

Grado Universitario en Ingeniería Informática
2024 - 2025

Trabajo Fin de Grado

“Desarrollo de un sistema de
colaboración asíncrona en Realidad
Virtual”

Diego Navas Sánchez

Tutor:

Alejandro Rey López

Leganés, junio de 2025



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento–No Comercial–Sin Obra Derivada**

RESUMEN

La Realidad Virtual permite a los usuarios sumergirse en un mundo no real a través de gráficos creados por ordenador. Gracias a su versatilidad, han aparecido diferentes líneas de investigación que hacen uso de ella para abordar problemas de gran importancia en la actualidad.

Debido al crecimiento exponencial que sufren los datos hoy en día, uno de estos problemas es su análisis. Para tratarlo, el Análisis Inmersivo emerge como una alternativa con un enorme potencial, proporcionando a los usuarios la posibilidad de sumergirse en sus datos, explorando la información interactivamente e implicando el uso de todos sus sentidos.

Dentro de esta corriente, la investigación se ha centrado principalmente en trasladar las visualizaciones al entorno inmersivo, sin realizar grandes avances en la colaboración en este ámbito.

El análisis de datos inmersivo y colaborativo involucra a diferentes usuarios y puede realizarse de forma síncrona o asíncrona, facilitando la comprensión del proceso de sensemaking seguido por el resto de investigadores al estudiar los datos.

Teniendo esto en cuenta, este trabajo presenta una prueba de concepto que busca servir de base para el desarrollo de la colaboración de forma asíncrona en sistemas de visualización de datos inmersivos.

Palabras clave: análisis inmersivo colaborativo, colaboración asíncrona, sensemaking

ABSTRACT

Virtual Reality enables users to immerse themselves in a non-real world through computer-generated graphics. Due to its versatility, various research avenues have emerged, leveraging it to address currently significant problems.

Given the exponential growth of data today, one such challenge is data analysis. To tackle this, Immersive Analytics emerges as an alternative with immense potential, offering users the ability to delve into their data, exploring information interactively and engaging all their senses.

Within this field, research has primarily focused on transferring visualizations into immersive environments, with limited significant advancements in collaboration within this domain.

Collaborative Immersive Analytics involves multiple users and can be conducted synchronously or asynchronously. This facilitates the comprehension of the sense-making process followed by other researchers when studying data.

Considering this, the present work introduces a proof of concept intended to serve as a foundation for the development of asynchronous collaboration in immersive data visualization systems.

Keywords: collaborative immersive analytics, asynchronous collaboration, sensemaking

DEDICATORIA

A mi tutor, Alejandro, por su guía y apoyo a lo largo de todo el desarrollo de este trabajo. Su conocimiento y dedicación han sido fundamentales para un resultado satisfactorio.

A mi familia y seres queridos, por ser mi pilar y mi motivación para realizar este proyecto. Sin su paciencia, no habría sido posible este logro.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Contexto y Motivación.	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estructura del documento	2
2. ESTADO DEL ARTE.	4
2.1. Tecnologías Inmersivas	4
2.2. Análisis Inmersivo	5
2.3. Análisis Inmersivo Colaborativo	7
2.4. Herramientas Inmersivas	11
2.4.1. Dispositivos de Realidad Virtual	12
2.4.2. Motores de Desarrollo	14
2.5. Conclusiones de la investigación	16
3. ANÁLISIS	18
3.1. Descripción del proyecto	18
3.2. Requisitos de Usuario	19
3.2.1. Requisitos de Capacidad.	20
3.2.2. Requisitos de Restricción	25
3.3. Requisitos de Software	28
3.3.1. Requisitos de Capacidad.	29
3.3.2. Requisitos de Restricción	37
3.3.3. Requisitos de Sistema	41
3.4. Casos de uso	42
3.5. Matrices de trazabilidad	61
4. DISEÑO	65
4.1. Arquitectura	65
4.2. Componentes del Sistema	67
4.3. Mecánicas y Controles.	72

5. IMPLEMENTACIÓN	78
5.1. Construcción de Grafos	78
5.2. Controlador del Grafo	79
5.3. Controlador de Grabaciones.	80
5.4. Controlador de la Visualización.	81
6. PLAN DE PRUEBAS	82
7. PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO	88
7.1. Planificación	88
7.2. Presupuesto	90
8. MARCO REGULADOR	92
9. ENTORNO SOCIOECONÓMICO	94
10. CONCLUSIONES	95
10.1. Retrospectiva	95
10.2. Experiencia personal	95
10.3. Trabajos futuros.	96
BIBLIOGRAFÍA	97

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Representación Realidad Mixta - Continuo de virtualidad [1]	4
2.2	Red Hiperbólica 3D de Munzner [13]	6
2.3	Visualización de grafo en Realidad Virtual desarrollada por Drogemuller <i>et al.</i> [19]	7
2.4	Taxonomía Espacio-Tiempo de Visualización Colaborativa [23]	8
2.5	Ejemplo de uso de <i>Studierstube</i> [24]	9
2.6	Ejemplo de uso de <i>Hugin</i> [25]	9
2.7	Interfaz de <i>ManyInsights</i> [27]	10
2.8	Interfaz de <i>The Notification Collage</i> [28]	11
2.9	Gafas Meta Quest 3	12
2.10	Gafas HTC VIVE Focus 3	13
2.11	Gafas HP Reverb G2 VR3000	13
2.12	Gafas PICO 4	13
2.13	Imagen videojuego <i>Fortnite</i>	15
2.14	Imagen videojuego <i>Metro Awakening</i>	15
2.15	Imagen videojuego <i>Fall Guys</i>	16
2.16	Imagen videojuego <i>Batman: Arkham Shadow</i>	16
3.1	Diagrama de Casos de Uso	43
3.2	Matriz de trazabilidad RU-RS de Capacidad	62
3.3	Matriz de trazabilidad RU-RS de Restricción	63
3.4	Matriz de trazabilidad RU-CU	64
4.1	Diagrama de Arquitectura del Sistema	66
4.2	Captura de la escena inicial	72
4.3	Captura de la interfaz de selección de grafo	72
4.4	Captura de ejemplo de grafo	73
4.5	Captura de la interfaz de selección de grabación	73
4.6	Captura visualización en tercera persona	74

4.7	Captura visualización en primera persona	74
4.8	Mandos gafas Meta Quest 3	75
4.9	Captura nodo agarrado	76
4.10	Captura nodo marcado	77
4.11	Captura arista agarrada	77
4.12	Captura visualización información de nodo	77
5.1	Ejemplo <i>ScriptableObject</i> de almacenamiento de información de los grafos	79
5.2	Ejemplo <i>JSON</i> almacenamiento de información de grafo ya contruido . .	79
5.3	Ejemplo <i>JSON</i> almacenamiento de grabaciones	81
7.1	Diagrama de Gantt	89

ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Comparativa Gafas de Realidad Virtual	14
3.1	Plantilla para Requisitos de Usuario	19
3.2	Requisito de Usuario <i>RU-C01</i>	20
3.3	Requisito de Usuario <i>RU-C02</i>	21
3.4	Requisito de Usuario <i>RU-C03</i>	21
3.5	Requisito de Usuario <i>RU-C04</i>	21
3.6	Requisito de Usuario <i>RU-C05</i>	21
3.7	Requisito de Usuario <i>RU-C06</i>	22
3.8	Requisito de Usuario <i>RU-C07</i>	22
3.9	Requisito de Usuario <i>RU-C08</i>	22
3.10	Requisito de Usuario <i>RU-C09</i>	22
3.11	Requisito de Usuario <i>RU-C10</i>	23
3.12	Requisito de Usuario <i>RU-C11</i>	23
3.13	Requisito de Usuario <i>RU-C12</i>	23
3.14	Requisito de Usuario <i>RU-C13</i>	23
3.15	Requisito de Usuario <i>RU-C14</i>	24
3.16	Requisito de Usuario <i>RU-C15</i>	24
3.17	Requisito de Usuario <i>RU-C16</i>	24
3.18	Requisito de Usuario <i>RU-C17</i>	24
3.19	Requisito de Usuario <i>RU-C18</i>	25
3.20	Requisito de Usuario <i>RU-C19</i>	25
3.21	Requisito de Usuario <i>RU-R01</i>	25
3.22	Requisito de Usuario <i>RU-R02</i>	26
3.23	Requisito de Usuario <i>RU-R03</i>	26
3.24	Requisito de Usuario <i>RU-R04</i>	26
3.25	Requisito de Usuario <i>RU-R05</i>	27
3.26	Requisito de Usuario <i>RU-R06</i>	27

3.27	Requisito de Usuario <i>RU-R07</i>	27
3.28	Requisito de Usuario <i>RU-R08</i>	27
3.29	Requisito de Usuario <i>RU-R09</i>	28
3.30	Plantilla para Requisitos de Software	28
3.31	Requisito de Software <i>RS-C01</i>	29
3.32	Requisito de Software <i>RS-C02</i>	30
3.33	Requisito de Software <i>RS-C03</i>	30
3.34	Requisito de Software <i>RS-C04</i>	30
3.35	Requisito de Software <i>RS-C05</i>	30
3.36	Requisito de Software <i>RS-C06</i>	31
3.37	Requisito de Software <i>RS-C07</i>	31
3.38	Requisito de Software <i>RS-C08</i>	31
3.39	Requisito de Software <i>RS-C09</i>	31
3.40	Requisito de Software <i>RS-C10</i>	32
3.41	Requisito de Software <i>RS-C11</i>	32
3.42	Requisito de Software <i>RS-C12</i>	32
3.43	Requisito de Software <i>RS-C13</i>	32
3.44	Requisito de Software <i>RS-C14</i>	33
3.45	Requisito de Software <i>RS-C15</i>	33
3.46	Requisito de Software <i>RS-C16</i>	33
3.47	Requisito de Software <i>RS-C17</i>	33
3.48	Requisito de Software <i>RS-C18</i>	34
3.49	Requisito de Software <i>RS-C19</i>	34
3.50	Requisito de Software <i>RS-C20</i>	34
3.51	Requisito de Software <i>RS-C21</i>	35
3.52	Requisito de Software <i>RS-C22</i>	35
3.53	Requisito de Software <i>RS-C23</i>	35
3.54	Requisito de Software <i>RS-C24</i>	35
3.55	Requisito de Software <i>RS-C25</i>	36
3.56	Requisito de Software <i>RS-C26</i>	36
3.57	Requisito de Software <i>RS-C27</i>	36

3.58 Requisito de Software <i>RS-C28</i>	37
3.59 Requisito de Software <i>RS-R01</i>	37
3.60 Requisito de Software <i>RS-R02</i>	37
3.61 Requisito de Software <i>RS-R03</i>	38
3.62 Requisito de Software <i>RS-R04</i>	38
3.63 Requisito de Software <i>RS-R05</i>	38
3.64 Requisito de Software <i>RS-R06</i>	39
3.65 Requisito de Software <i>RS-R07</i>	39
3.66 Requisito de Software <i>RS-R08</i>	39
3.67 Requisito de Software <i>RS-R09</i>	40
3.68 Requisito de Software <i>RS-R10</i>	40
3.69 Requisito de Software <i>RS-R11</i>	40
3.70 Requisito de Software <i>RS-R12</i>	40
3.71 Requisito de Software <i>RS-S01</i>	41
3.72 Requisito de Software <i>RS-S02</i>	41
3.73 Requisito de Software <i>RS-S03</i>	41
3.74 Requisito de Software <i>RS-S04</i>	42
3.75 Requisito de Software <i>RS-S05</i>	42
3.76 Requisito de Software <i>RS-S06</i>	42
3.77 Plantilla para Casos de Uso	44
3.78 Caso de Uso <i>CU-01</i>	45
3.79 Caso de Uso <i>CU-02</i>	46
3.80 Caso de Uso <i>CU-03</i>	47
3.81 Caso de Uso <i>CU-04</i>	48
3.82 Caso de Uso <i>CU-05</i>	49
3.83 Caso de Uso <i>CU-06</i>	50
3.84 Caso de Uso <i>CU-07</i>	51
3.85 Caso de Uso <i>CU-08</i>	52
3.86 Caso de Uso <i>CU-09</i>	53
3.87 Caso de Uso <i>CU-10</i>	54
3.88 Caso de Uso <i>CU-11</i>	55

3.89	Caso de Uso <i>CU-12</i>	56
3.90	Caso de Uso <i>CU-13</i>	57
3.91	Caso de Uso <i>CU-14</i>	58
3.92	Caso de Uso <i>CU-15</i>	59
3.93	Caso de Uso <i>CU-16</i>	60
4.1	Plantilla para Componentes del Sistema	67
4.2	Componente <i>C-01</i>	68
4.3	Componente <i>C-02</i>	68
4.4	Componente <i>C-03</i>	68
4.5	Componente <i>C-04</i>	68
4.6	Componente <i>C-05</i>	69
4.7	Componente <i>C-06</i>	69
4.8	Componente <i>C-07</i>	69
4.9	Componente <i>C-08</i>	69
4.10	Componente <i>C-09</i>	70
4.11	Componente <i>C-10</i>	70
4.12	Componente <i>C-11</i>	70
4.13	Componente <i>C-12</i>	70
4.14	Componente <i>C-13</i>	71
4.15	Componente <i>C-14</i>	71
4.16	Componente <i>C-15</i>	71
4.17	Componente <i>C-16</i>	71
4.18	Controles mandos Meta Quest 3	75
4.19	Interacciones sobre Grafos	76
6.1	Plantilla para Pruebas	82
6.2	Prueba <i>PR-01</i>	83
6.3	Prueba <i>PR-02</i>	84
6.4	Prueba <i>PR-03</i>	85
6.5	Prueba <i>PR-04</i>	86
6.6	Prueba <i>PR-05</i>	87

7.1	Coste del Personal	90
7.2	Coste de los Recursos	91

1. INTRODUCCIÓN

Esta sección del documento recoge tanto el contexto y motivación como los objetivos del trabajo que se presenta a continuación. Además, también se realiza una breve explicación de cada uno de los puntos a tratar en el documento.

1.1. Contexto y Motivación

El avance tecnológico ha cambiado la forma en la que nos relacionamos con el mundo que nos rodea, inundando nuestra vida profesional y personal, facilitando el acceso a información y su procesamiento, haciendo trivial mantener contacto con personas en cualquier punto del mundo, y brindando acceso a comodidades y entretenimiento allá donde nos encontremos.

Con el auge del IoT y la puesta en primer plano de la Inteligencia Artificial y el Big Data como solución para tratar problemas complejos, la cantidad de datos a almacenar y procesar no para de crecer. Sin embargo, el uso de sistemas de análisis exclusivamente automatizados dificulta trazar el porqué de las decisiones y plantea dilemas éticos.

Dar sentido a los datos es una tarea primordial para la toma de decisiones en cualquier sector, pero gestionar la complejidad de los mismos complica la tarea de análisis y la extracción de conclusiones para las personas. Es por esto que históricamente se ha recurrido a la visualización de datos con el objetivo de sintetizar información visualmente, encontrar patrones o dirigir atención a características de interés de un dataset.

Recientemente, con el desarrollo y abaratamiento de dispositivos de tecnologías inmersivas como la Realidad Virtual, ha surgido el área de investigación de *Immersive Analytics*, que plantea sumergir a los analistas en las visualizaciones para realizar las tareas de análisis, brindando la posibilidad de explorar información de forma interactiva e involucrando todos los sentidos y las capacidades del usuario.

Sin embargo, la mayoría de trabajos existentes en *Immersive Analytics* se han centrado en llevar visualizaciones tradicionales al entorno inmersivo, sin proponer grandes cambios en cuanto a la interacción o en redefinir el concepto de colaboración para este ámbito. Con sistemas de visualización computerizados, interactivos e inmersivos, equipos enteros podrían trabajar colaborativamente (*Collaborative Immersive Analytics*) en la toma de decisiones en base a datos desde puntos distantes del mundo, de forma síncrona o asíncrona, tal y como ya ocurre con sistemas de colaboración en la nube como *Google Docs*.

En este trabajo se profundiza en el concepto de Análisis Inmersivo Colaborativo asíncrono, y cómo la Realidad Virtual ofrece una base para dar visibilidad y trazabilidad al proceso de toma de decisiones sobre visualizaciones. Gracias a la gran cantidad de información de comportamiento que se puede monitorizar con los sistemas inmersivos (e.g.,

posición, interacciones 3D, voz), es posible no solo innovar cómo se interacciona o cómo se interpretan datos abstractos complejos (e.g., grafos), sino también cómo se visualizan históricos de cambios. Mediante el registro de cambios realizados sobre una visualización, es posible ahondar en la comprensión del proceso de sensemaking, proceso por el cual los analistas extraen conclusiones a través de un procedimiento de creación de hipótesis, búsqueda de respuestas informadas y refinamiento de conclusiones iterativo.

Concretamente, este Trabajo Fin de Grado describe el desarrollo de una prueba de concepto de un sistema de Realidad Virtual para trabajar sobre visualizaciones de forma asíncrona. Mediante la aplicación desarrollada, un usuario puede explorar y alterar grafos de forma interactiva en primera persona, mientras sus acciones en el entorno y respecto al grafo (e.g., movimientos, creación de conexiones, etc.) se registran para poder ser posteriormente visualizadas como si se de un portal al pasado se tratase. Con esta idea de colaboración de-sincronizada, se pone el foco en permitir la trazabilidad del proceso de análisis colaborativo de forma que un analista pueda continuar el trabajo de otro donde este lo dejó, pudiendo recapitular este trabajo realizado observando el propio proceso anterior.

1.2. Objetivos

Habiendo planteado el problema que se quiere resolver con este trabajo, el presente documento recoge el proceso seguido para el desarrollo de un sistema de visualización inmersiva, en el que se graban las acciones realizadas por el usuario para una posterior demostración de éstas en el mismo espacio virtual.

El propósito principal es usar el sistema construido como un modo espectador, similar a los fantasmas de los videojuegos de carreras, para facilitar la extracción de conclusiones de una interacción de un usuario con unos datos representados en forma de grafo. De esta manera, el ámbito principal de la aplicación sería la investigación, pudiéndose ampliar su rango de acción a la colaboración asíncrona entre usuarios en un espacio de datos inmersivos.

Esta colaboración asíncrona permite trabajar con otros, o con uno mismo en el futuro, sin necesidad de coincidir en el mismo instante de tiempo. Asimismo, posibilita la creación de trazas sobre los datos, más allá de los comentarios de los analistas sobre cómo han extraído conclusiones de éstos.

1.3. Estructura del documento

Este trabajo se estructura en los siguientes apartados, cada uno recogiendo aquella información relacionada.

1. **Introducción:** proporciona al lector una visión general y presenta el contexto, la

motivación y los objetivos del trabajo.

2. **Estado del arte:** en este capítulo se muestra una investigación de la situación del ámbito del proyecto y un estudio del contexto actual de las herramientas disponibles para su implementación, proporcionando razones fundamentadas acerca de aquellas que han sido finalmente seleccionadas.
3. **Análisis:** recoge la descripción del sistema construido, especificando los requisitos y casos de uso del mismo, así como las relaciones existentes entre ellos.
4. **Diseño:** este apartado explica en detalle los componentes del sistema, como pueden ser su arquitectura o los elementos de la aplicación, entre otros.
5. **Implementación:** presenta una descripción de las partes más relevantes del código realizado para la implementación de la solución desarrollada.
6. **Plan de Pruebas:** esta sección contiene el plan de pruebas seguido para garantizar el correcto funcionamiento de la aplicación.
7. **Planificación y Presupuesto:** presenta todas las etapas del proyecto y cómo se han llevado a cabo, además del presupuesto requerido para sacar adelante el trabajo.
8. **Marco Regulatorio:** estudio de la legislación alrededor del trabajo desarrollado, entre la que pueden encontrarse leyes aplicables o licencias que afecten al uso del sistema.
9. **Entorno socioeconómico:** resalta la importancia y las posibles implicaciones del trabajo realizado en la sociedad y la economía.
10. **Conclusiones:** en este apartado se realiza una retrospectiva del proyecto, destacando la experiencia personal del autor y analizando posibles líneas a seguir como continuación del trabajo realizado.

2. ESTADO DEL ARTE

El presente apartado proporciona una introducción a la Realidad Virtual y sus tecnologías relacionadas. También recoge la investigación acerca de la situación actual del Análisis de datos Inmersivo, así como los avances llevados a cabo para la colaboración en este tipo de sistemas. Además, se detallarán aquellas herramientas que se pueden emplear para el desarrollo del proyecto. Por último, se concluirá señalando las que han sido finalmente seleccionadas para el desarrollo del trabajo y se destacará cuál es el nicho de investigación que se aborda.

2.1. Tecnologías Inmersivas

La Realidad Virtual se refiere a un entorno en el que el usuario se encuentra completamente inmerso en un mundo totalmente sintético, siendo capaz de interactuar con él [1].

Normalmente, esta tecnología se usa a través de *Head-Mounted Displays* (HMDs), que inherentemente proporcionan al usuario la experiencia de estar dentro del mundo virtual [1]. Otra forma de emplear la Realidad Virtual, aunque es menos común su utilización [2], son las *Cave Automatic Virtual Environments* (CAVEs), que son salas de forma cúbica que hacen uso del suelo, techo y paredes como pantallas de proyección, generando de esta forma un entorno altamente inmersivo [3].

Esta tecnología tiene numerosos usos, uno destacable entre ellos es su potencial para crear experiencias virtuales como sustitución a otros ambientes, al tener la posibilidad de trasladar al usuario a otro espacio sin restricciones. Un ejemplo de ello es el turismo [4], reemplazando el viaje a otros lugares del mundo por una experiencia en un sistema que simule el lugar deseado.

Dentro del ámbito de la Realidad Virtual, Milgram y Kishino identificaron diferentes tecnologías relacionadas bajo el término de Realidad Mixta (*Mixed Reality*), que combina elementos del mundo real con elementos virtuales en un punto intermedio del continuo de virtualidad, que abarca desde lo totalmente real hasta lo completamente virtual [1].

