

Efectos de la interacción y la representación visual de mapas inmersivos colaborativos

Andrés Javier Santos Torres

Tesis depositada en cumplimiento parcial de los requisitos
para el grado de Doctor en
Ciencia y Tecnología Informática

Universidad Carlos III de Madrid

Directores:

Dr. Telmo Zarraonandia Ayo

Dra. Paloma Díaz Perez

Tutor:

Dr. Telmo Zarraonandia Ayo

Septiembre 2022

Esta obra se encuentra sujeta a la licencia “Creative Commons **Reconocimiento - No Comercial - Sin Obra Derivada**”.



A mis padres y hermanos.

AGRADECIMIENTOS

Es necesario reconocer y agradecer todos los aportes directos e indirectos que me han permitido llegar a este punto de mi carrera profesional.

En primer lugar quiero agradecer a mi directores Telmo Zarraonandia y Paloma Díaz por todos los consejos y aportaciones a lo largo de esta etapa y de quienes he podido aprender y apoyarme durante el desarrollo de esta tesis doctoral. También quiero agradecer a todo el grupo de investigación de Sistemas Interactivos (DEI) con los que he podido intercambiar ideas y recabar consejos que para mi han sido muy valiosos: Nacho Aedo, Andrea Bellucci, Teresa Onorati, Ana Tajadura, Judith Ley, Álvaro Montero, Mónica Sanchez, Lize de Coster, Alejandro Rey, y en general todos los miembros nuevos y antiguos con los que he podido tener contacto.

Agradezco a mi padres Roque y Francisca y mis hermanos Alberto y Roque, que siempre ha estado pendiente de mi y me han acompañado a la distancia. También quiero agradecer a mis amigos y en general a todas las personas que he conocido durante mi estancia en Madrid con las que he podido establecer valiosas amistades y experiencias memorables durante todos estos años.

Por último aunque no menos importante, agradezco también a los monitores de las actividades deportivas de la universidad Javi Niso y Alberto Sotelino, al colectivo de “*En bici por Madrid*” y todas aquellas personas con las que compartí actividades deportivas durante estos años de las que aprendí que con constancia y esfuerzo se puede alcanzar cualquier objetivo por pequeño o grande que sea.

CONTENIDOS PUBLICADOS Y PRESENTADOS

Esta sección presenta las publicaciones obtenidas por el doctorando durante su formación y su relación con los contenidos de la presente tesis doctoral:

- *An empirical comparison of interaction styles for map interfaces in immersive virtual environments,*
Rol del doctorando: *primer autor,*
Publicado en: *Multimedia Tools and Applications,*
Factor de Impacto: 2.757 (Q2),
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-020-08709-9>,
DOI: 10.1007/s11042-020-08709-9
Nota: *Este trabajo esta parcialmente incluido en el capítulo 4 de la tesis,*
Declaración: *El material de esta fuente incluido en la tesis podría no estar señalado por medios tipográficos ni referencias.*

- *Comparing visual representations of collaborative map interfaces for immersive virtual environments,*
Rol del doctorando: *primer autor,*
Publicado en: *IEEE Access,*
Factor de Impacto: 3.367 (Q2),
URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9779762>,
DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3176949,
Nota: *Este trabajo esta parcialmente incluido en el capítulo 5 de la tesis,*
Declaración: *El material de esta fuente incluido en la tesis podría no estar señalado por medios tipográficos ni referencias.*

OTROS MÉRITOS DE INVESTIGACIÓN

En esta sección se reseñan méritos de investigación del doctorando no incluidos en la presente tesis doctoral:

- *A comparative study of menus in virtual reality environments*,
Rol del doctorando: *primer autor*,
Proceedings: *ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces 2017*,
URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3132272.3132277>,
DOI: *10.1145/3132272.3132277*.

- *Exploring inteaction mechanisms for map interfaces in virtual reality environments*,
Rol del doctorando: *primer autor*,
Proceedings: *Proceedings of the XIX International Conference on Human Computer Interaction (INTERACCIÓN 2018)*,
URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3233824.3233828>,
DOI: *10.1145/3233824.3233828*,
Nota: *Esta publicación recibió el premio “Accesit Jesus Lores 2018” como uno de los mejores trabajos de investigación presentados en la conferencia.*

- *A virtual reality map interface for geographical information systems*,
Rol del doctorando: *primer autor*,
Proceedings: *Proceedings of the 2018 International Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI 2018)*,
URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3206505.3206580>,
DOI: *10.1145/3206505.3206580*.

- *A Toolkit for Creating Cross-Reality Serious Games*
Rol del doctorando: *tercer autor*,
Proceedings: *International Conference on Games Learning Alliance (GALA 2018)*,
URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-11548-7_28
DOI: *10.1007/978-3-030-11548-7_28*.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

En esta sección se reseñan los proyectos de investigación de los cuales el presente trabajo de tesis doctoral formó parte:

- **PACE(2016 – 2020):** Pervasive and Affordable technologies for Civic Engagement. Ministerio de economía y competitividad del gobierno de España. [TIN2016-77690-R](#).
- **CROSSCOLAB (2019 - 2022):** Identificando las capacidades de los entornos cross-reality para mejorar la colaboración. Agencia Estatal de Investigación (AEI). [PGC2018-101884-B-I00](#).
- **SENSE2MAKESENSE (2020 - 2024):** Interacción corporal con datos semánticos: investigando las capacidades multisensoriales para el aprendizaje y la comprensión. Agencia Estatal de Investigación (AEI). [PID2019-109388GB-I00](#).
- Acción financiada por la Comunidad de Madrid a través de la línea de “Excelencia del Profesorado Universitario” del Convenio Plurianual con la UC3M (EPUC3M17), en el marco del V PRICIT (V Plan Regional de Investigación Científica e Innovación Tecnológica).

ABSTRACT

One of the main advantages of Virtual Reality (VR) technology is its ability to generate in the user the illusion of being in a 3D interactive virtual environment, in which she can also communicate and interact with other users. This feature makes VR a particularly promising tool as a means to support collaboration between users located in different geographical locations. However, some challenges must be considered when approaching the design and implementation of such tools. On the one hand, it is necessary to provide users with mechanisms that allow smooth or efficient interaction with the different functionalities of the system. On the other hand, collaborators must have sufficient means to communicate efficiently with other collaborators, understand the actions they are performing, and in general, understand what is happening in the workspace.

This research work aims to investigate the effects of interaction and visual representation of collaborative immersive maps. To this end, two user studies are proposed to analyze both phenomena.

The first user study performs a within-subjects experiment to compare the performance and usability of two interaction styles: body-based interaction and device-based interaction. In the body-based interaction, participants used their hands and head orientation to control the VR map interface. In case of device-based interaction, users interacted with the interface using the *Oculus Touch* controls. Thirty-two participants performed the experiment whose results suggest that using controls improves task performance, in terms of time spent and error rate. Additionally, the study identified that users prefer to use a device to interact.

Among the lessons learned from the user study on interaction styles, it was identified that the performance and user experience using interaction styles are conditioned by: the previous experience of the users, their physical effort, the accuracy required for performing the task, and the complexity of interaction required to perform the task.

The second user study performs a within-subjects experiment to compare the efficiency and perception of social presence of two visual representations of a virtual collaborative map interfaces in a crisis intervention setting: shared experience and shared workspace. In the case of the shared experience visual representation, the interface reproduces a realistic collaborative scenario by including as many elements that contribute to generate the feel of presence of the user is in a crisis room. In the visual representation of shared workspace, we try to focus only on the workspace and the elements that contribute to the performance of the collaborative task. Twenty-four people grouped in pairs (12 pairs) participated in the study. The study consisted of a set of couple couples performing a collaborative task where each partner had a role in a crisis intervention using map interfaces. The results indicate that, although a shared experience scenario may provide a better personal experience for the user in terms of fidelity, there is evidence to suggest

that a shared workspace scenario may be a more effective way to represent the scenario and enhance collaboration.

Lessons learned from this user study shows that performance and the perception social presence using the two visual representations of the scenario are conditioned by: the fidelity of the scene, the layout of scenario elements, the communication channels available between collaborators, the user's perception of not being alone (or co-presence).

Systematic mappings of each phenomenon were carried out to identify potential challenges when implementing the paradigms studied in this research. This challenges and lessons learned from each user study enabled a set of design recommendations to be proposed to aid in the design of similar systems.

The proposed design recommendations for interaction styles are: to identify the profiles of the users of the interface, to select the interaction style taking into account comfort and ergonomics standards of the specific domain field of the task, to select the adequate mechanisms, input devices and interaction techniques for the task and the users.

The proposed design recommendations for visual representation of the scenario and situational awareness are: to identify the elements that contributes to the task and to generate workspace awareness, to identify the communicative acts of the task and the mediums to implement these acts, to identify the visual cues that allow to generate workspace awareness and the feel of co-presence among the collaborators.

Finally, the thesis mention the validation techniques available in the literature to validate the design criteria chosen based on the proposed design guidelines.

RESUMEN

Una de las principales ventajas de la tecnología de Realidad Virtual (RV) es la capacidad de generar en el usuario la sensación de encontrarse en un entorno virtual interactivo 3D, en el que además puede comunicarse e interactuar con otros usuarios. Esta característica hace que la RV sea una herramienta especialmente prometedora como medio de soporte para la colaboración entre usuarios localizados en distintas ubicaciones geográficas. Sin embargo, se deben considerar algunos desafíos a la hora de abordar el diseño e implementación de herramientas de este tipo. Por una parte, es necesario poner a disposición de los usuarios mecanismos que permitan una interacción fluida o eficiente con las distintas funcionalidades del sistema. Por otra parte, los colaboradores deben disponer de los medios suficientes para comunicarse eficientemente con los otros colaboradores, comprender las acciones que éstos realizan y, en general, lo que sucede en el espacio de trabajo.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo investigar los efectos de la interacción y la representación visual de mapas inmersivos colaborativos. Para ello se proponen dos estudios de usuario para analizar ambos fenómenos.

El primer estudio de usuario realiza un experimento intra-sujetos para comparar el rendimiento y usabilidad de dos estilos de interacción: interacción gestual e interacción usando controles. En la interacción gestual, los participantes usaron sus manos y la orientación de la cabeza para controlar la interfaz de mapa VR. En el caso de interacción usando controles, los usuarios interactuaron con la interfaz utilizando el control *Oculus Touch*. Treinta y dos participantes realizaron el experimento cuyos resultados sugieren que utilizar controles mejora el rendimiento de la tarea, en términos de tiempo empleado y tasa de error. Adicionalmente, el estudio identificó que los usuarios prefieren utilizar un control para interactuar.

Entre las lecciones aprendidas del estudio de usuario sobre estilos de interacción se identificó que el rendimiento y la experiencia de usuario utilizando los estilos de interacción esta condicionado por: la experiencia previa de los usuarios, el esfuerzo físico que deben realizar, la precisión que requiere la interacción y la complejidad que requiere la tarea para interactuar.

El segundo estudio de usuario realiza un experimento intra-sujetos para comparar el rendimiento y presencia social de dos formas de representar visualmente un escenario colaborativo virtual con interfaces de mapas en un escenario de intervención de crisis: experiencia compartida y espacio de trabajo compartido. En el caso de la representación visual de experiencia compartida, se intenta reproducir un escenario de colaboración realista incluyendo la mayor cantidad de elementos posible para generar la percepción de que el usuario se encuentra en una sala de crisis. En cambio, en la representación visual de espacio de trabajo compartido, se intenta centrar la escena únicamente en el espacio

de trabajo y los elementos que contribuyen a la realización de la tarea colaborativa. En el estudio participaron veinticuatro personas agrupadas en parejas (12 parejas). El estudio consistió en que las parejas realizaran una tarea colaborativa donde cada integrante tenía un rol en una intervención de crisis que use típicamente interfaces de mapas. Los resultados indican que, a pesar de que un escenario de experiencia compartida puede aportar una mejor experiencia personal al usuario en términos de fidelidad, existen evidencias que sugieren que un escenario de espacio de trabajo compartido puede ser una forma más efectiva para representar el escenario y mejorar la colaboración.

Las lecciones aprendidas en este estudio de usuario permitió identificar que el rendimiento y la presencia social utilizando las dos representaciones visuales del escenario están condicionadas por: el nivel de fidelidad de la escena, la distribución de elementos del escenario, los canales de comunicación disponibles entre los colaboradores y la percepción del usuario de que no se encuentra solo (o copresencia).

Adicionalmente, se realizaron estudios sistemáticos de la literatura de cada fenómeno para identificar potenciales desafíos cuando se implementan los distintos paradigmas estudiados en esta investigación. Estos desafíos y las lecciones aprendidas de cada estudio de usuario permitieron proponer un conjunto de recomendaciones de diseño que sirvan como ayuda al diseño de sistemas similares.

Las recomendaciones de diseño propuestas para estilos de interacción son: identificar los perfiles de los usuarios que utilizarán la interfaz, dimensionar la interacción teniendo en cuenta estándares de confort y ergonomía aplicados al ambiente específico de la tarea, identificar el grado de precisión que requiere la tarea, seleccionar los mecanismos, periféricos y técnicas de interacción que se adecuen a la tarea y al perfil de los usuarios.

Las recomendaciones de diseño propuestas para representación visual del escenario y conciencia situacional son: identificar los elementos que contribuyan a la tarea y generar conciencia situacional, dimensionar el espacio y la distribución de los elementos en el escenario, identificar los actos comunicacionales en la tarea y que mecanismos de comunicación se pueden utilizar, identificar los apoyos visuales que permitan generar conciencia situacional del espacio de trabajo y copresencia de los colaboradores.

Finalmente, el presente documento señala las validaciones y técnicas disponibles en la literatura para validar los criterios de diseño que se utilicen.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Definición del problema y contexto	1
1.2. Objetivos de la Tesis	3
1.3. Metodología de investigación	3
1.4. Ámbito de Aplicación	5
1.5. Estructura del trabajo	7
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	9
2.1. Evolución de las tecnologías utilizadas para el análisis de datos en entornos inmersivos	9
2.1.1. BOOM: <i>Binocular Omni Orientation Monitor</i>	9
2.1.2. Pantallas de visualización envolvente	10
2.1.3. <i>FishTank VR</i>	11
2.1.4. Mesas de trabajo responsivas	11
2.1.5. Gafas Inmersivas	11
2.2. Interacción en entornos de realidad virtual inmersiva.	13
2.2.1. Control de movimiento en primera persona	13
2.2.2. Manipulación y selección de objetos virtuales.	14
2.2.3. Taxonomías existentes de técnicas de manipulación y selección	14
2.2.4. Interacción con interfaces de mapas en entornos virtuales	16
2.3. Conciencia situacional del espacio de trabajo colaborativo en entornos inmersivos.	19
2.3.1. Presencia social (¿Quién?)	20
2.3.2. Conciencia situacional de las acciones en el espacio colaborativo (¿Qué?).	21
2.3.3. Conciencia situacional de la localización de colaboradores y entidades en el espacio colaborativo (¿Dónde?)	22
2.4. Representación del espacio colaborativo.	23
2.4.1. Espacio de trabajo compartido	23
2.4.2. Experiencia compartida	24

2.5. Conciencia situacional y representación del espacio en interfaces de mapas colaborativos	24
2.5.1. Representación de mapas en entornos virtuales inmersivos	25
2.5.2. Conciencia situacional del espacio de trabajo en interfaces de mapas.	25
2.6. Resumen del capítulo	26
3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	29
3.1. Preguntas de investigación	29
3.2. Contribuciones de la tesis doctoral	31
3.2.1. Contribuciones en el dominio del conocimiento.	31
3.2.2. Contribución en el dominio de la aplicación.	32
4. ESTUDIO EMPÍRICO DE ESTILOS DE INTERACCIÓN EN INTERFACES DE MAPAS INMERSIVOS	33
4.1. Análisis de las situación actual	33
4.1.1. Preguntas de investigación e hipótesis del estudio de usuario	33
4.2. Prototipo de la interfaz de mapa en RV para el estudio de usuario.	33
4.2.1. Versión utilizando el estilo de interacción gestual.	34
4.2.2. Versión utilizando el estilo de interacción basado en controles	35
4.3. Experimentación	35
4.3.1. Participantes	36
4.3.2. Equipamiento.	36
4.3.3. Metodología de experimentación	37
4.3.4. Ambiente experimental	37
4.3.5. Descripción de la tarea.	37
4.3.6. Procedimiento experimental.	38
4.3.7. Recolección de datos y métodos de análisis	39
4.4. Resultados	39
4.4.1. Tiempo de la tarea	39
4.4.2. Errores cometidos	40
4.4.3. Efecto de aprendizaje	40
4.4.4. Usabilidad reportada por los usuarios	42
4.4.5. Experiencia del usuario	42

4.4.6. Comentario de los participantes	43
4.5. Discusión	44
5. REPRESENTACIÓN DEL ESPACIO Y CONCIENCIA SITUACIONAL EN INTERFACES DE MAPAS COLABORATIVOS INMERSIVOS	47
5.1. Análisis de las situación actual	47
5.1.1. Pregunta de investigación e hipótesis del estudio de usuario	47
5.2. Prototipos de la interfaz de mapas colaborativos en RV	48
5.2.1. Prototipo con representación visual de experiencia compartida	48
5.2.2. Prototipo con representación visual de espacio de trabajo compartida	49
5.2.3. Apoyos visuales para generar conciencia situacional	50
5.3. Experimentación	52
5.3.1. Diseño del estudio	52
5.3.2. Ambiente experimental	52
5.3.3. Participantes	53
5.3.4. Tarea y procedimiento	54
5.4. Recolección de datos y métodos de análisis	56
5.4.1. Análisis cuantitativo	56
5.4.2. Análisis cualitativo siguiendo el protocolo de análisis temático	57
5.5. Resultados	61
5.5.1. Eficiencia de la tarea	61
5.5.2. Carga de trabajo	62
5.5.3. Presencia social.	64
5.5.4. Análisis temático de las entrevistas a los participantes	65
5.6. Discusión	68
5.6.1. Eficiencia y carga de trabajo	68
5.6.2. Presencia social.	69
6. RECOMENDACIONES DE DISEÑO	70
6.1. Estudio sistemático de estilos de interacción para selección de objetos en entornos de realidad virtual inmersiva	70
6.1.1. Preguntas de investigación	70
6.1.2. Identificación de los trabajos	71

6.1.3. Resultados	72
6.1.4. Desafíos identificados sobre interacción en entornos virtuales.	73
6.1.5. Discusión	76
6.2. Estudio sistemático de técnicas para generar <i>Workspace Awareness</i> en entornos de realidad virtual inmersiva	78
6.2.1. Revisiones previas	78
6.2.2. Preguntas de investigación	79
6.2.3. Identificación de los trabajos	80
6.2.4. Resultados	82
6.2.5. Desafíos identificados sobre WA	85
6.2.6. Discusión	90
6.3. Recomendaciones de diseño para estilos de interacción	91
6.4. Recomendaciones de diseño para representación del escenario y conciencia situacional	91
6.5. Técnicas utilizadas para validar las decisiones de diseño.	92
6.5.1. Técnicas cuantitativas	93
6.5.2. Técnicas cualitativas	95
6.6. Resumen	96
7. CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	99
7.1. Resumen	99
7.1.1. Estudio de usuario de interacción en interfaces de mapas inmersivos	99
7.1.2. Estudio de usuario de representación del espacio y conciencia situacional en interfaces de mapas inmersivos	100
7.2. Conclusiones	100
7.2.1. Conclusiones generales	100
7.2.2. Conclusiones del Estudio de usuario de interacción en interfaces de mapas inmersivos	100
7.2.3. Conclusiones estudio de usuario de representación del espacio y conciencia situacional en interfaces de mapas inmersivos	101
7.3. Contribuciones	101
7.3.1. Aportaciones en el dominio del conocimiento.	101
7.3.2. Aportaciones en el dominio de la aplicación.	102

