duración de 55 horas. Se definen 3 subtareas:

1. DC.1 - Conexión y sincronización - Primero es necesario establecer una plataforma de conexión y envío de mensajes por la red. Duración: 30 horas.
2. DC.2 - Integración RV - A continuación, se integra la tecnología de RV con la plataforma de conexión, de forma que cada usuario tenga información sobre los dispositivos de RV de los demás. Duración 15 horas.

3. DC.3 - Pruebas de validación - Se comprueba el correcto funcionamiento del sistema. Duración 10 horas.

## **DN - Desarrollo de técnicas de navegación**

Una vez desarrollada la aplicación para la conexión de varios usuarios, se desarrollan las diferentes técnicas de navegación. Se estima una duración de 150 horas. Aunque las técnicas pueden cambiar en función de los resultados obtenidos semanalmente, inicialmente se plantean tres tipos de técnicas:

1. DN.1 - Puntos de vista - Implementación de un sistema que permita predefinir posiciones del mundo virtual, de esta forma, el usuario pueda viajar de uno a otro a través de una interfaz tridimensional.
2. DN.2 - Vuelo libre - Investigación y desarrollo del conjunto de técnica de navegación basadas en el vuelo libre por la escena virtual.
3. DN.3 - Teletransporte<sup>9</sup> - Investigación y desarrollo de técnicas de teletransporte de usuarios en la escena virtual.

Cada una de las técnicas consta de las tareas de diseño, desarrollo y pruebas piloto. Las pruebas piloto son para determinar el buen funcionamiento de la técnica, y para estudiar el comportamiento de los usuarios de forma previa al estudio final, de esta manera se pueden hacer pequeñas modificaciones. La duración estimada para cada técnica es de 15 horas para el diseño, 25 horas para el desarrollo y 10 horas para las pruebas piloto, para más información consultar la Tabla 2.

## **DI - Desarrollo técnicas de interacción**

Las técnicas de interacción se pueden desarrollar de forma paralela con las de navegación al tratarse de métodos independientes, sin embargo, en este proyecto como solo hay un programador se realizarán secuencialmente. Se estima una duración de 100 horas. Inicialmente se plantean dos áreas de trabajo:

1. DI.1 - *Avatares* - Investigación en la representación virtual de los usuarios para mejorar la inmersión y percepción.
2. DI.2 - Evasión colisión - Investigación y desarrollo en técnicas que minimicen las colisiones entre usuarios en entornos colaborativos con espacios físicos compartidos.

De igual forma que en el desarrollo de técnicas de navegación, se prevén 3 tareas por cada área: diseño (15 horas), desarrollo (25 horas), pruebas piloto (10 horas).

## **EU - Estudio con usuarios**

Una vez desarrolladas las técnicas de navegación e interacción, se realizarán pruebas con usuarios externos para estudiar el grado de afectación de cada técnica a los problemas de *cybersickness*, desorientación espacial, entre otros. La duración estimada es de 70 horas, se realizarán dos estudios de 35 horas cada uno:

---

<sup>9</sup>Teletransporte es el proceso de mover algo de un lugar a otro instantáneamente.

1. EU.1 - Estudio navegación - Pruebas con las técnicas de navegación, se estudiará el *cybersickness* y la desorientación espacial.
2. EU.2 - Estudio interacción y colisiones - Pruebas con las técnicas de interacción, se estudiará el nivel de inmersión, percepción y la posibilidad de colisión entre usuarios.

Por cada estudio se identifican 3 tareas:

1. Preparación - Puesta a punto del entorno donde se desarrollarán las pruebas y un sistema de recogida de datos. Duración: 5 horas.
2. Estudio - La realización del estudio en sí, con usuarios externos. Duración: 20 horas.
3. Evaluación - Estudio de los datos recogidos y las experiencias de los usuarios. Duración: 10 horas.

## 5.2. Recursos

### 5.2.1. Recursos humanos

En este proyecto se encuentran cuatro roles diferentes: jefe de proyecto, investigador, programador y *tester*. No obstante, teniendo en cuenta que este TFG se realiza por una persona, será el autor el encargado de asumir los diferentes roles en función de la tarea a realizar. En la Tabla 2 se encuentra la asignación de tareas a cada rol.

1. Jefe de proyecto - Se encarga de la planificación del proyecto, liderar las reuniones con el equipo y escribir la documentación.
2. Investigador - Se trata de la persona responsable de la investigación del proyecto: diseña las técnicas y realiza las pruebas con los usuarios, evalúa los resultados obtenidos y contribuye en la documentación.
3. Programador - Es la persona encargada de implementar el sistema y preparar la instalación del equipo de RV.
4. *Tester* - Se ocupa de realizar las pruebas de validez del sistema, debe diseñar las pruebas, ejecutarlas y presentar un informe para poder arreglar los errores encontrados.

### 5.2.2. Recursos materiales

A continuación, se exponen los recursos materiales necesarios para la realización del proyecto. En la Tabla 2 se encuentra la asignación de recursos materiales a cada tarea.