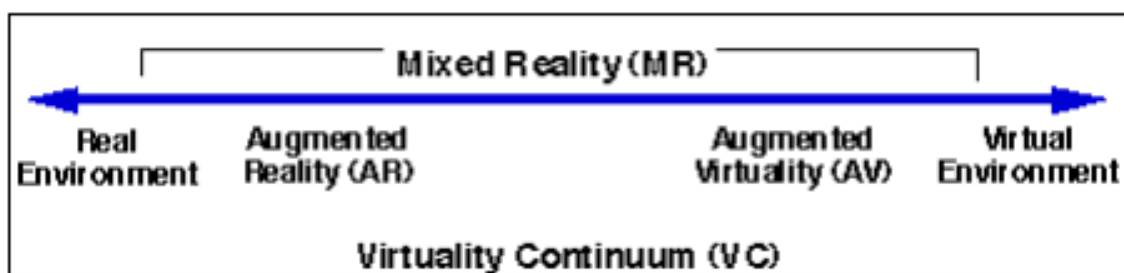


Fig. 2.1. Representación Realidad Mixta - Continuo de virtualidad [1]

En este continuo de virtualidad, se encuentra la representación más cercana al entorno real y, probablemente, más conocida, la Realidad Aumentada (*Augmented Reality*). Este tipo de visualización aumenta, mediante la adición de objetos virtuales generados por ordenador, un entorno que de otro modo sería real [1].

Por su parte, la Realidad Aumentada, de la misma forma que sucede con la virtual, puede emplearse a través de HMDs como lo son las gafas *Microsoft HoloLens*, que permiten a los usuarios ver contenido digital en el mundo real e interactuar con él [5]. Sin embargo, también son comunes aplicaciones que hacen uso de esta tecnología en teléfonos móviles o tabletas [6], alejándose de esta forma de la perspectiva del propio usuario y proponiendo un modelo de visualización exocéntrico.

Al complementar a la realidad, es de utilidad en contextos donde es relevante permitir la interacción con elementos del mundo real mientras se trabaja con un sistema de Realidad Aumentada, lo que hace que no se pierda la referencia externa. Es por ello que se utiliza en campos como la medicina, donde se pueden encontrar, por ejemplo, sistemas que la emplean para guiar el tratamiento de tumores pélvicos [7].

2.2. Análisis Inmersivo

El recorrido seguido hasta llegar al punto de desarrollo de este documento se inicia con los orígenes de la Interacción Persona-Ordenador (*Human Computer Interaction*), un campo dedicado al diseño de la interacción entre personas y sistemas computacionales [8]. Aunque inicialmente los ordenadores se concebían solo para la resolución de cálculos complejos [9], pronto los investigadores reconocieron su potencial transformador. Este progreso se vio impulsado por mejoras en el hardware y del descubrimiento de aplicaciones para el uso cotidiano, entre las que destaca el rastreo del movimiento, que se encuentra relacionado con una interacción más natural e inmersiva con los datos [10].

Otro avance tecnológico fundamental para el Análisis Inmersivo han sido las distintas tecnologías de visualización. El progreso llevado a cabo en el desarrollo de hardware gráfico dedicado y las técnicas de renderizado en tiempo real permitieron implementar los primeros sistemas basados en Realidad Virtual, que sirvieron de base para comenzar la investigación en el Análisis Inmersivo [10].

Esto se debe a que estas tecnologías inmersivas permiten a los usuarios sumergirse en los datos, ayudando a comprender y procesar mejor la información para llegar a conclusiones y tomar decisiones, que es el objetivo general de su visualización [11]. Este proceso de razonamiento analítico y generación de conocimiento a partir de los datos es el *sensemaking* [12], un aspecto clave del presente trabajo al estar vinculado a la colaboración en este ámbito.

Además de la evolución tecnológica mencionada, el crecimiento exponencial de los datos y las comunicaciones en Internet crearon la necesidad de desarrollar técnicas más efectivas para el análisis de datos de gran extensión y complejidad [10]. Esto dio lugar a

creaciones innovadoras como la de Munzner, que presentó un prototipo de red hiperbólica 3D con el fin de solventar los requisitos del análisis de Big Data [13].

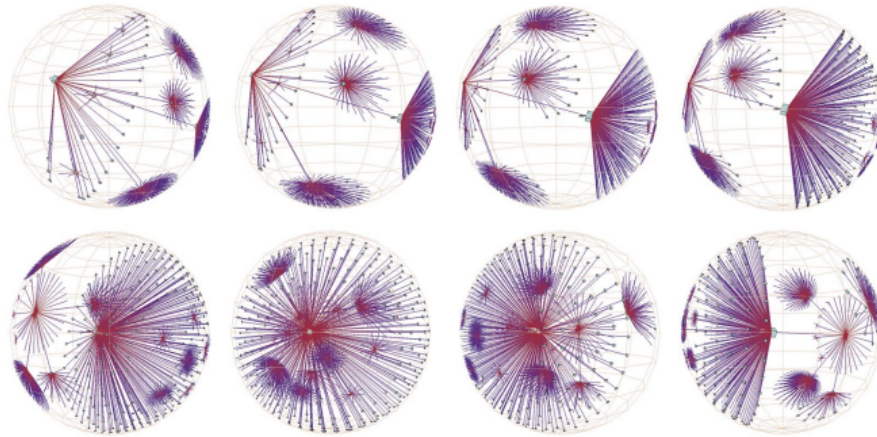


Fig. 2.2. Red Hiperbólica 3D de Munzner [13]

Toda esta innovación resultó en el término que da nombre a esta sección, el Análisis Inmersivo (*Immersive Analytics*), definido como *el uso de herramientas de análisis atractivas e incorporadas para apoyar la comprensión de datos y la toma de decisiones* [10].

Este desarrollo ha conseguido acercar el análisis de los datos a una audiencia más amplia, a nuevas generaciones y a situaciones en las que un ordenador o un portátil no son suficientes, entre otros. Además, su enorme potencial ha propiciado el acercamiento de una gran comunidad de investigadores a este campo [10]. Entre ellos, destacan Robertson, Card y McKinley, que fueron pioneros en la idea de tratar la información de forma inmersiva [14].

Una de las áreas con más investigación realizada en este ámbito es el análisis de herramientas y entornos para la presentación de visualizaciones inmersivas [15]. En esta área, se destaca el estudio de Caldarola y Rinaldi, en el que se presentan distintas técnicas y herramientas software para la visualización de conjuntos de datos extensos [16]. Otros estudios más recientes proponen entornos propios, como es el caso de Hubenschmid *et al.*, en el que se presenta *Re-Live*, un framework en el que se combina una interfaz de escritorio 2D con una visualización inmersiva 3D en Realidad Virtual [17].

La forma de la visualización de datos constituye otra de las categorías ampliamente abordadas por los investigadores. Gracias a diferentes estudios realizados, se ha podido comprobar que la combinación de múltiples técnicas de visualización en una única visualización en Realidad Virtual crea experiencias más atractivas y mejora el flujo de la información. Esto es debido a que el uso de esta tecnología crea vivencias más inmersivas, así como enfoques más precisos, gracias a que el centro de atención cambia en función del movimiento del usuario [15].

En el marco de este proyecto, se pueden encontrar investigaciones que sugieren que la presentación de la información en forma de grafos de nodos conectados entre sí en entor-

nos inmersivos tiene un enorme potencial para la mejora de la colaboración e interacción, proporcionando una mejor percepción de sus características [18]. Uno de los ejemplos de este tipo de visualización de datos es el de Drogemuller *et al.* [19], que desarrollaron un sistema de visualización de redes 3D en Realidad Virtual para estudiar la efectividad de diferentes formas de navegación para el análisis de grafos.

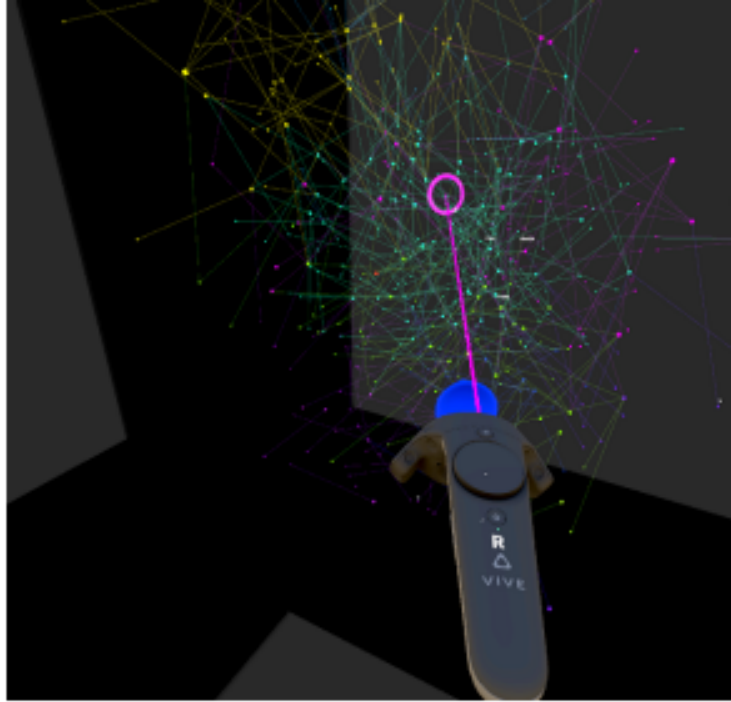


Fig. 2.3. Visualización de grafo en Realidad Virtual desarrollada por Drogemuller *et al.* [19]

También es importante conocer que, dentro de esta corriente, algunos estudios han identificado grandes desafíos sobre los que seguir construyendo, como es el caso de la extracción y la representación del conocimiento o el aprovechamiento de los diferentes canales sensoriales humanos para la interacción [20]. Además, también se han propuesto varias oportunidades de investigación en esta área, abarcando la exploración de datos a través del análisis contextualizado, la experiencia física, la colaboración, la inmersión espacial, la presentación multisensorial y la interacción. Entre estas oportunidades se destaca la colaboración, que se ha empezado a explorar más a fondo recientemente y donde solo se pueden encontrar unos pocos trabajos relacionados [21].

2.3. Análisis Inmersivo Colaborativo

La colaboración es uno de los grandes desafíos del Análisis Inmersivo [20]. En el mundo actual, en el que se están generando cada vez más y más datos, la investigación en Big Data se ha consolidado como un ámbito de interés primordial para los científicos de datos. Esto ha provocado que se busque aumentar la productividad y el rendimiento a través de mejores herramientas de visualización y exploración. En este punto es donde cobra

realmente importancia el Análisis Inmersivo, y donde su capacidad colaborativa aporta ese valor extra para los investigadores [22].

El Análisis Inmersivo Colaborativo (*Collaborative Immersive Analytics*) se define como: *El uso compartido de tecnologías de interacción inmersiva y visualización por más de una persona para apoyar el razonamiento analítico colaborativo y la toma de decisiones* [22]. Es una extensión de la visualización colaborativa, pero añadiendo el enfoque del uso de tecnologías de interacción inmersiva.

Este tipo de colaboración se puede clasificar en función del espacio (distribuidos vs. co-localizados) y en el tiempo (síncronos vs. asíncronos). Esta clasificación es fundamental para comprender el funcionamiento de los sistemas de Análisis Inmersivo Colaborativo que se presentan a continuación, y que sirven de punto de partida para el proyecto realizado.

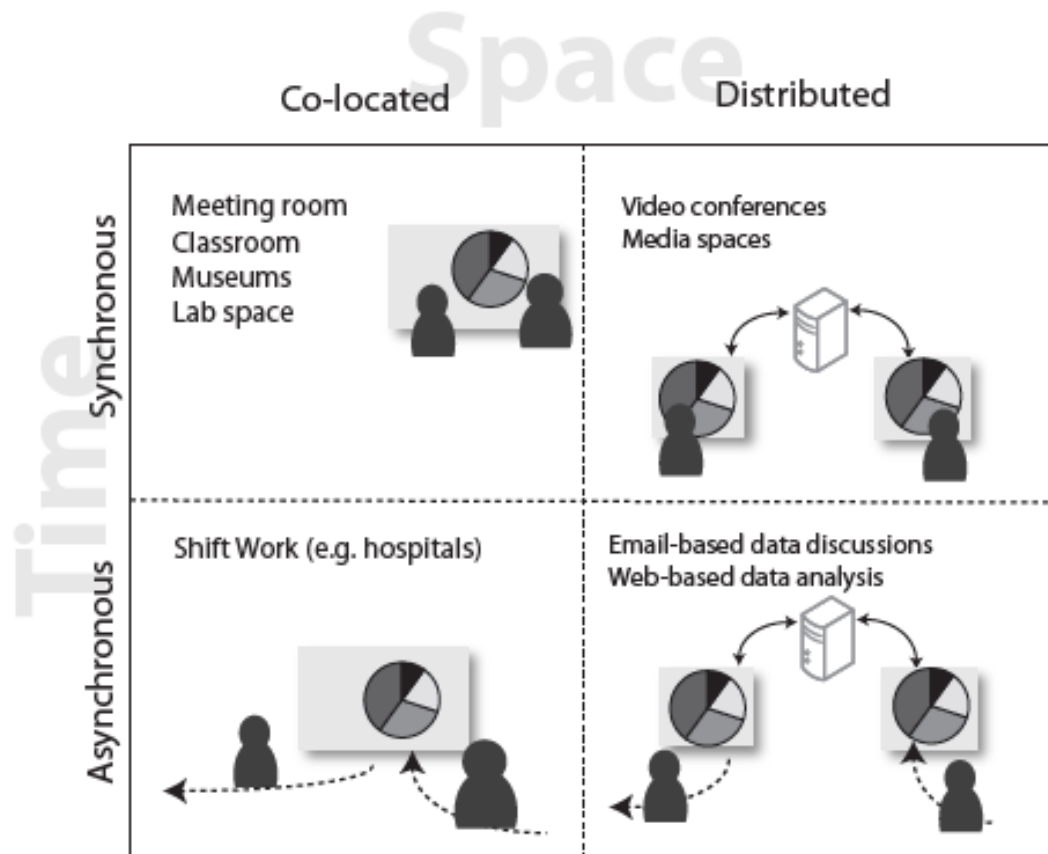


Fig. 2.4. Taxonomía Espacio-Tiempo de Visualización Colaborativa [23]

En cuanto a la colaboración síncrona co-localizada, existen varios ejemplos en los que los colaboradores trabajan al mismo tiempo y en el mismo lugar. Uno de ellos es el *Studiertube*, que aborda el uso de medios interactivos tridimensionales en un entorno donde se llevan a cabo tareas de forma simultánea [24].



Fig. 2.5. Ejemplo de uso de *Studierstube* [24]

En referencia a la colaboración síncrona distribuida, es de gran ayuda para equipos que trabajan de forma remota al mismo tiempo. Un sistema que se clasifica dentro de los de este tipo es *Hugin*, que se centra en una exploración colaborativa de datos en mesas interactivas situadas en diferentes lugares y conectadas a través de la red [25].

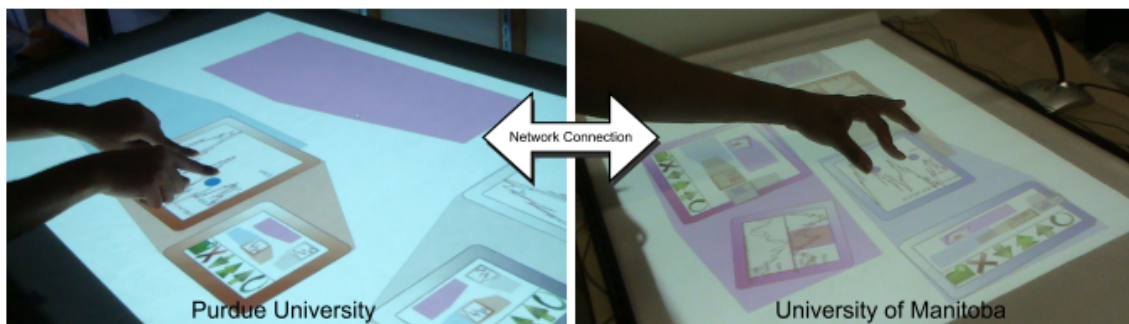


Fig. 2.6. Ejemplo de uso de *Hugin* [25]

En relación con la clasificación en la que se encuentra recogido este proyecto, la colaboración asíncrona, es un área en la que no se han llevado a cabo muchos estudios, dado que la mayoría de las investigaciones se han centrado en la implementación de sistemas para uso de manera simultánea. Además, los pocos estudios encontrados están más enfocados en la parte de colaboración que en la visualización de los datos de manera inmersiva [22].

Entre estos estudios destaca el realizado por Ying Yang *et al.* [26], en el que se compara el proceso de sensemaking y colaboración en tareas de organización de imágenes en Realidad Virtual y en escritorios convencionales. También presenta una herramienta de análisis que captura los comportamientos de los usuarios en entornos colaborativos.

Uno de los primeros sistemas de colaboración asíncrona para análisis de datos de forma

distribuida es *ManyInsights*, una plataforma web que permite a los usuarios recopilar información a partir de estudios previos generando una visualización automática, cambiar la visualización para reflejar sus objetivos y anotaciones, o preservar y compartir sus enfoques para su uso futuro por otros colaboradores [27]. A pesar de proporcionar funcionalidades similares a las del sistema implementado en este proyecto, su principal diferencia es el hecho de que la visualización de los datos no se produce de manera inmersiva.

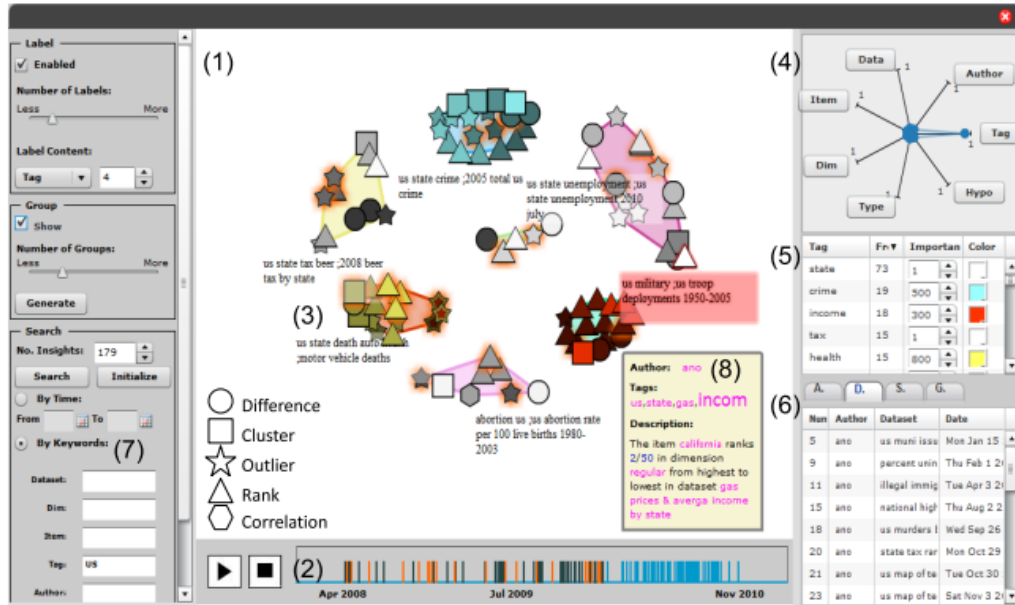


Fig. 2.7. Interfaz de *ManyInsights* [27]

Otro ejemplo de un sistema de colaboración asíncrona, pero esta vez añadiendo el uso de forma co-localizada al uso de forma distribuida, es *The Notification Collage*. Se trata de un sistema diseñado para el trabajo en grupo centrado en la publicación de elementos multimedia en una superficie colaborativa que puede ser consultada en tiempo real o posteriormente [28]. Esta aplicación aporta la colaboración asíncrona, pero, al igual que sucedía con *ManyInsights*, no permite una visualización inmersiva y, además, no está directamente relacionada con el análisis de datos, sino que simplemente se trata de un tablero donde compartir cualquier tipo de información, especialmente elementos multimedia.



Fig. 2.8. Interfaz de *The Notification Collage* [28]

El área del Análisis Inmersivo Colaborativo está en pleno crecimiento, pero queda mucho por explorar. Entre los grandes desafíos que se deberán enfrentar en este campo destacan principalmente el aprendizaje de los usuarios para emplear este tipo de tecnología, la colaboración en plataformas distintas o la integración con las prácticas de colaboración actual [20]. Es por esto que se espera que proyectos como este ayuden a la mejora en este ámbito, además de motivar a indagar en este tema, cuya relevancia en la actualidad ha sido comentada también por otros investigadores [21].

En definitiva, este trabajo aborda la posibilidad de crear un entorno de colaboración para el Análisis Inmersivo Colaborativo, que pueda competir con el presencial o síncrono, o complementarlo, proporcionando funcionalidades que van más allá de replicar lo que ya se puede llevar a cabo haciendo uso de métodos tradicionales de análisis de datos.

2.4. Herramientas Inmersivas

En el ámbito del Análisis Inmersivo se ha trabajado con una amplia gama de tipos de visualización y diseños para representar los datos [21]. Dentro de estas visualizaciones, gracias a los recientes avances tecnológicos, emerge la Realidad Virtual como modo de presentación, facilitando la manipulación y el estudio gracias a las ventajas de los entornos 3D [15].

Para el desarrollo de aplicaciones de Realidad Virtual, es importante investigar acerca de los dispositivos disponibles en el mercado para su utilización, así como las diferentes tecnologías preparadas para la creación de estos entornos inmersivos. Es por esto que este subapartado recoge el estudio realizado en estas dos áreas.

2.4.1. Dispositivos de Realidad Virtual

Para sumergirse en un entorno de Realidad Virtual es necesario hardware específico. En la mayoría de las ocasiones, este hardware se suele reducir a gafas de Realidad Virtual junto con sus mandos, aunque también es posible añadir otro tipo de sensores para distintas partes del cuerpo como los pies y, de esta manera, aumentar el grado de inmersión del usuario en el mundo virtual.