7.4. Limitaciones	102
7.5. Líneas de investigación futuras	103
7.5.1. Extensiones al trabajo realizado referente a interacción	103
7.5.2. Extensiones al trabajo realizado referente a representación visual y conciencia situacional del espacio colaborativo	103
7.5.3. Otras líneas de investigación futuras	104
BIBLIOGRAFÍA	106

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Metodología de Investigación en las Ciencias del Diseño contextualizado para la presente tesis doctoral [11]	5
1.2	Diagrama de Venn que resume la delimitación del trabajo realizado en el trabajo de investigación	6
2.1	Resumen de la taxonomía de técnicas de selección y manipulación propuesto por Weise [49]	15
4.1	Versión de la interfaz de mapa en RV utilizando el estilo de interacción gestual [101]	35
4.2	Versión de la interfaz de mapa en RV utilizando el estilo de interacción basado en controles [101]	36
4.3	Ambiente experimental: utilizando el estilo de interacción basado en el gestos (izquierda), utilizando el estilo de interacción basado en el controles (derecha) [101].	38
4.4	Media de tiempo de selección en cada iteración [101].	40
4.5	Media de errores en cada iteración [101].	41
4.6	Usabilidad reportada por los usuarios [101].	42
4.7	Valoraciones de los participantes a niveles de confort, esfuerzo y precisión en la selección [101].	43
5.1	Representación visual del escenario de experiencia compartida: (a) vista de la sala de crisis virtual, (b) perspectiva del usuario de la representación visual [104]	49
5.2	Representación visual del escenario de espacio de trabajo compartido: (a) representación visual del espacio de trabajo, (b) apoyos visuales para generar conciencia situacional social y de localización [104]	49
5.3	Fotografía del ambiente experimental [104]	53
5.4	Mapa temático del modelo 1	60
5.5	Mapa temático del modelo 2	61
5.6	Mapa temático con comentarios de ambos modelos	62

5.7	Comparación de marcas exitosas, incompletas y erróneas en los escenarios de experiencia compartida (<i>Shared experience</i>) y espacio de trabajo compartida (<i>Shared workspace</i>) [104]	63
5.8	Comparación de carga de trabajo usando los escenarios de experiencia compartida (<i>Shared experience</i>) y espacio de trabajo compartida (<i>Shared workspace</i>) [104]	63
5.9	Respuestas de los participantes para la representación de espacio de trabajo compartido (SW) y experiencia compartida (SE) para: copresencia (Q1), asignación de atención (Q2), entendimiento del mensaje(Q3) y eficiencia percibida (Q4) [104]	64
6.1	Términos utilizados en la cadena de búsqueda	71
6.2	Resultados del estudio sistemático en cada etapa	72
6.3	Número de publicaciones sobre selección o manipulación de objetos VR entre los años 1997 - 2020	73
6.4	Términos utilizados en la cadena de búsqueda	80
6.5	Resultados del estudio sistemático en cada etapa	81
6.6	Número de publicaciones de WA entre los años 2004 - 2021	82

ÍNDICE DE TABLAS

1.1	Relación entre los objetivos específicos y los estudios de usuario	4
2.1	Elementos de WA para colaboración síncrona [65]	20
2.2	Resumen de trabajos propuestos en la literatura sobre interfaces de mapas	28
4.1	Relación entre las preguntas de investigación y las hipótesis planteadas para el estudio de usuario sobre interacción en entornos inmersivos	34
4.2	Resumen de el análisis de correlación entre iteración, tiempo de tarea y estilo de interacción [101]	41
4.3	Resumen de el análisis de correlación entre iteración, errores cometidos y estilo de interacción [101]	41
4.4	Comentarios dados por los participantes acerca de cada estilo de interacción[101].	45
4.5	Validación de hipótesis planteadas para experimento sobre estilos de interacción en interfaces de mapas para RV.	46
5.1	Relación entre las preguntas de investigación y las hipótesis planteadas para el estudio de usuario sobre representación visual del escenario colaborativo	48
5.2	Apoyos visuales de cada representación del escenario [104]	51
5.3	Lista de posibles incidentes mostrados durante la tarea [104]	55
5.4	Cuestionario de presencia social basado en [107]	57
5.5	Fases del análisis temático [108]	58
5.6	Comentario extraídos con los códigos aplicados	59
5.7	Comentarios agrupados en el patrón carga de trabajo para el Modelo 1 . .	59
5.8	Comentarios agrupados de los participantes sobre cada representación visual del escenario [104]	67
6.1	Técnicas de selección o manipulación identificados.	74
6.2	Clasificación de los trabajos encontrados en función del estilo de interacción utilizado	75
6.3	Resumen de revisiones previas sobre colaboración, y WA en sistemas inmersivos	79

6.4	Trabajos encontrados en cada dimensión del <i>workspace awareness framework</i>	83
6.5	Trabajos encontrados sobre herramientas para representar información de <i>WA - what</i>	84
6.6	Trabajos encontrados sobre herramientas para representar información <i>WA - who</i>	85
6.7	Trabajos encontrados sobre herramientas para representar información de <i>WA - where</i>	86
6.8	Clasificación de los trabajos encontrados en función de la forma de representar el espacio de trabajo colaborativo	87
6.9	recomendaciones de diseño propuestas para estilos de interacción en interfaces de mapas para entornos de RV	92
6.10	Recomendaciones de diseño propuestas para representación del escenario y conciencia situacional en interfaces de mapas para entornos de RV . . .	93
6.11	Recomendaciones de diseño para estilos de interacción	97
6.12	Recomendaciones de diseño para conciencia situacional	98

LISTADO DE ABREVIATURAS

- **RV:** Realidad Virtual
- **CSCW:** *Computer Supported Collaborative Work*
- **WA:** *Workspace Awareness*
- **HMD:** *Head Mounted Display*

1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales propiedades la Realidad Virtual (RV) es la capacidad de generar en el usuario la sensación de encontrarse en un entorno virtual interactivo 3D, en el que además puede comunicarse e interactuar con otros usuarios de forma similar a como lo haría en entornos presenciales. Esta característica hace de la RV una herramienta especialmente prometedora como medio de soporte para la colaboración entre usuarios que trabajan de forma remota. Sin embargo existen algunos desafíos que deben ser considerados a la hora de abordar el diseño e implementación de herramientas de este tipo. Por una parte, es necesario poner a disposición de los usuarios mecanismos que permitan una interacción fluida o eficiente con las distintas funcionalidades del sistema. Por otra parte, los colaboradores deben disponer de información clara que permitan comunicarse eficientemente con los otros colaboradores, comprender las acciones que éstos realizan y, en general, entender lo que sucede en el espacio de trabajo. El presente trabajo de tesis doctoral aborda esta problemática en el contexto específico de interfaces de mapas colaborativos en entornos de realidad virtual.

1.1. Definición del problema y contexto

La presente tesis doctoral toma como caso de uso la representación de interfaces de mapas como herramienta de colaboración y análisis de información para la gestión de emergencias. Un ejemplo donde tradicionalmente se utilizan interfaces de mapas para el análisis colaborativo de información geográfica son las salas de crisis. En este tipo de salas generalmente se congregan expertos de diferentes áreas de conocimiento para analizar conjuntamente datos recogidos en relación con cierta emergencia o situación crítica. Trabajos previos del grupo de investigación han abordado la problemática de integrar varios dispositivos como mesas de trabajo interactivas (*tabletops*), pantallas gigantes, ordenadores de escritorio o tabletas para el análisis colaborativo de información para la gestión de emergencias [1]. Sin embargo, este tipo de entornos requiere de equipamiento costoso y altamente especializado que muchas veces no se encuentra disponible para el usuario final. Además, requiere la presencia en el mismo espacio físico de todos los participantes involucrados en la colaboración.

El uso de tecnologías inmersivas puede representar una alternativa apropiada para este tipo de entornos. En primer lugar, equipos con similares funcionalidades a los físicos se pueden implementar en escenarios virtuales, reduciendo los costes necesarios para implementar la tecnología [2]. En segundo lugar, la implementación de espacios virtuales tiene el potencial de facilitar la colaboración remota de una forma casi similar a entornos de colaboración presenciales. Se espera que las tecnologías inmersivas ayuden a superar algunas de las limitaciones de las pantallas 2D utilizadas para la colaboración dado que

pueden proveer interacción natural, motivación y espacios de trabajo infinitos [3].

A pesar de que en la literatura se ha estudiado extensamente el uso de las tecnologías inmersivas para la colaboración [4] y el análisis de datos [5], se ha prestado poca atención a los desafíos que implica introducir exitosamente estas tecnologías en usuarios finales. En sistemas clásicos de sistemas de colaboración mediados por ordenador (CSCW por sus siglas en inglés *Computer Suported Collaborative Work*), Gutwin y Greenberg [6] identifican tres problemas principales en sistemas no inmersivos:

1. Los dispositivos periféricos sólo proporcionan una pequeña parte de la información perceptual que se genera en ambientes de colaboración cara a cara o presenciales y que no están mediados por ordenadores.
2. La interacción entre usuarios cuando utilizan herramientas CSCW genera una cantidad significativamente menor de información en comparación con la que se genera en espacios de trabajo en colaboración cara a cara.
3. La información que se genera de conciencia situacional de los colaboradores (*Workspace Awarness* en inglés) es considerablemente menor a la que se genera en espacios colaborativos cara a cara.

De estos tres problemas surgen dos conceptos fundamentales que se abordarán en la presente tesis doctoral. Por un lado, *interacción* se refiere al intercambio de información entre el usuario y las herramientas CSCW. Por otro lado, *Workspace Awareness (WA)* es un modelo mental de lo que esta sucediendo en el espacio de colaboración y que permite construir un esquema que facilita al usuario la toma de decisiones de qué acciones llevar a cabo para la consecución de la tarea.

Debido a sus especiales características, la tecnología de RV inmersiva puede ofrecer un soporte que permita el diseño de herramientas de colaboración mediadas por ordenador que resuelvan total o parcialmente algunos de estos inconvenientes. Por una parte, esta tecnología hace disponible un espacio virtual de grandes dimensiones en el que sería posible desplegar grandes volúmenes de datos de la misma forma que en una pantalla de grandes dimensiones pero a un precio más reducido. Para ilustrar esta diferencia basta considerar el coste de adquisición de una pantalla gigante, actualmente entre los 5.000 € y 10.000 € dependiendo de su tamaño, y el de un dispositivo de RV como las Oculus Quest, que en la fecha de la redacción de este documento ronda los 400 €. Además, los actuales controladores de RV permiten diseñar mecanismos de interacción con el sistema que permiten su manejo de una forma más parecida a la forma en que tradicionalmente se utilizan pantallas gigantes, como por ejemplo empleando punteros virtuales. Por otra parte, la capacidad de generar la sensación de compartir un mismo espacio virtual en usuarios remotos puede facilitar la interacción y el trabajo de una forma más parecida a como lo harían si se encontrasen en un mismo espacio físico, y de una forma que en dispositivos no inmersivos, como ordenadores de escritorio, es difícil conseguir [7].

Sin embargo, para implementar exitosamente estos espacios de colaboración virtuales inmersivos, se debe considerar como abordar los desafíos de CSCW y finalmente permitir la adopción de estas herramientas en usuarios finales [3]. En primer lugar, se necesita incorporar información a la base del conocimiento sobre cómo lograr una colaboración efectiva en espacios inmersivos [3]. Adicionalmente, se requiere investigación sobre cómo establecer motivación y compromiso entre colaboradores, que en ambientes CSCW virtuales, resulta incomodo colaborar [7].

En el caso particular de visualizaciones de mapas (geo-visualizaciones) de forma colaborativa, se necesitan interfaces que permitan compartir información, generar discusión y que permita entender la información que se vuelca en la geo-visualización [8]. Para esto es necesario que las personas que participan en la tarea colaborativas dispongan de la información necesaria para ser consciente de las actividades colaborativas [9].

1.2. Objetivos de la Tesis

El presente trabajo de tesis doctoral lleva a cabo dos estudios de usuarios que permiten *investigar el efecto que producen en interfaces de mapas inmersivas los distintos paradigmas de interacción y representación visual del espacio de trabajo identificados en la literatura en relación la eficiencia, usabilidad y carga cognitiva.*

En cuanto al primer estudio de usuario, se realiza una comparación empírica de dos estilos de interacción en interfaces de mapas en entornos de realidad virtual inmersiva. Este estudio analiza los estilos de interacción basados en (1) interacción gestual y (2) interacción utilizando dispositivos externos en términos de eficiencia y usabilidad percibida por el usuario.

En cuanto al segundo estudio de usuario, se realiza una comparación de dos representaciones visuales de interfaces de mapas colaborativas en entornos de realidad virtual inmersiva. Este estudio analiza las representaciones de: (1) espacio de trabajo compartido y (2) experiencia compartida en términos de eficiencia y carga cognitiva percibida por el usuario.

Estos objetivos generales y específicos permitirán aportar en la base del conocimiento beneficios y limitaciones de los paradigmas de interacción y representación visual del espacio mencionados en el presente trabajo de investigación. La Tabla 1.1 resume los objetivos específicos de este trabajo y su relación con los estudios de usuario a realizar.

1.3. Metodología de investigación

La metodología seguida para el presente trabajo de investigación se basa en la *Metodología de la Investigación en las Ciencias del Diseño (Design Science Research Methodology)* [10]. Esta metodología busca poner en contexto la investigación realizada en el

Tabla 1.1: Relación entre los objetivos específicos y los estudios de usuario

Estudio de usuario	Objetivo Específico (OE)
Comparación empírica de dos estilos de interacción en interfaces de mapas en entornos de realidad virtual inmersiva	OE1: Analizar los beneficios y limitaciones que los estilos de interacción gestuales aportan en términos de eficiencia y usabilidad. OE2: Analizar los beneficios y limitaciones que los del estilos de interacción basado en dispositivos externos aportan en términos de eficiencia y usabilidad.
Comparación de dos representaciones visuales de interfaces de mapas colaborativas en entornos de realidad virtual inmersiva	OE3: Analizar los beneficios y limitaciones que el paradigma de representación de espacio de trabajo compartido aportan en términos de eficiencia y carga cognitiva en interfaces de mapas colaborativas para realidad virtual inmersiva. OE4: Analizar los beneficios y limitaciones que el paradigma de representación de experiencia compartida aportan en términos de eficiencia y carga cognitiva en interfaces de mapas colaborativas para realidad virtual inmersiva.

entorno (utilidad o relevancia) y en la base del conocimiento (rigurosidad).

Esta metodología de investigación se utiliza para investigación de sistemas de información y está inspirada en el paradigma de resolución de problemas. En ella se identifican tres elementos: el entorno, la investigación y la base del conocimiento. El entorno representa el dominio de la aplicación y se componen de las herramientas y sistemas existentes, las personas y las oportunidades. La investigación es la parte central de la metodología e incluye las actividades relacionadas al diseño, el desarrollo y la evaluación de la solución que se propone. Por último, la base del conocimiento representa las bases de rigor científico en que se basa la investigación y se compone por teorías, métodos, experiencia, diseño de productos y diseño de procesos.

Los ciclos de diseño de la investigación se definen sobre estos tres elementos. La Figura 1.1 presenta la investigación de las ciencias del diseño adaptada para la presente tesis doctoral.

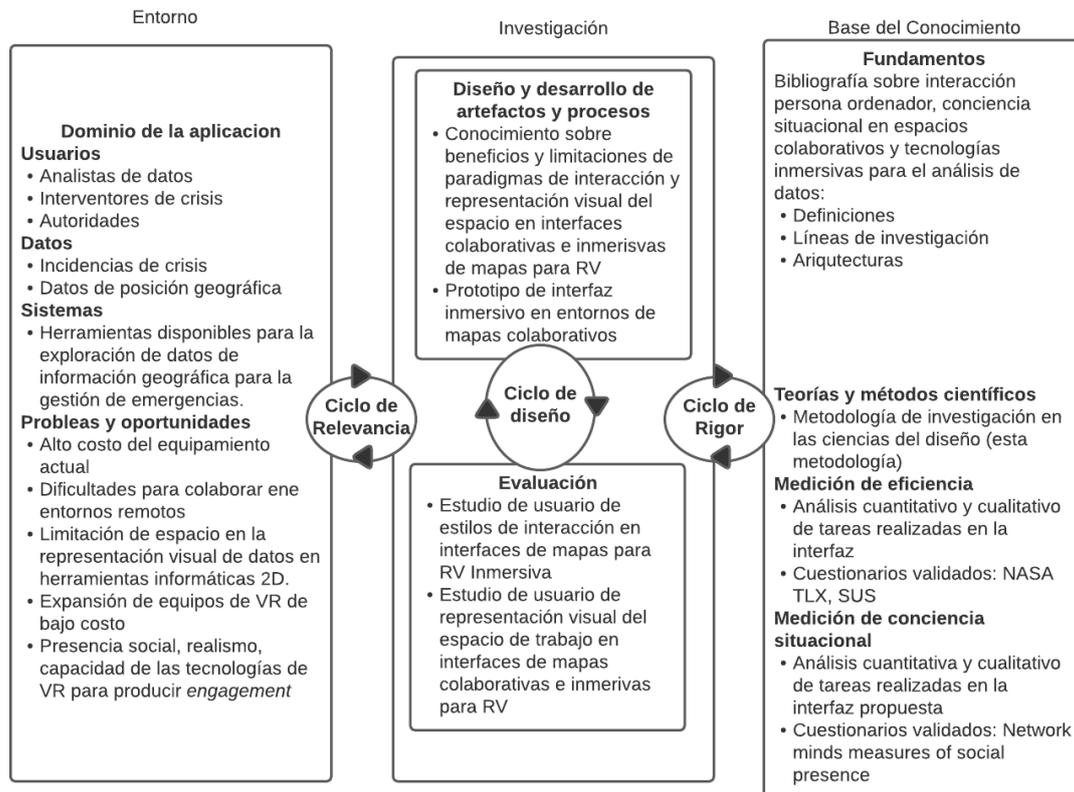


Figura 1.1: Metodología de Investigación en las Ciencias del Diseño contextualizado para la presente tesis doctoral [11]

1.4. **Ámbito de Aplicación**

El presente trabajo de tesis doctoral aborda amplios campos de investigación, que por la magnitud de cada campo, requiere que se delimite el área de trabajo realizado en esta investigación. A continuación, se definen brevemente los campos amplios de investigación y campos específicos de investigación, discerniendo aquellos campos que forman parte de la investigación de aquellos que quedan fuera del ámbito de aplicación. Esta delimitación se resume en la Figura 1.2.

1. **Analítica inmersiva con realidad virtual:** De acuerdo a Dwyer et al. [3], analítica inmersiva es “*El uso de tecnologías atractivas, corporales para la comprensión de datos y la toma de decisiones*”. Este campo se fundamenta en las ciencias de *visualización de datos, analítica visual, realidad virtual, computación gráfica, e interacción persona ordenador*. El presente trabajo de tesis doctoral se centra en las visualizaciones de datos, específicamente en las **interfaces de mapas para las visualizaciones de datos**, y la parte de **interacción**. La problemática de tratar con datos masivos y heterogéneos queda fuera del alcance del presente trabajo de investigación.