1. Portátil - Ordenador portátil para realizar las tareas de gestión del proyecto y de investigación o evaluación de los estudios.
2. *TeXstudio* [25] - Entorno de desarrollo para crear documentos con LaTeX<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup>Sistema de composición de textos.

3. Dos ordenadores de altas prestaciones - Ordenadores de altas prestaciones, en especial, con tarjeta gráfica dedicada<sup>11</sup>.
4. *HTC Vive* o *HTC Vive Pro* - En función de la disponibilidad, se necesitan dos cascos de RV inmersivos.
5. *Unity3D* - Motor gráfico que servirá como entorno de desarrollo para la aplicación.
6. *Ganttter* [24] - Herramienta *web* para la creación de diagramas de Gantt.

Id.	Tarea	Tiempo	Dependencia	Recursos	Roles
<b>GP</b>	<b>Gestión del proyecto</b>	<b>145h</b>	-	-	-
GP.1	Alcance	25h	TP.1	Portátil, <i>TeXStudio</i>	JP
GP.2	Planificación	15h	GP.1	Portátil, <i>TeXStudio</i> , <i>Ganttter</i>	JP
GP.3	Presupuesto	10h	GP.1	Portátil, <i>TeXStudio</i>	JP
GP.4	Informe de sostenibilidad	5h	GP.1	Portátil, <i>TeXStudio</i>	JP
GP.5	Reuniones	20h	-	Portátil	JP, I, P, T
GP.6	Documentación	60h	-	Portátil, <i>TeXStudio</i>	JP, I
GP.7	Presentación	10h	GP.6	Portátil	JP
<b>TP</b>	<b>Trabajo previo</b>	<b>25h</b>	-	-	-
TP.1	Estudio del estado del arte	15h	-	Portátil	I
TP.2	Preparación del entorno de trabajo	10h	GP.2	2xPC, 2xCascosRV, <i>Unity3D</i>	P
<b>DC</b>	<b>Desarrollo aplicación colaborativa</b>	<b>55h</b>	-	-	-
DC.1	Conexión y sincronización	30h	TP.2	2xPC, 2xCascosRV, <i>Unity3D</i>	P
DC.2	Integración RV	15h	DC.1	2xPC, 2xCascosRV, <i>Unity3D</i>	P
DC.3	Pruebas de validación	10h	DC.2	2xPC, 2xCascosRV, <i>Unity3D</i>	T
<b>DN</b>	<b>Desarrollo de técnicas de navegación</b>	<b>150h</b>	-	-	-
DN.1	Puntos de vista	50h	-	-	-
DN.1.1	Diseño	15h	DC.3	Portátil	I
DN.1.2	Desarrollo	25h	DN.1.1	2xPC, 2xCascosRV, <i>Unity3D</i>	P
DN.1.3	Pruebas piloto	10h	DN.1.2	2xPC, 2xCascosRV	I, T
DN.2	Vuelo libre	50h	-	-	-
DN.2.1	Diseño	15h	DC.3	Portátil	I
DN.2.2	Desarrollo	25h	DN.2.1	2xPC, 2xCascosRV, <i>Unity3D</i>	P
DN.2.3	Pruebas piloto	10h	DN.2.2	2xPC, 2xCascosRV	I, T
DN.3	Teletransporte	50h	-	-	-
DN.3.1	Diseño	15h	DC.3	Portátil	I
DN.3.2	Desarrollo	25h	DN.3.1	2xPC, 2xCascosRV, <i>Unity3D</i>	P
DN.3.3	Pruebas piloto	10h	DN.3.2	2xPC, 2xCascosRV	I, T
<b>DI</b>	<b>Desarrollo de técnicas de interacción</b>	<b>100h</b>	-	-	-
DI.1	<i>Avatares</i>	50h	-	-	-
DI.1.1	Diseño	15h	DC.3	Portátil	I
DI.1.2	Desarrollo	25h	DI.1.1	2xPC, 2xCascosRV, <i>Unity3D</i>	P
DI.1.3	Pruebas piloto	10h	DI.1.2	2xPC, 2xCascosRV	I, T
DI.2	Evasión colisión	50h	-	-	-
DI.2.1	Diseño	15h	DC.3	Portátil	I
DI.2.2	Desarrollo	25h	DI.2.1	2xPC, 2xCascosRV, <i>Unity3D</i>	P
DI.2.3	Pruebas piloto	10h	DI.2.2	2xPC, 2xCascosRV	I, T
<b>EU</b>	<b>Estudio con usuarios</b>	<b>70h</b>	-	-	-
EU.1	Estudio navegación	35h	-	-	-
EU.1.1	Preparación	5h	DN.1.3, DN.2.3, DN.3.3	2xPC, 2xCascosRV, <i>Unity3D</i>	I, P
EU.1.2	Estudio	20h	EU.1.1	2xPC, 2xCascosRV	I
EU.1.3	Evaluación	10h	EU.1.2	Portátil	I
EU.2	Estudio interacción y colisiones	35h	-	-	-
EU.2.1	Preparación	5h	DI.1.3, DI.2.3	2xPC, 2xCascosRV, <i>Unity3D</i>	I, P
EU.2.2	Estudio	20h	EU.2.1	2xPC, 2xCascosRV	I
EU.2.3	Evaluación	10h	EU.2.2	Portátil	I
-	<b>Total</b>	<b>545h</b>	-	-	-

Tabla 2: Tabla de tareas con la duración, dependencias y recursos necesarios. Roles: JP - jefe de proyecto, I - investigador, P - programador, T - tester. Elaboración propia.