Dadas las características de la aplicación a desarrollar en el presente proyecto, únicamente se estudiaron diferentes opciones de gafas de Realidad Virtual disponibles en el mercado.

Las distintas alternativas que se han contemplado comparten la compatibilidad con los ordenadores y con la creación de aplicaciones para ellas. Teniendo esto en cuenta, se consideraron las siguientes opciones:

- Meta Quest 3: Gafas desarrolladas por la empresa Meta. Cuenta con una pantalla de 2064x2028 píxeles por ojo y una tasa de refresco de 90Hz. Además, dispone de un almacenamiento de 128GB, 8GB de RAM y una autonomía de entre 1,5 y 2,4 horas en función de su uso. Están acompañadas de 2 controladores con sistema háptico. Destacan por su facilidad de conexión con el ordenador a través de un cable USB-C y por su servicio *Meta Quest Developer Hub*, de gran ayuda para el desarrollo de aplicaciones para este dispositivo. Además, permite su uso sin conexión directa con un ordenador [29].



Fig. 2.9. Gafas Meta Quest 3

- HTC VIVE Focus 3: Se trata de una de las gafas más potentes del mercado, como demuestra su precio, bastante más elevado que el de la anterior opción. Dispone de una pantalla de 2448x2448 píxeles por ojo y 90Hz de tasa de refresco. Una de sus mayores ventajas es su alta conectividad, pudiendo conectarse mediante USB-C, Bluetooth o WiFi [30].



Fig. 2.10. Gafas HTC VIVE Focus 3

- HP Reverb G2 VR3000: Ofrece una pantalla de 2160x2160 píxeles por ojo e idéntica tasa de refresco a las anteriores opciones. Sin embargo, a diferencia de las comentadas anteriormente, únicamente pueden ser utilizadas conectadas a un ordenador, lo que hace que su grado de usabilidad sea peor. Una ventaja que presentan es su compatibilidad con Windows Mixed Reality [31].



Fig. 2.11. Gafas HP Reverb G2 VR3000

- PICO 4: Dispone de una pantalla de 2160x2160 píxeles y de la misma tasa de refresco que el resto, 90Hz. Destacan sus características de 8GB de RAM y 128GB de almacenamiento y su gran comodidad para un precio asequible en comparación con otras opciones. Además, cuenta con varias opciones de conectividad como WiFi o Bluetooth [32].



Fig. 2.12. Gafas PICO 4

Con el fin de realizar una mejor comparativa de estos dispositivos, se hace uso de una tabla en la que se recogen sus características principales. Con esta tabla se trata de mostrar aquellos aspectos destacables de cada una de las gafas de Realidad Virtual.

	Meta Quest 3	HTC VIVE Focus 3	HP Reverb G2 VR3000	PICO 4
Precio	549,99€	1549,01€	898,00€	339,95€
Resolución	2064x2028	2448x2448	2160x2160	2160x2160
Tasa de refresco	90Hz	90Hz	90Hz	90Hz
Almacenamiento	128GB	128GB (ampliable)	No tiene	128GB
RAM	8GB	8GB	No tiene	8GB
Conexión con PC para uso	No	No	Sí	No

TABLA 2.1. COMPARATIVA GAFAS DE REALIDAD VIRTUAL

Como se puede ver en esta tabla, todas estas gafas comparten ciertas especificaciones. Dada la naturaleza del proyecto a desarrollar, las especificaciones más relevantes son el precio y la necesidad de conexión a un ordenador para su uso. Por lo tanto, aquellas opciones más interesantes son las Meta Quest 3 o las PICO 4.

2.4.2. Motores de Desarrollo

A la hora de desarrollar un proyecto de estas características, se necesita una herramienta muy específica. Este es el caso de los motores de desarrollo de videojuegos. Éstos permiten la creación de escenas en 3D o 2D, configuración de físicas, selección de controles, ... y todo lo que conlleva la implementación de un videojuego. Todas estas son características significativas de un sistema de Realidad Virtual. Es por esto que la elección de un motor de desarrollo adecuado es una de las decisiones clave de este trabajo.

En la actualidad, existen un gran número de distintos motores de desarrollo. Sin embargo, este estudio se centra en dos de ellos, aquellos más significativos y más utilizados en la industria del videojuego.

El primero de ellos es *Unreal Engine 5*, la última versión del motor desarrollado por la empresa Epic Games. Es considerado como la herramienta de creación 3D más avanzada del mundo, permitiendo no sólo desarrollar videojuegos, sino que también crear escenas cinematográficas. Por tanto, una de sus principales características es su versatilidad, posibilitando el desarrollo para ordenador, consolas, dispositivos móviles y Realidad Virtual. Por otro lado, su código fuente está desarrollado en C++, por lo que es posible optimizar al máximo las aplicaciones llevadas a cabo con este sistema.

Entre sus desventajas, destacar que en general este motor es de pago, aunque existe una versión gratuita para estudiantes, que sería la seleccionada para este proyecto. También

es relevante considerar que, dada su enorme potencia, será necesario un equipo igual de potente para garantizar una experiencia satisfactoria durante el desarrollo [33].

Entre los videojuegos más destacados desarrollados con esta tecnología emerge *Fortnite*, videojuego franquicia de la empresa creadora de este motor de desarrollo. En cuanto a los sistemas de Realidad Virtual que emplean este motor, sobresale *Metro Awakening*, un juego de disparos en primera persona de la empresa Vertigo Games.



Fig. 2.13. Imagen videojuego *Fortnite*

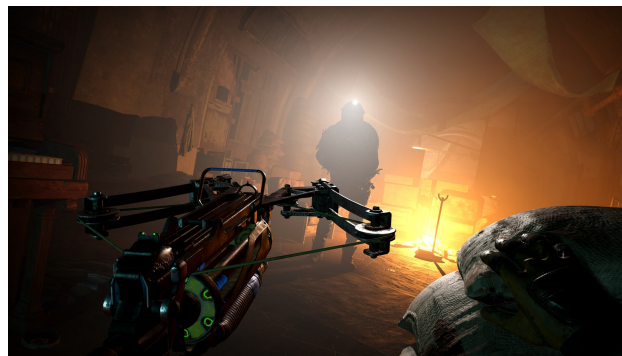


Fig. 2.14. Imagen videojuego *Metro Awakening*

La otra herramienta considerada es *Unity 3D*, creado por la empresa Unity Technologies y que inicialmente fue lanzada exclusivamente para el desarrollo de juegos para Mac OS. Sin embargo, en la actualidad da libertad para la selección de plataforma, permitiendo por tanto el desarrollo de aplicaciones de Realidad Virtual. Este motor destaca por su facilidad de aprendizaje en comparación con otros motores más complejos, dada la documentación de apoyo proporcionada por la propia empresa propietaria de la tecnología. Está basado en C# y facilita la creación de archivos que implementen desde funcionalidades básicas hasta las más complejas del sistema.

Cuenta con una versión gratuita de uso personal, pudiéndose elegir también una versión profesional con mejores características. Asimismo, en comparación con el motor *Unreal Engine 5*, *Unity 3D* no dispone de tanta potencia de gráficos, haciendo que las características necesarias para utilizarlo sean menos exigentes. De esta forma, se trata de una opción generalmente más accesible [34].

También se debe mencionar su comunidad, en la que se pueden encontrar librerías y elementos *open source*, y su compatibilidad con todo tipo de plataformas, características que facilitan su uso en la investigación.

Algunos de los videojuegos más exitosos desarrollados con *Unity 3D* son *Fall Guys*, de consola y PC; y *Batman: Arkham Shadow*, de Realidad Virtual. El primero de ellos es un juego multijugador en el que 32 jugadores compiten en diferentes minijuegos hasta que queda un único ganador. En cuanto al segundo, es un videojuego de acción y aventuras basado en el universo del famoso personaje Batman.



Fig. 2.15. Imagen videojuego *Fall Guys*



Fig. 2.16. Imagen videojuego *Batman: Arkham Shadow*

2.5. Conclusiones de la investigación

Una vez realizada la investigación en relación con el estado del arte del proyecto a desarrollar, se ha llegado a las conclusiones que se presentan a continuación. En ellas, se mencionan las alternativas que se utilizan para llevar a cabo el trabajo, y se reflexiona acerca de la singularidad del mismo.

En cuanto al dispositivo preparado para utilizar la aplicación de Realidad Virtual, se usan las gafas Meta Quest 3. Además de estar disponibles en la Universidad, disponen de características más que suficientes para un proyecto de este tipo y proporcionan herramientas para apoyar el desarrollo de aplicaciones.

El motor de desarrollo empleado es finalmente *Unity 3D*. Este motor provee herramientas y plantillas para el desarrollo de sistemas de Realidad Virtual mediante el paquete *XR Interaction Toolkit* y, por otro lado, facilita la implementación de aplicaciones Android, que son el tipo de aplicaciones que se ejecutan en las gafas de Realidad Virtual elegidas. Además, debido a que el lenguaje en el que está desarrollado *Unity 3D* es C#, también se utilizó la librería *QuikGraph*, empleada para un manejo más eficiente de la información de grafos.

Para la implementación del código se estudió la viabilidad del uso de *Visual Studio Code*, que sobresale por su versatilidad y adaptabilidad a diferentes lenguajes de programación.. También se consideró *Visual Studio*, habilitado para desarrolladores de .NET y Windows y que integra inteligencia artificial como ayuda a la codificación.

Sin embargo, finalmente se ha seleccionado el entorno de desarrollo *JetBrains Rider*. Al haber elegido el motor *Unity 3D*, cuyo código se desarrolla en C#, se optó por esta opción al estar específicamente optimizado para la programación en este lenguaje. Además, permite una conexión directa con la aplicación de *Unity*, haciendo el desarrollo más rápido y productivo. También cuenta con numerosas detecciones de warnings y errores que ayudan a la implementación de un código más correcto y optimizado al máximo.

En el caso de la redacción del presente documento, se tuvieron en cuenta editores de texto tradicionales como *Microsoft Word* o *Google Docs*, aunque se ha optado por la plataforma online *Overleaf*, especializada en el desarrollo en LaTeX. Esto se debe a que la redacción de este tipo de documentos en LaTeX es mucho más rápida, al permitir establecer la configuración al principio y simplemente añadir el texto con esta configuración previa. Otra ventaja es su sencilla gestión de las referencias bibliográficas.

Mencionar también que todo el proyecto, tanto el desarrollo del código como la redacción de esta memoria, se llevó a cabo en un ordenador portátil personal, más en concreto, en un ordenador MSI GF63 THIN 10S, que cuenta con un procesador Intel Core i7 de 10^a generación, una memoria RAM de 16GB, una memoria de almacenamiento de 1TB y una tarjeta gráfica dedicada NVIDIA GeForce GTX 1650 Ti.

Para terminar, tras haber analizado el estado de la cuestión tanto del Análisis Inmersivo como de las diferentes formas de colaboración en este ámbito, se debe destacar que este proyecto aborda el desarrollo de un sistema innovador. Si bien es cierto que ya se han desarrollado sistemas que proporcionan a los usuarios la capacidad de la colaboración asíncrona, aún no se ha realizado una investigación profunda centrando esta colaboración en un entorno de visualización inmersiva de datos.

Es por esto que este trabajo trata de aportar una solución aproximada a este problema, mediante el desarrollo de una prueba de concepto que sirva de base para la implementación de una aplicación funcional que satisfaga estas necesidades.

3. ANÁLISIS

Antes de la implementación de un proyecto software, es crucial realizar un análisis previo de la aplicación. Éste se encarga de sentar las bases, describiendo cómo debe ser y qué debe cumplir el producto final.

Para ello, en primer lugar se realizará una introducción del sistema, explicando qué ofrece y qué se espera del mismo, para después indagar en sus diferentes requisitos y casos de uso. Para terminar, se estudiará la conexión entre estos requisitos y casos de uso a partir de matrices de trazabilidad.

3.1. Descripción del proyecto

El sistema desarrollado es una aplicación de Realidad Virtual, preparada para utilizarse específicamente en unas gafas Meta Quest 3. El objetivo de esta aplicación es proporcionar una herramienta de análisis inmersivo de datos en la que puedan estudiarse posteriormente estas investigaciones a partir de una grabación de la interacción realizada sobre un grafo que represente los datos a analizar.

La aplicación consta de dos funcionalidades clave: la interacción del usuario con el grafo y la posterior visualización de las grabaciones llevadas a cabo. Una vez iniciada la aplicación, el usuario elegirá entre estas características y se le presentará la pantalla en la que se desarrollará cada una de las acciones.

En la pantalla de interacción con los datos, el usuario dispondrá de una interfaz en la que seleccionará con qué grafo o instancias del grafo quiere trabajar. Cabe destacar que se podrán tratar las interacciones con los grafos como ramas de un repositorio de *GitHub*, en las que el usuario puede continuar con una interacción realizada previamente y almacenada.

Cuando se seleccione el grafo con el que se quiere interactuar, éste se construirá automáticamente sobre la escena, permitiendo al usuario sentir que se encuentra dentro de los datos, facilitando de esta forma su análisis. Se podrán realizar acciones sobre el grafo como añadir nuevos nodos, añadir una nueva conexión o visualizar la información de un nodo. En el momento en el que el usuario dé por finalizada su interacción, se guardarán tanto los pasos seguidos durante la interacción como el estado final del grafo.

Para visualizar las grabaciones almacenadas, el usuario deberá seleccionar esta opción al inicio de la aplicación. En esta pantalla, aparecerá una interfaz en la que el usuario podrá seleccionar la grabación a mostrar. Durante esta visualización, se podrá personalizar la experiencia observando la interacción desde un punto fijo o viendo lo que veía el usuario mientras se realizaba la interacción, adelantando o atrasando la grabación o deteniéndola de forma temporal o definitiva.

Cabe destacar que la aplicación final desarrollada es un prototipo que representa una fase inicial de la idea. Es por esto que su capacidad de tratamiento de grandes cantidades de datos es limitada, pudiéndose interactuar con grafos de alrededor de 10 nodos como máximo sin verse reducido el rendimiento. Asimismo, los datos utilizados dentro del sistema han sido generados como ejemplo; no son datos reales.

Además, la aplicación únicamente está preparada para funcionar dentro de un único dispositivo, sobre el que se llevan a cabo las grabaciones y donde se pueden visualizar posteriormente. De esta manera, la colaboración se ve limitada a disponer de las mismas gafas con las que se interactuó con el grafo sobre el que se quieren consultar las conclusiones obtenidas.

3.2. Requisitos de Usuario

A continuación, se definen los requisitos de usuario del sistema. Estos requisitos tratan de mostrar las necesidades, expectativas y preferencias de las personas que utilizarán la aplicación desarrollada [35]. Éstos tienen especial relevancia, pues su definición dictará cómo emplearán los usuarios el producto final.

Este tipo de requisitos se divide en dos grupos con el fin de proporcionar una estructura organizada y facilitar su posterior validación. Estos grupos son los siguientes:

- **Funcionales o de Capacidad.** Definen las funcionalidades específicas y las acciones que debe poder realizar el usuario.
- **No Funcionales o de Restricción.** Describen las limitaciones del usuario a la hora de usar la aplicación.

Para la definición de todos estos requisitos se utilizará una tabla como la siguiente:

ID	
Nombre	
Prioridad	
Necesidad	
Verificabilidad	
Descripción	

TABLA 3.1. PLANTILLA PARA REQUISITOS DE USUARIO

Cada uno de los campos de la tabla define una de las propiedades del requisito.

- **ID.** Identifica al requisito de manera unívoca y servirá para referenciarlo en otras partes del documento. El formato del ID será *RU-XYZ*, donde:

- *RU*: representa que es un requisito de usuario.
 - *X*: tomará un valor entre *C* si el requisito es de capacidad, o *R* si el requisito es de restricción.
 - *YY*: indica el número de requisito en formato de 2 dígitos que se irá incrementando de uno en uno de manera consecutiva.
- **Nombre.** A cada requisito se le asigna un nombre que lo resume.
 - **Prioridad.** Indica cómo de importante es el requisito y si tiene preferencia sobre otros. Tomará los valores *Alta*, *Media* o *Baja*.
 - **Necesidad.** Representa cómo de necesario es el cumplimiento del requisito. Podrá ser *Alta*, *Media* o *Baja*.
 - **Verificabilidad.** Muestra cómo de sencilla es la comprobación de que se cumple el requisito. Al igual que las dos propiedades anteriores, sus posibles valores son *Alta*, *Media* o *Baja*.
 - **Descripción.** Explicación del requisito más en detalle.

Una vez que se ha comentado cómo se realizará la especificación de estos requisitos, se presentan a continuación.

3.2.1. Requisitos de Capacidad

<i>RU-C01</i>	
Nombre	Elegir acción a realizar
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario puede elegir entre interactuar con un grafo o visualizar una grabación.

TABLA 3.2. REQUISITO DE USUARIO *RU-C01*

<i>RU-C02</i>	
Nombre	Volver a la elección de acción
Prioridad	Media
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario tiene la posibilidad de volver a la pantalla de elección de la acción a realizar.

TABLA 3.3. REQUISITO DE USUARIO *RU-C02*

<i>RU-C03</i>	
Nombre	Elegir grafo
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario es capaz de elegir el grafo con el que quiere interactuar.

TABLA 3.4. REQUISITO DE USUARIO *RU-C03*

<i>RU-C04</i>	
Nombre	Finalizar interacción
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario puede finalizar la interacción con un grafo cuando desee.

TABLA 3.5. REQUISITO DE USUARIO *RU-C04*

<i>RU-C05</i>	
Nombre	Desplazamiento por la escena
Prioridad	Media
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Descripción	El usuario es capaz de moverse por la escena con total libertad.

TABLA 3.6. REQUISITO DE USUARIO *RU-C05*

<i>RU-C06</i>	
Nombre	Visualizar información de nodo
Prioridad	Media
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario tiene la posibilidad de visualizar la información de cada nodo del grafo.

TABLA 3.7. REQUISITO DE USUARIO *RU-C06*

<i>RU-C07</i>	
Nombre	Marcar/Desmarcar nodo
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario es capaz de seleccionar o deseleccionar cualquier nodo perteneciente al grafo.

TABLA 3.8. REQUISITO DE USUARIO *RU-C07*

<i>RU-C08</i>	
Nombre	Añadir nodo
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario puede añadir un nuevo nodo al grafo sobre el que interacciona.

TABLA 3.9. REQUISITO DE USUARIO *RU-C08*

<i>RU-C09</i>	
Nombre	Eliminar nodo
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Descripción	Cuando interactúa con un grafo, el usuario es capaz de eliminar cualquiera de sus nodos.

TABLA 3.10. REQUISITO DE USUARIO *RU-C09*

<i>RU-C10</i>	
Nombre	Añadir arista
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Descripción	En la interacción con un grafo, el usuario puede crear una nueva arista entre dos nodos.

TABLA 3.11. REQUISITO DE USUARIO *RU-C10*

<i>RU-C11</i>	
Nombre	Eliminar arista
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario es capaz de eliminar una arista que une dos nodos de un grafo con el que está interaccionando.

TABLA 3.12. REQUISITO DE USUARIO *RU-C11*

<i>RU-C12</i>	
Nombre	Cambiar posición nodo
Prioridad	Baja
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario tiene la posibilidad de cambiar la posición de los nodos del grafo en la escena.

TABLA 3.13. REQUISITO DE USUARIO *RU-C12*

<i>RU-C13</i>	
Nombre	Elegir grabación
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Descripción	Antes de comenzar a ver una grabación, el usuario puede elegirla.

TABLA 3.14. REQUISITO DE USUARIO *RU-C13*

<i>RU-C14</i>	
Nombre	Visualizar en primera persona
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario es capaz de ver lo que veía el otro usuario durante la grabación que está viendo.

TABLA 3.15. REQUISITO DE USUARIO *RU-C14*

<i>RU-C15</i>	
Nombre	Visualizar en tercera persona
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario es capaz de ver desde una perspectiva externa la grabación.

TABLA 3.16. REQUISITO DE USUARIO *RU-C15*

<i>RU-C16</i>	
Nombre	Parar la visualización
Prioridad	Baja
Necesidad	Baja
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario puede parar la visualización en cualquier momento.

TABLA 3.17. REQUISITO DE USUARIO *RU-C16*

<i>RU-C17</i>	
Nombre	Finalizar la visualización
Prioridad	Baja
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario es capaz de dejar de ver la grabación en cualquier instante.

TABLA 3.18. REQUISITO DE USUARIO *RU-C17*

<i>RU-C18</i>	
Nombre	Adelantar la visualización
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Descripción	Durante la visualización, el usuario puede adelantar la grabación.

TABLA 3.19. REQUISITO DE USUARIO *RU-C18*

<i>RU-C19</i>	
Nombre	Atrasar la visualización
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario tiene la posibilidad de atrasar la grabación mientras la ve.

TABLA 3.20. REQUISITO DE USUARIO *RU-C19*

3.2.2. Requisitos de Restricción

<i>RU-R01</i>	
Nombre	Uso de gafas de Realidad Virtual
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario sólo puede usar la aplicación mediante gafas de realidad virtual compatibles.

TABLA 3.21. REQUISITO DE USUARIO *RU-R01*

<i>RU-R02</i>	
Nombre	Elegir desde pantalla inicial
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario únicamente es capaz de elegir entre visualizar una grabación o interactuar con un grafo desde la pantalla inicial del sistema.

TABLA 3.22. REQUISITO DE USUARIO *RU-R02*

<i>RU-R03</i>	
Nombre	Elegir grafo existente
Prioridad	Media
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Descripción	Sólo se podrá elegir entre los grafos existentes.

TABLA 3.23. REQUISITO DE USUARIO *RU-R03*

<i>RU-R04</i>	
Nombre	Añadir un nodo cada vez
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Descripción	El usuario sólo puede añadir nodos de uno en uno al grafo.