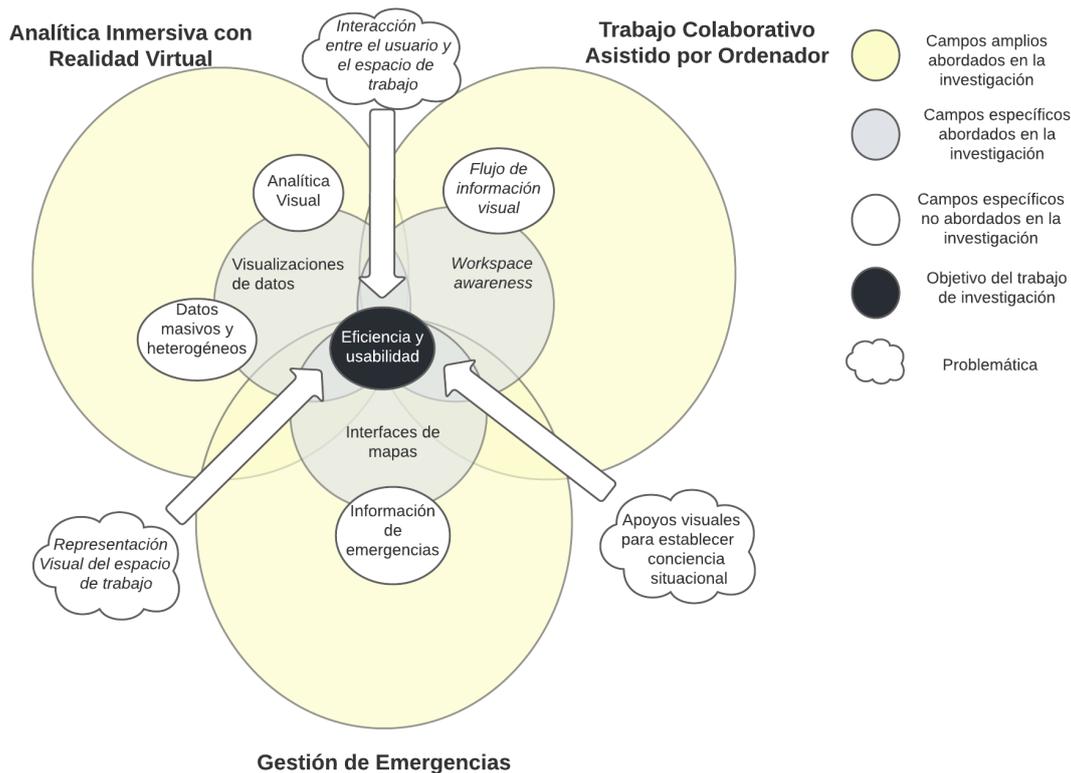


Figura 1.2: Diagrama de Venn que resume la delimitación del trabajo realizado en el trabajo de investigación

2. **Trabajo colaborativo asistido por ordenador:** Este campo hace referencia a herramientas informáticas que facilitan la colaboración (CSCW) [12], [13]. Este tipo de herramientas se puede clasificar tomando en cuenta dos dimensiones: tiempo (síncrona o asíncrona) y espacio (co-localizado o remoto) [14]. Este trabajo de investigación se centra específicamente en aplicaciones colaborativas **síncronas y remotas**. En el caso específico de aplicaciones que caen en este cuadrante de colaboración y tomando en cuenta aplicaciones colaborativas para entornos virtuales, Ens et al. [4] identifica dos campos específicos que demandan una mayor exploración: primero entender como establecer conciencia situacional del espacio colaborativo o *Workspace Awareness*, y en segundo lugar articular y entender cómo el flujo información visual ayuda a la colaboración. El presente trabajo de investigación se centra en estudiar como **representar los apoyos visuales que permiten establecer conciencia situacional**.
3. **Gestión de emergencias:** El tercer campo amplio del presente trabajo de tesis doctoral es tomado para proponer el caso de uso. En este campo, Díaz et al. [1] identifica el desafío de representar y analizar datos recopilados desde fuentes heterogéneas. El presente trabajo de investigación propone reproducir equipamiento especializado y muchas veces no accesible al usuario final a través de escenarios virtuales que se

pueden lograr a través de equipamiento de bajo costo. Específicamente, este trabajo de investigación intenta reproducir pantallas de grandes dimensiones para mostrar interfaces de mapas.

La convergencia de estos tres campos busca identificar los paradigmas que logran la mejor eficiencia y experiencia de usuario abordando tres problemáticas: la interacción entre el usuario y el espacio de trabajo, la representación visual del espacio de trabajo, y la representación de apoyos visuales para establecer conciencia situacional.

1.5. Estructura del trabajo

La memoria se estructura en siete capítulos y una sección de referencias bibliográficas. Sin considerar el presente capítulo de introducción, la presente tesis doctoral abarca los siguientes contenidos:

- El *Capítulo 2* describe el estado de la cuestión. Este capítulo se divide en cinco secciones: la primera revisa la evolución y estado actual de tecnologías utilizadas para la representación de datos en entornos de realidad virtual inmersiva; la segunda sección aborda conceptos de interacción en entornos de realidad virtual inmersiva y presenta el estado del arte de este campo; la tercera sección aborda conceptos de conciencia situacional en entornos colaborativos e inmersivos y revisa los trabajos realizados en este campo; la cuarta sección revisa algunas de las interfaces existentes para la gestión de información geográfica en el ámbito de la gestión de emergencias; por último, la quinta sección presenta un resumen del estado de la cuestión de la tesis doctoral.
- El *Capítulo 3* presenta las preguntas de investigación y las contribuciones de esta tesis doctoral.
- El *Capítulo 4* describe el estudio de usuario sobre interacción en entornos inmersivos. Este capítulo se divide en cuatro secciones: en la primera sección se realiza un análisis de la situación actual y se plantean las preguntas de investigación e hipótesis para el planteamiento del estudio de usuario a realizar; en la segunda sección se aborda el planteamiento del estudio de usuario relativo a la interacción en interfaces de mapas para entornos inmersivos que servirá de base para plantear las recomendaciones de diseño; en la tercera sección se describe la experimentación realizada y, por último, en la cuarta sección se presentan los resultados.
- El *Capítulo 5* describe el estudio de usuario sobre la representación visual del espacio de trabajo colaborativo y generación de información de conciencia situacional en entornos de colaboración inmersivos. Este capítulo se divide en cuatro secciones: en la primera sección se realiza un análisis de la situación actual y se plantean

las preguntas de investigación e hipótesis; en la segunda sección se aborda el planteamiento del estudio de usuario relativo a los mecanismos para generar conciencia situacional en entornos de colaboración inmersivos; en la tercera sección se describe la experimentación realizada en el estudio de usuario; por último, en la cuarta sección se presentan los resultados del estudio de usuario.

- En el *Capítulo 6* se proponen recomendaciones de diseño para interfaces de mapas colaborativos en entornos de realidad virtual inmersiva. Este capítulo se divide en seis secciones: En la primera y segunda sección se detalla los estudios sistemáticos a la literatura realizados sobre interacción en VR y *Workspace Awareness* en entornos de VR respectivamente; en la tercera y cuarta sección se proponen las recomendaciones de diseño para estilos de interacción y representación visual del espacio en entornos VR; En la quinta sección se revisan las técnicas disponibles para validar las decisiones que se adopten cuando se diseñan interfaces de mapas colaborativas e inmersivas; y por último, en la sexta sección se presenta un resumen.
- Por último, el *Capítulo 7* presenta las conclusiones, contribuciones y trabajos futuros del trabajo de investigación.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El estado de la cuestión de la presente tesis doctoral aborda tres áreas principales: tecnologías para el análisis de datos en entornos inmersivos, interacción en entornos de realidad virtual inmersiva, y conciencia situacional y representación del espacio de trabajo colaborativo en entornos inmersivos.

El primer apartado se presenta una revisión de las principales tecnologías inmersivas que se han venido utilizando en el campo de análisis de datos, con el fin de obtener una visión de su evolución y situación actual.

El segundo apartado se centra en la interacción del usuario con las entidades presentes en el entorno virtual. Para el caso de la presente tesis doctoral, se hace una revisión de la literatura de las técnicas de manipulación y selección que habitualmente se emplean en interfaces de mapas virtuales en entornos de Realidad Virtual.

Por último, en el tercer y cuarto apartados se estudia la interacción del usuario con otros colaboradores presentes en tiempo real en el espacio colaborativo virtual. Esta interacción se centra fundamentalmente en los mecanismos utilizados para recopilar información que permita generar conciencia situacional del espacio de trabajo colaborativo, por lo cual en estos apartados se revisa la investigación realizada en el campo mencionado.

De esta manera, esta revisión permite abarcar los principales aspectos que permiten llevar a cabo tareas colaborativas en entornos de realidad virtual inmersiva: la tecnología utilizada para implementar entornos virtuales, las técnicas de interacción con entidades presentes en un espacio colaborativo virtual, y los mecanismos para generar conciencia situacional del espacio de trabajo en un espacio colaborativo virtual.

2.1. Evolución de las tecnologías utilizadas para el análisis de datos en entornos inmersivos

Fonnet y Prié [5] presentan una revisión de las tecnologías utilizadas para implementar sistemas para análisis de datos de forma inmersiva, en la que consideran para que las herramientas de analítica de datos puedan ser consideradas inmersivas al menos deben ofrecer gráficas 3D, visión estereoscópica, y seguimiento de la cabeza. En las siguientes subsecciones se revisan las distintas tecnologías utilizadas para implementar sistemas para el análisis de datos en entornos inmersivos.

2.1.1. BOOM: *Binocular Omni Orientation Monitor*

Los Binoculares de Orientación Omnidireccional (BOOM por sus siglas en inglés) son unas gafas estereoscópicas ancladas a un soporte fijo. Fueron implementadas en el

año de 1990 y a través del giro y manipulación del visor permitían al usuario obtener una visión del mundo virtual desde distintos ángulos. [15].

Este sistema fue utilizado en visualización científica por Bryson et al. en aplicaciones como el túnel de viento virtual [16]. El objetivo de este sistema era visualizar patrones tridimensionales de corrientes de aire inestable para poder comprender su complejidad. Este sistema permitía al usuario inyectar partículas a las corrientes para observar sus trayectorias.

El sistema BOOM permitía usar dos dispositivos para entrada de datos: un teclado tradicional y un guante. El guante contaba con sistema que rastreaba el campo magnético cercano, lo que requería tener control de las condiciones del espacio de trabajo para no alterar las medidas del dispositivo. Además después de cada uso era necesario volver a calibrar los guantes.

2.1.2. Pantallas de visualización envolvente

Estos sistemas fueron conocidos como sistemas CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment* por sus siglas en inglés). Requerían de 4 paneles, 3 de ellos posicionados a izquierda, derecha, en frente del usuario y el cuarto sobre el suelo que pisaba, y 4 proyectores de 120 Hz que emitían imágenes sobre cada uno de ellos. Constaban además con un mecanismo basado en sensores electromagnéticos que permitía rastrear la posición y capturar el movimiento de la cabeza del usuario, adaptando las imágenes proyectadas según sus movimientos.

Los sistemas CAVE fueron utilizados para visualización científica en distintos ámbitos de aplicación, como por ejemplo simulaciones acerca de la formación del universo, reconstrucción 3D de imágenes de resonancia magnética o visualizaciones de datos climatológicos, entre otros. [17].

Las siguientes versiones de los sistemas CAVE introdujeron algunos cambios como pantallas envolventes de forma esférica de más de 10 metros de longitud. Esta versión del CAVE fue utilizado para aplicaciones de análisis de datos de forma inmersiva como el proyecto *Allobrain* [18] que implementó visualizaciones inmersivas para navegar por datos cerebrales extraídos de imágenes de resonancias magnéticas. Otras versiones como el *CAVE2* [19] o el *Reality Deck* [20] empleaban matrices de pantallas en lugar de proyecciones, lo que mejoraba notablemente la calidad de los gráficos respecto a los sistemas CAVE tradicionales. La proyección de imágenes en el suelo del espacio de trabajo también se eliminó en estas versiones para permitir el uso del sistema por varios usuarios de forma colaborativa, con la contrapartida de reducir la sensación de inmersión en el espacio virtual. La aplicación principal de esta versión de los CAVE fue el análisis colaborativo de datos.

El principal recurso para realizar la interacción entre el usuario y el sistema CAVE eran los ratones 3D con 6 grados de libertad llamados *wand*. Estos dispositivos combi-

naban la eficacia de un periférico de entrada tradicional con las ventajas de rastrear la posición de la mano en el mundo virtual. Algunos trabajos también exploraron el uso de guantes de datos para interactuar con los sistemas CAVE [21], [22].

2.1.3. *FishTank VR*

Los sistemas *FishTank VR* fueron presentados por primera vez en el año de 1993 por Ware et al. [23]. Este sistema se componía de una pantalla tipo monitor combinado con un par de gafas estereoscópicas y un dispositivo externo para rastrear los movimientos de la cabeza. Estos componentes reunían los requisitos necesarios para proveer una experiencia inmersiva a un bajo costo. El campo de visión era limitado, pero la resolución y brillo de las imágenes era superior a los sistemas inmersivos basados en proyectores. Además, este sistema se caracterizaba por usar un teclado tradicional como principal periférico de entrada. Ware et al. utilizó este sistema para visualizar software orientado a objetos con representación de red. En [24] presentan un estudio donde comprueban que al añadir componentes inmersivos a un sistema de visualización, como por ejemplo gafas estereoscópicas y rastreo de los movimientos de la cabeza, se facilita la comprensión y el análisis de información presentada en forma de grafo.

2.1.4. Mesas de trabajo responsivas

Las mesas de trabajos responsivas aparecieron en 1995 [25]. Estos sistemas utilizaban gafas estereoscópicas con seguimiento de cabeza y una pantalla horizontal basada en proyección de imágenes. Las mesas de trabajo responsivas fueron ideadas para trabajadores que utilizan una mesa como espacio de trabajo, como por ejemplo, doctores (entrenamiento médico), ingenieros automotrices (túnel de viento), arquitectos (diseños arquitectónicos) [25]. Los periféricos de entrada utilizados fueron variados, incluyendo guantes de datos[26], *wand* [27], o bolígrafos con seguimiento [28].

Como en el caso de los sistemas CAVE y *FishTankVR* estas mesas de trabajo solo permitían una única perspectiva. Esto hacía que fuesen complicados de utilizar de forma colaborativa, resultando difícil poder señalar un punto de interés a un colaborador, por ejemplo . Una solución para ambientes colaborativos desarrollada en el año de 1997, permitía realizar el seguimiento de la cabeza de 2 usuarios y adaptar el número de imágenes por cuadro a 4 (2 usuarios x 2 imágenes) para que cada usuario pueda entender su perspectiva [29].

2.1.5. Gafas Inmersivas

Las primeras versiones de gafas inmersivas (HMD por sus siglas en ingles *Head Mounted Display*) consiste en un par de binoculares que cuando el usuario se las coloca permite visualizar un entorno virtual. Las primeras versiones de estos sistemas, como

el primer prototipo de Ivan Sutherland [30], fueron consideradas como inadecuadas para el análisis de datos por las bajas resoluciones que tenían estos prototipos y la falta de seguimiento de la cabeza. Durante la década de los noventa existen pocos ejemplos de aplicaciones para análisis de datos de forma inmersiva, entre los pocos que se pueden encontrar en la literatura está el visualizador de datos moleculares para VR [31] o la herramienta de visualización científica para realidad aumentada *Studierstube* [32]. No fue hasta la aparición de las *Oculus Rift DK1* en el año 2012 cuando el interés por análisis de datos de forma inmersiva cobró fuerza. Las primeras versiones todavía fueron limitadas debido a la falta de seguimiento de la cabeza que fue suplida por los investigadores con dispositivos externos para realizar seguimiento de la cabeza y generar ambientes inmersivos adecuados [33]. La última generación de HMD (como las *Oculus Rift*¹, *HTC Vive*², *Meta 1*³, o las *Microsoft HoloLens*⁴), implementaron sistemas de alta resolución, renderización estereoscópica y seguimiento de la cabeza a precios asequibles. Esto situó la investigación en análisis de datos de forma inmersiva en una posición privilegiada en los años venideros [34].

Los periféricos de entrada de estas tecnología han sido diversos. Inicialmente, en los últimos años de los noventa la opción más popular fueron los guantes de datos. En los años venideros se exploró el uso de gestos corporales del propio usuario como mecanismo de interacción en los sistemas *Oculus Rift* utilizando dispositivos de seguimiento como *LeapMotion*⁵ [33], o las *HoloLens* que desde sus primeras versiones incluyeron seguimiento corporal [35]. Los investigadores en análisis de datos de forma inmersiva también adoptaron el uso de controles externos diseñados para estos dispositivos como por ejemplo los *HTC Wand* o los *Oculus Touch* [36].

Los sistemas de análisis de datos de forma inmersiva basados en HMDs también han sido utilizados junto con pantallas de alta resolución. Por ejemplo Nagao et al. [37], usó las gafas *Meta 1* junto a una pantalla de resolución 8K. Las gafas HMD permitían realizar una pre-visualización y configuración de los parámetros de la visualización antes de que se presentara la versión final en la pantalla. Esto permitía economizar recursos especialmente en visualizaciones complejas que requerían alta capacidad de procesamiento. Otro enfoque que se le dió a los sistemas HMD era proveer información dedicada a un usuario mediante las HMD mientras la pantalla principal o mesa se utilizaba para compartir información en ambientes colaborativos [38], [39].

¹<https://www.oculus.com/rift/>

²<https://www.vive.com/>

³<http://www.metavision.com/>

⁴<https://www.microsoft.com/es-es/hololens>

⁵<https://www.leapmotion.com/> (Ahora perteneciente a *ultraLeap*)

2.2. Interacción en entornos de realidad virtual inmersiva

El diseño de técnicas de interacción en entornos de realidad virtual conlleva desafíos específicos ya que influye directamente en el desempeño de la tarea y en el grado de inmersión y presencia que el usuario va a experimentar [40]. Estos dos factores son precisamente dos beneficios clave del uso de la realidad virtual. Bowman y Hodges [40], identifica tres tareas universales en entornos virtuales: control de movimiento en primera persona (locomoción), selección y manipulación. El primero se refiere a las acciones que el usuario realiza para cambiar su posición en el mundo virtual. Las otras dos se refieren a las acciones para modificar la localización y atributos de los objetos virtuales en el entorno.

La mayoría de las soluciones de interacción propuestas para estas tareas se pueden clasificar en dos categorías: técnicas que utilizan el cuerpo humano para realizar la interacción y técnicas que utilizan un control para realizar la interacción. De acuerdo a Slater y Usoh [41], el diseño de interacción centrada en el cuerpo humano en la que concuerdan los movimientos del cuerpo físico con el avatar en el mundo virtual mejora la sensación de presencia en el entorno virtual y, en consecuencia, afecta en el compromiso del usuario en la experiencia. Por el contrario, las técnicas basadas en controladores dependen de un objeto externo para capturar la interacción del usuario con el entorno virtual. Algunas veces este dispositivo es diseñado específicamente para entornos de VR, como son los mandos *Oculus Touch*, pero en otros casos se utilizan controladores propios de consolas de videojuegos como el control de *Xbox*.

En las siguientes secciones se revisan los estilos de interacción mas populares propuestos para soportar cada tarea de interacción universal en entornos de realidad virtual inmersiva.