<sup>11</sup>Componente *hardware* encargado del renderizado de escenas 3D con memoria especializada.

### 5.3. Gestión del riesgo

Es importante prever los riesgos y obstáculos que pueden surgir durante el desarrollo, concretamente en este TFG, al hacer uso de tecnologías relativamente nuevas, es probable que se produzcan desviaciones de la planificación inicial. A continuación, se describen los posibles obstáculos y los planes alternativos para solventarlos, en el apartado 6.1.4 se especifican los tiempos y recursos necesarios.

1. Dificultades imprevistas - Teniendo en cuenta el nivel de madurez de las tecnologías usadas en el proyecto, es posible no poder cumplir con los plazos especificados anteriormente, por este motivo se reserva alrededor de una semana al final del proyecto para poder alargar el desarrollo. Si aun así no fuera suficiente, ya que el proyecto se basa en la composición de diferentes técnicas, se podría eliminar el desarrollo de una de las técnicas.
2. Recursos limitados - El Centro de Realidad Virtual, donde se realiza el proyecto, dispone de un conjunto reducido de cascos de RV. No obstante, teniendo en cuenta que el desarrollo de las diferentes técnicas se puede realizar en paralelo, en caso de no disponer de cascos se podría empezar otra tarea de diseño o estudio en la que los dispositivos de RV no sean necesarios, de esta forma no sería necesario modificar la planificación temporal.
3. Errores en las librerías de RV - A pesar de que *Unity3D* es usado por miles de usuarios, las librerías de RV necesarias para el funcionamiento de los dispositivos tienen algunos errores y no han sido suficientemente probadas. Si aparece un error que bloquee el desarrollo del proyecto, se tendrá que añadir una tarea a la planificación para desarrollar una solución alternativa a la proporcionada por la librería. Se estima que podría añadir entre 20 y 40 horas de desarrollo.
4. Rendimiento - En las tareas de desarrollo ya se ha tenido en cuenta el tiempo necesario para la optimización de los métodos, no obstante, dados los requerimientos de la visualización en RV, si la aplicación no funcionara bien, se simplificaría la escena virtual para reducir la carga de trabajo de la *CPU* y de la tarjeta gráfica; el impacto sobre la duración del proyecto sería mínimo.

## 6. Gestión económica

Una vez realizada la planificación temporal del proyecto, se van a estimar los costes necesarios para el desarrollo. Se identifican diferentes tipos de costes asociados al personal, espacio de trabajo, y a las herramientas y dispositivos usados. Además, para superar los obstáculos que aparezcan y asumir los costes no programados, se realiza un plan de contingencia, una partida de imprevistos y se exponen mecanismos para controlar el presupuesto.

## 6.1. Presupuesto

### 6.1.1. Costes de personal

A partir de la planificación por tareas se calcula el coste de personal, se tienen en cuenta los 4 roles definidos anteriormente: jefe de proyecto, investigador, programador y *tester*. En la Tabla 3 se ve el coste por hora de cada puesto, los datos han sido obtenidos de la empresa de reclutamiento *Hays* [27].

<i>Rol</i>	Coste por hora
Jefe de proyecto	30€/h
Investigador	20€/h
Programador	16€/h
<i>Tester</i>	16€/h

Tabla 3: Costes de personal a partir de la guía de mercado laboral de Hays. Elaboración propia.

En la Tabla 4 se detallan las partidas por tarea a partir de los costes de personal de la Tabla 3, y se estima el coste de la seguridad social multiplicando el coste por 1,3. En total el coste de personal del proyecto es de 19.279€.

### 6.1.2. Costes genéricos

En la planificación temporal se especifica que se va a trabajar de lunes a viernes en el Centro de Realidad Virtual, y los fines de semana desde casa. Por lo tanto, como ambos espacios son compartidos y están situados en Barcelona, se estima el coste en función de la tarifa de un espacio de *coworking*<sup>12</sup> en Barcelona, con mesa individual y acceso todos los días de la semana. El coste es de 300 euros al mes [26], incluye los gastos de internet, agua, electricidad. Teniendo en cuenta que el proyecto se desarrolla a lo largo de 5 meses, el coste total del espacio será de 1.500 euros.

A continuación, se especifica el coste de los recursos *Software* usados en el proyecto, en la Tabla 5 se encuentra el presupuesto detallado.