TABLA 3.24. REQUISITO DE USUARIO *RU-R04*

<i>RU-R05</i>	
Nombre	Borrar nodo
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Descripción	El usuario únicamente puede borrar de uno en uno los nodos que pertenecen al grafo con el que se interactúa.

TABLA 3.25. REQUISITO DE USUARIO *RU-R05*

<i>RU-R06</i>	
Nombre	Añadir arista entre nodos del grafo
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Descripción	El usuario sólo es capaz de crear una conexión entre dos nodos que pertenecen al grafo con el que se está interaccionando.

TABLA 3.26. REQUISITO DE USUARIO *RU-R06*

<i>RU-R07</i>	
Nombre	Borrar arista
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Descripción	El usuario únicamente puede eliminar una arista que pertenece al grafo con el que se interacciona.

TABLA 3.27. REQUISITO DE USUARIO *RU-R07*

<i>RU-R08</i>	
Nombre	Guardar grabación
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Descripción	El usuario sólo puede guardar una grabación después de interactuar con un grafo.

TABLA 3.28. REQUISITO DE USUARIO *RU-R08*

<i>RU-R09</i>	
Nombre	Visualizar información de nodo del grafo
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Media
Descripción	El usuario únicamente es capaz de ver la información de un nodo que pertenece al grafo con el que interactúa.

TABLA 3.29. REQUISITO DE USUARIO *RU-R09*

3.3. Requisitos de Software

A diferencia de los requisitos de usuario, centrados en aquello que pueden hacer las personas con el sistema, los requisitos de software detallan qué debe hacer y cómo debe hacerlo la aplicación final, en concreto, cuáles son sus características, funciones y restricciones [36]. Estos requisitos están influenciados por los de usuario, y son una continuación de éstos, por lo que deben guardar una relación entre ellos.

De igual forma que sucede con los anteriores requisitos, los de software también pueden dividirse en los mismos grupos, añadiéndose a éstos uno nuevo.

- Funcionales o de Capacidad. Describen qué funcionalidades y características debe tener el software.
- No Funcionales o de Restricción. Definen las distintas cualidades y restricciones que debe cumplir la aplicación.
- De Sistema. Se centran en cómo debe funcionar el software para lograr una ejecución eficiente y confiable.

Con el fin de una definición comprensible de estos requisitos, también se presenta una tabla a modo de plantilla.

ID	
Nombre	
Prioridad	
Necesidad	
Verificabilidad	
Relación	
Descripción	

TABLA 3.30. PLANTILLA PARA REQUISITOS DE SOFTWARE

Las distintas propiedades de esta tabla representan lo siguiente:

- **ID.** Es un identificador único del requisito. Su formato será *RS-XYZ*, donde:
 - *RS*: indica que es un requisito de software.
 - *X*: será una letra entre *C* si el requisito es de capacidad, *R* si el requisito es de restricción o *S* si el requisito es de sistema.
 - *YZ*: representa un contador de los requisitos, que vendrá dado por un número de 2 dígitos.
- **Nombre.** Resumen breve del requisito.
- **Prioridad.** Valora la importancia del requisito y su preferencia sobre el resto. Sus posibles valores son *Alta*, *Media* o *Baja*.
- **Necesidad.** Indica la relevancia del cumplimiento del requisito. Tomará valores entre *Alta*, *Media* o *Baja*.
- **Verificabilidad.** Representa la dificultad de constatar que el requisito se cumple. Podrá ser *Alta*, *Media* o *Baja*.
- **Relación.** Señala con qué requisito de usuario, representado por su identificador, tiene relación.
- **Descripción.** Explicación del requisito de manera detallada.

En las sucesivas subsecciones, se expone la especificación de los requisitos de software según la plantilla presentada.

3.3.1. Requisitos de Capacidad

<i>RS-C01</i>	
Nombre	Elegir acción a realizar
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C01</i>
Descripción	El sistema permite elegir qué acción realizar: interactuar con un grafo o ver una grabación.

TABLA 3.31. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C01*

<i>RS-C02</i>	
Nombre	Movimiento entre pantallas
Prioridad	Media
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C01, RU-C02</i>
Descripción	El sistema da la posibilidad de cambiar entre sus diferentes pantallas.

TABLA 3.32. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C02*

<i>RS-C03</i>	
Nombre	Elegir grafo
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C03</i>
Descripción	En la pantalla de interacción con grafos, se puede elegir el grafo con el que interactuar.

TABLA 3.33. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C03*

<i>RS-C04</i>	
Nombre	Explorar grafos disponibles
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Relación	<i>RU-C03</i>
Descripción	El sistema muestra todos los grafos disponibles con los que interactuar.

TABLA 3.34. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C04*

<i>RS-C05</i>	
Nombre	Comenzar interacción
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C03</i>
Descripción	El sistema permite comenzar a interactuar con cualquiera de los grafos disponibles.

TABLA 3.35. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C05*

<i>RS-C06</i>	
Nombre	Finalizar interacción
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C04</i>
Descripción	Mientras que se esté interactuando con un grafo, se puede finalizar la interacción en cualquier momento.

TABLA 3.36. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C06*

<i>RS-C07</i>	
Nombre	Desplazamiento por la escena
Prioridad	Media
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Relación	<i>RU-C05</i>
Descripción	El sistema permite el movimiento por la escena de interacción con grafos.

TABLA 3.37. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C07*

<i>RS-C08</i>	
Nombre	Visualizar información de un nodo
Prioridad	Media
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C06</i>
Descripción	El sistema permite consultar la información de cada nodo del grafo.

TABLA 3.38. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C08*

<i>RS-C09</i>	
Nombre	Agarrar un nodo
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C07, RU-C08, RU-C09, RU-C12</i>
Descripción	Durante la interacción con un grafo, es posible agarrar un nodo.

TABLA 3.39. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C09*

<i>RS-C10</i>	
Nombre	Agarrar una arista
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C10, RU-C11</i>
Descripción	El sistema da la posibilidad de agarrar una arista mientras se interactúa con un grafo.

TABLA 3.40. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C10*

<i>RS-C11</i>	
Nombre	Marcar/Desmarcar nodo
Prioridad	Baja
Necesidad	Baja
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C07</i>
Descripción	El sistema permite seleccionar o deseleccionar un nodo mientras se interacciona con un grafo.

TABLA 3.41. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C11*

<i>RS-C12</i>	
Nombre	Añadir nodo
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C08</i>
Descripción	Mientras se está interaccionando con un grafo, se puede añadir un nodo a éste.

TABLA 3.42. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C12*

<i>RS-C13</i>	
Nombre	Borrar nodo
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C09</i>
Descripción	El sistema permite borrar un nodo del grafo con el que se está interaccionando.

TABLA 3.43. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C13*

<i>RS-C14</i>	
Nombre	Añadir arista
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C10</i>
Descripción	Es posible añadir una nueva arista al grafo con el que se está interaccionando.

TABLA 3.44. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C14*

<i>RS-C15</i>	
Nombre	Borrar arista
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C11</i>
Descripción	El sistema da la posibilidad de eliminar una arista del grafo con el que se interacciona.

TABLA 3.45. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C15*

<i>RS-C16</i>	
Nombre	Mover nodo
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C12</i>
Descripción	Se puede cambiar la posición de un nodo mientras se interactúa con un grafo.

TABLA 3.46. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C16*

<i>RS-C17</i>	
Nombre	Seleccionar grabación
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C13</i>
Descripción	El sistema permite elegir una grabación para visualizar.

TABLA 3.47. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C17*

<i>RS-C18</i>	
Nombre	Explorar grabaciones disponibles
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Relación	<i>RU-C13</i>
Descripción	El sistema muestra todas las grabaciones disponibles para interactuar.

TABLA 3.48. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C18*

<i>RS-C19</i>	
Nombre	Comenzar visualización
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C13</i>
Descripción	El sistema permite comenzar la visualización de cualquiera de las grabaciones disponibles.

TABLA 3.49. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C19*

<i>RS-C20</i>	
Nombre	Interfaz de visualización
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C14, RU-C15, RU-C16, RU-C17, RU-C18, RU-C19</i>
Descripción	El sistema ofrece una interfaz para realizar diferentes acciones durante la visualización de una grabación.

TABLA 3.50. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C20*

<i>RS-C21</i>	
Nombre	Visualizar en primera persona
Prioridad	Baja
Necesidad	Baja
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C14</i>
Descripción	Durante la visualización, es posible ver exactamente lo que veía el usuario mientras se realizaba la grabación.

TABLA 3.51. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C21*

<i>RS-C22</i>	
Nombre	Visualizar en tercera persona
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C15</i>
Descripción	La grabación puede mostrarse desde un punto fijo externo.

TABLA 3.52. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C22*

<i>RS-C23</i>	
Nombre	Parar la visualización
Prioridad	Baja
Necesidad	Baja
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C16</i>
Descripción	El sistema da la posibilidad de parar la grabación en cualquier momento.

TABLA 3.53. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C23*

<i>RS-C24</i>	
Nombre	Finalizar la visualización
Prioridad	Baja
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C17</i>
Descripción	El sistema permite dejar de ver la visualización en cualquier momento.

TABLA 3.54. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C24*

RS-C25	
Nombre	Adelantar la visualización
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C18</i>
Descripción	Durante la visualización, es posible adelantar la grabación.

TABLA 3.55. REQUISITO DE SOFTWARE RS-C25

RS-C26	
Nombre	Atrasar la visualización
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-C19</i>
Descripción	El sistema da la posibilidad de atrasar la grabación mientras se está visualizando.

TABLA 3.56. REQUISITO DE SOFTWARE RS-C26

RS-C27	
Nombre	Guardar grabación
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Relación	<i>RU-C13</i>
Descripción	El sistema guarda la grabación de las acciones del usuario y sobre el grafo siempre que se finaliza una interacción con éste.

TABLA 3.57. REQUISITO DE SOFTWARE RS-C27

RS-C28	
Nombre	Guardar información del grafo
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Media
Relación	<i>RU-C03</i>
Descripción	El sistema almacena la información del grafo justo en el momento de la finalización de la interacción con el mismo.

TABLA 3.58. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-C28*

3.3.2. Requisitos de Restricción

RS-R01	
Nombre	Uso de gafas de Realidad Virtual
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-R01</i>
Descripción	El sistema únicamente puede ser utilizado con gafas de Realidad Virtual.

TABLA 3.59. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-R01*

RS-R02	
Nombre	Controles de Realidad Virtual
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-R01</i>
Descripción	Todos los controles del sistema deben estar ajustados al uso de gafas de Realidad Virtual.

TABLA 3.60. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-R02*

<i>RS-R03</i>	
Nombre	Elegir desde pantalla inicial
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-R02</i>
Descripción	El sistema únicamente permite elegir entre visualizar una grabación o interactuar con un grafo desde la pantalla inicial.

TABLA 3.61. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-R03*

<i>RS-R04</i>	
Nombre	Vuelta a la pantalla inicial
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-R02</i>
Descripción	Sólo es posible volver a la pantalla inicial desde las respectivas pantallas de interacción o visualización si no se está realizando ninguna de estas acciones.

TABLA 3.62. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-R04*

<i>RS-R05</i>	
Nombre	Elegir grafo existente
Prioridad	Media
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Relación	<i>RU-R03</i>
Descripción	Sólo se permite elegir entre grafos guardados en el sistema.

TABLA 3.63. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-R05*

<i>RS-R06</i>	
Nombre	Añadir un nodo cada vez
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Relación	<i>RU-R04</i>
Descripción	El sistema únicamente da la posibilidad de añadir nodos de uno en uno al grafo.

TABLA 3.64. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-R06*

<i>RS-R07</i>	
Nombre	Distancia para añadir un nodo
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Relación	<i>RU-R04</i>
Descripción	Para añadir un nodo al grafo, será necesario desplazarlo a una distancia de 2,5 metros desde su posición inicial.

TABLA 3.65. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-R07*

<i>RS-R08</i>	
Nombre	Borrar un nodo cada vez
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Relación	<i>RU-R05</i>
Descripción	Sólo se permite borrar los nodos pertenecientes al grafo de uno en uno.

TABLA 3.66. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-R08*

<i>RS-R09</i>	
Nombre	Añadir arista entre nodos del grafo
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Relación	<i>RU-R06</i>
Descripción	El sistema únicamente permite añadir una nueva arista entre dos nodos que pertenecen al grafo con el que se interactúa.

TABLA 3.67. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-R09*

<i>RS-R10</i>	
Nombre	Borrar arista
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-R07</i>
Descripción	Sólo se puede eliminar una arista perteneciente al grafo.

TABLA 3.68. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-R10*

<i>RS-R11</i>	
Nombre	Guardar grabación
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Relación	<i>RU-R08</i>
Descripción	El sistema permite guardar una grabación sólo después de interactuar con un grafo.

TABLA 3.69. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-R11*

<i>RS-R12</i>	
Nombre	Visualizar información de nodo del grafo
Prioridad	Media
Necesidad	Media
Verificabilidad	Media
Relación	<i>RU-R09</i>
Descripción	Sólo se muestra la información de un nodo que pertenece al grafo.

TABLA 3.70. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-R12*

3.3.3. Requisitos de Sistema

<i>RS-S01</i>	
Nombre	Aplicación de Realidad Virtual
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-R01</i>
Descripción	El sistema debe ser una aplicación de Realidad Virtual.

TABLA 3.71. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-S01*

<i>RS-S02</i>	
Nombre	Uso de <i>Unity 3D</i>
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	
Descripción	Todo el sistema está implementado haciendo uso de <i>Unity 3D</i>

TABLA 3.72. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-S02*

<i>RS-S03</i>	
Nombre	Compatibilidad con gafas de Realidad Virtual
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	<i>RU-R01</i>
Descripción	El sistema es compatible con las gafas Meta Quest 3.

TABLA 3.73. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-S03*

<i>RS-S04</i>	
Nombre	Uso independiente de ordenador
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Alta
Relación	
Descripción	La aplicación puede usarse sin necesidad de que las gafas de Realidad Virtual estén conectadas al ordenador.

TABLA 3.74. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-S04*

<i>RS-S05</i>	
Nombre	Datos inmersivos
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Relación	
Descripción	La representación de los datos en el sistema debe realizarse de forma completamente inmersiva.

TABLA 3.75. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-S05*

<i>RS-S06</i>	
Nombre	Retroalimentación continua
Prioridad	Alta
Necesidad	Alta
Verificabilidad	Media
Relación	
Descripción	El sistema siempre proporciona retroalimentación para cada acción realizada.

TABLA 3.76. REQUISITO DE SOFTWARE *RS-S06*

3.4. Casos de uso

En esta sección se presentan los casos de uso de la aplicación desarrollada. Éstos se encargan de representar las tareas que pueden realizar los usuarios mientras hacen uso del producto [37]. En primer lugar, se presenta un diagrama de casos de uso con todos ellos para una mejor comprensión de su relación y del flujo del sistema.

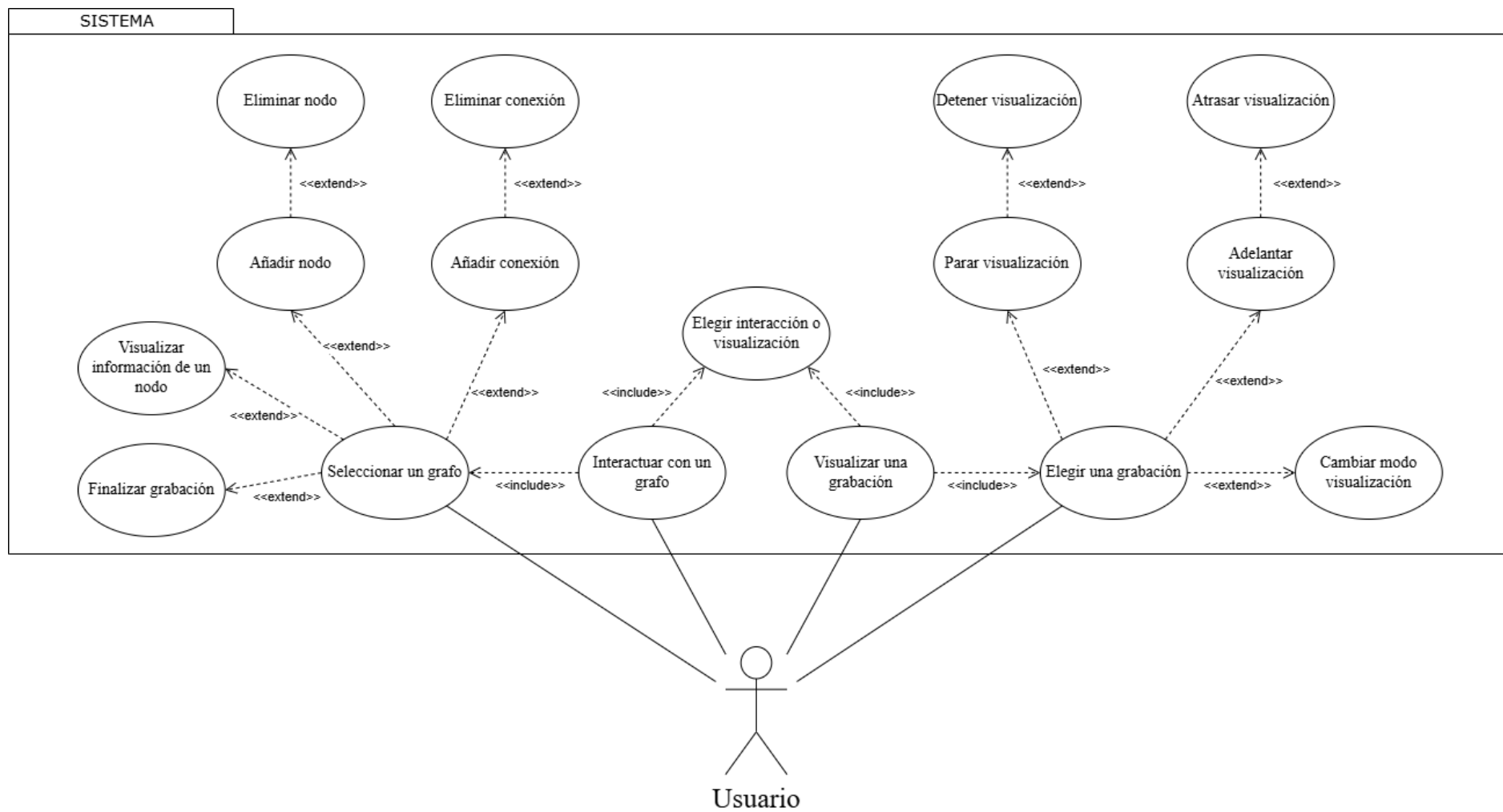


Fig. 3.1. Diagrama de Casos de Uso

Una vez que se han presentado los casos de uso al completo, se procede a una explicación más detallada de los mismos. Para ello, al igual que sucedía con los requisitos, se empleará una tabla a modo de plantilla.

ID	
Nombre	
Propósito	
Descripción General	
Relación	
Curso Típico	
Curso Alternativo	
Precondiciones	
Postcondiciones	

TABLA 3.77. PLANTILLA PARA CASOS DE USO

Cada una de las propiedades recogidas en la plantilla representan lo siguiente:

- **ID.** Se trata de un identificador unívoco del caso de uso. Seguirá el formato *CU-XX*, donde *CU* indica que se trata de un caso de uso y *XX* será un valor de dos dígitos que se irá incrementando en función del número de casos de uso.
- **Nombre.** Es un resumen del caso de uso.
- **Propósito.** Indica cuál es el motivo para llevar a cabo las acciones relacionadas con el caso de uso.
- **Descripción General.** Explica en profundidad el caso de uso.
- **Relación.** Muestra qué requisitos de usuario se encuentran relacionados con el caso de uso.
- **Curso Típico.** Presenta cuáles son los pasos a seguir más comunes para realizar el caso de uso.
- **Curso Alternativo.** Especifica otros posibles pasos para llegar al mismo resultado del caso de uso. En ocasiones, puede darse el caso de que no exista otro camino alternativo.
- **Precondiciones.** Se expone aquello que se debe cumplir antes de poder llevar a cabo el caso de uso.
- **Postcondiciones.** Detalla la respuesta del sistema tras el caso de uso.

A continuación, se explican todos los casos de uso presentados en el diagrama de forma más específica.

CU-01	
Nombre	Interactuar con un grafo
Propósito	El usuario interacciona con un grafo que representa unos datos reales para realizar su análisis.
Descripción General	Se pueden realizar diferentes interacciones sobre los elementos de un grafo presentado en la escena y que representa unos datos reales que el usuario quiere estudiar.
Relación	<i>RU-C03, RU-C05, RU-C06, RU-C07, RU-C08, RU-C09, RU-C10, RU-C11, RU-C12</i>
Curso Típico	1. El usuario elige la opción de interactuar con un grafo en la pantalla inicial. 2. En la pantalla de interacción con el grafo, el usuario selecciona aquel con el que quiere interactuar. 3. El grafo seleccionado se construye en la escena y el usuario comienza a interactuar con él.
Precondiciones	El usuario debe encontrarse en la escena de interacción con los grafos.
Postcondiciones	El usuario será capaz de realizar todas las acciones permitidas sobre el grafo.

TABLA 3.78. CASO DE USO *CU-01*

CU-02	
Nombre	Visualizar una grabación
Propósito	El usuario es capaz de ver el análisis sobre unos datos realizado por otro usuario o por él mismo.
Descripción General	Una de las principales funcionalidades de la aplicación consiste en la visualización de interacciones previas sobre los datos, consiguiendo de esta forma una colaboración asíncrona.
Relación	<i>RU-C13, RU-C14, RU-C15, RU-C16, RU-C17, RU-C18, RU-C19</i>
Curso Típico	1. El usuario elige la opción de visualizar grabaciones en la pantalla inicial. 2. En la pantalla de visualización de grabaciones, el usuario selecciona la grabación que quiere ver. 3. Se comienza a mostrar la grabación seleccionada por el usuario.
Precondiciones	El usuario debe encontrarse en la escena de visualización de grabaciones y no se debe haber seleccionado una grabación previamente.
Postcondiciones	La grabación comienza a mostrarse por pantalla y el usuario podrá realizar diferentes opciones mientras la visualiza.