2.2.1. Control de movimiento en primera persona

Bowman et al. [42] identifica cinco técnicas populares para navegación locomoción en entornos virtuales: *movimiento físico* el cual transforma directamente el movimiento de usuario en el entorno virtual; *manipulación manual del punto de vista* que permite navegar realizando gestos específicos o a través de un control; *fijar la mirada* que permite realizar el movimiento en función del punto donde el usuario mira; *viaje basado en un punto objetivo* o tele-transporte donde el usuario marca el punto a donde desea transportarse; y, *planificación de ruta* que consiste en especificar la ruta previamente a realizar la navegación.

Las técnicas de movimiento físico son las mas intuitivas y naturales, además permiten mantener la sensación de presencia en entornos virtuales. Sin embargo, en la mayoría de los casos estas técnicas resultan difíciles de implementar debido a que habitualmente el espacio del que dispone el usuario para realizar los movimientos es limitado. Por esta razón, la mayoría de técnicas de navegación para entornos virtuales son implementadas

usando alguna combinación de las técnicas fijar la mirada y viaje basado en un punto objetivo. Por ejemplo, fijar la mirada al punto deseado de transporte puede ser realizado por la mirada del usuario mientras el mismo presiona algún botón virtual o algún botón del control externo.

2.2.2. Manipulación y selección de objetos virtuales

La mayor parte del rendimiento del usuario cuando manipula objetos u objetivos en entornos de RV están a menudo condicionados por la manera como se seleccionan [43]. Principalmente se pueden identificar dos metáforas cuando se implementa soluciones de interacción para tareas de selección: manos virtuales [44] y punteros virtuales [45]. En el caso de la metáfora de manos virtuales, el usuario implícitamente emula la acción de agarrar un objeto usando sus propias manos. En el caso de punteros virtuales, se necesita realizar algún tipo de gesto para indicar la posición de la entidad deseada en el entorno virtual.

Una de las principales ventajas de las técnicas que utilizan punteros virtuales sobre las manos virtuales es que permiten al usuario seleccionar objetivos fuera de su alcance sin la necesidad de realizar tareas adicionales como la tele-transportación [43]. Entre las diferentes técnicas de punteros virtuales propuestas, las técnicas de uso de rayos *ray-casting* y uso de la mirada *gaze* son consideradas como una forma más natural de interacción en entornos de RV [45]. En el caso del uso de rayos, esta técnica se realiza mediante la proyección de un rayo láser que se origina desde la mano virtual al objetivo deseado. En el caso del uso de la mirada, el usuario solo debe mirar al objetivo deseado para seleccionarlo. En los siguientes apartados se revisa a detalle la literatura existente a estas técnicas de selección y manipulación de objetos en entornos virtuales.

2.2.3. Taxonomías existentes de técnicas de manipulación y selección

En la literatura existen diversas clasificaciones y taxonomías sobre técnicas de selección/manipulación 3D que ayudan a clasificar la investigación desarrollada en este campo. Bowman et. al [46] desarrolló una taxonomía que divide el proceso de selección y manipulación de un objeto en tres sub-tareas: selección, manipulación y liberación. Esta taxonomía permite clasificar las técnicas en términos de diferentes características durante cada una de las tres sub-tareas como el tipo de realimentación, posición/orientación del objeto e indicación de seleccionar/soltar un objeto.

Poupyrev et al.[44] propusieron una clasificación diferente, estableciendo una taxonomía de técnicas de interacción 3D clasificadas según empleen metáforas exocéntricas (vista de tercera persona) y egocéntricas (vista de primera persona). La metáfora egocéntrica es posteriormente dividida en dos clases: la *mano virtual* y el *puntero virtual*. LaViola et al. [47] extendió las metáforas propuestas por Poupyrev et al. añadiendo las técnicas de agarre (*grasping*), apuntar (*pointing*), superficie (*surface*), interacción indirecta

ta (*indirect*), interacción ambidiestra o utilizando ambas manos (*bimanual*), e interacción híbrida.

Mendes et al. [48] propone una taxonomía para clasificar las técnicas de selección. Esta consiste en base a las propiedades de alcance (distancia entre el usuario y el objeto), cardinalidad (numero de objetos seleccionables) y refinamiento progresivo (estrategia para resolver la ambigüedad en selección de objetos próximos). Estas propiedades son útiles para determinar si una determinada técnica es adecuada para tareas de selección específicas. Por ejemplo, decidir si una técnica de interacción es conveniente para seleccionar objetos distantes.

Arguelaguet y Andujar [43] proponen una clasificación y comparación detallada de las técnicas de selección. Las características que consideraron en su clasificación son: herramienta de selección, grados de libertad, mecanismo de desambiguación radio de control, y relación entre el motor y el espacio visual.

Finalmente, la clasificación mas reciente encontrada en la literatura fue propuesta por Weise et al. [49]. En esta clasificación se proponen 13 categorías tomando como base las taxonomías y clasificaciones anteriores. Estas categorías se resumen en la Figura 2.1.

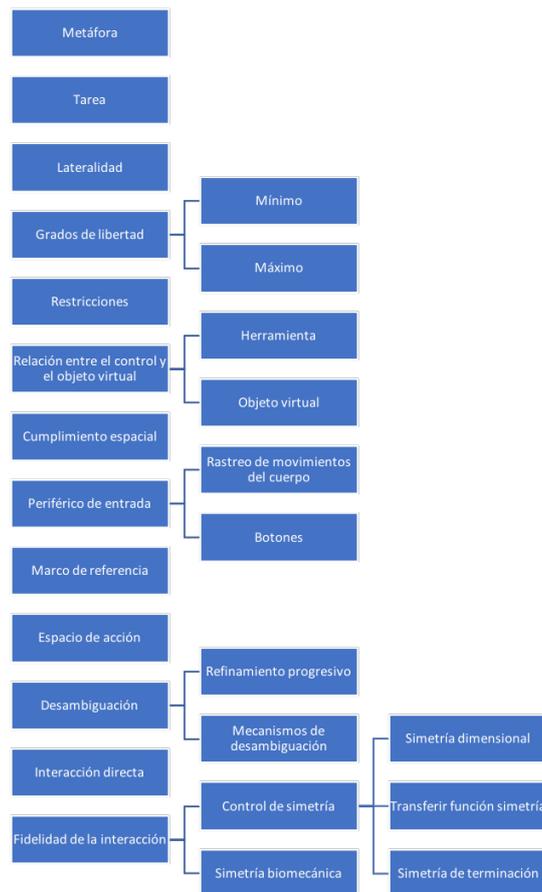


Figura 2.1: Resumen de la taxonomía de técnicas de selección y manipulación propuesto por Weise [49]

2.2.4. Interacción con interfaces de mapas en entornos virtuales

Rauschert et al. [50] identificó que las tareas básicas de interacción en una interfaz de mapa son: enfocar una parte del mapa, mover el mapa, manipular áreas de interés, manipular puntos de interés y visualizar el mapa. Enfocar una parte del mapa se refiere a la acción de acercar o alejar la vista de un mapa en una ubicación geográfica específica. Mover el mapa implica desplazar el área de vista del mapa a una determinada ubicación geográfica. Manipular áreas de interés implica dibujar sobre el mapa figuras geométricas que permita resaltar una determinada área geográfica del mapa. Manipular puntos de interés implica básicamente colocar y manipular marcadores sobre una determinada posición geográfica del mapa. Las acciones a realizar cuando se manipulan áreas y puntos de interés son: crear, modificar, eliminar. Por último, visualizar el mapa implica que el usuario pueda ver la interfaz y todos los elementos colocados sobre el mismo.

A continuación se revisa la investigación relacionada con la taxonomía de técnicas de selección propuesta por Weise et al. [49] que ayudan a lograr las tareas de interacción en interfaces de mapas identificadas por Rauschert et al. [50]. En concreto se revisarán investigaciones referentes a la metáfora de interacción, la tarea de interacción y el periférico de entrada. El resto de categorías no se incluyen en esta revisión ya que están fuera del alcance de esta tesis doctoral que centra en la interacción con interfaces de mapas en entornos de Realidad Virtual.

Metáfora

La mayoría de las técnicas de interacción están diseñadas pensando en una metáfora del mundo real. Esto facilita el aprendizaje de la técnica al usuario [51]. En esta característica se pueden identificar tres categorías: *agarrar*, *apuntar* e *híbridas*.

La metáfora de agarrar describe la forma más natural de interactuar en un espacio de 3 dimensiones. Esta técnica se puede dividir en agarre basado en la mano y agarre basado en los dedos. En el caso de agarre basado en la mano se utiliza únicamente la posición y/o la orientación de la mano para permitir al usuario interactuar con los objetos virtuales. En el caso de agarre basado en los dedos, el movimiento de cada dedo del usuario se transfiere al mundo virtual. Esto mejora la precisión de la interacción pero incrementa la dificultad de implementar la técnica. Un ejemplo de esta selección es la técnica IDS [52] (*Intent Driven Selection* por sus siglas en inglés). En esta técnica se genera una esfera de proximidad de tal manera que los dedos del usuario puedan tocar el interior de la esfera. Todos los objetos virtuales que entren en contacto con el interior de la esfera son potenciales candidatos para ser seleccionados. Rastrear el movimiento de los dedos permite que a medida que se cierra la mano la esfera se contraiga para seleccionar el objeto deseado.

La metáfora de apuntar permite al usuario interactuar con los objetos virtuales apuntándolos. Esta técnica es ampliamente utilizada ya que permite seleccionar objetos incluso

a distancias fuera del alcance del usuario. Esta metáfora se puede dividir en técnicas basadas en vector y técnicas basadas en volumen. En las técnicas basadas en vector el usuario utiliza un rayo para seleccionar un objeto. Una implementación frecuente de esta técnica es *ray-casting* [53], que consiste en un rayo o vector cuyo origen es la mano del usuario y la dirección es controlada por la orientación de la mano. Esta técnica también es factible para manipular la posición del objeto virtual pero es una forma compleja de manipulación debido a que el objeto se acopla al final del rayo y resulta una forma no natural de interactuar con el objeto. En cambio, las técnicas basadas en volumen en lugar de utilizar un rayo usan alguna figura volumétrica como puede ser un cono para interactuar con el objeto. Un ejemplo de esta técnica es la técnica *Flashlight* [54] que permite seleccionar objetos creando un cono desde la mano hasta el objeto. La rotación es controlada de igual manera con la orientación de la mano. Esta técnica facilita la selección de objetos mas pequeños pero crea ambigüedad ya que múltiples objetos pueden caer dentro del volumen del cono. La técnica *Flashlight* soluciona esto seleccionando únicamente aquel objeto que esté mas cerca al centro del cono.

Adicionalmente, existen técnicas que usan una combinación de las metáforas antes descritas. Por ejemplo la técnica *HOMER* [55] es una técnica híbrida desarrollada para aprovechar las técnicas de el rayo y la mano virtual. La selección del objeto es realizada por el rayo permitiendo seleccionar aquellos objetos que están fuera del alcance del usuario. Posteriormente a la selección, la mano virtual manipula el objeto para mover su posición.

Para el caso de interacción con mapas virtuales gran parte de la interacción se basa en seleccionar un punto de interés sobre una localización geográfica. La mayoría de las técnicas de interacción utilizadas en este tipo de interfaces utilizan la técnica de apuntar para interactuar o versiones adaptadas del mismo. Un ejemplo de este tipo de interacción es el trabajo presentado por Rädle et al. [56] que utiliza una técnica de navegación por mirilla. Esta técnica consiste en el uso de un dispositivo que permite mediante su orientación apuntar la parte específica del mapa con la que el usuario desea interactuar. Kim et al. [57] propone una metáfora diferente para interactuar con interfaces de mapas utilizando la voz para explorar un mapa visualizado en gafas de realidad aumentada. En esta técnica el usuario nombra puntos de interés utilizando su voz para que la interfaz de mapa se vaya repositando en diferentes ubicaciones en el mapa en función del punto de interés citado. Por último, otras metáforas de interacción en interfaces de mapas hacen uso de gestos específicos para la ejecución de las tareas básicas de interacción en interfaces de mapas. Por ejemplo, la investigación de Giannopoulos et al. [58] estudia las ventajas y limitaciones del uso de dispositivos HMD para interactuar con entornos de RV. En este estudio se utiliza la orientación de la cabeza para mover la posición del mapa y la mirada para seleccionar un punto de interés.

Tarea

Las técnicas básicas de manipulación propuestas por LaViola et al. [47] permiten definir la mayoría de posibilidades de interacción en entornos 3D. Estas tareas básicas son: *seleccionar, posicionar, rotar y escalar*.

Selección es la tarea que permite identificar un objeto en particular. Normalmente esta tarea precede a una de las otras tareas básicas. Posicionar permite al usuario cambiar la ubicación de un objeto en el espacio tridimensional. Rotación es la tarea de cambiar la orientación de un objeto. Escalar permite al usuario cambiar el tamaño del objeto. Esta última tarea es implementada por pocas técnicas de manipulación y normalmente requiere el uso de ambas manos. Por ejemplo, en las técnicas *Handle-Bar* [59] y *6-DoF Hand* [60] utilizan la distancia entre las dos manos para escalar un objeto.

La mayoría de las técnicas existentes soportan múltiples tareas como la técnica de la mano virtual. Algunas técnicas son desarrolladas para mejorar tareas específicas como la técnica IDS (*Intent Driver Selection*) [52].

Adicionalmente existen otros trabajos para tareas básicas como la entrada de caracteres y valores numéricos [61] o la interacción con interfaces de usuario [45].

Para el caso de interacción con interfaces de mapas, la mayoría de tareas propuestas por LaViola et al. [47] se relacionan con las tareas básicas de interacción en este tipo de interfaces. Mientras trabajos como los de Kim et al. [57] se centran únicamente en la selección de puntos de interés a través de la voz para permitir tareas de navegación en el mapa, trabajos como el de Giannopoulos et al. [58] permiten realizar la mayoría de las tareas de navegación a través de la funcionalidad de orientación de la cabeza provista por la mayoría de gafas de RV disponibles en el mercado.

Periféricos de entrada

Las técnicas de interacción y los dispositivos de entrada se pueden considerar de forma separada. Esto quiere decir que un dispositivo de entrada puede soportar múltiples técnicas de interacción y una técnica de interacción se puede implementar en diferentes dispositivos de entrada [47]. Sin embargo es importante identificar los requerimientos de la interacción para identificar el correcto dispositivo de entrada para una técnica en particular [49].

En entornos de RV es conveniente que los periféricos de entrada reproduzcan de una forma realista las acciones en el entorno virtual. Es por eso que la mayoría de periféricos de entrada o rastrean los movimientos de partes del cuerpo o la interacción con los periféricos en el mundo real genera un comportamiento realista en el mundo virtual. En el caso de los dispositivos que rastrean el movimiento del cuerpo, estos consisten en cámaras o sensores que capturan el movimiento de partes del cuerpo y lo reproducen en el mundo virtual, como es el caso del dispositivos *Leap Motion* que a través de sensores infrarrojos

captura el movimiento generalmente de las extremidades superiores. En el caso de uso de dispositivos periféricos de entrada, estos suelen tener sensores y botones que permiten capturar las intenciones del usuario y ejecutan un comportamiento realista en el mundo real, por ejemplo los controles *Oculus Touch* permiten identificar la orientación y posición de la mano a través de cámaras y sensores, e identifican el movimiento de los dedos a través del uso de botones integrados en el periférico.

En el caso de periféricos utilizados para interactuar con interfaces de mapas en entornos inmersivos, estos generalmente utilizan o dispositivos que capturan el movimiento del cuerpo para interactuar a través de gestos [58], [62], [63] o utilizan algún dispositivo periférico que generalmente suele ser alguno que permita apuntar para interactuar con el mapa [56], [64].

2.3. Conciencia situacional del espacio de trabajo colaborativo en entornos inmersivos

La generación de conciencia situacional del espacio de trabajo (*Workspace Awareness* en inglés o WA) es un aspecto relevante en el campo de investigación de trabajo colaborativo asistido por ordenador (*Computer Supported Collaborative Work* o CSCW). La WA se conforma por el conjunto de información del que dispone un colaborador acerca de lo que está pasando en el espacio de trabajo y los mecanismos de los que dispone para aportar él mismo información sobre sus actos e intenciones con el fin de para contribuir a la consecución exitosa de una tarea colaborativa [65].

Gutwin y Greenberg proponen un marco de trabajo para WA en aplicaciones colaborativas [6]. Este marco de trabajo está compuesto por tres niveles a lo largo de los cuáles se agrupan la información que conforma WA, los medios para recopilarla y los medios para emplearla en la colaboración. Específicamente en colaboración síncrona, este marco de trabajo propone tres categorías para WA: conciencia situacional de copresencia o presencia social, conciencia situacional de las acciones y conciencia situacional de la localización. La conciencia de presencia busca recopilar información sobre quién está presente en el espacio de trabajo. La conciencia de acciones busca recopilar información sobre qué se encuentran haciendo otras personas en el espacio de trabajo. Por último, la conciencia de localización busca recopilar información sobre la localización, área de alcance y campo de vista de otras personas en el espacio de trabajo. En la Tabla 2.1 se detalla los elementos de este marco de trabajo para colaboración síncrona.

En el campo de Realidad Virtual, existen algunos trabajos que implementan mecanismos para proveer información de cada elemento del marco de trabajo propuesto por Gutwin y Greenberg. En los siguientes apartados se revisa los trabajos realizados para cada elemento del marco de trabajo.

Tabla 2.1: Elementos de WA para colaboración síncrona [65]

Categoría	Elemento	Preguntas específicas
Quién	Presencia	¿Está alguien en el espacio de trabajo?
	Identidad	¿Quién está participando?
	Autoría	¿Quién está haciendo eso?
Qué	Acción	¿Qué están haciendo?
	Intención	¿De qué objetivo forma parte esa acción?
	Artefacto	¿En qué objeto están trabajando?
Dónde	Localización	¿En dónde están trabajando?
	Mirada	¿Dónde están mirando?
	Alcance	¿Dónde pueden alcanzar?

2.3.1. Presencia social (¿Quién?)

El término “presencia social”, también denominado copresencia, se refiere al “sentido de encontrarse presente junto a alguien mas” [66]. La presencia social es una de las tres dimensiones de la que forma la presencia (presencia espacial, auto-presencia, y presencia social).

En la literatura se encuentran diversas investigaciones que estudian los efectos de la presencia social en una tarea colaborativa. Weinel et al. [67] identifica a la presencia social como un factor relevante en la colaboración. En el estudio presentado por los autores identificaron que la presencia social es un factor relevante en la colaboración ya que influye positivamente en la percepción de la carga de trabajo de la tarea y la colaboración. En otro estudio, Roberts et al. [68] investigó sobre la influencia de la presencia social y el tamaño de grupo en procesos de interacciones con grupos. En este estudio se comparó grupos de dos tamaños en tres escenarios diferentes: colaboración cara a cara, colaboración cara a cara utilizando software colaborativo y colaboración virtual utilizando software colaborativo. El resultado del estudio mostró que a medida que se incrementa la presencia social utilizando software colaborativo, los efectos negativos de incrementar el tamaño del grupo se reducen.

En el caso específico de colaboración en ambientes virtuales inmersivos, la presencia social tiene un rol más decisivo. La revisión de Oh et al. [69] encontró una estrecha relación de la presencia social con la influencia social. Además, la presencia social mejora la comunicación, coordinación y confianza entre los colaboradores en entornos de RV.