1. *TeXstudio* - Al tratarse de una herramienta de código abierto no tiene coste. [25]
2. *Ganttter* - Coste de 5 euros al mes por usuario, solo es necesaria una suscripción para el jefe de proyecto. [24]
3. *Unity3D* - Pago mensual de 150 euros por usuario, se contrata una licencia para el programador. [12]

---

<sup>12</sup>Espacios compartidos donde profesionales independientes desarrollan sus proyectos.

<b>Id.</b>	<b>Tarea</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Roles</b>	<b>Coste</b>	<b>Coste SS</b>
<b>GP</b>	<b>Gestión del proyecto</b>	<b>145h</b>	<b>-</b>	<b>6.590€</b>	<b>8.567€</b>
GP.1	Alcance	25h	JP	750€	975€
GP.2	Planificación	15h	JP	450€	585€
GP.3	Presupuesto	10h	JP	300€	390€
GP.4	Informe de sostenibilidad	5h	JP	150€	195€
GP.5	Reuniones	20h	JP, I, P, T	1.640€	2.132€
GP.6	Documentación	60h	JP, I	3.000€	3.900€
GP.7	Presentación	10h	JP	300€	390€
<b>TP</b>	<b>Trabajo previo</b>	<b>25h</b>	<b>-</b>	<b>500€</b>	<b>650€</b>
TP.1	Estudio del estado del arte	15h	I	300€	390€
TP.2	Preparación del entorno de trabajo	10h	P	200€	260€
<b>DC</b>	<b>Desarrollo aplicación colaborativa</b>	<b>55h</b>	<b>-</b>	<b>880€</b>	<b>1.144€</b>
DC.1	Conexión y sincronización	30h	P	480€	624€
DC.2	Integración RV	15h	P	240€	312€
DC.3	Pruebas de validación	10h	T	160€	208€
<b>DN</b>	<b>Desarrollo de técnicas de navegación</b>	<b>150h</b>	<b>-</b>	<b>3.180€</b>	<b>4.134€</b>
DN.1	Puntos de vista	50h	-	-	-
DN.1.1	Diseño	15h	I	300€	390€
DN.1.2	Desarrollo	25h	P	400€	520€
DN.1.3	Pruebas piloto	10h	I, T	360€	468€
DN.2	Vuelo libre	50h	-	-	-
DN.2.1	Diseño	15h	I	300€	390€
DN.2.2	Desarrollo	25h	P	400€	520€
DN.2.3	Pruebas piloto	10h	I, T	360€	468€
DN.3	Teletransporte	50h	-	-	-
DN.3.1	Diseño	15h	I	300€	390€
DN.3.2	Desarrollo	25h	P	400€	520€
DN.3.3	Pruebas piloto	10h	I, T	360€	468€
<b>DI</b>	<b>Desarrollo de técnicas de interacción</b>	<b>100h</b>	<b>-</b>	<b>2.120€</b>	<b>2.756€</b>
DI.1	<i>Avatares</i>	50h	-	-	-
DI.1.1	Diseño	15h	I	300€	390€
DI.1.2	Desarrollo	25h	P	400€	520€
DI.1.3	Pruebas piloto	10h	I, T	360€	468€
DI.2	Evasión colisión	50h	-	-	-
DI.2.1	Diseño	15h	I	300€	390€
DI.2.2	Desarrollo	25h	P	400€	520€
DI.2.3	Pruebas piloto	10h	I, T	360€	468€
<b>EU</b>	<b>Estudio con usuarios</b>	<b>70h</b>	<b>-</b>	<b>1.560€</b>	<b>2.028€</b>
EU.1	Estudio navegación	35h	-	-	-
EU.1.1	Preparación	5h	I, P	180€	234€
EU.1.2	Estudio	20h	I	400€	520€
EU.1.3	Evaluación	10h	I	200€	260€
EU.2	Estudio interacción y colisiones	35h	-	-	-
EU.2.1	Preparación	5h	I, P	180€	234€
EU.2.2	Estudio	20h	I	400€	520€
EU.2.3	Evaluación	10h	I	200€	260€
<b>-</b>	<b>Total</b>	<b>545h</b>	<b>-</b>	<b>14.830€</b>	<b>19.279€</b>

Tabla 4: Tabla de partidas por tarea. Coste SS es el coste teniendo en cuenta la seguridad social. Roles: JP - jefe de proyecto, I - investigador, P - programador, T - tester. Elaboración propia.

<i>Software</i>	Coste por mes	Meses	Coste total
<i>TeXstudio</i>	0€	5	0€
<i>Ganttter</i>	5€	5	25€
<i>Unity3D</i>	150€	5	750€
<b>Total</b>	-	-	<b>775€</b>

Tabla 5: Costes de los recursos software. *Elaboración propia.*

Por último, se calculan los costes de los dispositivos *Hardware*. Para calcular las amortizaciones, se ha calculado el coste por hora teniendo en cuenta que un año tiene 220 días hábiles y 8 horas laborables al día, el coste por hora por tanto es  $Coste\_Dispositivo / (Vida\_Util * 220 * 8)$ . Se estima una vida útil de 4 años a los dispositivos, no obstante, para los cascos de RV se calculan 2 años de vida útil, pues rápidamente se vuelven obsoletos por su constante evolución. En la Tabla 6 se detallan las amortizaciones, las horas de uso de cada dispositivo se presentan en la planificación temporal.