TABLA 3.79. CASO DE USO CU-02

CU-03	
Nombre	Elegir interacción o visualización
Propósito	El usuario puede elegir entre las dos funcionalidades principales de la aplicación.
Descripción General	Cuando se inicia el sistema, el usuario deberá elegir entre interactuar con un grafo o visualizar una grabación.
Relación	<i>RU-C01, RU-C02</i>
Curso Típico	1. El usuario inicia la aplicación. 2. Aparece una interfaz con las dos opciones disponibles: interactuar con un grafo o visualizar una grabación. 3. El usuario elige entre estas dos funcionalidades.
Precondiciones	El usuario debe haber inicializado la aplicación.
Postcondiciones	Dependiendo de la selección del usuario, aparecerá la escena de visualización o de interacción.

TABLA 3.80. CASO DE USO *CU-03*

CU-04	
Nombre	Seleccionar un grafo
Propósito	El usuario puede elegir el grafo con el que quiere interactuar.
Descripción General	Estando en la escena de interacción con los grafos, el usuario elegirá aquel con el que quiere interactuar y comenzará esta interacción.
Relación	<i>RU-C01, RU-C03, RU-C04</i>
Curso Típico	1. El usuario elige la opción de interactuar sobre un grafo. 2. Aparece una interfaz que muestra todos los grafos disponibles con los que interactuar y el usuario elige aquel sobre el que quiere llevar a cabo la interacción. 3. Se construye en la escena el grafo elegido y comienza la grabación de la interacción. 4. El usuario comienza a interactuar con el grafo.
Curso Alternativo 1	1. El usuario está interactuando con un grafo y termina su interacción. 2. Aparece de nuevo la interfaz donde se recogen los grafos disponibles y sobre éstos, el usuario realiza su elección. 3. El grafo se construye automáticamente y se inicia una nueva grabación. 4. El usuario interacciona con el grafo.
Precondiciones	El usuario debe encontrarse en la escena de interacción con grafos y aún no debe estar interactuando con ninguno
Postcondiciones	El grafo se muestra en la escena y comienza la grabación de la interacción.

TABLA 3.81. CASO DE USO CU-04

CU-05	
Nombre	Finalizar grabación
Propósito	El usuario finaliza la grabación que posteriormente podrá ser visualizada.
Descripción General	Cuando el usuario se encuentra interactuando con un grafo y finaliza su interacción, también se guardará la grabación que se ha llevado a cabo.
Relación	<i>RU-C04</i>
Curso Típico	1. El usuario se encuentra interactuando con un grafo. 2. El usuario finaliza su interacción con el grafo y se guarda la grabación y el estado final del grafo. 3. Aparece de nuevo la interfaz para la selección de un nuevo grafo para interaccionar.
Precondiciones	El usuario debe estar interactuando sobre un grafo.
Postcondiciones	Se guarda la grabación y el estado final del grafo y se muestra de nuevo la interfaz de selección de grafo.

TABLA 3.82. CASO DE USO *CU-05*

CU-06	
Nombre	Visualizar información de un nodo
Propósito	El usuario podrá consultar la información de los nodos.
Descripción General	Mientras que se esté interactuando con el grafo, el usuario tendrá la posibilidad de consultar la información de los nodos, como su nombre, número de conexiones y fecha de creación.
Relación	<i>RU-C06, RU-C07, RU-C12</i>
Curso Típico	1. El usuario se encuentra interactuando con un grafo. 2. Decide consultar la información de un nodo. 3. Aparece una interfaz en la que se muestra esta información.
Precondiciones	El usuario debe estar interactuando con un grafo.
Postcondiciones	Aparece una interfaz que muestra toda la información del nodo.

TABLA 3.83. CASO DE USO *CU-06*

CU-07	
Nombre	Añadir nodo
Propósito	El usuario añadirá más información al grafo añadiéndole un nuevo nodo.
Descripción General	Mientras que el usuario interacciona con un grafo, añade nueva información agregándole un nuevo nodo con nuevos datos.
Relación	<i>RU-C08</i>
Curso Típico	1. El usuario se encuentra interactuando con un grafo. 2. El usuario coge un nuevo nodo y lo añade al grafo. 3. Este nuevo nodo queda añadido al grafo y se guardará cuando se finalice la interacción. Este cambio también será guardado en la grabación.
Precondiciones	El usuario debe estar en interacción con un grafo.
Postcondiciones	El nuevo nodo queda añadido al grafo y la acción se guarda en la grabación.

TABLA 3.84. CASO DE USO *CU-07*

CU-08	
Nombre	Eliminar nodo
Propósito	El usuario eliminará información del grafo que puede considerar irrelevante.
Descripción General	Mientras que el usuario se encuentre interactuando con un grafo, puede decidir eliminar información del mismo que considere que no es necesaria. Esto lo hace eliminando un nodo del grafo.
Relación	<i>RU-C09</i>
Curso Típico	1. El usuario se encuentra en interacción con un grafo. 2. Selecciona un nodo y lo elimina. 3. Este cambio se guarda en la grabación y posteriormente en el estado final del grafo.
Precondiciones	El usuario debe estar interaccionando con un grafo.
Postcondiciones	El nodo se elimina del grafo y la acción queda guardada en la grabación.

TABLA 3.85. CASO DE USO *CU-08*

CU-09	
Nombre	Añadir conexión
Propósito	En ocasiones, el usuario necesitará añadir una nueva conexión entre dos nodos.
Descripción General	En el análisis de los datos, el usuario añade nueva información agregando una nueva conexión entre dos nodos del grafo.
Relación	<i>RU-C10</i>
Curso Típico	1. El usuario está interactuando con un grafo y selecciona uno de los nodos de la nueva conexión. 2. A continuación selecciona el otro nodo con el que se conectará el anterior. 3. Se genera la nueva conexión entre los dos nodos y se guarda esta acción en la grabación.
Precondiciones	El usuario tiene que estar interactuando con un grafo.
Postcondiciones	Se crea la nueva conexión en el grafo y se graba esta nueva acción.

TABLA 3.86. CASO DE USO *CU-09*

CU-10	
Nombre	Eliminar conexión
Propósito	Al igual que puede eliminarse un nodo del grafo, también se podrá borrar información de los datos eliminando una conexión.
Descripción General	Durante la interacción con un grafo, el usuario elimina información de éste borrando una conexión entre dos nodos, quitando de esta forma la relación entre ellos.
Relación	<i>RU-C11</i>
Curso Típico	1. El usuario está interactuando con un grafo y decide eliminar una conexión entre dos nodos. 2. Selecciona aquella conexión que quiere eliminar y la borra. 3. Se guarda esta acción sobre el grafo, así como sobre la grabación.
Curso Alternativo 1	1. El usuario está en interacción con un grafo. 2. Selecciona un nodo para eliminar y lo borra. 3. La eliminación del nodo hace que se borren también todas sus conexiones.
Precondiciones	El usuario debe estar interaccionando con un grafo.
Postcondiciones	La conexión es eliminada y se guarda esta acción sobre el grafo y la grabación.

TABLA 3.87. CASO DE USO *CU-10*

CU-11	
Nombre	Elegir una grabación
Propósito	El usuario seleccionará una grabación para visualizarla.
Descripción General	Otra de las funcionalidades clave del sistema es la visualización de las interacciones sobre los datos. Para ello, el usuario elegirá aquella grabación que quiere ver.
Relación	<i>RU-C01, RU-C13</i>
Curso Típico	1. El usuario se encuentra en la pantalla de visualización de grabaciones. 2. Selecciona aquella grabación que quiere visualizar. 3. La grabación comienza a mostrarse.
Curso Alternativo 1	1. El usuario está visualizando una grabación y la detiene completamente. 2. Aparece de nuevo la interfaz donde se muestran todas las grabaciones y el usuario selecciona una nueva grabación. 3. Se muestra por pantalla la grabación seleccionada.
Curso Alternativo 2	1. El usuario está viendo una grabación y ésta finaliza. 2. Se muestra la interfaz con todas las grabaciones guardadas y el usuario elige una nueva grabación. 3. La grabación empieza a mostrarse.
Precondiciones	El usuario debe estar en la pantalla de visualización y no se está mostrando ninguna grabación.
Postcondiciones	El usuario comienza a visualizar la grabación.

CU-12	
Nombre	Cambiar modo visualización
Propósito	Durante la visualización, el usuario podrá ver desde diferentes perspectivas la grabación.
Descripción General	Dependiendo de los datos y de las acciones que se hayan realizado sobre los mismos, el usuario podrá elegir entre el modo de visualización en tercera o primera persona.
Relación	<i>RU-C14, RU-C15</i>
Curso Típico	1. El usuario se encuentra visualizando una grabación. 2. Pulsa el botón para cambiar el modo de visualización. 3. La posición de la cámara cambia y la grabación se muestra desde otra perspectiva.
Precondiciones	El usuario debe estar visualizando una grabación.
Postcondiciones	La perspectiva cambia de primera a tercera persona o de tercera a primera persona.

TABLA 3.89. CASO DE USO CU-12

CU-13	
Nombre	Adelantar visualización
Propósito	El usuario podrá adelantar la grabación para saltar aquellas partes en las que no esté interesado.
Descripción General	Durante la visualización de una grabación, el usuario adelanta la grabación para ir a las partes de ésta más relevantes de forma más rápida.
Relación	<i>RU-C18, RU-C19</i>
Curso Típico	1. El usuario está viendo una grabación. 2. Pulsa el botón para adelantar la grabación. 3. La grabación se adelanta.
Precondiciones	El usuario debe estar visualizando una grabación.
Postcondiciones	La grabación se adelanta y sigue mostrándose desde este punto.

TABLA 3.90. CASO DE USO *CU-13*

CU-14	
Nombre	Atrasar visualización
Propósito	El usuario podrá atrasar la grabación para volver a visualizar partes de la grabación.
Descripción General	Mientras que se está visualizando la grabación, el usuario atrasa la grabación para repasar de nuevo partes de ésta.
Relación	<i>RU-C18, RU-C19</i>
Curso Típico	1. El usuario está visualizando una grabación. 2. Pulsa el botón para atrasar la grabación. 3. La grabación se atrasa.
Precondiciones	El usuario debe estar viendo una grabación.
Postcondiciones	La visualización se atrasa y sigue mostrándose desde este punto.

TABLA 3.91. CASO DE USO *CU-14*

CU-15	
Nombre	Parar visualización
Propósito	En ocasiones el usuario querrá parar la visualización para analizar el estado del grafo en ese instante.
Descripción General	Mientras que se ve una grabación, el usuario para la visualización con el fin de analizar la situación y después continuar viendo la grabación.
Relación	<i>RU-C16, RU-C17</i>
Curso Típico	1. El usuario está visualizando una grabación. 2. El usuario pulsa el botón de parar la visualización. 3. La visualización se para en el punto en el que se encuentra.
Precondiciones	El usuario debe estar visualizando una grabación y ésta no debe estar ya parada.
Postcondiciones	La grabación se para en el instante en el que se pulsó el botón.

TABLA 3.92. CASO DE USO *CU-15*

CU-16	
Nombre	Detener visualización
Propósito	El usuario detiene completamente la visualización para seleccionar otra o simplemente dejar de verla.
Descripción General	Cuando se está visualizando una grabación, el usuario podrá finalizarla completamente y ésta dejará de mostrarse.
Relación	<i>RU-C16, RU-C17</i>
Curso Típico	1. El usuario se encuentra visualizando una grabación. 2. Pulsa el botón para detener completamente la visualización. 3. La visualización finaliza y aparece la interfaz donde se muestran las grabaciones.
Curso Alternativo 1	1. El usuario está viendo una grabación. 2. La grabación finaliza y se muestra de nuevo la interfaz con todas las grabaciones disponibles.
Precondiciones	El usuario tiene que estar viendo una grabación
Postcondiciones	La visualización finaliza y en la pantalla aparece otra vez la interfaz para seleccionar entre la grabaciones disponibles.

TABLA 3.93. CASO DE USO CU-16

3.5. Matrices de trazabilidad

Para dar por cerrada la sección de Análisis, se realiza un estudio de la consistencia de lo presentado a lo largo de este apartado. Para ello, se hará uso de matrices de trazabilidad que muestran las relaciones existentes entre los requisitos y los casos de uso. De esta forma, se comprueba que todo el proceso previo a la implementación del sistema sigue un flujo coherente, garantizando la calidad del producto final.

En total, se muestran tres matrices de trazabilidad. La primera de ellas expone la relación entre los requisitos de capacidad de usuario y de software. La segunda presenta cómo se relacionan los requisitos de restricción de usuario y de software. Por último, la tercera matriz recoge la relación entre los requisitos de usuario y los casos de uso.

Destacar que, en las matrices de trazabilidad, la 'X' señala que existe relación entre ambos elementos, mientras que la casilla en blanco indica que no la hay.

RU\RS	RS-C01	RS-C02	RS-C03	RS-C04	RS-C05	RS-C06	RS-C07	RS-C08	RS-C09	RS-C10	RS-C11	RS-C12	RS-C13	RS-C14	RS-C15	RS-C16	RS-C17	RS-C18	RS-C19	RS-C20	RS-C21	RS-C22	RS-C23	RS-C24	RS-C25	RS-C26	RS-C27	RS-C28
RU-C01	X	X																										
RU-C02		X																										
RU-C03			X	X	X																							X
RU-C04						X																						
RU-C05							X																					
RU-C06								X																				
RU-C07									X		X																	
RU-C08									X			X																
RU-C09									X				X															
RU-C10										X				X														
RU-C11										X					X													
RU-C12									X							X												
RU-C13																	X	X	X								X	
RU-C14																				X	X							
RU-C15																				X		X						
RU-C16																				X			X					
RU-C17																				X				X				
RU-C18																				X					X			
RU-C19																				X						X		

Fig. 3.2. Matriz de trazabilidad RU-RS de Capacidad

<i>RU \ RS</i>	<i>RS-R01</i>	<i>RS-R02</i>	<i>RS-R03</i>	<i>RS-R04</i>	<i>RS-R05</i>	<i>RS-R06</i>	<i>RS-R07</i>	<i>RS-R08</i>	<i>RS-R09</i>	<i>RS-R10</i>	<i>RS-R11</i>	<i>RS-R12</i>
<i>RU-R01</i>	x	x										
<i>RU-R02</i>			x	x								
<i>RU-R03</i>					x							
<i>RU-R04</i>						x	x					
<i>RU-R05</i>								x				
<i>RU-R06</i>									x			
<i>RU-R07</i>										x		
<i>RU-R08</i>											x	
<i>RU-R09</i>												x

Fig. 3.3. Matriz de trazabilidad RU-RS de Restricción

<i>RU \ CU</i>	<i>CU-01</i>	<i>CU-02</i>	<i>CU-03</i>	<i>CU-04</i>	<i>CU-05</i>	<i>CU-06</i>	<i>CU-07</i>	<i>CU-08</i>	<i>CU-09</i>	<i>CU-10</i>	<i>CU-11</i>	<i>CU-12</i>	<i>CU-13</i>	<i>CU-14</i>	<i>CU-15</i>	<i>CU-16</i>
<i>RU-C01</i>			X	X							X					
<i>RU-C02</i>			X													
<i>RU-C03</i>	X			X												
<i>RU-C04</i>				X	X											
<i>RU-C05</i>	X															
<i>RU-C06</i>	X					X										
<i>RU-C07</i>	X					X										
<i>RU-C08</i>	X						X									
<i>RU-C09</i>	X							X								
<i>RU-C10</i>	X								X							
<i>RU-C11</i>	X									X						
<i>RU-C12</i>	X					X										
<i>RU-C13</i>		X									X					
<i>RU-C14</i>		X										X				
<i>RU-C15</i>		X										X				
<i>RU-C16</i>		X													X	X
<i>RU-C17</i>		X													X	X
<i>RU-C18</i>		X											X	X		
<i>RU-C19</i>		X											X	X		

Fig. 3.4. Matriz de trazabilidad RU-CU

4. DISEÑO

El objetivo de esta sección es aportar una imagen general del diseño de la aplicación desarrollada. Se va a definir la arquitectura seguida, junto con una explicación de cada uno de sus componentes. Asimismo, también se desarrollan las decisiones tomadas con respecto a las diferentes interacciones y controles definidos para usar el sistema.

4.1. Arquitectura

La arquitectura seguida por la aplicación es la arquitectura en capas. Este patrón de diseño de software consiste en dividir el sistema en diferentes capas, agrupando en cada una de ellas diferentes responsabilidades y tareas relacionadas. Estas capas se organizan de forma vertical, de manera que las capas superiores y más cercanas al usuario dependen de las capas inferiores. Este modelo de arquitectura destaca por su modularidad y escalabilidad, al poderse tratar cada una de las capas de forma independiente [38]. Las diferentes capas que presenta la aplicación se comentan a continuación:

- **Capa de Presentación.** Contiene todos aquellos componentes que se encargan de presentar toda la información al usuario y controlar su interacción con el sistema.
- **Capa de Aplicación.** Se ocupa de controlar la lógica de la aplicación, interpretando la información obtenida de la capa superior y aportando la respuesta correspondiente.
- **Capa de Acceso a Datos.** Como su nombre indica, gestiona las consultas a los datos de la aplicación, así como el almacenamiento de nueva información.
- **Capa de Datos.** Al contrario del resto de capas, no es una capa de código, sino que es el lugar donde se almacenan los diferentes datos del sistema. Es por esto que puede considerarse como una capa externa a la aplicación, pero que se debe tener en cuenta en el diseño de su arquitectura.

Una vez definidas las diferentes capas de la arquitectura del sistema, se presenta un diagrama que muestra los diferentes componentes de cada una de las capas y qué relaciones existen entre ellas.

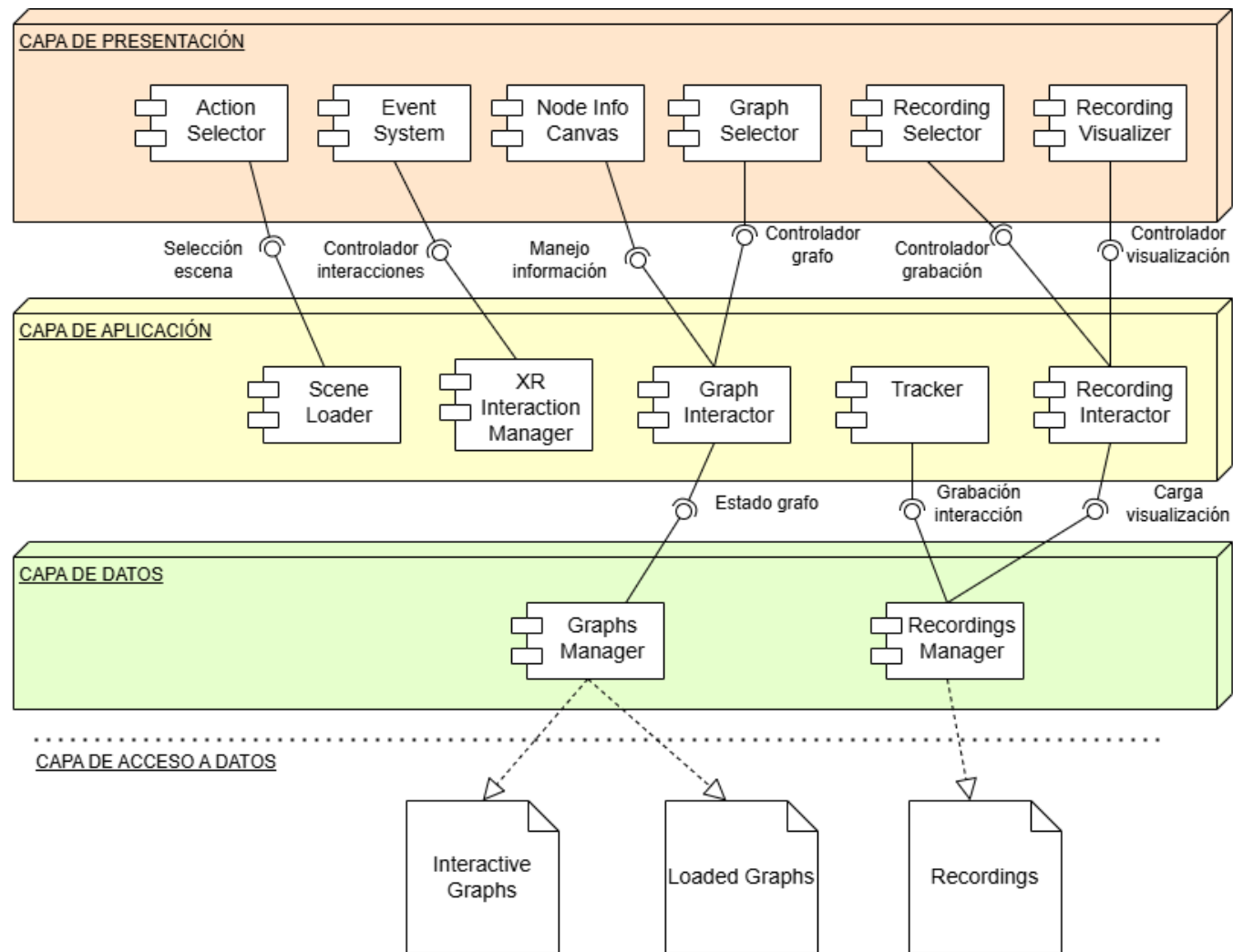


Fig. 4.1. Diagrama de Arquitectura del Sistema

4.2. Componentes del Sistema

Tras haber presentado la arquitectura junto con sus componentes, se describe cada uno de ellos, explicando su función, qué aporta al sistema y cómo es su vínculo con el resto. Para llevar a cabo esta descripción, se hará uso de una tabla como la siguiente:

ID	
Nombre	
Propósito	
Capa	
Dependencias	
Dependientes	

TABLA 4.1. PLANTILLA PARA COMPONENTES DEL SISTEMA

Los campos contenidos en la tabla representan lo siguiente:

- **ID.** Se trata de un identificador único del componente. Su formato será *C-XX*, donde la *C* indica que es un componente y *XX* representa un contador de dos dígitos de los componentes.
- **Nombre.** Es el nombre por el que se representa en el diagrama de la arquitectura presentado en la sección previa de este documento.
- **Propósito.** Explica la funcionalidad del componente, es decir, cuál es su objetivo en el sistema.
- **Capa.** Indica a qué capa de la arquitectura pertenece el componente.
- **Dependencias.** Muestra aquellos componentes de los que depende para poder llevar a cabo su propósito.
- **Dependientes.** Expone los componentes que dependen del componente.