Piumsomboon et al. [70] investigó sobre el uso de algunos mecanismos para compartir presencia social entre los colaboradores como compartir gestos de los colaboradores y la dirección de su vista. El resultado de su investigación mostró que estos mecanismos

mejoran la presencia social y la experiencia en general de la colaboración en entornos de realidad mixta.

En la literatura se pueden encontrar trabajos que muestran los beneficios de utilizar avatares en entornos virtuales para mejorar la colaboración. El estudio de Kim et al. [71] sugiere que el uso de avatares para compras virtuales mejora la presencia y la experiencia general del usuario. Además, diversos trabajos indican que el sentido de copresencia se puede mejorar cuando los avatares de los colaboradores representan de forma realista las acciones y comportamientos de los colaboradores. Los resultados de la investigación desarrollada por Von der Pütten [72] sugiere que los usuarios perciben una fuerte presencia social cuando los agentes virtuales muestran un comportamiento realista de los movimientos de la cabeza en comparación de aquellos agentes que no lo mostraban. De igual manera, en un estudio presentado por Pan et al. [73] se demostró que los participantes sentían una mayor presencia social cuando un agente virtual se ruborizaba durante una presentación virtual, tal como sucedería si una persona cometiese un error durante una presentación en la realidad.

Sin embargo, también se pueden encontrar en la literatura trabajos que cuestionan la relación positiva entre el uso de avatares y la presencia social. Robb et al. [74] realizó un estudio de usuario para investigar como afecta a los aprendices de enfermería y técnicos quirúrgicos la presencia de avatares en entornos de entrenamiento virtual. Los resultados del estudio comparando enfermeros virtuales y técnicos quirúrgicos humanos, enfermeros humanos y técnicos quirúrgicos virtuales y enfermeros virtuales y técnicos quirúrgicos virtuales no mostraron diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, los autores del estudio identificaron diferencias notables cuando los humanos interactuaron con compañeros virtuales en términos de predisposición a colaborar y eficiencia en la ejecución de la tarea.

2.3.2. Conciencia situacional de las acciones en el espacio colaborativo (¿Qué?)

La conciencia situacional de acciones se refiere a la información presentada a los colaboradores acerca de las actividades que están ocurriendo en el espacio colaborativo. Trabajos previos en esta área se enfocan en herramientas para dar soporte acerca del entendimiento mutuo del trabajo hecho por los colaboradores. La mayoría de estas herramientas se pueden clasificar en tres categorías: basadas en imágenes, basadas en vídeo, y herramientas no visuales.

Las herramientas basadas en imágenes proveen una solución de bajo costo para recopilar información de las acciones realizadas en espacios colaborativos. Chen et al. [75] presenta una herramienta en realidad aumentada para dar soporte remoto a conductores de vehículos. En el sistema propuesto, el experto remoto proporciona ayuda al conductor enviando imágenes con anotaciones. Los participantes que formaron parte de la evaluación del estudio reportaron que las anotaciones en las imágenes fueron mas intuitivas y fáciles de entender en comparación a otras soluciones como la asistencia remota utilizando la

VOZ.

Las herramientas basadas en vídeo requieren una infraestructura más elaborada para difundir la información entre los colaboradores debido a la cantidad de datos necesarios para ser distribuida. Este tipo de soluciones es compatible con los ambientes de Realidad Aumentada colaborativo donde el mundo real es enriquecido con capas adicionales de información digital. Por ejemplo, Nilsson et al. [76] presenta una herramienta colaborativa de Realidad Aumentada para mejorar la colaboración entre servicios de rescate en escenarios de manejo de crisis que usa vídeo en vivo para soportar actividades de planificación colaborativa.

Finalmente, herramientas no visuales son aquellas que integran información no visual acerca de las acciones de los colaboradores, por ejemplo usando retroalimentación auditiva o háptica. García et al. [77] presenta un estudio experimental en donde exploran el potencial de pistas de WA multi-modales para soportar tareas de interacción. Específicamente comparan pistas visuales, auditivas y hápticas para facilitar el WA cuando mueven una viga de forma colaborativa. Los resultados de este estudio no fueron lo suficientemente concluyentes para establecer cual es el tipo de realimentación que genera mejor WA.

2.3.3. Conciencia situacional de la localización de colaboradores y entidades en el espacio colaborativo (¿Dónde?)

La conciencia situacional de la localización se refiere a aquellas pistas que proporcionan a los colaboradores información sobre las posiciones del resto de colaboradores, el área que están mirando, o los artefactos que pueden alcanzar en un momento dado. En realidad virtual, las formas más comunes de presentar esta información es mediante gestos de señalar, punteros rayo, ventanas gráficas y conos.

Los gestos de señalar y los punteros rayos trabajan de forma similar permitiendo al colaborador dar indicaciones apuntando un objetivo en el espacio virtual. Los punteros rayos representan de forma visual el camino desde el gesto de señalar realizado por el usuario hasta el objetivo mediante una línea recta. Estos punteros rayos son especialmente útiles cuando los gestos de señal no son muy precisos en el entorno virtual. Li et al. [78] propone el uso de rayos para representar la dirección de la mirada del colaborador en una aplicación de realidad aumentada para soporte remoto de expertos en la navegación a través de un campus. Por otro lado, los gestos de señalar utilizan únicamente el gesto realizado por el colaborador, y el usuario debe estimar el lugar al referido por el colaborador. Estos gestos representan una complejidad añadida al identificar el lugar referido debido a las limitaciones que representa interpretar gestos en entornos virtual. Trabajos como [79], [80] se centran en mejorar la percepción del usuario en cuanto a interpretar los gestos de señalar en entornos virtuales.

Las ventanas gráficas o portales emplean un cuadro para presentar el área donde el co-

laborador está viendo. Aunque estas soluciones son tradicionales de entornos no inmersivos como pantalla 2D, también han sido utilizadas con éxito también en entornos 3D [81] empleando configuraciones de tipo “*Frustums*”. En este caso, el área 3D del colaborador es demarcado por los bordes de un prisma. Los resultados de un estudio presentado por Piumsomboon et al. [82] sugieren que el uso de estas soluciones mejora el rendimiento del usuario.

2.4. Representación del espacio colaborativo

En ambientes colaborativos, la forma en que se representa el espacio de trabajo común cobra especial relevancia ya que en él los usuarios pueden formarse un esquema mental de lo que está sucediendo en el espacio colaborativo y cómo pueden aportar para la consecución exitosa de una tarea colaborativa.

Ens et al. [4] propone una categorización de seis dimensiones que categoriza la investigación realizada sobre colaboración en entornos de realidad mixta. Una de estas dimensiones habla sobre relación entre la actividad colaborativa y el escenario. En esta dimensión Ens et al. indica que, entre otras posibilidades, el escenario se puede representar bien mediante un escenario de trabajo compartido o mediante una experiencia compartida. Escenario de trabajo compartido se refiere a los sistemas o estudios que tienen un fuerte enfoque en el espacio de trabajo. Para el caso de experiencia compartida, la representación del espacio colaborativo no se centra únicamente en el espacio de trabajo, sino que también se centra en la experiencia personal de los colaboradores. En los siguientes apartados, se revisan algunos ejemplos de entornos implementados para cada una de las dos aproximaciones.

2.4.1. Espacio de trabajo compartido

Algunos ejemplos de este tipo de escenarios son: juegos físicos soportados por realidad aumentada [83], [84], discusiones en proyectos de construcción [85], o juegos de mesa [86]. Todos estos ejemplos tienen un fuerte enfoque en el espacio de trabajo en comparación a la sensación de copresencia o el nivel de detalle del escenario. Estos tipos de escenarios se pueden implementar utilizando realidad aumentada, realidad virtual o realidad mixta.

Yasojima et al. [87] propone una herramienta colaborativa de realidad aumentada para visualización de información. Esta herramienta hace uso de marcadores para mostrar una visualización 3D en el mundo real y analizar la visualización de forma colaborativa. En este ejemplo, la herramienta de visualización se centra en el espacio de trabajo ya que la herramienta es dicha visualización, y los demás elementos de la experiencia personal de los colaboradores no son soportados por la herramienta.

Otro ejemplo de este tipo de escenarios es el trabajo realizado por Piumsomboon

et al. [70]. En este trabajo, los autores presentan un avatar adaptativo para colaboración remota. Aquí, uno de los colaboradores trabaja en el mundo real mientras el otro presta ayuda de forma remota desde el mundo virtual. El escenario que propone este trabajo tiene un fuerte enfoque en los avatares, y la tarea colaborativa que están realizando, mientras los demás elementos de la experiencia compartida son relegados a un plano secundario.

2.4.2. Experiencia compartida

Algunos ejemplos de este tipo de escenarios son: rescates en eventos catastróficos [88], donde el experto remoto requiere una visualización detallada del entorno del rescatista para proveer asistencia, o exploración de museos [89] donde el guía y los turistas necesitan estar conscientes de la presencia del otro para entender las explicaciones de la visita y una visualización detallada de los elementos del museo virtual. Estos escenarios también se pueden implementar tanto en entornos de realidad aumentada, realidad virtual, o realidad mixta.

Gugenheimer et al. [90] presenta un sistema que ayuda a las personas que no utilizan un HMD de realidad virtual, y en consecuencia no tienen la posibilidad de visualizar lo que otra persona físicamente co-localizada está viendo en el mundo virtual. En este sistema, los autores usan unas pantallas localizadas sobre el HMD para permitir a la otra persona visualizar e interactuar con el campo de vista de la persona que usa el HMD. En este caso, el escenario es relevante para los colaboradores, y el sistema permite tener una visualización detallada del mundo virtual a la persona que no está utilizando las gafas de realidad virtual.

Barden et al. [91] explora las oportunidades de la realidad aumentada para mejorar eventos telemáticos como puede ser una cena en donde los participantes se encuentran en distintas localizaciones geográficas. En este trabajo los autores exploran el uso de pistas visuales para soportar la experiencia remota de los invitados para mejorar la experiencia de cercanía y diversión. Este es un buen ejemplo de escenarios de experiencia compartida donde los invitados a una cena necesitan tener una vista detallada de las acciones, expresiones faciales, o actividades que realizan los otros invitados para saber si el resto se está divirtiendo o se siente incomodo durante la cena.

2.5. Conciencia situacional y representación del espacio en interfaces de mapas colaborativos

Las interfaces de mapas tienen muchos campos de aplicación en los que se requiere la interacción entre la interfaz y los colaboradores. Algunos ejemplos son: gestión de emergencias [50], planificación de urbanismo [92], análisis de información geográfica [93], etc. En este caso, para lograr una colaboración exitosa en este tipo de herramientas se debe considerar fundamentalmente dos aspectos: cómo se representa el espacio de

trabajo (o la interfaz de mapa propiamente dicha) y la información que permite generar WA a todos los colaboradores involucrados en el espacio colaborativo. En los siguientes apartados se revisa trabajos previos realizados en las mencionadas áreas.

2.5.1. Representación de mapas en entornos virtuales inmersivos

Los entornos de 3 dimensiones como los entornos virtuales inmersivos dan la posibilidad de representar las interfaces de mapas en diversas maneras. Yang et al. [94] identificó las formas mas comunes de representar mapas en entornos de realidad virtual:

- **Mapa plano:** es una renderización plana del mapa en el entorno virtual.
- **Globo exocéntrico:** El mapa es representado como un globo 3D y el usuario tiene el punto de vista desde afuera del globo.
- **Globo egocéntrico:** El mapa es representado como un globo 3D y el usuario tiene el punto de vista desde adentro del globo.
- **Mapa curvado:** Es similar al mapa plano, pero se varia la proyección del mapa para tener una mejor percepción de las dimensiones del globo terráqueo.

Los resultados de un estudio comparativo realizado por los autores identificó que el globo exocéntrico tiene mejor comportamiento en escenarios de realidad mixta, mientras que el globo egocéntrico fue el menos efectivo para visualizaciones. En el mismo estudio se identifico que el mapa plano resulta el mas familiar para los usuarios y el mas fácil de entender.

2.5.2. Conciencia situacional del espacio de trabajo en interfaces de mapas

Cuando se realizan visualizaciones en interfaces de mapas colaborativos, es importante tener referencias de la presencia, campo de vista, área de alcance y las actividades que realizan los otros colaboradores. Estas referencias o pistas proveen a los colaboradores con información básica del entorno colaborativo y permite a los mismos contribuir para alcanzar los objetivos de una tarea colaborativa.

Wu et al. [8] investigó sobre consideraciones de diseño de sistemas colaborativos para trabajar en equipo en el dominio de geo-visualizaciones. En este trabajo, los autores aportaron un conjunto de pistas que permiten coordinar y facilitar la actividad de visualización para ayudar a la toma de decisiones y crear conciencia de las actividades colaborativas. Además, en el mismo trabajo, los autores contribuyeron con guías de diseño para sistemas colaborativos donde establecen la necesidad de proveer a los colaboradores con mapas personales (específicas a cada rol de la colaboración) y mapas compartidos (visualizado por todos los miembros del equipo). De esta manera los colaboradores podían

trabajar de forma personal y luego compartir sus resultados con el resto del equipo. En investigaciones posteriores, Convertino et al. [95] encontraron que la comunicación entre los colaboradores se puede mejorar a través de herramientas específicas para compartir WA como portales, indicadores de roles, etc. Estas herramientas mejoran la compartición de conocimiento y conciencia de actividades en entornos colaborativos.

En el campo de visualizaciones inmersivas de mapas, Mahmood et al. [96] propuso una herramienta colaborativa e inmersiva de visualización de datos geográficos que provee copresencia, transferencia de información y funciones de análisis colaborativos de datos para escenarios de realidad mixta. La solución propuesta fue implementada para escenarios de realidad aumentada y utilizaba un par de gafas *Hololens*. Este escenario muestra al usuario una visualización del mapa con información geo-referenciada y un avatar que representaba al colaborador remoto con el que realizaba el análisis colaborativo de la visualización. Los resultados de estudios de usuarios realizados en esta investigación demostraron la efectividad de las técnicas de realidad mixta para el análisis colaborativo de datos.

2.6. Resumen del capítulo

Este capítulo realiza una revisión de la literatura en las áreas principales en las que se engloba la presente tesis doctoral: tecnologías para el análisis de datos en entornos inmersivos, interacción en entornos de realidad virtual inmersiva, y conciencia situacional y representación del espacio de trabajo colaborativo. Adicionalmente, la revisión detalló aquellos trabajos que se enmarcan en las interfaces de mapas colaborativos que es el contexto de uso de la presente tesis doctoral. En la Tabla 2.2 se presenta un resumen de los trabajos citados en esta revisión que se centran en interfaces de mapas.

En primer lugar, se revisó de forma cronológica las tecnologías que han sido utilizadas para el análisis de datos en ambientes inmersivos. Posteriormente, se revisaron las principales técnicas de interacción en entornos de realidad virtual relacionándolas con las tareas básicas de interacción en interfaces de mapas: mover, enfocar, áreas y puntos de interés, y visualización del mapa.

En la segunda mitad de este capítulo se revisaron aspectos de colaboración en entornos de realidad virtual: conciencia situacional del espacio de trabajo y representación del espacio colaborativo. Al igual que la primera parte esta revisión relaciono los trabajos realizados para ambientes inmersivos en general con aquellos específicamente dedicados a interfaces de mapas en entornos inmersivos.

En la revisión realizada en el presente capítulo se puede apreciar que la mayor parte de trabajos que abordan herramientas de mapas son realizados en interfaces no inmersivas (2D) y una pequeña cantidad de las interfaces de mapas en entornos inmersivos (3D) son colaborativos. Como se puede apreciar en la Tabla 2.2, se tiene poca información sobre como diseñar interfaces de mapas colaborativos en entornos inmersivos para conseguir

una colaboración efectiva. El presente trabajo de tesis doctoral pretende aportar con investigación sobre mecanismos de interacción y apoyos visuales para generar conciencia situacional que logren una colaboración efectiva en este tipo de interfaces.

Tabla 2.2: Resumen de trabajos propuestos en la literatura sobre interfaces de mapas

Trabajo	Tipo de interfaz	Campo de Aplicación	Estilo de interacción	Técnica de selección	Periférico de entrada	Mecanismo de conciencia situacional	Representación del espacio
[8]	2D	Gestión de emergencias	Dispositivo externo	Puntero	Ratón	Portales	Espacio de trabajo compartido
[50]	2D	Gestión de emergencias	Gestual	gesto de apuntar	Cámara	Copresencia	Espacio de trabajo compartido
[56]	2D	Navegación	Dispositivo externo	Puntero	Presentador de diapositivas	No colaborativo	No aplica
[57]	2D	Navegación	Voz	Voz	Micrófono	No colaborativo	No aplica
[58]	3D	Navegación	Gestual	Rayo utilizando la orientación de la cabeza	Giroscopio	No colaborativo	No aplica
[62]	2D	Navegación	Gestual	gesto de apuntar	pantalla táctil	No colaborativo	No aplica
[63]	3D	Visualización de datos	No interactiva con interfaz	No aplica	No aplica	Copresencia	Espacio de trabajo compartido
[64]	3D	Visualización de datos	Dispositivo externo	Puntero	Control 6 DoF	No colaborativo	No aplica
[94]	3D	Visualización de mapas	Dispositivo externo	Rayo utilizando orientación del puntero	Control HTC Vive	No colaborativo	No aplica
[95]	2D	Gestión de emergencias	Dispositivo externo	Puntero	Ratón	Portales	Espacio de trabajo compartido
[96]	3D	Visualización de datos	Gestual	gesto de apuntar	Sensor de rastreo Hololens	Copresencia	Espacio de trabajo compartido

3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para introducir el uso de tecnologías inmersivas en entornos colaborativos, primero debemos establecer los requisitos mínimos para que estas tecnologías sean utilizadas de forma exitosa por los usuarios finales. En el capítulo anterior se pudo identificar que existen en la literatura diferentes estilos de interacción que se pueden aplicar a entornos inmersivos, algunos de los cuales son estilos que se vienen utilizando en entornos no inmersivos. De forma similar, en la literatura se identifica dos formas de representar un escenario de colaboración en entornos de RV. Sin embargo, no se puede identificar cuáles son los paradigmas que mejor ayudan a diseñar este tipo de escenarios. En esta investigación, lo que se busca es encontrar cuales son los beneficios y limitaciones de distintos paradigmas de interacción y representación visual de espacios colaborativos en entornos de RV. En este capítulo, se presentan las preguntas de investigación que dan lugar a esta investigación y las contribuciones que se obtendrá de la misma.

3.1. Preguntas de investigación

Tomando como referencia los principales desafíos propuestos por Gutwin y Greenberg [6] en sistemas CSCW, las preguntas de investigación a plantearse en el presente trabajo de investigación deberían estar enfocadas en los siguientes aspectos:

- Interacción entre el usuario y el entorno virtual.
- Representación del espacio de trabajo virtual.
- Representación de información de WA.

La pregunta de investigación principal que se plantea la presente tesis doctoral es la siguiente:

¿Cómo la interacción y la representación visual del espacio de trabajo influyen en la eficiencia de los usuarios en interfaces de mapas colaborativas?

Para dar respuesta a esta pregunta se deben analizar individualmente los dos aspectos mencionados.