<i>Hardware</i>	Precio	Unidades	Vida útil	Horas	Amortización
Portátil	800€	1	4 años	255h	29€
Ordenador <sup>13</sup>	2.000€	2	4 años	290h	165€
<i>HTC Vive</i> [18]	800€	2	2 años	290h	132€
<b>Total</b>	-	-	-	-	<b>326€</b>

Tabla 6: Costes de los recursos hardware. *Elaboración propia.*



### 6.1.3. Contingencia

Como en todo proyecto, es importante añadir un sobrecoste para cubrir obstáculos e imprevistos. En este caso, al tratarse de un trabajo de investigación con tecnologías innovadoras, la probabilidad de encontrar problemas durante el desarrollo es considerable, por lo tanto se ha decidido fijar un 15 % de sobrecoste. En la Tabla 7 se detalla la contingencia total del proyecto.

Tipo	Coste	Contingencia
Espacio	1.500€	225€
<i>Software</i>	775€	116€
<i>Hardware</i>	326€	49€
Personal	19.279€	2.892€
<b>Total</b>	<b>21.880€</b>	<b>3.282€</b>

Tabla 7: Tabla contingencia del 15 % por tipo de gasto. Elaboración propia.

### 6.1.4. Imprevistos

Por último, se calcula el coste de los obstáculos que puedan surgir durante el desarrollo del proyecto. Los imprevistos se presentan en la planificación temporal, a continuación, sólo se cuantifica el riesgo y el coste que pueden causar, en la Tabla 8 se detalla el coste.

1. Aumento tiempo de desarrollo - En caso de necesitar más tiempo de desarrollo, se añadirán 25 horas de desarrollo a la planificación y 10 horas de *testing*. El coste total sería de 25 horas de programador y 10 horas de *tester*, por lo tanto, 560 euros. El riesgo es elevado debido al uso de nuevas tecnologías, por lo que se estima un 20 % de probabilidades.
2. Fallo dispositivo - En caso de que algún dispositivo falle será necesario comprar uno nuevo. Los costes son los expuestos en la Tabla 6, se estima un riesgo del 5 % por cada ordenador o portátil, y un 10 % por cada casco de RV ya que son más frágiles y están en constante movimiento.
3. Error librerías RV - Tal y como se comentaba en la planificación temporal, en caso de que una librería tuviera un error, se ha de implementar la función equivalente, por lo tanto se añadirían 30 horas de trabajo de programador y 10 horas de *tester*, en total 640 euros. Se estima un riesgo del 5 % debido a que son librerías usadas por muchos usuarios.

Imprevisto	Coste	Riesgo	Coste total
Aumento tiempo desarrollo	560€	20 %	112€
Portátil	800€	5 %	40€
Ordenador 1	2000€	5 %	100€
Ordenador 2	2000€	5 %	100€
<i>HTC Vive 1</i>	800€	10 %	80€
<i>HTC Vive 2</i>	800€	10 %	80€
Error librerías RV	640€	5 %	32€
<b>Total</b>	<b>7.600€</b>	<b>-</b>	<b>544€</b>

Tabla 8: Tabla del sobre coste añadido por imprevistos. Elaboración propia.

#### 6.1.5. Coste total

Una vez presentados todos los costes del proyecto, en la Tabla 9 se presenta el presupuesto final del trabajo. El coste total del proyecto es de 25.706 euros.

Tipo	Coste
Espacio	1.500€
<i>Software</i>	775€
<i>Hardware</i>	326€
Personal	19.279€
Contingencia	3.282€
Imprevistos	544€
<b>Coste total</b>	<b>25.706€</b>

Tabla 9: Tabla del presupuesto final del proyecto. Elaboración propia.

Por último, en caso de que no se produzcan incidentes o no se usen en su totalidad las partidas de contingencia e imprevistos, se aprovechará el presupuesto sobrante para adquirir un ordenador (2.000 euros) y unos cascos de RV (800 euros) y poder hacer un estudio con tres usuarios simultáneos, además, serviría para futuras investigaciones. En total, añadiendo 780 euros para la realización del estudio (ver Tabla 4), el coste sería de 3.580 euros cubiertos con los 3.826 euros de las partidas de imprevistos y contingencia.

## 6.2. Control de gestión

Una vez definido el presupuesto inicial, se definen los mecanismos de control necesarios para evitar desviaciones, así como indicadores numéricos que ayuden al control. En las reuniones semanales, cada vez que se acabe una tarea, se actualizará el presupuesto con las horas reales y se comparará con las horas estimadas.

Para controlar los imprevistos, al finalizar una tarea también se apuntarán los gastos extra que se hayan producido, y se compararán con la previsión de imprevistos y contingencia. De esta forma, rápidamente se podrá detectar cualquier desviación y predecir si es necesario recortar alguna tarea o aumentar el presupuesto.