A continuación, se expone la descripción de cada uno de los componentes.

<i>C-01</i>	
Nombre	Action Selector
Propósito	Permite que los usuarios cambien entre escenas y elijan que acción quieren realizar.
Capa	Capa de Presentación
Dependencias	<i>C-07</i>
Dependientes	

TABLA 4.2. COMPONENTE *C-01*

<i>C-02</i>	
Nombre	Event System
Propósito	Su función es proporcionar al usuario la posibilidad de interactuar con el sistema.
Capa	Capa de Presentación
Dependencias	<i>C-08</i>
Dependientes	

TABLA 4.3. COMPONENTE *C-02*

<i>C-03</i>	
Nombre	Node Info Canvas
Propósito	Presenta al usuario la información de los nodos del grafo con el que está interaccionando.
Capa	Capa de Presentación
Dependencias	<i>C-09</i>
Dependientes	

TABLA 4.4. COMPONENTE *C-03*

<i>C-04</i>	
Nombre	Graph Selector
Propósito	Componente que da la posibilidad al usuario de interactuar con el grafo que seleccione.
Capa	Capa de Presentación
Dependencias	<i>C-09</i>
Dependientes	

TABLA 4.5. COMPONENTE *C-04*

<i>C-05</i>	
Nombre	Recording Selector
Propósito	Se encarga de proporcionar al usuario la capacidad de elegir qué grabación quiere visualizar.
Capa	Capa de Presentación
Dependencias	<i>C-11</i>
Dependientes	

TABLA 4.6. COMPONENTE *C-05*

<i>C-06</i>	
Nombre	Recording Visualizer
Propósito	Componente encargado de mostrar al usuario la grabación que ha seleccionado.
Capa	Capa de Presentación
Dependencias	<i>C-11</i>
Dependientes	

TABLA 4.7. COMPONENTE *C-06*

<i>C-07</i>	
Nombre	Scene Loader
Propósito	Se encarga de cargar la escena que se debe mostrar.
Capa	Capa de Aplicación
Dependencias	
Dependientes	<i>C-01</i>

TABLA 4.8. COMPONENTE *C-07*

<i>C-08</i>	
Nombre	XR Interaction Manager
Propósito	Este componente controla las consecuencias derivadas de los diferentes eventos que provoca el usuario sobre el sistema.
Capa	Capa de Aplicación
Dependencias	
Dependientes	<i>C-02</i>

TABLA 4.9. COMPONENTE *C-08*

<i>C-09</i>	
Nombre	Graph Interactor
Propósito	Maneja las diferentes interacciones sobre el grafo en función de las acciones realizadas sobre el mismo.
Capa	Capa de Aplicación
Dependencias	<i>C-12</i>
Dependientes	<i>C-03, C-04</i>

TABLA 4.10. COMPONENTE *C-09*

<i>C-10</i>	
Nombre	Tracker
Propósito	Componente que graba todas las acciones realizadas en el sistema, tanto del usuario como sobre el grafo con el que se interacciona.
Capa	Capa de Aplicación
Dependencias	<i>C-13</i>
Dependientes	

TABLA 4.11. COMPONENTE *C-10*

<i>C-11</i>	
Nombre	Recording Interactor
Propósito	Controla la grabación desde que se selecciona y se comienza a visualizar.
Capa	Capa de Aplicación
Dependencias	<i>C-13</i>
Dependientes	<i>C-05, C-06</i>

TABLA 4.12. COMPONENTE *C-11*

<i>C-12</i>	
Nombre	Graphs Manager
Propósito	Componente que maneja la información de los grafos, tanto para almacenar nueva como para consultar la que ya está guardada.
Capa	Capa de Datos
Dependencias	<i>C-14, C-15</i>
Dependientes	<i>C-09</i>

TABLA 4.13. COMPONENTE *C-12*

<i>C-13</i>	
Nombre	Recordings Manager
Propósito	Este componente se encarga de almacenar nuevas grabaciones y cargar aquellas que ya están guardadas.
Capa	Capa de Datos
Dependencias	<i>C-16</i>
Dependientes	<i>C-10, C-11</i>

TABLA 4.14. COMPONENTE *C-13*

<i>C-14</i>	
Nombre	Interactive Graphs
Propósito	Almacena toda la información de los grafos base sobre los que puede interactuar el usuario.
Capa	Capa de Acceso a Datos
Dependencias	
Dependientes	<i>C-11</i>

TABLA 4.15. COMPONENTE *C-14*

<i>C-15</i>	
Nombre	Loaded Graphs
Propósito	Contiene toda la información de los grafos tras la interacción con los usuarios.
Capa	Capa de Acceso a Datos
Dependencias	
Dependientes	<i>C-11</i>

TABLA 4.16. COMPONENTE *C-15*

<i>C-16</i>	
Nombre	Recordings
Propósito	Guarda toda la información relacionada con las grabaciones de las interacciones.
Capa	Capa de Acceso a Datos
Dependencias	
Dependientes	<i>C-12</i>

TABLA 4.17. COMPONENTE *C-16*

4.3. Mecánicas y Controles

En esta subsección se presentan las diferentes mecánicas del sistema, es decir, cómo está construido y cómo se pretende que sea usado. De igual manera, se comentan también los controles específicos que usará el usuario para llevar a cabo las interacciones con los grafos.

En primer lugar, cuando se inicia la aplicación, aparece una pantalla donde el usuario puede elegir la acción que quiere llevar a cabo en ese momento: interactuar con un grafo o visualizar grabaciones guardadas. Se busca una interfaz sencilla, en la que el usuario pueda realizar la elección de manera rápida y sin distracciones.

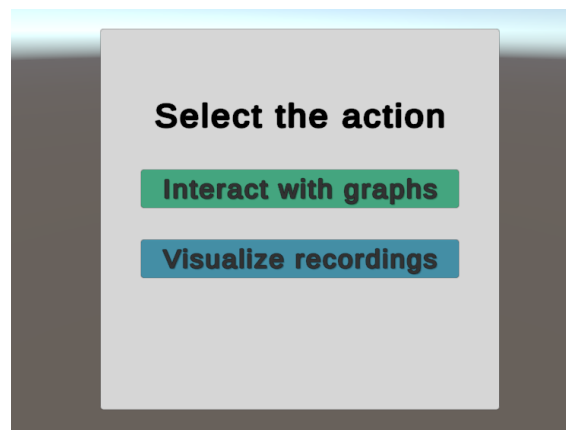


Fig. 4.2. Captura de la escena inicial

Una vez dentro de la escena donde se realizan las interacciones con los grafos, al usuario se le presenta una interfaz donde podrá elegir con qué grafo quiere interactuar. Esta interfaz también permite volver a la pantalla inicial.

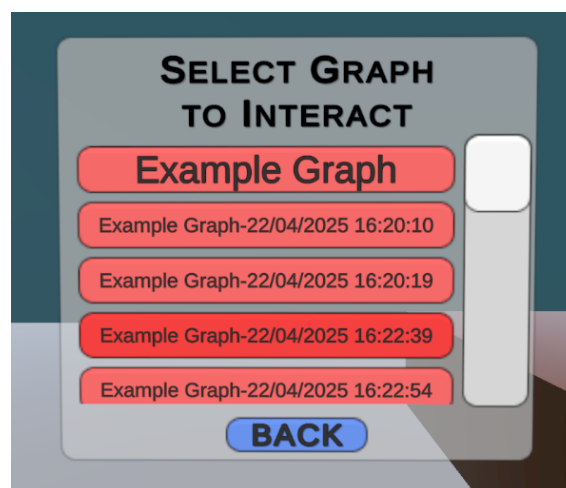


Fig. 4.3. Captura de la interfaz de selección de grafo

Cuando el usuario ya ha seleccionado el grafo con el que quiere realizar su interacción, éste se construirá sobre la escena. Para la presentación del grafo, cada nodo se representa

como una esfera y cada arista como una línea entre dos esferas. Se opta por esta representación ya que, de esta manera, se consigue que el usuario identifique claramente cada uno de los elementos del grafo y se sienta inmerso en los datos.

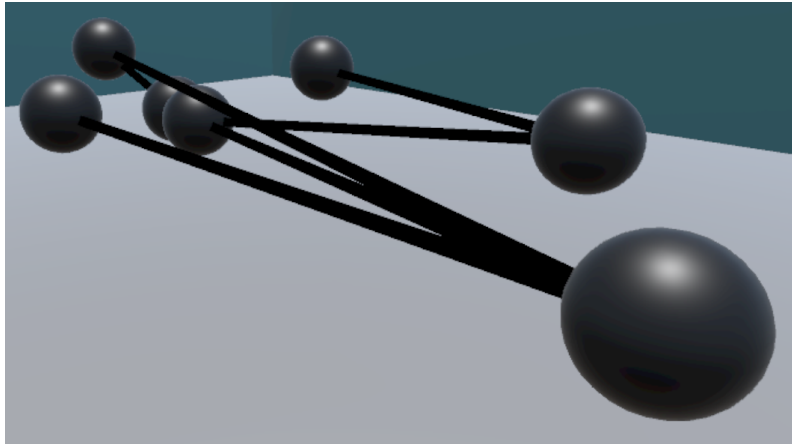


Fig. 4.4. Captura de ejemplo de grafo

En cuanto a la escena donde se pueden ver las visualizaciones, se presenta una interfaz en la que se muestran las diferentes grabaciones almacenadas en el sistema. Al igual que sucedía con la escena de la interacción con los grafos, también se permite regresar a la pantalla inicial.

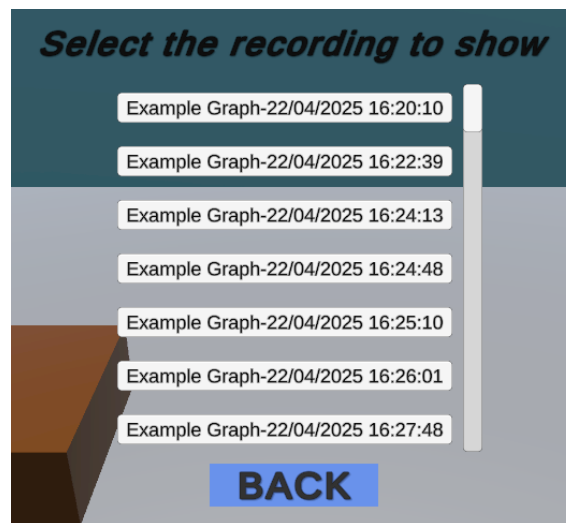


Fig. 4.5. Captura de la interfaz de selección de grabación

Durante la visualización de una grabación, aparecen diferentes opciones para el usuario. Como se ha comentado a lo largo del documento, estas opciones son para la visualización, dejar de ver la visualización definitivamente, adelantar o atrasar la visualización en 5 segundos o cambiar el modo de visualización a tercera o primera persona. Todas estas alternativas se muestran como botones al mismo tiempo que se ve la grabación.

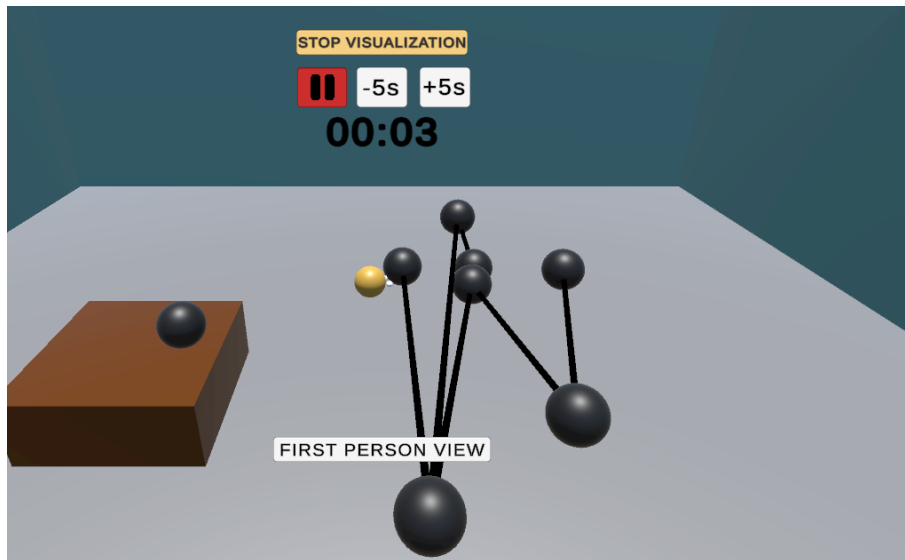


Fig. 4.6. Captura visualización en tercera persona

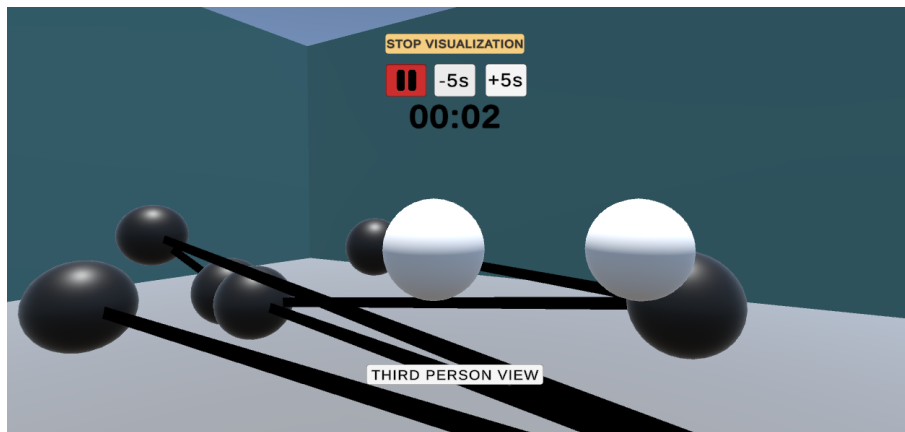


Fig. 4.7. Captura visualización en primera persona

Cabe destacar que, en general, se ha hecho menos hincapié en el aspecto estético, buscando una aplicación usable y que consiga el objetivo de este trabajo, centrándose en las interacciones y un funcionamiento correcto. Es por esto que la apariencia del sistema es simple y con colores que hacen que el usuario se sienta cómodo a la hora de usarlo.

Con respecto a los controles, el cometido del sistema es que el usuario pueda sentirse libre y lo más inmerso posible en los datos. Para ello, se estudiaron los mandos de las gafas Meta Quest 3 y se decidieron los controles que se presentan en la tabla que se muestra a continuación. Estos controles son mínimos, haciendo que recaiga la interacción en el propio movimiento del usuario.



Fig. 4.8. Mandos gafas Meta Quest 3

Control	Acción
Mover joystick de cualquier mando hacia delante	Teletransportase a la posición apuntada si es posible
Mover joystick de cualquier mando hacia la izquierda	Mover la cámara 45° hacia la izquierda
Mover joystick de cualquier mando hacia la derecha	Mover la cámara 45° hacia la derecha
Mover joystick de cualquier mando hacia atrás	Mover la cámara 180°
Mantener pulsado el botón lateral de cualquier mando	Agarrar el objeto sobre el que está situado el mando

TABLA 4.18. CONTROLES MANDOS META QUEST 3

Además de esta definición de controles, también se debe determinar cómo se debe interactuar con el grafo y qué acciones se pueden realizar sobre él. Estas posibles interacciones con el grafo se recogen en la siguiente tabla.

Interacción	Acción
Marcar un nodo	Agarrar un nodo durante menos de 1,5 segundos
Ver información de un nodo	Mantener el mando sobre un nodo
Añadir un nodo	Agarrar un nuevo nodo y desplazarlo más de 2,5 metros desde su posición inicial
Eliminar un nodo	Agarrar un nodo del grafo durante más de 1,5 segundos sin variar su posición
Mover un nodo	Agarrar un nodo del grafo y desplazarlo más de 20 centímetros de su posición inicial
Añadir una arista	Marcar los dos nodos entre los que se quiere crear la conexión
Eliminar una arista	Agarrar una arista durante más de 1,5 segundos

TABLA 4.19. INTERACCIONES SOBRE GRAFOS

También se tiene en cuenta la usabilidad del sistema, proporcionando retroalimentación al usuario al realizar cada una de las acciones.

- Cuando el usuario agarra un nodo, éste cambia de color y, en el caso de que pertenezca al grafo, hace un efecto de vibración mientras se mantiene agarrado.

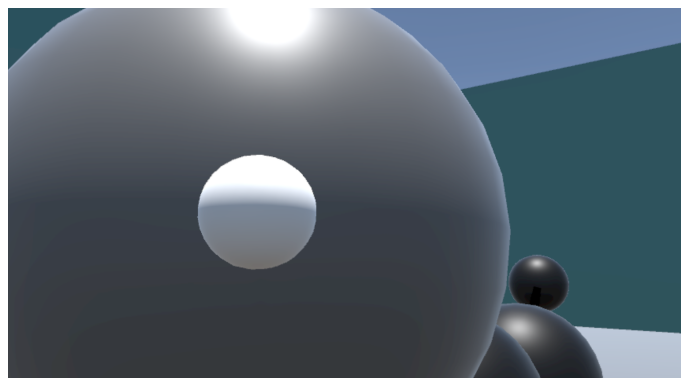


Fig. 4.9. Captura nodo agarrado

- Cuando el nodo simplemente es marcado, se cambia su color habitual de forma permanente para indicar esta acción.

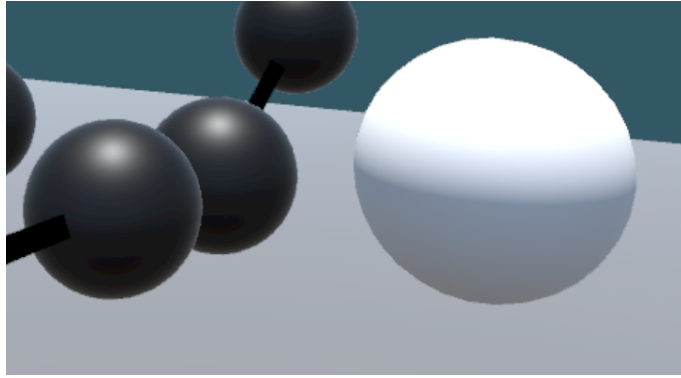


Fig. 4.10. Captura nodo marcado

- Para las aristas sucede lo mismo, cuando son agarradas también cambian su color mientras se mantienen seleccionadas.

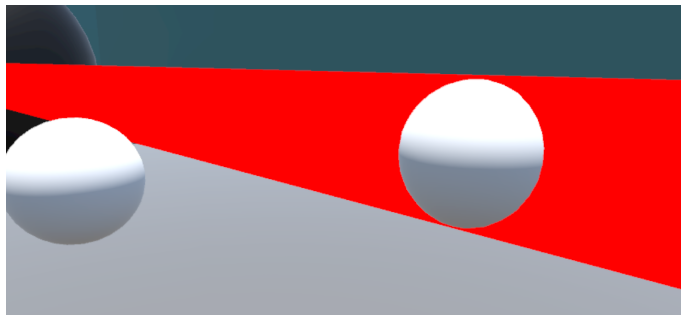


Fig. 4.11. Captura arista agarrada

- En relación con la visualización de la información de un nodo, cuando se realiza la interacción necesaria, aparece una ventana emergente mostrándola.



Fig. 4.12. Captura visualización información de nodo

5. IMPLEMENTACIÓN

Este apartado recoge la explicación del código de la aplicación, destacando aquellas decisiones clave tomadas y presentando los principales subsistemas desarrollados para lograr el objetivo buscado y cumplir con los requisitos presentados en la sección de Análisis. Cada uno de estos subsistemas se corresponde con una funcionalidad clave de la aplicación.

5.1. Construcción de Grafos

La construcción de los grafos es una de las partes más importantes de la aplicación, pues es la forma decidida para representar los datos que van a ser analizados. Estos grafos se representan mediante esferas y líneas, de manera que estos elementos deben colocarse en el espacio de la forma adecuada, creando la sensación de inmersión para el usuario y, además, siendo esta colocación visualmente atractiva.

Con el fin de conseguir este objetivo, se ha desarrollado un código basado en el algoritmo de *spring embedder* de Eades para el dibujo de grafos. Este algoritmo se basa en el cálculo de las posiciones que deben ocupar los nodos en el espacio en función de fuerzas atractivas entre aquellos conectados y fuerzas repulsivas entre los que no están conectados. Este algoritmo tiene un componente experimental, pues se deben definir de manera arbitraria el número de iteraciones del algoritmo, así como ciertas constantes usadas para el cálculo de las posiciones y las fuerzas [39]. Estos valores se establecieron realizando ciertas pruebas hasta obtener resultados satisfactorios.

Por otra parte, cabe destacar que el algoritmo empleado fue concebido inicialmente para el dibujo de grafos en un espacio 2D, aunque, dada su versatilidad, se pudo adaptar sin problema al desarrollo en un entorno 3D.