En primer lugar, en espacios de colaboración cara a cara sin la asistencia de ordenadores, los usuarios recopilan y entregan información y acciones en el espacio colaborativo a través de sus propio cuerpos. En el caso de entornos de CSCW, la interacción del usuario se produce mediante los periféricos del sistema. Dependiendo de la tecnología que se utilice los periféricos pueden ser diversos. Para el caso de interacción en ambientes virtuales

inmersivos existen diversos paradigmas o formas de interactuar que se pueden agrupar en: (1) paradigmas en los que se capturan los gestos o movimientos del usuario (interacción gestual) o (2) paradigmas en los que el usuario indica sus intenciones a través de botones que mandan instrucciones al sistema (controles externos). Este tipo de interacción mediada por gestos o controles externos puede llegar a ser compleja para el usuario y más aún si se refiere a usuarios sin la experiencia suficiente en el uso de tecnologías de RV. La siguiente pregunta de investigación persigue analizar los beneficios y limitaciones de cada estilo de interacción:

¿Cómo influyen diferentes paradigmas de interacción en interfaces de mapas inmersivos para alcanzar una interacción eficiente y una experiencia de usuario satisfactoria?

Por otro lado, en espacios de colaboración cara a cara, el propio espacio físico proporciona información sobre WA. En el caso de un entorno CSCW, esta información es difícil de transmitir [97]. En ambientes de RV, esta información se puede proveer mediante canales auditivos, visuales o hápticos. Sin embargo, un problema tradicional cuando se diseñan mecanismos de WA es el efecto túnel en la atención [98]. Este efecto se produce cuando se sobrecarga al usuario de información. En el caso de ambientes colaborativos inmersivos, este problema puede llegar a condicionar el rendimiento del colaborador debido a que puede llegar a recibir demasiada información y no saber cómo interpretarla. Centrándose en la información que se presenta visualmente, ésta se puede representar de distintas maneras. Por un lado, se pueden presentar de una forma que reproduce espacios de colaboración presenciales en lo que se denomina *experiencia compartida*. Por otro lado, esta información se puede presentar dando relevancia a aquellos elementos que contribuyen a la realización de la tarea colaborativa en lo que se denomina *espacio de trabajo compartido*. La siguiente pregunta de investigación persigue analizar los beneficios y limitaciones de cada paradigma:

¿Cómo influyen diferentes paradigmas de representación visual de la información de WA a en una interfaz de mapa inmersiva para lograr una colaboración eficiente y con menor carga cognitiva?

Ambas preguntas buscan recopilar evidencias que sirvan de ayuda para comprender los beneficios y limitaciones de dos visiones de interactuar y representar espacios virtuales: representando fielmente la realidad con estilos de interacción y representaciones visuales realistas, o paradigmas que no necesariamente sean reproducciones fieles de la realidad pero que aprovechen metáforas y representaciones que se han venido utilizando en entornos no inmersivos 2D.

3.2. Contribuciones de la tesis doctoral

La presente tesis doctoral estudia la influencia de la interacción y la representación visual del espacio de trabajo en entornos de realidad virtual. Por una parte, las contribuciones en el dominio del conocimiento son los resultados de los dos estudios de usuario llevado a cabo. Por otra parte, las contribuciones llevadas a cabo en el dominio de la aplicación son los propios prototipos elaborados para poner a prueba las hipótesis planteadas en cada estudio de usuario. En los siguientes apartados se muestran las contribuciones específicas a cada dominio.

3.2.1. Contribuciones en el dominio del conocimiento

La presente tesis doctoral aporta a la base del conocimiento de dos aspectos fundamentales de los escenarios de realidad virtual: la interacción entre el usuario y el entorno, y la representación visual del espacio de trabajo. Los hallazgos encontrados son:

- **Estilos de interacción en interfaces de mapas inmersiva (capítulo 4):** Los resultados del estudio de usuario llevado a cabo sugieren que el estilo de interacción basado en dispositivo externo es más eficiente y los usuarios lo perciben como más usable en comparación al estilo de interacción gestual. A pesar de que los usuarios pueden considerar la interacción gestual como “más natural”, los usuarios demostraron mayor eficiencia y mostraron su preferencia al estilo de interacción basado en dispositivo externo.
- **Paradigmas de representación visual del espacio de trabajo en interfaces de mapas colaborativos inmersivos (capítulo 5):** Los resultados del estudio de usuario llevado a cabo sugiere que el paradigma de representación visual del escenario de espacio de trabajo compartido proporciona mejor soporte para la colaboración en términos de eficiencia y carga cognitiva. A pesar de que el paradigma de experiencia compartida puede ofrecer una mejor experiencia personal al usuario en términos de fidelidad del escenario, los resultados del estudio de usuario llevado a cabo muestra indicios de que el paradigma de espacio de trabajo compartido puede ser una mejor forma de representar el espacio colaborativo en entornos de realidad virtual debido a que los usuarios demuestran mayor eficiencia y reportan menor carga cognitiva.

Estos hallazgos tomados en conjunto muestran indicios de que paradigmas tradicionalmente utilizados en interfaces no inmersivas 2D pueden ser introducidos de forma exitosa en entornos inmersivos de realidad virtual. De hecho, uno de los desafíos de investigación de visualizaciones inmersivas es identificar cuándo técnicas utilizadas en interfaces 3D inmersivas son realmente útiles frente a técnicas actualmente utilizadas en interfaces 2D no inmersivas [3]. El presente trabajo de investigación aborda este desafío

a través de estudios empíricos de dos aspectos importantes de entornos inmersivos: la interacción y la representación visual del espacio. Los resultados del trabajo de investigación aportan indicios que permitan indicar que, aunque se lleguen a limitar beneficios que aportan los entornos inmersivos como interacción natural o representaciones del espacio de trabajo de alta fidelidad, se puede potenciar paradigmas utilizados en interfaces 2D en entornos inmersivos para lograr una mejor eficiencia de los usuarios cuando trabajan de forma colaborativa en entornos inmersivos.

3.2.2. Contribución en el dominio de la aplicación

El desarrollo de los estudios de usuarios propuestos requiere el desarrollo de prototipos que permitan validar las hipótesis planteadas en este trabajo de investigación. Es así como la principal contribución al dominio de la aplicación es un conjunto de prototipos desarrollados para poder validar las hipótesis propuestas. Específicamente, se desarrollaron cuatro prototipos con los distintos paradigmas investigados en este trabajo:

Estilos de interacción en interfaces de mapas inmersivas

- Prototipo de interfaz de mapa inmersivo con interacción basado en gestos.
- Prototipo de interfaz de mapa inmersivo con interacción basado en controles externos.

Paradigmas de representación visual del espacio de trabajo en interfaces de mapas colaborativas inmersivas

- Prototipo de interfaz de mapa inmersivo utilizando el paradigma de experiencia compartida para la representación visual del espacio.
- Prototipo de interfaz de mapa inmersivo utilizando el paradigma de espacio de trabajo compartido para la representación visual del espacio.

Adicionalmente, como resultado de la revisión de la literatura y los hallazgos de los estudios de usuarios. Se identifican algunos desafíos que diseñadores y desarrolladores de este tipo de interfaces se pueden encontrar, y se propone como contribución menor al dominio de la aplicación un conjunto de recomendaciones que puedan ayudar a afrontar los desafíos de diseño identificados. Esta contribución se presenta en el capítulo 6.

4. ESTUDIO EMPÍRICO DE ESTILOS DE INTERACCIÓN EN INTERFACES DE MAPAS INMERSIVOS

4.1. Análisis de las situación actual

Este estudio toma como punto de partida que la mayoría de estilos de interacción resumidos en la sección del estado de la cuestión se pueden agrupar en dos grandes tipos: el uso de un control externo (como un mando de videojuegos), o el uso del cuerpo humano (como por ejemplo gestos corporales o la voz). El estudio de usuario desarrollado para la presente investigación, presenta una comparación empírica entre estos dos tipos de interacción (basado en interacción gestual y basado en control).

4.1.1. Preguntas de investigación e hipótesis del estudio de usuario

Las preguntas de investigación que se plantearon en el estudio de usuario desarrollado, buscan identificar el estilo de interacción mas eficiente y aquellos que los usuarios consideran tienen mejor usabilidad.

Para medir la eficiencia de los estilos de interacción al realizar una tarea, existe una aproximación clásica en el campo de investigación de Interacción Persona Ordenador (IPO o HCI por sus siglas en ingles *Human Computer Interaction*), que consiste en medir el tiempo de realización de la tarea y la tasa de error [99, p. 26]. En cuanto a la evaluación de usabilidad, el cuestionario SUS [100] se usa frecuentemente para recoger la percepción de usabilidad de los usuarios.

Finalmente, las hipótesis planteadas buscan dar respuestas a las preguntas de investigación planteadas utilizando rigor científico. La Tabla 4.1 presenta la relación entre preguntas de investigación e hipótesis para el estudio de usuario sobre interacción en entornos inmersivos.

4.2. Prototipo de la interfaz de mapa en RV para el estudio de usuario

Para comparar los beneficios y limitaciones de los dos estilos de interacción planteados, se implementó un primer prototipo de la interfaz de RV para control de mapas. Este prototipo se desarrolló en Unity utilizando las gafas de RV *Oculus Rift*. Cuando el usuario entraba al espacio virtual, el usuario tenía un mapa que ocupaba todo su campo de visión. Este primer prototipo permitía las siguientes funcionalidades para interactuar con el mapa:

- Desplazar el mapa en 4 direcciones: izquierda, derecha, arriba y abajo.

Tabla 4.1: Relación entre las preguntas de investigación y las hipótesis planteadas para el estudio de usuario sobre interacción en entornos inmersivos

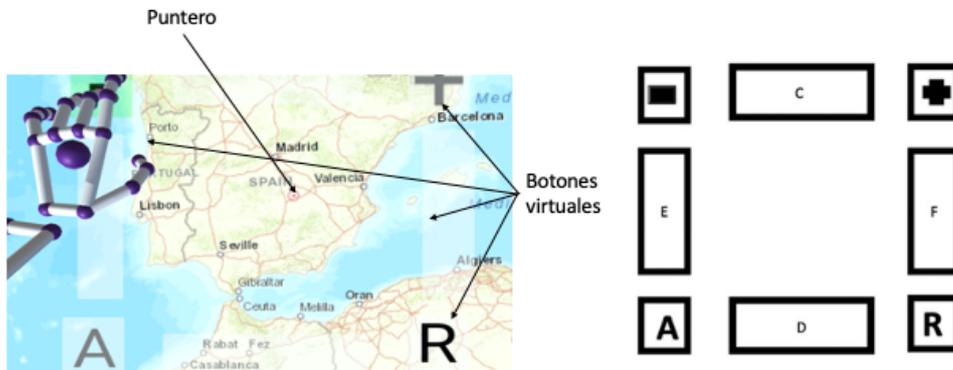
Pregunta de Investigación	Hipótesis
P1: ¿Cuál es el estilo de interacción mas eficiente para interfaces de mapas en entornos de RV?	H1: En entornos de RV, los estilos de interacción basado en controles ofrecen el menor tiempo de selección para interfaces de mapas. H2: En entornos de RV, los estilos de interacción basado en el gestos ofrece la tasa de error mas baja de selección en interfaces de mapas.
P2: ¿Cuál es el estilo de interacción que los usuarios consideran tiene mejor usabilidad para interfaces de mapas en entornos de RV?	H3: En entornos de RV, los usuarios consideran que los estilos de interacción basado en controles ofrecen mayor usabilidad para interfaces de mapas.

- Ampliar o reducir una parte del mapa.
- Colocar o remover marcadores en el mapa.

Para este primer prototipo se implementaron dos versiones utilizando los dos estilos de interacción planteados. En los siguientes apartados se resumen las características de cada versión. Para revisar a detalle la implementación de ambas versiones se puede consultar la publicación relacionada a este estudio de usuario [101].

4.2.1. Versión utilizando el estilo de interacción gestual

En esta versión se usó para la interacción con el mundo virtual las gafas de RV *Oculus Rift* y el dispositivo de captura de movimientos de manos *Leap Motion*. Las gafas de RV se emplearon tanto para permitir al usuario visualizar el entorno virtual como para realizar un seguimiento de sus movimientos de cabeza, lo que permitía indicar un sitio concreto del mapa situando su mirada sobre el mismo (mecanismo de selección *HOS* [102]). Más específicamente, el usuario podía apuntar a través de la orientación de la cabeza moviendo una mirilla incluida en el mapa. Las demás acciones necesarias para interactuar con el mapa, fueron implementadas utilizando botones virtuales que el usuario podía activar con sus propias manos a través de gestos capturados por el sensor *Leap Motion*. La Figura 4.1 muestra la interfaz en RV y el esquema con la distribución de botones virtuales utilizados.



Izquierda: versión de la interfaz utilizando el mecanismo de interacción basado en el propio cuerpo.
 Derecha: Esquema de los botones virtuales: A. Añadir, R. Remove, +. Ampliar, -. Reducir, C. Mover arriba,
 D. Mover abajo, E. Mover Izquierda, F. Mover Derecha.

Figura 4.1: Versión de la interfaz de mapa en RV utilizando el estilo de interacción gestual [101]

4.2.2. Versión utilizando el estilo de interacción basado en controles

La segunda versión de este prototipo utilizaba como principal elemento de interacción con el entorno virtual el control *Oculus Touch* incluido en el sistema de las *Oculus Rift*. Este dispositivo permite rastrear y replicar el movimiento de las manos en el mundo virtual y proporciona además un conjunto de botones y *Joysticks* en cada mano. El sistema permitía al usuario apuntar el sitio del mapa deseado utilizando como mecanismo de selección un rayo láser que salía de la mano virtual del usuario y que el usuario podía orientar mediante la orientación del control (mecanismo de selección *LPS* [102]). El desplazamiento de la posición del mapa se realizaba a través del *joystick* incluido en el control *Oculus Touch*. Para el resto de acciones disponibles para interactuar con el mapa, se hizo uso de los botones provistos en el control externo. La Figura 4.2 muestra la interfaz en RV y el esquema con la distribución de botones virtuales utilizados.

4.3. Experimentación

En la presente sección, se describe las características del experimento: participantes, equipo utilizado, metodología de experimentación y mecanismos para la recolección de datos usados en el experimento. El presente experimento antes de su realización recibió el visto bueno del Comité de Ética de la Universidad Carlos III de Madrid.



Izquierda: versión de la interfaz utilizando el mecanismo de interacción basado en dispositivo externo.
 Derecha: Distribución de botones del control: A. añadir marcador, B. Remover Marcador, C. Joystick (desplazar Mapa), D. Ampliar mapa, E. Reducir mapa.

Figura 4.2: Versión de la interfaz de mapa en RV utilizando el estilo de interacción basado en controles [101]

4.3.1. Participantes

Para el estudio de usuario se reclutaron treinta y dos participantes (edad $M=22.72$, $DE=5.07$, 20 hombres). El perfil de los participantes eran informáticos (22), cinco de ellos tenían conocimientos en HCI, tres estudiantes de doctorado y catorce estudiantes de grado. El resto de los participantes eran estudiantes en telecomunicaciones, biomédicas e ingeniería civil. Todos los participantes habían tenido algún contacto previo con el uso de interfaces de mapas como *Google Maps* ($M = 4$ veces por semana). Aunque la mayoría de participantes tenía un contacto previo con tecnologías de RV, ninguno de ellos las había usado de manera regular. Diecisiete de los participantes utilizan gafas para corregir su visión. Para el experimentos los participantes firmaron un consentimiento informado y no recibieron compensación por su participación. Antes del inicio del experimento, los participantes aceptaron el consentimiento informado para la realización del experimento, para lo cual los participantes firmaron el formulario que sigue las características del que se presenta en el Anexo A.

4.3.2. Equipamiento

Para la realización del experimento se utilizaron los siguientes equipos:

- **Oculus Rift:** para visualizar el entorno virtual.
- **Sensor Leap Motion:** para rastrear los gestos de las manos del usuario en la versión que utiliza gestos como estilo de interacción.

- **Control *Oculus Touch*:** para interactuar con la interfaz de mapas en la versión que utiliza un controles como estilo de interacción.
- **Ordenador de escritorio:** para procesar y ejecutar la interfaz de mapas.

4.3.3. Metodología de experimentación

El diseño utilizado para el experimento fue intra-sujetos donde los participantes debían realizar la tarea utilizando ambas versiones [99, p. 54]. Se eligió este diseño de experimentación ya que permite observar el comportamiento del mismo grupo de participantes en ambas condiciones y requiere reclutar un menor número de participantes. La variable independiente y sus niveles se describen a continuación:

- **Estilo de interacción:** interacción basada en el cuerpo (selección utilizando orientación de la cabeza + gestos de la mano), interacción basada en controles (Selección utilizando puntero láser + Control *Oculus Touch*).

Las variables independientes a definir en el experimento deberán validar las hipótesis planteadas y se detallan a continuación:

- Tiempo para realizar la tarea.
- Número de errores.
- Usabilidad.

4.3.4. Ambiente experimental

El experimento se ejecuto en el laboratorio de Sistemas Interactivo en la Universidad Carlos III de Madrid en España. Los participantes ejecutaron el experimento en ambos estilos de interacción como se presenta en la Figura 4.3.

4.3.5. Descripción de la tarea

La tarea consistía en ubicar y colocar un marcador en una ciudad pre-seleccionada del mapa. El participante al inicio de la tarea recibía la instrucción de colocar un marcador de la forma más rápida y precisa en la ciudad indicada por el sistema empleando el estilo de interacción evaluado. La realización de esta tarea requería que el participante hiciese uso de todas las funcionalidades disponibles del mapa. Si el participante cometía algún error o no creía haber colocado el marcador correctamente, tenía la posibilidad de eliminar el marcador y volver a colocarlo. Cada participante debía realizar esta tarea con 12 ciudades distintas. Para ello el sistema mostraba en el mismo orden a cada participante una ciudad

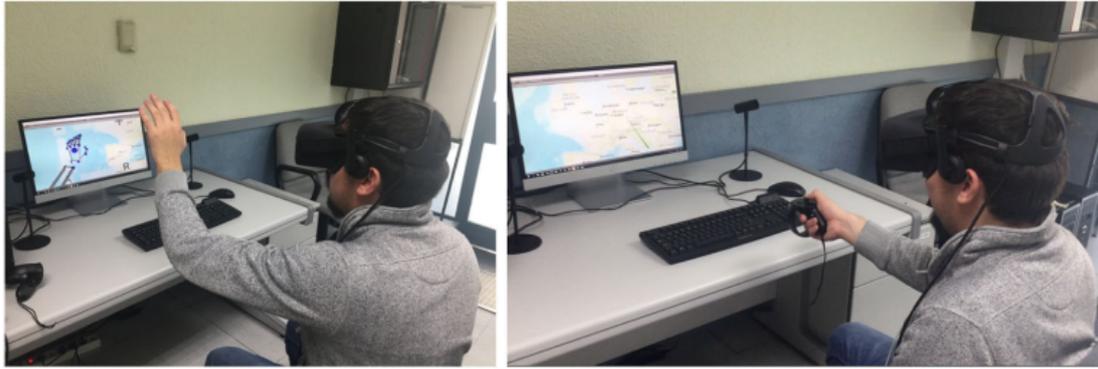


Figura 4.3: Ambiente experimental: utilizando el estilo de interacción basado en el gestos (izquierda), utilizando el estilo de interacción basado en el controles (derecha) [101].

específica (Las ciudades en el orden especificado eran: 1) París, 2) Londres, 3) Lima, 4) Nueva York, 5) Moscú, 6) Madrid, 7) Berlín, 8) Bruselas, 9) Roma, 10) Buenos Aires, 11) Vancouver, y 12) Quito). Estas ciudades eran presentadas una a una a los usuarios. Antes de realizar el experimento se aseguraba que el participante conocía la localización geográfica de cada ciudad mediante un mapa de papel. El tiempo de realización de la tarea y número de errores se tomaban para cada ciudad por lo que cada selección de ciudad de cada participante representaba una muestra en el experimento.