A continuación, se presentan los descriptores numéricos para el control,:

1. Desviación coste personal por tarea:  
 $(coste\_estimado - coste\_real) * horas\_reales$
2. Desviación realización tareas:  
 $(horas\_estimadas - horas\_reales) * coste\_real$
3. Desviación total en la realización de tareas:  
 $coste\_estimado\_total - coste\_real\_total$
4. Desviación total de recursos (*software*, *hardware*, espacio o personal):  
 $coste\_estimado\_total - coste\_real\_total$
5. Desviación total coste de imprevistos:  
 $coste\_estimado\_imprevistos - coste\_real\_imprevistos$
6. Desviación total de horas:  
 $horas\_estimadas - horas\_reales$

## 7. Sostenibilidad

En todo proyecto es importante realizar un análisis de sostenibilidad teniendo en cuenta tres dimensiones: económica, ambiental y social. A continuación, el autor del TFG realiza una autoevaluación sobre el dominio de la competencia de la sostenibilidad, y seguidamente, a partir de unas preguntas, se analizan las tres dimensiones en el marco del proyecto.

### 7.1. Autoevaluación

A lo largo del Grado en Ingeniería Informática nos han explicado en qué consiste la sostenibilidad, además de la importancia de pensar en el medio ambiente cada vez que realizamos un proyecto. No obstante, hasta que realizamos un trabajo como el TFG, no nos damos cuenta de la importancia que tiene.

Desde un punto de vista personal, siempre he tenido muy presente la necesidad de un análisis económico para asegurar la viabilidad de un proyecto, pues muchas veces los trabajos buscan mejorar el aspecto económico de una solución existente.

No obstante, la dimensión social y la ambiental pasan más desapercibidas. En cuanto a la ambiental, desde mi punto de vista, hay proyectos que requieren un análisis más extenso porque usan una gran cantidad de recursos, sin embargo, trabajos como este también pueden realizar aportaciones y no solo mejorar económicamente las soluciones actuales. Las diferentes conferencias y trabajos sobre el medio ambiente han hecho que me dé cuenta de la necesidad de abordar soluciones sostenibles, por lo tanto, siempre intento minimizar el impacto que mis trabajos tendrán en el medio ambiente.

Por último, creo que todos los trabajos deberían realizarse para cubrir una necesidad de la sociedad, por lo tanto, este trabajo intenta mejorar la calidad de vida de las personas que lo usarán. A nivel personal, este TFG me aportará los conocimientos necesarios para seguir desarrollándome en el ámbito de los gráficos por ordenador, especialmente en realidad virtual. Además, representa el hito final para finalizar el grado, por lo que representa un reto importante para mí.

## **7.2. Dimensión Económica**

Sobre el coste de realización del proyecto, teniendo en cuenta el uso que tendrá el proyecto en la Sagrada Familia, y potencialmente en otros ámbitos, y considerando que se trata de tecnologías muy innovadoras, creo que es adecuado el coste del proyecto respecto a los beneficios que proporcionará.

Actualmente, se usan sistemas de RV semiinmersiva en los entornos donde diferentes profesionales quieren discutir diseños de manera colaborativa, dichos sistemas mejoran los costes tradicionales, pues típicamente se tenían que crear maquetas o prototipos físicos.

A pesar de que las soluciones existentes ya mejoran las tradicionales, el proyecto que se va a desarrollar representa un avance económico, los equipos actuales de RV inmersiva son mucho más asequibles que los equipos de RV semiinmersiva.

## **7.3. Dimensión Ambiental**

Afortunadamente, la realización de este proyecto no tiene un gran impacto ambiental, sólo la fabricación de los dispositivos de RV y los ordenadores que se van a utilizar impactan negativamente en el medio ambiente.

Una forma de minimizar el impacto inicial del proyecto sería usar solo un ordenador para todos los dispositivos de RV, no obstante, esto no es posible actualmente ya que dichos dispositivos consumen demasiados recursos, incluso para un ordenador de altas características.

Actualmente, los sistemas semiinmersivos presentan mejoras claras respecto al medio ambiente, evitan la necesidad de crear maquetas o prototipos. No obstante, las reuniones entre profesionales han de ser presenciales, lo que muchas veces implica tener que coger aviones, además, los sistemas semiinmersivos normalmente necesitan una docena de ordenadores y proyectores [15]. El sistema inmersivo que proponemos sólo es necesario un ordenador y un dispositivo de RV por cada usuario, y además se pueden realizar de forma telemática al compartir sólo espacio virtual, ahorrando así transportes innecesarios.

#### **7.4. Dimensión Social**

Personalmente, desde que empecé el grado me he interesado por el ámbito de los gráficos por ordenador, por lo tanto, la realización de este proyecto en RV me permite profundizar mis conocimientos en el área.