Por último, se debe tener en cuenta que la información de partida para la ejecución del algoritmo son únicamente los nodos y las conexiones entre ellos. Esta información se encuentra almacenada en un *ScriptableObject*, que es un objeto de *Unity* que se emplea para guardar información inmutable que será usada en tiempo de ejecución. Este *ScriptableObject* tiene el siguiente aspecto:

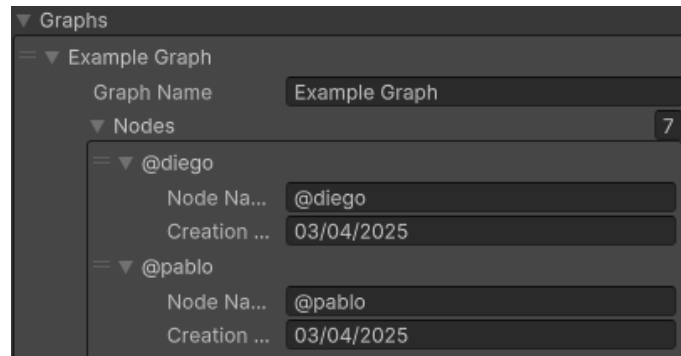


Fig. 5.1. Ejemplo *ScriptableObject* de almacenamiento de información de los grafos

Además, una vez que un grafo ha sido construido por primera vez haciendo uso del algoritmo, siempre se construirá de igual manera, mejorando de esta forma el rendimiento de la aplicación. Para poder llevar a cabo esta acción, la información del grafo ya construido sobre la escena se guarda en un fichero *JSON* de la siguiente forma:

```
{
  "graphs": [
    {
      "graphName": "Example Graph",
      "nodes": [
        {
          "nodeName": "@diego",
          "nodeId": "4904e689-c6b8-468b-85b9-c3010a5f51e0",
          "creationDate": "03/04/2025",
          "position": {"x": 1.798414945602417, "y": 1.3046382665634156, "z": 1.8769100904464722}
        },
        {
          "nodeName": "@pablo",
          "nodeId": "40ca953d-dcf7-4d4e-8ffa-789649e7bd06",
          "creationDate": "03/04/2025",
          "position": {"x": 0.5196895599365234, "y": 1.417597770690918, "z": -3.5482072830200197}
        }
      ],
      "edges": [
        {
          "edgeId": "ec21bf94-2e00-438e-94be-3e2118161a70",
          "sourceGuid": "4904e689-c6b8-468b-85b9-c3010a5f51e0",
          "targetGuid": "40ca953d-dcf7-4d4e-8ffa-789649e7bd06",
          "sourceNode": "@diego",
          "targetNode": "@pablo"
        }
      ]
    }
  ]
}
```

Fig. 5.2. Ejemplo *JSON* almacenamiento de información de grafo ya contruido

5.2. Controlador del Grafo

Una vez construido el grafo, es necesario manejar todas las interacciones llevadas a cabo sobre él, pues estas interacciones tienen unos efectos finales sobre el grafo que se deben recoger y, además, se debe controlar su presentación en la escena. De todo esto se encarga este subsistema.

Para un control adecuado de la información del grafo, se hace uso de la librería *Quik-Graph* de C#. Esta librería proporciona estructuras de datos para almacenar los nodos y sus conexiones, junto con métodos para realizar acciones como añadir un nodo o eliminar una arista.

Todas las acciones contempladas sobre el grafo se manejan a través de eventos, que son recogidos por este subsistema y que se ejecutan cuando se dan las condiciones específicas.

5.3. Controlador de Grabaciones

Una de las partes más diferenciadoras del proyecto es la grabación de las interacciones de los usuarios con los datos. Por ello, es importante la creación de una clase que se encargue del registro de cada una de las acciones sobre los grafos, de las posiciones de sus elementos en cada instante y de los movimientos del propio usuario. Se comienza a grabar cuando se construye el grafo seleccionado por el usuario, y se termina cuando el usuario finaliza la interacción.

En *Unity*, cada uno de los objetos contenidos en la escena tienen una propiedad llamada *Transform*. Esta propiedad proporciona, además de otros datos, tanto la posición como la rotación del objeto en el espacio. Por lo tanto, se ha creado una clase similar a esta para el almacenamiento de estos datos para la cabeza del usuario, sus manos y cada uno de los nodos dibujados en la escena. Esta clase es *TransformPoint*, cuyos atributos son la posición, que se representa por un vector de 3 dimensiones; y la rotación, representada por un cuaternión.

Un caso distinto es el de las aristas, para las que, en lugar de guardar un *TransformPoint* con su información, se ha implementado la clase *EdgeTransform*. Los atributos de esta clase son los *TransformPoint* de cada uno de los nodos conectados por la arista. De esta forma, se hace más sencillo mostrar la grabación posteriormente.

A la hora de guardar la grabación, se representa como una lista cuyo contenido son cada uno de los instantes de tiempo registrados, que serán anotados con una frecuencia de 0.2 segundos. Este instante de tiempo se representa mediante un *RewindPoint*, cuyos atributos son los *TransformPoint* de la cabeza y cada una de las manos del usuario, un array con los *TransformPoint* de cada uno de los nodos presentes en la escena, un array con los *EdgeTransform* de cada una de las aristas de la escena, un string que contiene la última acción realizada sobre el grafo y un valor que indica el tiempo transcurrido desde que se inició la grabación. Además, cada grabación tiene un identificador, que viene dado por el nombre del grafo y la fecha y hora en la que se guardó la grabación.

Para el almacenamiento de las grabaciones se hace uso de un fichero de tipo *JSON*, que contendrá la información comentada de cada una de las interacciones llevadas a cabo. Un ejemplo de este archivo es el que se muestra a continuación:

```

{
  "recordingsList": [
    {
      "recordingId": "Example Graph-22/04/2025 16:20:10",
      "rewindPoints": [
        {
          "head": {
            "position": {"x": 0.0, "y": 2.440000057220459, "z": 0.0},
            "rotation": {"x": 0.012207988649606705, "y": 0.03838488459587097, "z": -0.00046898378059268, "w": 0.9991884231567383}
          },
          "leftHand": {
            "position": {"x": -0.07668965309858322, "y": 2.390000104904175, "z": 0.30678772926330569},
            "rotation": {"x": 0.0, "y": 0.03838786482810974, "z": 0.0, "w": 0.9992630481719971}
          },
          "rightHand": {
            "position": {"x": 0.12272100150585175, "y": 2.390000104904175, "z": 0.29144394397735598},
            "rotation": {"x": 0.0, "y": 0.03838786482810974, "z": 0.0, "w": 0.9992630481719971}
          },
          "nodes": [
            {
              "position": {"x": 1.798414945602417, "y": 1.3046382665634156, "z": 1.8769100904464722},
              "rotation": {"x": 0.0, "y": 0.0, "z": 0.0, "w": 1.0}
            }
          ],
          "edges": [
            {
              "source": {
                "position": {"x": 1.798414945602417, "y": 1.3046382665634156, "z": 1.8769100904464722},
                "rotation": {"x": 0.0, "y": 0.0, "z": 0.0, "w": 1.0}
              },
              "target": {
                "position": {"x": 0.5196895599365234, "y": 1.417597770690918, "z": -3.5482072830200197},
                "rotation": {"x": 0.0, "y": 0.0, "z": 0.0, "w": 1.0}
              }
            }
          ]
        }
      ]
    }
  ]
}

```

Fig. 5.3. Ejemplo *JSON* almacenamiento de grabaciones

5.4. Controlador de la Visualización

Otro de los puntos clave del sistema es la visualización de las grabaciones llevadas a cabo. Para ello, se ha construido la clase *Visualizer*, cuyo cometido es mostrar las grabaciones al usuario.

Esta clase carga el fichero *JSON* que almacena las grabaciones, y muestra al usuario todas ellas para que seleccione aquella que quiere visualizar. Cuando se selecciona, se comienza a iterar sobre la lista de todos los instantes de tiempo almacenados, colocando todos los elementos en la escena y actualizando un temporizador como si se tratase de un vídeo.

Esta clase también maneja las diferentes acciones que puede realizar el usuario mientras visualiza una grabación. Por ejemplo, cambia la posición de la cámara en función de si la visualización es en primera o tercera persona y controla qué elemento de la lista debe visualizarse en el caso de que se atrase o se adelante la grabación.

6. PLAN DE PRUEBAS

En esta sección se lleva a cabo la evaluación de la aplicación desarrollada. De esta manera, se garantiza el correcto funcionamiento de la misma, así como el cumplimiento de los requisitos y su correlación con los casos de uso predefinidos.

Para la descripción de cada una de las pruebas, se hace uso de una tabla como la que se presenta a continuación.

ID	
Nombre	
Pasos a seguir	
Resultados	

TABLA 6.1. PLANTILLA PARA PRUEBAS

En esta tabla, cada uno de sus campos se corresponde con lo siguiente:

- **ID.** Identifica unívocamente a la prueba. Su formato es *PR-XX*, donde *PR*, indica que se trata de una prueba y *XX* es un número de 2 dígitos que se irá incrementando a medida que se definan las pruebas.
- **Nombre.** Presenta un pequeño resumen del objetivo de la prueba.
- **Pasos a seguir.** Indica las acciones que se deben realizar hasta completar la prueba.
- **Resultados.** Expone lo que se espera de la realización de la prueba y comenta si se pasa satisfactoriamente.

Una vez definido el contenido de esta tabla, se exponen las pruebas realizadas. En estas pruebas se han tratado de abarcar todas las posibles interacciones con el sistema y sus funcionalidades al completo.

PR-01	
Nombre	Interacción con nodos del grafo
Pasos a seguir	1. En la pantalla inicial, se elige la opción de interactuar con un grafo. 2. Dentro de la escena de interacción con los grafos, se selecciona un grafo cualquiera con el que interactuar, y éste se construye en la escena, comenzando de esta forma una nueva grabación. 3. Se agarra un nuevo nodo y se añade al grafo. 4. Se coloca el mando sobre el nodo y se muestra su información. 5. De nuevo, se añade un nuevo nodo al grafo. 6. Este nuevo nodo es agarrado hasta eliminarlo finalmente.
Resultados	Con esta prueba se verifica correctamente tanto la construcción de grafos en la escena como el funcionamiento de las interfaces de selección de acción de la pantalla inicial y la de selección de grafos. Además, también se verifica toda la posible interacción con nodos.

TABLA 6.2. PRUEBA *PR-01*

PR-02	
Nombre	Interacción con aristas del grafo
Pasos a seguir	1. Mientras se está interactuando con un grafo, se marca uno de los nodos. 2. A continuación, se marca un nodo diferente y se genera una arista entre los nodos que han sido marcados. 3. Tras esto, se marcan otros dos nodos, creando otra arista. 4. Se agarra esta nueva arista hasta eliminarla.
Resultados	El objetivo de esta prueba es comprobar el correcto funcionamiento de la interacción con las aristas, además de verificar que el marcado de nodos se lleva a cabo como es esperado.

TABLA 6.3. PRUEBA *PR-02*

PR-03	
Nombre	Guardar grabación de la interacción
Pasos a seguir	1. Tras haber realizado las interacciones de la Prueba <i>PR-01</i> y la Prueba <i>PR-02</i>, se continúa interactuando con el grafo. 2. Se finaliza la interacción con el grafo y éste desaparece de la escena, apareciendo de nuevo la interfaz de selección de grafo. 3. La grabación es finalizada correctamente y podrá ser consultada en la pantalla de visualización.
Resultados	En esta prueba se verifica la libertad del usuario de finalizar la grabación, así como que ésta es guardada.

TABLA 6.4. PRUEBA *PR-03*

PR-04	
Nombre	Interacción con una visualización
Pasos a seguir	1. Se selecciona la opción de visualizar una grabación en la pantalla inicial. 2. Se elige una grabación a visualizar dentro de la escena de visualización de grabaciones, y se comienza a mostrar esta grabación. 3. Mientras se visualiza la grabación, se adelanta esta visualización, mostrando en este caso un momento más avanzado. 4. Se atrasa la visualización, volviendo al momento en el que se adelantó previamente la grabación. 5. Se cambia el modo de visualización a primera persona y se muestra la grabación de esta perspectiva. 6. De nuevo, se vuelve al modo de visualización en tercera persona correctamente.
Resultados	Esta prueba sirve para comprobar el funcionamiento tanto de la interfaz de la escena inicial para acceder a la pantalla de visualización de grabaciones como de la interfaz de selección de grabación. También permite verificar que se puede interactuar con la visualización como se espera.

TABLA 6.5. PRUEBA *PR-04*

PR-05	
Nombre	Finalización de una visualización
Pasos a seguir	1. Se sigue visualizando la grabación tras haber realizado la Prueba <i>PR-04</i>. 2. Se para la grabación, comprobando que ésta se detiene en ese punto y sigue mostrando los elementos de ésta. 3. Se reanuda de nuevo la grabación y se sigue mostrando. 4. Se finaliza completamente la visualización, mostrando de nuevo la interfaz de selección de grabaciones
Resultados	Mediante esta prueba se verifica que se puede detener la grabación y finalizarla completamente en cualquier momento.

TABLA 6.6. PRUEBA *PR-05*

7. PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO

A continuación, se presentan las etapas llevadas a cabo para el desarrollo del sistema propuesto. También se expone el presupuesto necesario para la realización del proyecto, teniendo en cuenta la planificación seguida.

7.1. Planificación

Para la definición de la planificación del proyecto, se han seguido una serie de etapas basadas en una adaptación del conocido Método de Larman. Este método destaca por ser incremental, iterativo y dirigido por casos de uso. De esta forma, se busca reducir el riesgo, así como fomentar la adaptabilidad del proyecto [40].

Se ha elegido este modelo de planificación debido a la flexibilidad del sistema a realizar, pues se trata de una idea creada a partir de un campo de investigación en el que no se ha profundizado demasiado, haciendo de esta aplicación una primera aproximación a éste. Asimismo, el enfoque de este método es idóneo para construir un sistema a partir de la definición de cómo se quiere usar.

El Método de Larman consta de 3 etapas principales, que se presentan a continuación. Además, también se especifican cada una de las tareas llevadas a cabo en estas etapas.

- **Planificación y Especificación de requisitos.** Esta etapa sólo se lleva a cabo una vez, aunque en las siguientes fases se hacen constantes referencias a ella para realizar ciertos ajustes [40]. Las tareas a realizar en esta etapa son la descripción del proyecto y la definición de casos de uso.
- **Construcción.** En el Método de Larman original, esta etapa consta de varios ciclos de desarrollo, en los que se van atendiendo cada uno de los casos de uso definidos en la etapa anterior [40]. Sin embargo, al haber realizado una adaptación de este método, únicamente se llevará a cabo un ciclo de desarrollo, en el que se realizarán las tareas de análisis, diseño, implementación y plan de pruebas.
- **Instalación.** Esta última fase, al igual que sucedía con la primera etapa, sólo se realiza una vez. En ella, se despliega el software implementado en las gafas de Realidad Virtual para su uso.

Con el fin de mostrar una línea temporal que indique cómo se va a llevar a cabo cada una de las etapas y cuál es su duración, se emplea el siguiente diagrama de Gantt.

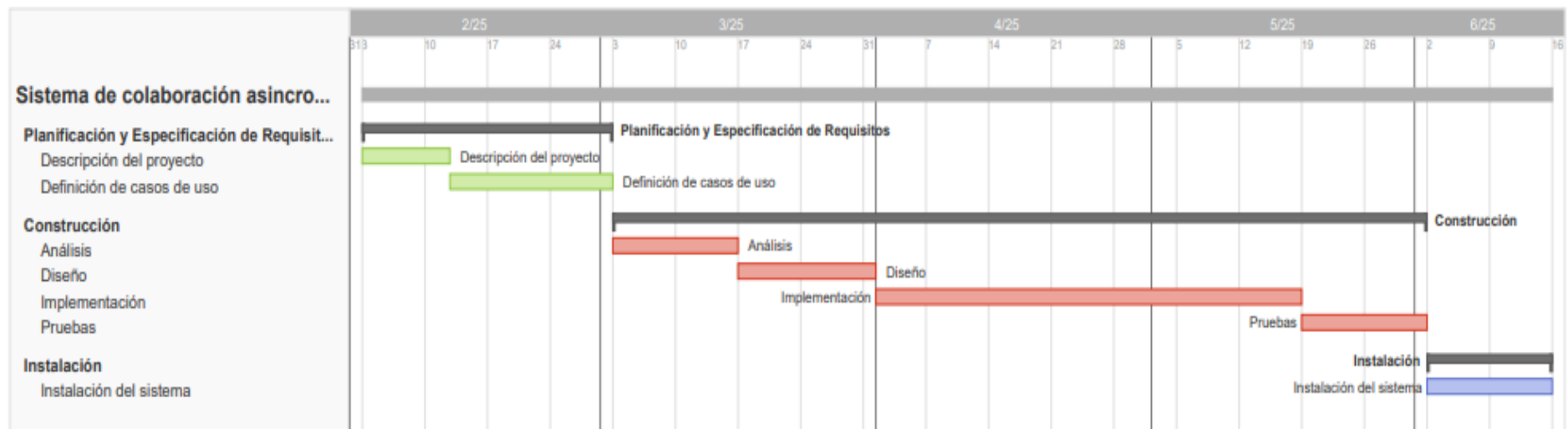


Fig. 7.1. Diagrama de Gantt

7.2. Presupuesto

Una vez planificado el proyecto, se lleva a cabo una estimación del presupuesto necesario para su realización. Para ello, primeramente, se deben estudiar los distintos roles que serán necesarios para implementar el sistema.

- **Jefe de Proyecto.** Se encarga principalmente de planificar el proyecto, asegurando que se desarrolle en los plazos establecidos y cumpliendo con los requisitos de calidad. Esto implica gestionar tanto el equipo como los recursos disponibles.
- **Arquitecto de software.** Es el responsable de definir el diseño de la arquitectura del sistema. Debe asegurarse de que este diseño cumpla con los requisitos especificados.
- **Programador.** Es el encargado de codificar aquellas características que debe cumplir el sistema definido por el jefe de proyecto y el arquitecto de software.
- **Responsable de pruebas.** Su función es asegurar la calidad del producto final, garantizando que se cumple con los requisitos definidos e identificando posibles errores del software.

Teniendo en cuenta la planificación presentada en la anterior subsección, el proyecto tiene una duración de 405 horas (3 horas de media al día), distribuidas a lo largo de 4 meses y medio. Además, cabe destacar que, dado que este trabajo ha sido realizado por una única persona, ésta ha adoptado cada uno de los roles mencionados previamente a lo largo de su desarrollo.

Por lo tanto, tomando esto en consideración y realizando una estimación del coste por hora de trabajo de cada uno de los perfiles, obtenemos el coste del personal del proyecto.

Rol	Horas dedicadas (h)	Coste/Hora (€/h)	Coste Total (€)
Jefe de Proyecto	90	20€	1800€
Arquitecto de software	110	18€	1980€
Programador	180	15€	2700€
Responsable de pruebas	25	13€	325€
Total	405		6805€

TABLA 7.1. COSTE DEL PERSONAL

Otro coste a considerar es el de los recursos materiales utilizados. En esta estimación, se incluye el hardware necesario para el desarrollo del proyecto.

Recurso	Precio (€)
Ordenador Portátil MSI GF63 THIN 10S	1179,26€
Gafas Meta Quest 3	549,99€
Total	1179.25€

TABLA 7.2. COSTE DE LOS RECURSOS

De esta forma, la estimación final del presupuesto que se debe emplear para el desarrollo del proyecto es obtenida de la suma del total del coste del personal y del total del coste de recursos materiales, resultando en **8534.25€**.

8. MARCO REGULADOR

A continuación, se presenta un estudio en base a la legislación que concierne al sistema implementado, desde su desarrollo hasta su posterior utilización por los usuarios finales. De igual manera, se comentan aquellos estándares técnicos y de calidad que debe cumplir el producto final teniendo en cuenta que se trata de un entorno de realidad virtual.

Al tratarse de una aplicación software, existen una serie de condiciones legales que deben cumplirse para que ésta pueda ser comercializada sin problema. Estas normativas se presentan a continuación:

- Derechos de autor y patentes. Se debe garantizar que el producto es completamente original y no se incluyen copias de otros [41].
- Privacidad y seguridad de los datos. Las aplicaciones suelen recopilar grandes cantidades de datos de sus usuarios. Estos datos deben ser debidamente protegidos y guardados con el fin de evitar su pérdida o uso indebido [41]. Para ello, existen leyes a nivel de la Unión Europea como el Reglamento General de Protección de Datos [42].
- Acuerdos de licencia y términos de uso. Es esencial que esta información sea suficientemente clara y concisa, asegurándose de que se protejan los derechos tanto de los usuarios de la aplicación como de sus desarrolladores [41].
- Publicidad y monetización. En el caso de que se busque generar ingresos a partir de la aplicación, ya sea a través de anuncios o de compras dentro de la misma, se debe asegurar que estas prácticas cumplen con la normativa [41].

Si bien es cierto que la mayoría de estas normativas no son aplicables al sistema desarrollado, pues está centrado en un ámbito de investigación y su objetivo no es su comercialización, es importante tenerlas en cuenta para futuros pasos en el proyecto.

Esto es debido a que, en el caso de seguir desarrollando la aplicación y, por ejemplo, incluir la posibilidad de crear cuentas de usuario, se deberían actualizar, eliminar o almacenar datos personales de acuerdo al Reglamento General de Protección de Datos [42].

De igual manera, si se quisiera sacar al mercado y tratar de obtener beneficios mediante publicidad dentro de la aplicación, sería importante el cumplimiento de la Ley General de Publicidad, por la que se establecen los principios de cualquier publicidad, prohibiendo aquella engañosa, desleal o ilícita [43].

Para esta misma hipótesis, también sería necesario registrar el software, con el fin de probar su titularidad y asegurar que no se infringe la Ley de Propiedad Intelectual, según

la que se protegen los derechos de autor de imágenes, sonido, código, entre otros posibles elementos de la aplicación [44].

En relación con los estándares de desarrollo de aplicaciones de este tipo, aún se encuentran en pleno crecimiento, pues se trata de una tecnología aún novedosa y con menos presencia en el uso diario de las personas que otras. Sin embargo, organizaciones importantes en este ámbito como la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) están llevando a cabo cada vez más publicaciones para guiar en la implementación de sistemas de Realidad Virtual de calidad. Entre los diferentes estándares e informes presentados por estas comisiones se destacan los que se comentan a continuación.