4.3.6. Procedimiento experimental

El experimento que realizó cada participante tomo al rededor de 20 minutos para ejecutar las tareas. El protocolo del experimento se detalla a continuación:

1. **Introducción del experimento:** El participante recibía la bienvenida al experimento y se explicaba el procedimiento del experimento.
2. **Pre-cuestionarios e información demográfica:** El participante rellenaba cuestionarios para recolectar información demográfica.
3. **Sesión de entrenamiento:** Se permitía al participante que interactúe con la interfaz por el tiempo necesario para que se familiarice con la misma.
4. **Ejecución de la tarea utilizando el primer estilo de interacción:** Se asignaba de forma aleatoria un estilo de interacción para que ejecute la tarea encomendada.
5. **Recolección de datos y rellenado de cuestionarios:** Los participantes debían rellenar el cuestionario SUS para recoger sus percepciones de usabilidad de el estilo de interacción utilizado. Mientras el participante rellenaba este cuestionario, el experimentador recopilaba y almacenaba los datos generados en el experimento.

6. **Ejecución de la tarea utilizando el segundo estilo de interacción:** El participante ejecutaba la tarea encomendada utilizando el otro estilo de interacción.
7. **Recolección de datos y relleno de cuestionarios:** Los participantes debían rellenar el cuestionario SUS para recoger sus percepciones de usabilidad de el estilo de interacción utilizado. Mientras el participante rellenaba este cuestionario, el experimentador recopilaba y almacenaba los datos generados en el experimento.

4.3.7. Recolección de datos y métodos de análisis

El sistema recopilaba en cada intento el tiempo de realización de la tarea, considerado desde el momento en que el sistema mostraba en pantalla el nombre de la ciudad a localizar, hasta hasta que el usuario informaba de que estaba el marcador colocado correctamente. Además, también registraba de forma automática el número de errores cometidos, asumiendo que el último marcador situado por el participante era el considerado correcto, y el resto de marcadores añadidos y eliminados eran errores. Al final el sistema generaba un archivo de texto que el experimentador almacenaba para procesar los resultados.

Para recopilar la percepción de usabilidad del participante se utilizó el cuestionario SUS [100]. El usuario rellenaba el cuestionario al terminar la tarea a realizar con cada uno de los estilos de interacción evaluados. Adicionalmente, se incluyeron en el cuestionario algunas preguntas para recopilar información sobre la experiencia de los usuarios. Concretamente se solicitaba al participante que calificase empleando una escala de 0 (muy bajo) a 5 (muy alto) un conjunto de factores que pueden afectar la experiencia: esfuerzo en general, precisión de la selección y grado de confort durante la tarea. También se incluyó una pregunta abierta para recolectar cualquier información adicional que el participante quiera aportar sobre la experiencia, como sugerencias o mejoras de la interfaz de mapas de RV. Los cuestionarios utilizados se presentan en el Anexo B.1. Adicionalmente, los datos recolectados de estos cuestionarios se muestran en el Anexo C.1.

Para analizar los datos, se utilizó la herramienta estadística *Wilcoxon signed-rank test* en SPSS (todas las pruebas se realizaron con niveles de significación de $\alpha = 0,05$). Esta herramienta realiza pruebas no paramétricas para encontrar diferencias estadísticamente significativas entre ambos estilos de interacción. Pruebas de normalidad *Shapiro-Wilk* sobre los datos recopilados indican la no-normalidad de la distribución de los datos ($p < 0,001$).

4.4. Resultados

4.4.1. Tiempo de la tarea

Las medias de tiempo de la tarea para cada una de las 12 iteraciones del experimento se muestran en la Figura 4.4. Las pruebas de significación indicaron que el tiempo de

selección para el estilo de interacción gestual ($Md = 22,89$) fue estadísticamente superior que el tiempo de selección el estilo de interacción basado en dispositivo ($Md = 17,53$) $T = 58$, $p < 0,001$, $r = -1,11$.

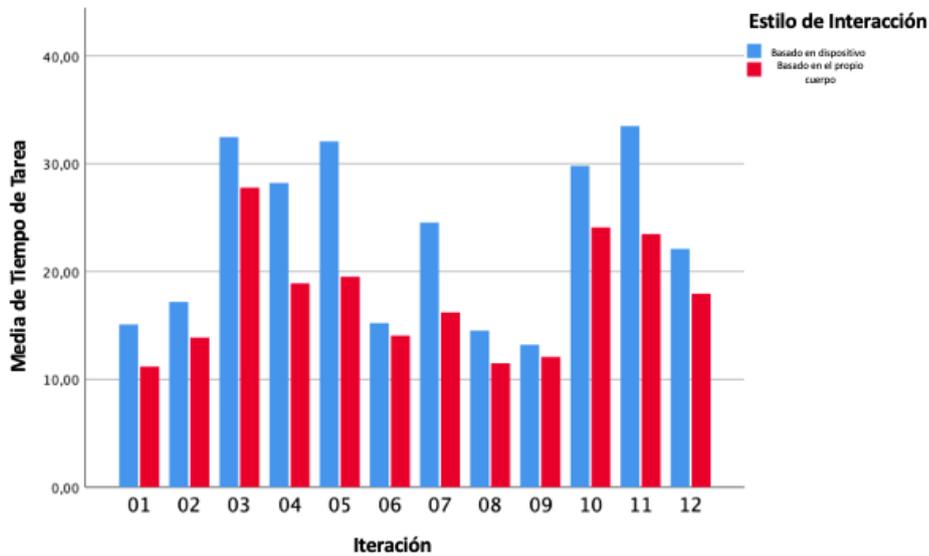


Figura 4.4: Media de tiempo de selección en cada iteración [101].

Como se puede observar en la Figura 4.4, el estilo de interacción basado en controles tiene la menor media de tiempo de selección en todas las iteraciones. Estos resultados confirman la hipótesis inicial sugiriendo que los usuarios tardan menos tiempo para navegar y poner marcadores en interfaces de mapas RV cuando usan un controles.

4.4.2. Errores cometidos

Las medias de número de errores para cada una de las 12 iteraciones del experimento se muestran en la Figura 4.5. Las pruebas de significación indicaron que los errores cometidos para el estilo de interacción gestual ($Md = 0,4837$) fueron estadísticamente mayores que el número de errores cometidos para el estilo de interacción basado en dispositivo ($Md = 0,15$) $T = 40,5$, $p < 0,001$ $r = -1,11$. Estos resultados refutan la hipótesis inicial que sugería que los usuarios cometen menos errores cuando usaban el estilo de interacción gestual.

4.4.3. Efecto de aprendizaje

Para identificar posibles relaciones en los tiempos de tarea y número de errores a medida que los usuarios pasaban por cada iteración del experimento, se realizó un análisis de correlación en ambas variables. Luego de aplicar el análisis de correlación de Spearman's, no se encontró una relación estadísticamente significativa entre la iteración y el tiempo

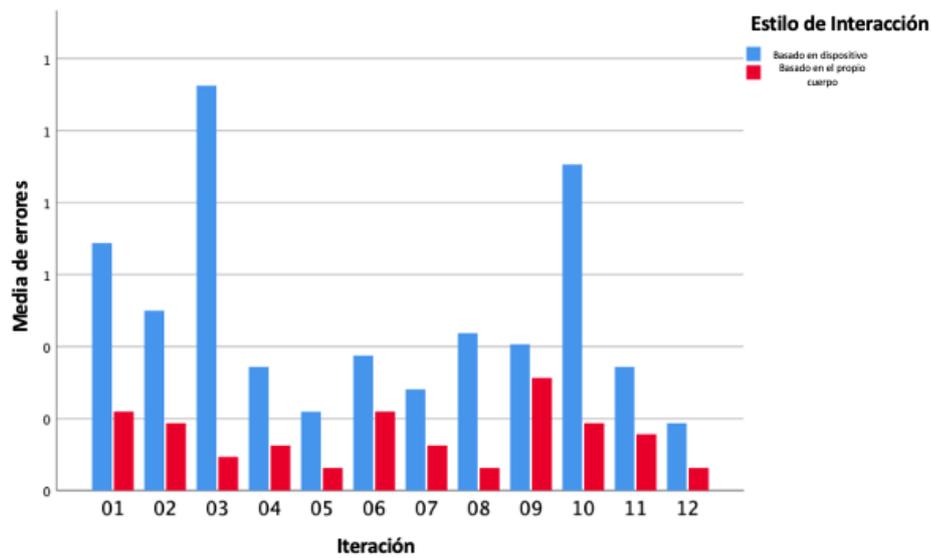


Figura 4.5: Media de errores en cada iteración [101].

de tarea, al igual que para el caso de iteración y número de errores. Estos resultados se resumen en la Tabla 4.2 para el tiempo de tarea y la Tabla 4.3 para los errores cometidos. Estos resultados sugieren que no existe un efecto de aprendizaje durante el experimento debido al orden en que se mostraron las ciudades.

Tabla 4.2: Resumen de el análisis de correlación entre iteración, tiempo de tarea y estilo de interacción [101]

	Iteración	Estilo de inter-acción	Tiempo
Iteración	1	0,000	0,180
Estilo de interacción	1,000	1	-0,385
Tiempo de tarea	0,401	0,063	1

Tabla 4.3: Resumen de el análisis de correlación entre iteración, errores cometidos y estilo de interacción [101]

	Iteración	Estilo de inter-acción	Tiempo
Iteración	1	0,000	-0,184
Estilo de interacción	1,000	1	-0,785
Errores cometidos	0,390	0,001	1

4.4.4. Usabilidad reportada por los usuarios

Las diferencias en los valores de usabilidad para cada estilo de interacción se presentan en la Figura 4.6. El resultado de la prueba *t-test* para muestras emparejadas muestran que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el estilo de interacción gestual ($M = 73,75$, $DE = 13,10$) y el estilo de interacción basada en controles ($M = 83,04$, $DE = 12,30$) $t(31) = -2,691$, $p = 0,011$. Como se puede apreciar en la Figura 4.6, los participantes dieron una mayor valoración de usabilidad al estilo de interacción basado en controles. Estos resultados confirman la hipótesis inicial.

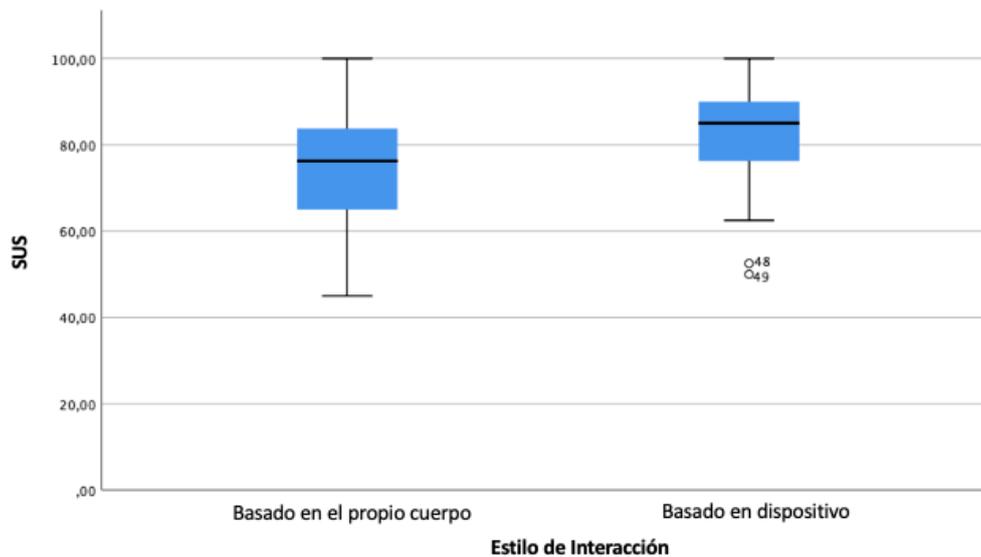


Figura 4.6: Usabilidad reportada por los usuarios [101].

4.4.5. Experiencia del usuario

Las valoraciones que los participantes dieron a la experiencia se resumen en la Figura 4.7. Como se esperaba, parece existir concordancia entre los participantes de que la experiencia conllevó una mayor demanda física cuando utilizaban el estilo de interacción gestual. Además, las valoraciones de confort y esfuerzo favorecieron al estilo de interacción basado en controles. Sin embargo, aunque los participantes expresaron menor cansancio utilizando los controles *Oculus Touch*, la diferencia de valoraciones entre los estilos de interacción basado en el gestual y el controles no fue muy alta.

Con respecto a la precisión en la selección, los participantes dieron una valoración mas alta cuando utilizaban el puntero láser en el estilo de interacción basado en controles. De nuevo, la diferencia de valoración con respecto al uso de la cabeza como método para apuntar, no fue muy alta.

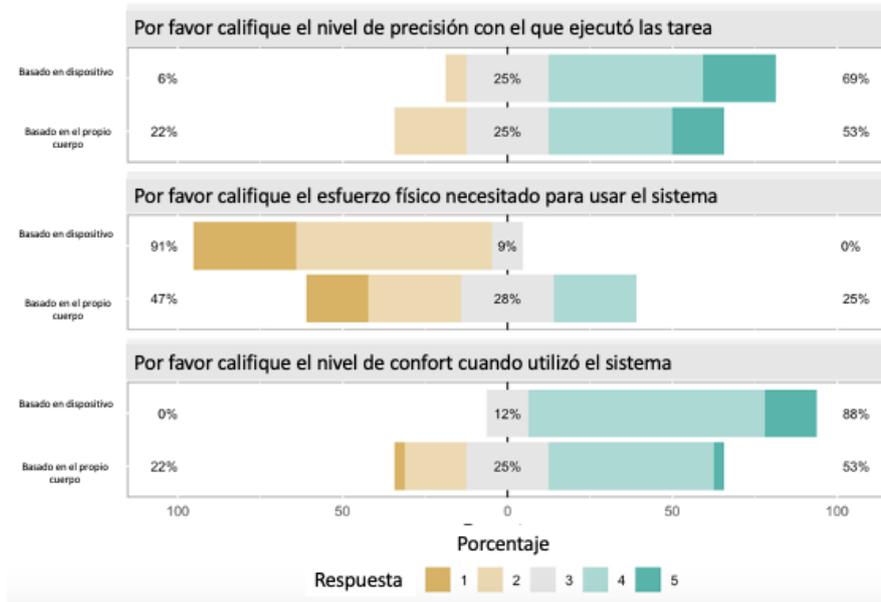


Figura 4.7: Valoraciones de los participantes a niveles de confort, esfuerzo y precisión en la selección [101].

4.4.6. Comentario de los participantes

En la Tabla 4.4 se muestra un resumen de los comentarios que dieron los participantes a las preguntas abiertas. Para identificar los patrones de los comentarios, estos se agruparon y categorizaron en tres categorías: comentarios positivos, comentarios negativos y sugerencias. En la Tabla 4.4, el número al inicio de cada frase corresponde al número de participantes que hicieron ese tipo de comentario.

Como se muestra en la Tabla 4.4, en términos generales, los comentarios dados por los participantes son consistentes con las respuestas del cuestionario de usabilidad. De acuerdo a sus comentarios, los participantes reportan considerar más cómodo de usar el estilo de interacción basado en controles (13 participantes lo reportaron en los cuestionarios). Los participantes valoraron positivamente el hecho de tener un control que agarrar y de poder recibir retroalimentación háptica. Tal y como uno de los participantes expresó: “... se siente cómodo usar los controles al tener algo que agarrar (existe una retroalimentación que recibe mi cuerpo al pulsar los botones)...”. En el lado negativo, algunos participantes consideraron la distribución de botones confusa (9 participantes dieron este comentario) y 3 de los participantes sugirieron cambiar la configuración de botones. En este punto es necesario considerar que la distribución de botones de la interfaz se asignó tomando como ejemplo la distribución más habitual en las aplicaciones comerciales de RV. En cuanto a la técnica de selección, aunque no existe consenso, 10 participantes consideraron la técnica de selección basada en rayo como imprecisa frente a 5 participantes que la consideraron la técnica de selección adecuada. Esta falta de acuerdo se puede explicar por los diferentes niveles de precisión que los usuarios mostraron al apuntar luga-

res con sus manos. Por último, 2 participantes reportaron este mecanismo de interacción como “no natural”.

Con respecto al estilo de interacción gestual, el comentario mas frecuentemente reportado es negativo: 18 participantes consideraron este estilo como “confuso de usar”. Una posible explicación puede ser la percepción de sensibilidad de cada participante de los botones virtuales, en este caso, 3 de los participantes reportaron que los botones tenía una sensibilidad muy alta. Además, de la observación por parte de los experimentadores, se pudo apreciar que los participantes presionaban los botones cuando no tenían la intención de hacerlo. Acerca de este estilo de interacción, por el lado positivo, los participantes reportaron que sintieron este estilo como más natural (2 participantes dieron este comentario) y fácil de aprender (2 personas dieron este comentario). Además, 4 participantes resaltaron en sus comentarios que este estilo de interacción era más preciso que el otro estilo.

Finalmente, durante el experimento se encontró particularmente interesante el hecho de que los participantes mostraron diferentes comportamientos cuando buscaban y navegaban por el mapa. Mientras algunos de los participantes preferían navegar y realizar ampliaciones al mapa hasta que la localización a seleccionar este claramente visible en el mapa. En el caso contrario, algunos participantes se posicionaban en un punto que tenga un amplio rango de cobertura para poder seleccionar algunas posiciones con solo cambiar la orientación de la cabeza.

4.5. Discusión

Una vez detallado los resultados para cada variable dependiente, la Tabla 4.5 muestra la validación de las hipótesis del experimento de este capítulo.

En términos generales, los resultados del experimento sugieren que el estilo de interacción basado en controles conlleva un mejor desempeño a la hora de manejar la interfaz de mapa de RV en comparación con el estilo de interacción gestual. Adicionalmente, los usuarios consideran este estilo de interacción mas usable. En cualquier caso, es necesario tomar en cuenta que la mayoría de los participantes no tenían experiencia previa del uso de sistemas de RV. Esto significa que la mayoría de los participantes no estaban habituados al estilo de interacción gestual, el cual requiere de la correcta realización de gestos para interactuar con el sistema. Este hecho se puede deber a la media de edad de los participantes ($M = 22,78$; $SD = 5,07$) en este caso se espera que la mayoría de usuarios este habituada al uso de controles (controles como aquellos de las consolas de videojuegos). En consecuencia, aunque en principio el estilo de interacción basado en gestos pueda sentirse como “mas natural” debido a que emula los gestos que el usuario haría en el mundo real [103], el uso de el *joystick* y los botones de un control similar al de una consola de videojuegos puede ser mas familiar para los participantes.

Tabla 4.4: Comentarios dados por los participantes acerca de cada estilo de interacción[101].