De cara al beneficio de la sociedad, tal y como se comentaba en la dimensión ambiental, la capacidad de evitar la creación de maquetas y prototipos hace que los ciclos de desarrollo sean más rápidos, pues se acelera la presentación de diseños. Además, este trabajo evita la necesidad de transporte de forma que los profesionales podrán reunirse más frecuentemente y con mayor comodidad.

Este TFG nace de la necesidad de los arquitectos de la Sagrada Familia de visualizar diseños de forma cómoda, rápida e inmersiva. Por lo tanto, creemos que el proyecto no solo tiene una necesidad real, sino que además se podrá aplicar en muchos otros ámbitos similares.

## 8. Bibliografía

- [1] C. Andujar, P. Brunet, J. Buxareu, J. Fons, N. Laguarda, J. Pascual y N. Pelechano, “VR-assisted Architectural Design in a Heritage Site: the Sagrada Família Case Study,” en *European Association for Computer Graphics (Eurographics)*, European Association for Computer Graphics (Eurographics), 2018, págs. 47-56. DOI: 10.2312/gch.20181340.
- [2] *Can Virtual Reality Help Optimize Product Engineering, Manufacturing and Operations?* > *ENGINEERING.com*. dirección: <https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/9484/Can-Virtual-Reality-Help-Optimize-Product-Engineering-Manufacturing-and-Operations.aspx> (visitado 24-02-2020).
- [3] *ViRVIG*. dirección: <https://www.virvig.eu/> (visitado 20-02-2020).
- [4] *realidad — Diccionario de la lengua española — RAE - ASALE*. dirección: <https://dle.rae.es/?w=realidad> (visitado 22-02-2020).
- [5] K. Zibrek, E. Kokkinara y R. McDonnell, “Don’t stand so close to me: Investigating the effect of control on the appeal of virtual humans using immersion and a proximity-based behavioral task,” en *Proceedings - SAP 2017, ACM Symposium on Applied Perception*, New York, New York, USA: Association for Computing Machinery, Inc, 2017, págs. 1-11, ISBN: 9781450351485. DOI: 10.1145/3119881.3119887. dirección: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3119881.3119887>.
- [6] B. Spanlang, J.-M. Normand, D. Borland, K. Kiltner, E. Giannopoulos, A. Pomés, M. González-Franco, D. Perez-Marcos, J. Arroyo-Palacios, X. N. Muncunill y M. Slater, “How to Build an Embodiment Lab: Achieving Body Representation Illusions in Virtual Reality,” *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 1, 2014, ISSN: 2296-9144. DOI: 10.3389/frobt.2014.00009.
- [7] J. J. LaViola, “A discussion of cybersickness in virtual environments,” *ACM SIGCHI Bulletin*, vol. 32, n.º 1, págs. 47-56, 2000, ISSN: 07366906. DOI: 10.1145/333329.333344. dirección: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=333329.333344>.
- [8] A. Ríos, M. Palomar y N. Pelechano, “Users’ locomotor behavior in collaborative virtual reality,” en *Proceedings - MIG 2018: ACM SIGGRAPH Conference on Motion, Interaction, and Games*, Association for Computing Machinery, Inc, 2018, ISBN: 9781450360159. DOI: 10.1145/3274247.3274513.
- [9] T. Randhavane, A. Bera y D. Manocha, “F2Fcrowds: Planning agent movements to enable face-to-face interactions,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 26, n.º 2, págs. 228-246, 2017, ISSN: 15313263. DOI: 10.1162/PRES\_a\_00294.
- [10] K. Varma, S. J. Guy y V. Interrante, “Assessing the Relevance of Eye Gaze Patterns During Collision Avoidance in Virtual Reality,” *ICAT-EGVE 2017 - International Conference on Artificial Reality and Telexistence and Eurographics Symposium on Virtual Environments*, 2017. DOI: 10.2312/egve.20171352. dirección: <https://diglib.eg.org/handle/10.2312/egve20171352>.