- ISO/IEC TR 23844:2023. Este documento ofrece una visión general de las tecnologías inmersivas, dentro de las que se incluye la Realidad Aumentada, la Realidad Virtual y la Realidad Mixta. Proporciona conceptos y directrices fundamentales para usarlas en entornos como el educativo, así como sugerencias sobre posibles estandarizaciones [45].
- ISO/IEC 5927:2024. Presenta pautas para la configuración y uso de los dispositivos de Realidad Virtual y Aumentada en el entorno empresarial de forma que se asegure la salud y la seguridad del trabajador. Se centra en los aspectos visuales del sistema, abarcando también el hardware [46].

No obstante, a pesar de no existir un gran número de estándares y normas en relación con las aplicaciones de Realidad Virtual, este proyecto debe acogerse de igual manera a aquellos relacionados con el desarrollo de software en general. Entre ellos se encuentran estándares de calidad como la familia de normas ISO/IEC 25000 para la evaluación del producto software [47], estándares de desarrollo y ciclo de vida como el ISO/IEC/IEEE 12207:2017 para los distintos procesos desde la concepción hasta la retirada del producto [48], o estándares de seguridad como la familia ISO/IEC 27000 series para la gestión de la información [49].

9. ENTORNO SOCIOECONÓMICO

Una vez presentado el proyecto al completo, es relevante comentar su posible impacto tanto en la sociedad como en el ámbito económico. Además, cabe destacar su potencial en el sector para el que fue inicialmente concebido, aunque este sistema puede ser empleado en otros campos.

El motor de este trabajo es el poco estudio llevado a cabo en el ámbito del Análisis Inmersivo Colaborativo, una rama del análisis de datos aún en sus inicios. Es por esto que la aplicación presentada puede contribuir a expandir el conocimiento en esta área de investigación.

Su carácter inmersivo hace que la exploración de los datos se realice de una forma más intuitiva e interactiva, logrando que se puedan realizar descubrimientos difíciles de conseguir mediante los métodos de análisis tradicionales. Asimismo, las grabaciones de las distintas interacciones con los datos permiten una colaboración más rápida entre los distintos investigadores y una visualización más efectiva de los hallazgos encontrados, ya que visibiliza el proceso de extracción de conclusiones sin necesidad de compatibilidad de horarios entre las personas involucradas.

Haciendo hincapié en sectores como la industria o los negocios, las empresas pueden hacer uso de este sistema en situaciones como la toma de decisiones a partir de datos en relación con las ventas o los clientes, pues esta herramienta es de gran ayuda para la obtención de enfoques más precisos e informados. También puede resultar útil para la presentación de estos datos a inversores u otros colaboradores gracias a un modo de visualización más impactante y sencillo de comprender.

A nivel puramente económico, no se busca competir con ningún otro sistema del mercado, pues no existe ninguno con características similares. Por lo tanto, no supone un gran impacto en este ámbito. Además, la posible repercusión económica no recaería directamente sobre el creador del sistema, sino en los investigadores que se benefician de un sistema de colaboración de estas características para entender sus propios datos de forma inmersiva.

En referencia a su potencial impacto social a nivel general, puede llegar a desplazar algunas formas de analizar los datos más complejos, aunque se antoja complicado y se presupone que se trata de una herramienta más de apoyo a esta tarea. Del mismo modo, al tratarse de un sistema innovador y con un alcance limitado (no deja de ser una prueba de concepto), sólo se pretende aportar en la medida de lo posible a la literatura del Análisis Inmersivo Colaborativo.

Teniendo todo esto en cuenta, la aplicación desarrollada puede tener un impacto positivo tanto económico como social, beneficiando a diferentes sectores y fomentando un desarrollo en un ámbito de investigación tan de actualidad como es el análisis de datos.

10. CONCLUSIONES

En esta última sección del documento se lleva a cabo una recapitulación del proyecto, repasando los objetivos fijados al comienzo y comentando si se han logrado finalmente. También se realiza una valoración personal, reflexionando sobre los conocimientos adquiridos y las dificultades encontradas. Por último, se mencionan posibles líneas de investigación a seguir tomando de partida este trabajo.

10.1. Retrospectiva

Al comienzo del trabajo, el objetivo principal era la construcción de una aplicación de visualización inmersiva para el análisis de datos de manera asíncrona. Este sistema debía realizar una grabación de las interacciones llevadas a cabo por el usuario con los datos, permitiendo su posterior visualización en el mismo espacio virtual, como si de un modo espectador se tratase.

Este sistema buscaba aportar una nueva forma de extraer conclusiones a partir de las acciones realizadas por un usuario sobre datos representados en forma de grafo. De esta forma, su enfoque principal era el ámbito de la investigación, con la posibilidad de ampliarse a la colaboración asíncrona en un espacio inmersivo.

Tomando estos objetivos iniciales en consideración, se puede decir que se ha logrado un sistema que, aunque aún se encuentra en una fase inicial, aporta una buena base sobre la que seguir construyendo. Por tanto, se cumple con lo esperado al comienzo del proyecto.

10.2. Experiencia personal

La realización de este trabajo ha supuesto una experiencia enriquecedora, a la par que desafiante. El mundo de la Realidad Virtual es un campo en pleno crecimiento, cuya tecnología de desarrollo no es demasiado conocida y no se suele tratar en el ámbito educativo. Sin embargo, gracias a la ayuda obtenida por parte del tutor y a las herramientas proporcionadas por la universidad, se ha podido sacar adelante el proyecto.

Se ha tenido que realizar un trabajo previo de estudio de la herramienta *Unity 3D*, así como del lenguaje de programación *C#*. Este estudio ha permitido adquirir conocimientos que, seguramente, no se habrían obtenido de no haber desarrollado esta aplicación.

Asimismo, cabe destacar que el haber realizado un proyecto de manera más autónoma que el resto de los trabajos del grado ha permitido potenciar diferentes habilidades, como la autogestión y la resolución de problemas de manera independiente.

En definitiva, el desarrollo de este trabajo ha sido un reto que, con motivación y disciplina,

ha podido completarse de manera satisfactoria. Además, ha proporcionado un descubrimiento de un campo previamente desconocido y de gran interés para la investigación.

10.3. Trabajos futuros

Como se ha mencionado en la subsección de Retrospectiva, el sistema desarrollado aún se encuentra en una fase inicial. Es por esto que se abren nuevos frentes sobre los que seguir construyendo para lograr un sistema más completo y que aporte más valor.

En cuanto al aspecto gráfico del sistema, es posible integrar mejoras en el diseño de la inmersión, eligiendo colores más adecuados y creando un entorno con un mayor nivel de detalle. De esta manera, la aplicación proporcionaría un aspecto más profesional.

Respecto a nuevas funcionalidades a añadir al sistema, se destaca la opción de grabar el audio de la persona que interactúa con los datos. En ocasiones, es importante conocer también los pensamientos del usuario cuando se visualiza su interacción, y no sólo quedarse con las acciones que ha realizado sobre los datos.

Otra adición sería la posibilidad de utilizar el sistema en diferentes dispositivos, creando un servidor donde se almacenen las grabaciones de forma centralizada y puedan consultarse desde cualquier lugar en cualquier momento. Esto implicaría el desarrollo de un *backend* complejo, en el que deberían incluirse características como el registro de usuarios. Además, haría que el producto final integrara de mejor manera la colaboración.

También pueden realizarse ciertas mejoras sobre el sistema construido. Entre ellas, se resalta la oportunidad de permitir trabajar con grafos de mayor tamaño. Además, se pueden añadir nuevas formas de interacción a partir de otros sensores como son los *Antilatency*, preparados para el rastreo de manos y pies en sistemas de Realidad Virtual.

Por último, en el campo del Análisis Inmersivo Colaborativo, es posible explorar nuevas líneas de investigación, estudiando otras posibles representaciones de datos y otros modos de colaboración entre personas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Milgram y F. Kishino, "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays," *IEICE Trans. Information Systems*, vol. vol. E77-D, no. 12, pp. 1321-1329, dic. de 1994. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/231514051_A_Taxonomy_of_Mixed_Reality_Visual_Displays (Acceso: 06-06-2025).
- [2] T. Combe, J.-R. Chardonnet, F. Merienne y J. Ovtcharova, "CAVE and HMD: distance perception comparative study," *Virtual Reality*, vol. 27, n.º 3, pp. 2003-2013, sep. de 2023. doi: [10.1007/s10055-023-00787-y](https://doi.org/10.1007/s10055-023-00787-y). [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/10.1007/s10055-023-00787-y> (Acceso: 12-06-2025).
- [3] M. Muhanna, "Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 34, jun. de 2015. doi: [10.1016/j.jksuci.2014.03.023](https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2014.03.023). [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282490665_Virtual_reality_and_the_CAVE_Taxonomy_interaction_challenges_and_research_directions (Acceso: 12-06-2025).
- [4] D. A. Guttentag, "Virtual reality: Applications and implications for tourism," *Tourism Management*, vol. 31, n.º 5, pp. 637-651, 2010. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2009.07.003>. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261517709001332> (Acceso: 12-06-2025).
- [5] Microsoft, *Microsoft HoloLens*, <https://learn.microsoft.com/es-es/hololens/>, (Acceso: 12-06-2025).
- [6] J. Grubert, T. Langlotz, S. Zollmann y H. Regenbrecht, "Towards Pervasive Augmented Reality: Context-Awareness in Augmented Reality," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 23, n.º 6, pp. 1706-1724, 2017. doi: [10.1109/TVCG.2016.2543720](https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2543720). [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7435333> (Acceso: 12-06-2025).
- [7] M. García-Sevilla et, "Augmented Reality as a Tool to Guide PSI Placement in Pelvic Tumor Resections," *Sensors*, vol. 21, n.º 23, p. 7824, nov. de 2021. doi: [10.3390/s21237824](https://doi.org/10.3390/s21237824). [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/23/7824> (Acceso: 12-06-2025).
- [8] Interaction Design Foundation - IxDF, *What is Human-Computer Interaction (HCI)?* <https://www.interaction-design.org/literature/topics/human-computer-interaction>, (Acceso: 26-04-2025).

- [9] I. Cohen, "Howard Aiken on the number of computers needed for the nation," *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 20, n.º 3, pp. 27-32, sep. de 1998. doi: [10.1109/85.707572](https://doi.org/10.1109/85.707572). [En línea]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/707572/> (Acceso: 26-04-2025).
- [10] T. Dwyer et, "Immersive Analytics: An Introduction," en *Immersive Analytics*, K. Marriott et, eds., vol. 11190, Series Title: Lecture Notes in Computer Science, Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 1-23. doi: [10.1007/978-3-030-01388-2_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01388-2_1). [En línea]. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-01388-2_1 (Acceso: 26-04-2025).
- [11] R. Skarbez, N. F. Polys, J. T. Ogle, C. North y D. A. Bowman, "Immersive Analytics: Theory and Research Agenda," *Frontiers in Robotics and AI*, vol. Volume 6 - 2019, 2019. doi: [10.3389/frobt.2019.00082](https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00082). [En línea]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/robotics-and-ai/articles/10.3389/frobt.2019.00082> (Acceso: 12-06-2025).
- [12] P. Pirolli y S. Card, *The Sensemaking Process and Leverage Points for Analyst Technology as Identified Through Cognitive Task Analysis*, ene. de 2005. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/215439203_The_sensemaking_process_and_leverage_points_for_analyst_technology_as_identified_through_cognitive_task_analysis (Acceso: 12-06-2025).
- [13] T. Munzner, "Exploring large graphs in 3D hyperbolic space," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 18, n.º 4, pp. 18-23, ago. de 1998. doi: [10.1109/38.689657](https://doi.org/10.1109/38.689657). [En línea]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/689657/> (Acceso: 26-04-2025).
- [14] S. K. Card, G. G. Robertson y J. D. Mackinlay, "The information visualizer, an information workspace," en *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems Reaching through technology - CHI '91*, New Orleans, Louisiana, United States: ACM Press, 1991, pp. 181-186. doi: [10.1145/108844.108874](https://doi.org/10.1145/108844.108874). [En línea]. Disponible en: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=108844.108874> (Acceso: 26-04-2025).
- [15] E. H. Korkut y E. Surer, "Visualization in virtual reality: a systematic review," *Virtual Reality*, vol. 27, n.º 2, pp. 1447-1480, jun. de 2023. doi: [10.1007/s10055-023-00753-8](https://doi.org/10.1007/s10055-023-00753-8). [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/10.1007/s10055-023-00753-8> (Acceso: 06-06-2025).
- [16] E. G. Caldarola y A. M. Rinaldi, "Big Data Visualization Tools: A Survey - The New Paradigms, Methodologies and Tools for Large Data Sets Visualization:" en *Proceedings of the 6th International Conference on Data Science, Technology and Applications*, Madrid, Spain: SCITEPRESS - Science y Technology Publications, 2017, pp. 296-305. doi: [10.5220/0006484102960305](https://doi.org/10.5220/0006484102960305). [En línea]. Disponible en: <http://www.scitepress.org/DigitalLibrary/Link.aspx?doi=10.5220/0006484102960305> (Acceso: 08-06-2025).

- [17] S. Hubenschmid et, “ReLive: Bridging In-Situ and Ex-Situ Visual Analytics for Analyzing Mixed Reality User Studies,” en *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New Orleans LA USA: ACM, abr. de 2022, pp. 1-20. doi: [10.1145/3491102.3517550](https://doi.org/10.1145/3491102.3517550). [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3491102.3517550> (Acceso: 08-06-2025).
- [18] M. Kraus et, “Immersive Analytics with Abstract 3D Visualizations: A Survey,” *Computer Graphics Forum*, vol. 41, n.º 1, pp. 201-229, feb. de 2022. doi: [10.1111/cgf.14430](https://doi.org/10.1111/cgf.14430). [En línea]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/cgf.14430> (Acceso: 06-06-2025).
- [19] A. Drogemuller et, “Evaluating Navigation Techniques for 3D Graph Visualizations in Virtual Reality,” en *2018 International Symposium on Big Data Visual and Immersive Analytics (BDVA)*, Konstanz: IEEE, oct. de 2018, pp. 1-10. doi: [10.1109/BDVA.2018.8533895](https://doi.org/10.1109/BDVA.2018.8533895). [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8533895/> (Acceso: 08-06-2025).
- [20] B. Ens et, “Grand Challenges in Immersive Analytics,” en *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Yokohama Japan: ACM, mayo de 2021, pp. 1-17. doi: [10.1145/3411764.3446866](https://doi.org/10.1145/3411764.3446866). [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3411764.3446866> (Acceso: 24-04-2025).
- [21] D. Saffo et, “Unraveling the Design Space of Immersive Analytics: A Systematic Review,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 30, n.º 1, pp. 495-506, ene. de 2024. doi: [10.1109/TVCG.2023.3327368](https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3327368). [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10296039/> (Acceso: 06-06-2025).
- [22] M. Billingham, M. Cordeil, A. Bezerianos y T. Margolis, “Collaborative Immersive Analytics,” en *Immersive Analytics*, K. Marriott et, eds., vol. 11190, Series Title: Lecture Notes in Computer Science, Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 221-257. doi: [10.1007/978-3-030-01388-2_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01388-2_8). [En línea]. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-01388-2_8 (Acceso: 26-04-2025).
- [23] P. Isenberg et, “Collaborative visualization: Definition, challenges, and research agenda,” *Information Visualization*, vol. 10, n.º 4, pp. 310-326, oct. de 2011. doi: [10.1177/1473871611412817](https://doi.org/10.1177/1473871611412817). [En línea]. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1473871611412817> (Acceso: 26-04-2025).
- [24] D. Schmalstieg et, “The *Studierstube* Augmented Reality Project,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 11, n.º 1, pp. 33-54, feb. de 2002. doi: [10.1162/105474602317343640](https://doi.org/10.1162/105474602317343640). [En línea]. Disponible en: <https://direct.mit.edu/pvar/article/11/1/33-54/18329> (Acceso: 27-04-2025).

- [25] K. Kim, W. Javed, C. Williams, N. Elmqvist y P. Irani, “Hugin: a framework for awareness and coordination in mixed-presence collaborative information visualization,” en *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, Saarbrücken Germany: ACM, nov. de 2010, pp. 231-240. doi: [10.1145/1936652.1936694](https://doi.org/10.1145/1936652.1936694). [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1936652.1936694> (Acceso: 27-04-2025).
- [26] Y. Yang et, “Towards Immersive Collaborative Sensemaking,” *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, vol. 6, n.º ISS, nov. de 2022. doi: [10.1145/3567741](https://doi.org/10.1145/3567741). [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3567741> (Acceso: 12-06-2025).
- [27] Y. Chen, J. Alsakran, S. Barlowe, J. Yang e Y. Zhao, “Supporting effective common ground construction in Asynchronous Collaborative Visual Analytics,” en *2011 IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology (VAST)*, Providence, RI, USA: IEEE, oct. de 2011, pp. 101-110. doi: [10.1109/VAST.2011.6102447](https://doi.org/10.1109/VAST.2011.6102447). [En línea]. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6102447/> (Acceso: 27-04-2025).
- [28] S. Greenberg y M. Rounding, “The notification collage: posting information to public and personal displays,” en *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Seattle Washington USA: ACM, mar. de 2001, pp. 514-521. doi: [10.1145/365024.365339](https://doi.org/10.1145/365024.365339). [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/365024.365339> (Acceso: 27-04-2025).
- [29] Xataka, *Meta Quest 3: unas gafas de realidad mixta ergonómicas, potentes y con espíritu gaming gracias al soporte de Xbox Cloud Gaming*, <https://www.xataka.com/realidad-virtual-aumentada/meta-quest-3-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>, (Acceso: 29-04-2025).
- [30] Xataka, *HTC Vive Pro 2 y HTC Vive Focus 3: el 5K irrumpe en la realidad virtual para los usuarios más exigentes*, <https://www.xataka.com/realidad-virtual-aumentada/htc-vive-pro-2-htc-vive-focus-3-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>, (Acceso: 29-04-2025).
- [31] Xataka, *HP se alía con Valve y renueva su apuesta por WMR: las Reverb G2 presumen de resolución, de cámaras de tracking y de sonido*, <https://www.xataka.com/realidad-virtual-aumentada/hp-reverb-g2-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>, (Acceso: 29-04-2025).
- [32] Xataka, *Pico 4, análisis: hay un nuevo aspirante al trono de la realidad virtual y llega pisando muy fuerte*, <https://www.xataka.com/analisis/pico-4-analisis-caracteristicas-precio-especificaciones>, (Acceso: 30-04-2025).
- [33] Epic Games, *Unreal Engine*, <https://www.unrealengine.com/es-ES>, (Acceso: 01-05-2025).
- [34] Unity Technologies, *Motor Unity*, <https://unity.com/es/products/unity-engine>, (Acceso: 01-05-2025).

- [35] LinkedIn, *¿Cómo se definen los requisitos de usuario para un proyecto de sistema?* <https://es.linkedin.com/advice/1/how-do-you-define-user-requirements-system?lang=es&lang=es>, (Acceso: 09-05-2025).
- [36] Visure Solutions, *Definición de requisitos: ¿Qué es y cómo aplicarlo?* <https://visuresolutions.com/es/blog/definiciÃ³n-de-requisitos>, (Acceso: 09-05-2025).
- [37] IBM, *Definición de casos de uso*, <https://www.ibm.com/docs/es/product-master/12.0.0?topic=processes-defining-use-cases>, (Acceso: 09-05-2025).
- [38] AppMaster, *Arquitectura en capas*, <https://appmaster.io/es/glossary/arquitectura-en-capas>, (Acceso: 21-05-2025).
- [39] P. Eades, "A heuristic for graph drawing," *Congressus Numerantium*, vol. 42, pp. 149-160, 1984. [En línea]. Disponible en: <https://www.cs.ubc.ca/~will/536E/papers/Eades1984.pdf> (Acceso: 27-05-2025).
- [40] G. L. Dugarte Peña, M. I. Sanchez Segura, F. Medina Domínguez y A. De Amescua Seco, "Simulación del proceso de desarrollo de software: una aproximación con Dinámica de Sistemas y el Método de Larman," *Innovación y Software*, vol. 1, n.º 1, pp. 39-57, mar. de 2020. doi: [10.48168/innosoft.s1.a11](https://doi.org/10.48168/innosoft.s1.a11). [En línea]. Disponible en: <https://revistas.ulasalle.edu.pe/innosoft/article/view/11> (Acceso: 02-06-2025).
- [41] ILP Abogados, *Aspectos Legales en el Desarrollo y Comercialización de Apps*, <https://www.ilpabogados.com/aspectos-legales-en-el-desarrollo-y-comercializacion-de-apps/>, (Acceso: 08-05-2025).
- [42] P. E. y del Consejo, *REGLAMENTO (UE) 2016/679 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 27 de abril de 2016 - relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE*, abr. de 2016. [En línea]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0679> (Acceso: 08-05-2025).
- [43] BOE, *Ley 34/1988, de 11 de noviembre, General de Publicidad*, nov. de 1988. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1988/BOE-A-1988-26156-consolidado.pdf> (Acceso: 05-06-2025).
- [44] BOE, *Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia*, abr. de 1996. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1996/BOE-A-1996-8930-consolidado.pdf> (Acceso: 05-06-2025).

- [45] O. I. de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), “Information technology for learning, education, and training — Immersive content and technology,” ISO/IEC, Informe Técnico TR 23844, nov. de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/07/71/77144.html> (Acceso: 08-05-2025).
- [46] O. I. de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), *Computer graphics, image processing and environmental data representation — Augmented and virtual reality safety — Guidance on safe immersion, set up and usage*, feb. de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/18/81847.html> (Acceso: 08-05-2025).
- [47] ISO 25000, *La familia de normas ISO/IEC 25000*, <https://www.iso25000.com/index.php/normas-iso-25000>, (Acceso: 08-05-2025).
- [48] O. I. de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), *Systems and software engineering – Software life cycle processes*, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/63712.html> (Acceso: 08-05-2025).
- [49] ISO, *ISO/IEC 27000 family Information security management*, <https://www.iso.org/standard/iso-iec-27000-family>, (Acceso: 08-05-2025).