- [11] *Realidad virtual colaborativa - VR Collaboration - TechViz*. dirección: <https://www.techviz.net/es/vr-collaboration/> (visitado 23-02-2020).
- [12] *Plataforma de desarrollo en tiempo real de Unity — Visualizaciones de VR y AR en 3D y 2D*. dirección: <https://unity.com/es> (visitado 23-02-2020).
- [13] E. Bozgeyikli, A. Raij, S. Katkooi y R. Dubey, “Point & Teleport locomotion technique for virtual reality,” en *CHI PLAY 2016 - Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, New York, New York, USA: Association for Computing Machinery, Inc, 2016, págs. 205-216, ISBN: 9781450344562. DOI: 10.1145/2967934.2968105. dirección: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2967934.2968105>.
- [14] *Teleporting with 'lock onto target' - Threesixty Reality*. dirección: <https://threesixtyreality.co.uk/blog/interaction-patterns/virtual-reality-patterns/teleport-lock-target/> (visitado 24-02-2020).
- [15] C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, T. A. DeFanti, R. V. Kenyon y J. C. Hart, “The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment,” *Communications of the ACM*, vol. 35, n.º 6, págs. 64-72, 1992, ISSN: 15577317. DOI: 10.1145/129888.129892. dirección: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=129888.129892>.
- [16] *File:Reality check ESA384313.jpg - Wikimedia Commons*. dirección: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reality{\\\_}check{\\\_}ESA384313.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reality{\_}check{\_}ESA384313.jpg) (visitado 24-02-2020).
- [17] *Oculus Rift S: visor de realidad virtual para PC optimizados para la realidad virtual — Oculus*. dirección: <https://www.oculus.com/rift-s/> (visitado 23-02-2020).
- [18] *Find the right high-end VR system for you — VIVE™*. dirección: <https://www.vive.com/eu/product/{\#}viveseries> (visitado 23-02-2020).
- [19] *Find the right high-end VR system for you — VIVE™*. dirección: <https://www.vive.com/eu/product/{\#}proseries> (visitado 23-02-2020).
- [20] *Unreal Engine — The most powerful real-time 3D creation platform*. dirección: <https://www.unrealengine.com/en-US/> (visitado 23-02-2020).
- [21] *SteamVR - Valve Developer Community*. dirección: <https://developer.valvesoftware.com/wiki/SteamVR> (visitado 23-02-2020).
- [22] *Trello*. dirección: <https://trello.com/es> (visitado 23-02-2020).
- [23] *The first single application for the entire DevOps lifecycle - GitLab — GitLab*. dirección: <https://about.gitlab.com/> (visitado 23-02-2020).
- [24] *Ganttter — #1 Cloud-Based Project Management Software*. dirección: <https://www.ganttter.com/> (visitado 02-03-2020).
- [25] *TeXstudio*. dirección: <https://www.texstudio.org/> (visitado 29-02-2020).
- [26] *Precios coworking Barcelona — Coworkidea*. dirección: <https://coworkidea.com/tarifas/> (visitado 05-03-2020).
- [27] *Home*. dirección: <https://www.hays.es/> (visitado 07-03-2020).

## 9. Anexos

### Anexo 1. Diagrama de Gantt

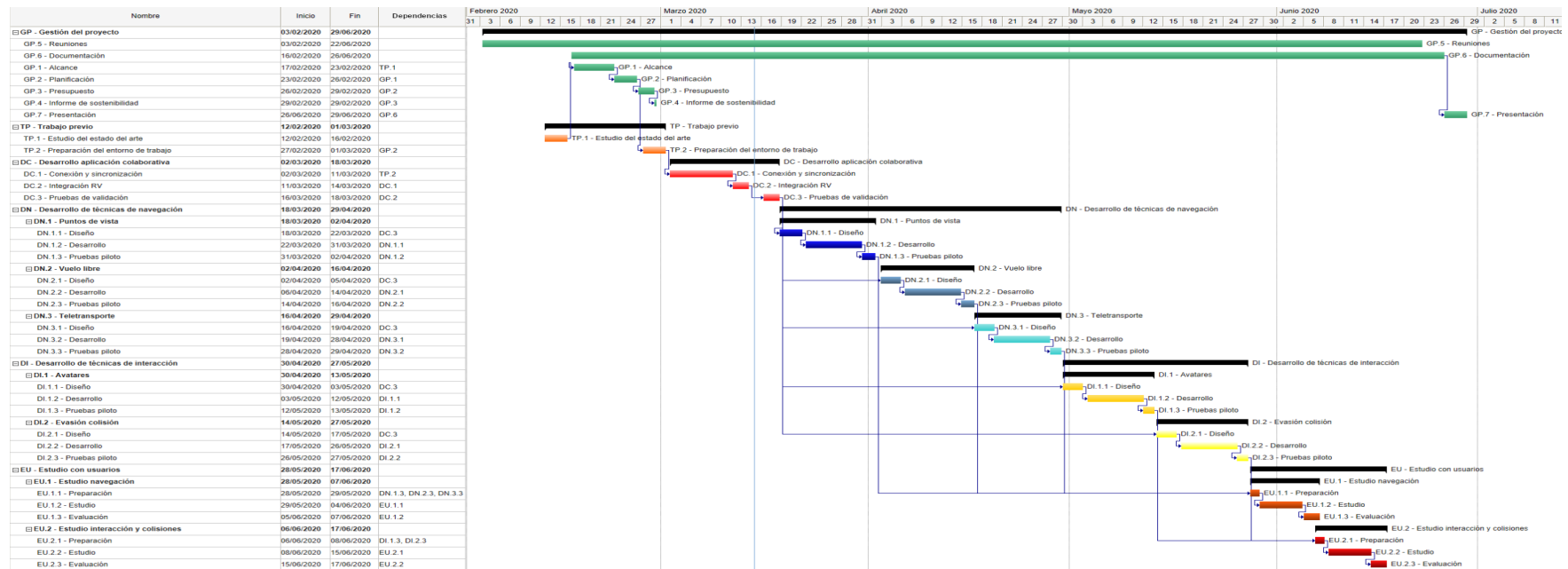


Figura 4: Diagrama de Gantt. Creado con la herramienta Ganttter [24]. Elaboración propia.