Estilo de interacción	Positivos	Negativos	Sugerencias
Interacción gestual	<p>(3) Sentí la interacción mas natural.</p> <p>(2) Fácil de aprender después de usar algún tiempo.</p> <p>(4) Mejor precisión cuando se usa la cabeza</p>	<p>(3) Encontré que los botones eran muy sensibles cuando los presionaba.</p> <p>(18) Confuso de usar.</p>	<p>(1) Mover el mapa usando la cabeza.</p>
Basado en controles	<p>(13) Confortable y fácil de usar.</p> <p>(5) Interacción precisa.</p>	<p>(9) Me confundí al entender el propósito de cada botón del control.</p>	<p>Mejorar la distribución de botones.</p>

Es necesario considerar también el esfuerzo físico requerido para usar el sistema. De acuerdo a los datos recopilados, la mayoría de los participantes valoraron el esfuerzo requerido para utilizar el sistema para el caso del estilo de interacción gestual como “medio”. Es necesario tener en cuenta que el tiempo medio para completar la tarea fue de aproximadamente 10 minutos para cada participante. Es posible que al usar el sistema durante un tiempo más prolongado los resultados obtenidos puedan ser diferentes en ambos estilos de interacción, especialmente cuando el efecto de novedad haya pasado en los usuarios.

Finalmente, los resultados sugieren que el estilo de interacción basado en controles tampoco está exento de problemas. Este estilo de interacción requiere que el usuario memorice y recuerde la función de cada botón en el dispositivo. A medida que se va aumentando la cantidad de funciones disponibles en una interfaz de mapa virtual, implementar una interacción basada en un único dispositivo de interacción se puede volver mas complicado. Entre las posibles formas de abordar este problema se podría considerar el diseño de una interfaz de interacción multi-modal que combine mas de un estilo de interacción, por ejemplo el uso de la voz y un control externo.

Tabla 4.5: Validación de hipótesis planteadas para experimento sobre estilos de interacción en interfaces de mapas para RV.

Hipótesis	Validación
H1: En entornos de RV, los estilos de interacción basado en controles ofrecen el menor tiempo de selección para interfaces de mapas.	Aceptar hipótesis.
H2: En entornos de RV, los estilos de interacción gestual ofrece la tasa de error mas baja de selección en interfaces de mapas.	Rechazar hipótesis. En entornos de RV, el estilo de interacción basado en controles ofrece la tasa de error mas baja de selección en interfaces de mapas.
H3: En entornos de RV, los usuarios consideran que los estilos de interacción basado en controles ofrecen mayor usabilidad para interfaces de mapas.	Aceptar hipótesis.

5. REPRESENTACIÓN DEL ESPACIO Y CONCIENCIA SITUACIONAL EN INTERFACES DE MAPAS COLABORATIVOS INMERSIVOS

5.1. Análisis de las situación actual

El propósito de este estudio es entender cómo la representación visual del escenario colaborativo (utilizando una representación visual de experiencia compartida o de espacio de trabajo compartido) afecta a la tarea. Para ello este estudio de usuario toma como caso de uso una sala de crisis para gestión de emergencia y emplea dos tipos distintos de representaciones visuales del entorno para permitir a los colaboradores trabajar conjuntamente en un escenario de RV.

5.1.1. Pregunta de investigación e hipótesis del estudio de usuario

Para alcanzar el objetivo propuesto en este estudio se plantea la pregunta de investigación mencionada en la Tabla 5.1.

La representación visual de experiencia compartida proporciona una representación realística del escenario a los usuarios, reproduciendo de una manera más o menos cercana el entorno real de trabajo colaborativo. Sin embargo, esta representación visual requiere de más recursos que la representación visual de espacio de trabajo compartido ya que es necesario implementar una gran cantidad de detalles en la escena como los muebles de la sala de crisis o las poses y gestos de los avatares. En consecuencia la representación del escenario necesita mayores recursos de comunicaciones para difundir los estados de cada artefacto del espacio virtual a todos los colaboradores. Además se requiere de recursos gráficos mayores para reproducir el escenario virtual con la mayor fidelidad posible a los colaboradores.

Por el contrario, el escenario de espacio de trabajo compartido se centra únicamente en representar los elementos que soportan la tarea colaborativa. En este caso, la escena requiere de menos recursos para implementar el escenario colaborativo en comparación de la representación visual de experiencia compartida ya que solo se necesita implementar el espacio de trabajo colaborativo. Sin embargo, como se identificó en el Capítulo 2, la falta de información visual que permita generar conciencia situacional puede perjudicar la experiencia de usuario y disminuir la sensación de copresencia, lo que que podría afectar negativamente a la percepción de carga de trabajo del usuario.

Basado en este razonamiento se proponen las hipótesis indicados en la Tabla 5.1. En este estudio las variables independientes serán la eficiencia y carga de trabajo. Además, también se analizará la percepción de presencia social en la interfaz de mapa con objeto

de estudiar su influencia a la hora de mejorar la colaboración.

Tabla 5.1: Relación entre las preguntas de investigación y las hipótesis planteadas para el estudio de usuario sobre representación visual del escenario colaborativo

Pregunta de Investigación	Hipótesis
¿Cual es la representación visual del escenario más adecuada para colaboración en una interfaz de mapa inmersiva y colaborativa?	H1: Los usuarios van a colaborar más eficientemente en un escenario de experiencia compartida en comparación a un escenario de espacio de trabajo compartido. H2: Los usuarios van a percibir menor carga de trabajo en un escenario de experiencia compartida en comparación a un escenario de espacio de trabajo compartido.

5.2. Prototipos de la interfaz de mapas colaborativos en RV

Para comparar los resultados de cada representación visual del escenario colaborativo (experiencia compartida y espacio de trabajo compartido), en este experimento se implementan dos interfaces de mapa colaborativo siguiendo empleando cada uno de estos enfoques. En los siguientes apartados se describen las representaciones visuales del escenario y los apoyos visuales que se implementan para generar conciencia situacional. La descripción completa y criterio de diseño de los prototipos se encuentran en la publicación relacionada al estudio de usuario [104].

5.2.1. Prototipo con representación visual de experiencia compartida

Este escenario reproduce las características de una sala de crisis (Figura 5.1(a)). En la pared de enfrente de la sala se presenta un mapa gigante que muestra las localizaciones de incidencias durante una crisis de emergencia. En la mitad de la sala hay una estación de trabajo para cada colaborador con tres pantallas: la primera pantalla muestra información de la incidencia que el usuario se encuentra apuntando en el mapa en un momento determinado, la segunda pantalla muestra un portal que representa el área actual que el otro colaborador ve en cada momento, y la tercera pantalla no tiene un uso específico para la tarea colaborativa pero muestra imágenes relacionadas a la emergencia. El escenario incluye un avatar que representa al colaborador, que reproduce los gestos y movimientos del mismo que son capturados por las gafas Oculus y los controles Oculus Touch que utiliza durante el experimento (Figura 5.1(b)).

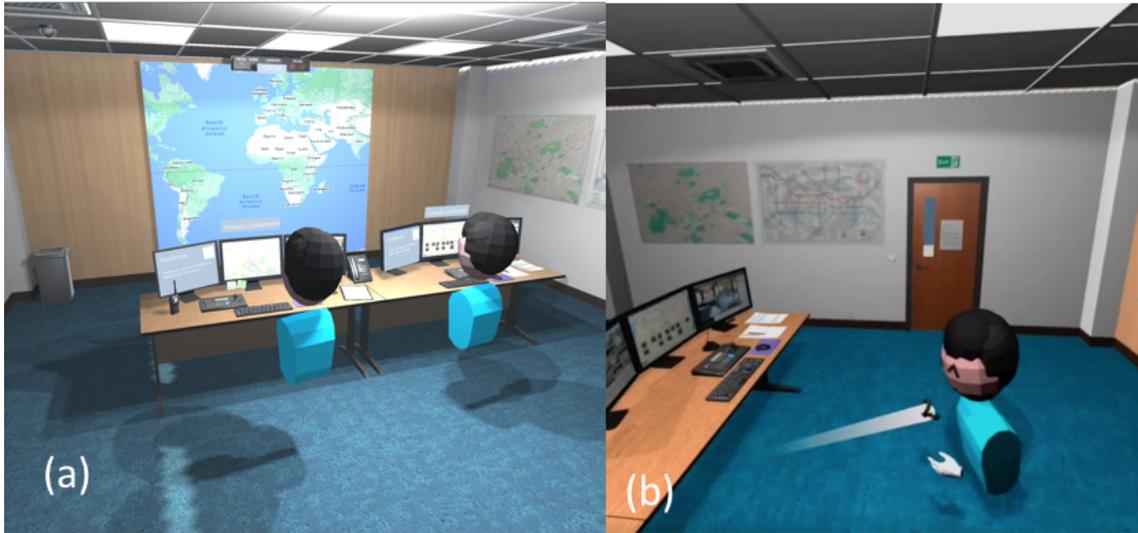


Figura 5.1: Representación visual del escenario de experiencia compartida: (a) vista de la sala de crisis virtual, (b) perspectiva del usuario de la representación visual [104]

5.2.2. Prototipo con representación visual de espacio de trabajo compartida

En este escenario, solo se incluye la pantalla del mapa (o el espacio de trabajo), el cual ocupa todo el campo de vista de las gafas de realidad virtual (Figura 5.2(a)). En este caso el escenario no incluye un avatar que represente visualmente al colaborador. Una área translúcida en la esquina inferior izquierda del espacio de trabajo (Figura 5.2(b)) muestra el portal con la perspectiva actual del espacio de trabajo del otro colaborador, información sobre la incidencia y algunos *emojis* que el colaborador puede activar manualmente utilizando los botones de los controles Oculus Touch.

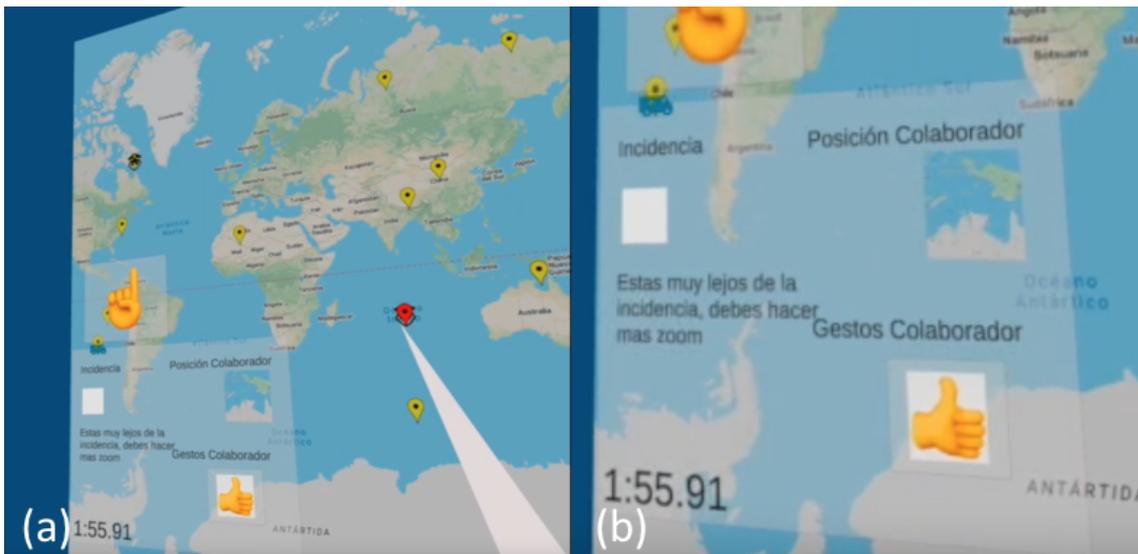


Figura 5.2: Representación visual del escenario de espacio de trabajo compartido: (a) representación visual del espacio de trabajo, (b) apoyos visuales para generar conciencia situacional social y de localización [104]

5.2.3. Apoyos visuales para generar conciencia situacional

Para soportar una colaboración efectiva se incluyó en el escenario un conjunto de apoyos visuales para generar conciencia situacional siguiendo el marco de trabajo propuesto por Gutwin et al. [65]. La Tabla 5.2 resume las diferentes maneras de implementar estos apoyos en los dos escenarios y la correspondiente justificación de cada selección⁶.

Apoyos visuales para presencia social

El caso de la representación visual de experiencia compartida los apoyos visuales para generar conciencia situacional social y comunicación no verbal los proporciona el avatar del colaborador (Figura 5.1b). La posición de la cabeza y el torso del avatar indican dónde el colaborador está mirando y las manos reproducen gestos para la comunicación no verbal.

En el caso de la representación visual de espacio de trabajo compartido no se incluye una avatar representando al colaborador ya que el principal artefacto de la escena es el mapa. Sin embargo, se aporta la posibilidad de activar *emojis* como apoyos visuales para generar conciencia situacional social y comunicación no verbal (Figura 5.2b). De acuerdo a Brants et al. [105], el uso de *emojis* (e imágenes en general) es una forma más fácil de comunicar, interpretar y recordar que otras formas de comunicación.

Apoyos visuales para acciones

La principal acción colaborativa en la interfaz de mapa es la comunicación entre los colaboradores. Además, como el principal propósito de este trabajo es analizar cómo proporcionar efectivamente apoyos visuales para generar conciencia situacional al colaborador, se aporta en el prototipo apoyos de comunicación indirecta de dos actos comunicacionales utilizados durante la tarea: pedir ayuda al otro colaborador y mostrar aprobación al otro colaborador. Para el caso del escenario de experiencia compartida, los actos comunicacionales se pueden realizar mediante gestos de las manos del avatar. Para el caso de el escenario de espacio de trabajo compartido, los actos comunicacionales se pueden realizar mediante el uso de *emojis*.

⁶El proceso de diseño y criterios de selección de cada elemento de los prototipos se detallan en la publicación asociada a este estudio [104]

Tabla 5.2: Apoyos visuales de cada representación del escenario [104]

Elementos	Escenario de experiencia compartida	Escenario de espacio de trabajo compartido	Justificación
Presencia social	Si	No	En el escenario de experiencia compartida se intenta potenciar los apoyos visuales que ayuden al usuario a la percepción de copresencia y en el escenario de espacio de trabajo compartido se busca potenciar aquellos elementos que contribuyen a la realización de la tarea dejando en segundo plano el resto de elementos.
Actos comunicacionales	Gestos de las manos del avatar	Emojis	En el escenario de experiencia compartida se busca potenciar la sensación de copresencia por lo que se usa comunicación gestual y en el caso del escenario de espacio de trabajo compartido se intenta aprovechar formas de comunicación no verbal utilizadas en interfaces no inmersivas.
Localización	Puntero Pantalla en las estaciones de trabajo	Puntero Cuadro translúcido en un área del espacio de trabajo	En el escenario de experiencia compartida se busca asociar al avatar del colaborador con el espacio de trabajo por lo que los apoyos visuales se integran en los elementos de la sala de crisis y en el escenario de espacio de trabajo compartido, que no tiene avatar en la escena, los apoyos visuales se integran directamente en el espacio de trabajo.
Escenario	Sala de crisis	Mapa ocupando todo el campo de visión	El escenario de experiencia compartida busca presentar un espacio de colaboración realista mientras que el escenario de espacio de trabajo compartido busca representar el escenario de forma similar a interfaces no inmersivas.
Tamaño del mapa	Aproximadamente ocupa la pared frontal de la sala virtual	Ocupa todo el campo de visión del usuario	El tamaño del mapa esta de acuerdo con la importancia que se le da a la experiencia (sala de crisis) o al espacio de trabajo (mapa).

Apoyos visuales para localización

Para ayudar a ubicar la vista actual del mapa y punto actual donde los colaboradores están trabajando, en ambos escenarios se incluyó un portal que indica el área de visualización del otro colaborador y un puntero que indica el punto exacto donde el colaborador se encuentra trabajando dentro del mapa. Estos apoyos se incluyen para que los usuarios tengan información del campo de vista y lugar donde el otro colaborador se encuentra trabajando. Para el caso del escenario de experiencia compartida el portal se muestra en una de las pantallas situadas en la estación de trabajo de la sala de crisis. En el caso del escenario de espacio de trabajo compartido, el portal se muestra en el área translúcida en la esquina inferior izquierda del mapa (Figura 5.2b). En relación al puntero, para el caso de el escenario de experiencia compartida se muestra un puntero láser que va desde la mano del avatar al punto de interés en el mapa. En el caso de el espacio de trabajo compartido, el puntero es representado como un cursor que se mueve por el mapa.

5.3. Experimentación

En las siguientes secciones se describe el estudio en detalle, incluyendo el diseño del estudio, implementación y ambiente de experimentación, participantes, tarea y procedimiento. El presente experimento antes de su realización recibió la aprobación del Comité de Ética de la Universidad Carlos III de Madrid.

5.3.1. Diseño del estudio

El experimento fue desarrollado siguiendo las guías y recomendaciones del comité de ética de la universidad que aprobó la ejecución del experimento. El diseño del estudio fue de intra-sujetos con objeto de permitir observar el comportamiento de la misma pareja de colaboradores al usar ambos escenarios. Se consideró como variables dependientes las dos representaciones visuales: experiencia compartida y espacio de trabajo compartido. Las variables independientes del experimento fueron: eficiencia de la tarea y carga de trabajo de la tarea. Adicionalmente, también se analizó la percepción del usuario en términos de: copresencia, asignación de atención, entendimiento del mensaje, interdependencia conductual y eficiencia percibida (siguiendo el cuestionario de presencia social de Harms et al. [66]).

5.3.2. Ambiente experimental

Para este experimento se usó una implementación de la interfaz de mapa desarrollada en el motor de videojuegos Unity. El ecosistema del experimento estaba conformado por un par de gafas Oculus por cada participante con sus controles Oculus Touch, que eran utilizado por los participantes para interactuar con el entorno de RV, y un ordenador que

permitía al experimentador monitorizar el experimento y recopilar los datos del mismo. La comunicación entre todos los elementos del ecosistema fue facilitado por el motor de juegos multi-jugadores *Photon Engine*⁷.

El experimento se realizó en parejas en el mismo laboratorio (ver Figura 5.3), sin embargo como cada participante utilizaba unas HMD, cada pareja no podía percibir la presencia física de su acompañante en el mundo real.

Finalmente, cada colaborador tenía su propia visión personal del mapa, lo que significaba que cada colaborador podía realizar enfoques y posicionar el mapa de forma independiente del otro colaborador.



Figura 5.3: Fotografía del ambiente experimental [104]

5.3.3. Participantes

Para este experimento se reclutó 24 participantes (9 mujeres). La edad promedio de los participantes fue de 24,83 años ($stdev = 5,72$). El perfil de los participantes fue: estudiantes de grado (10), estudiantes de master (5), estudiantes de doctorado (7) y postdoc (2). La mayoría de participantes vienen de campos STEM y 3 de economía. Trece participantes no tenían experiencia previa con la RV, y solo 2 de los que tenían experiencia previa con

⁷<https://www.photonengine.com/>

RV, utilizaban esta tecnología con regularidad. Todos los participantes dieron su consentimiento informado para la realización del experimento, y recibieron una compensación económica por la participación. Antes del inicio del experimento, los participantes aceptaron el consentimiento informado para la realización del experimento, para lo cual los participantes firmaron el formulario que sigue las características del que se presenta en el Anexo A.

5.3.4. Tarea y procedimiento

En la tarea propuesta dos participantes tenían que colaborar identificando y marcando objetivos que aparecían de forma aleatoria en ciertas localizaciones del mapa. Durante la tarea, los participantes tenían que navegar en el mapa, acercarse y alejarse del enfoque, apuntar a los objetivos, leer la información, y añadir marcas sobre los mismos si era necesario.

Para simplificar y ejemplificar la tarea, el contexto del escenario fue una intervención en una crisis de emergencia. Cada participante tenía un rol: agente de seguridad o personal sanitario. Durante la tarea aparecían sobre el mapa puntos de interés que representaban incidencias que debían ser atendidas y resueltas, apareciendo cada cinco segundos en una posición geográfica aleatoria alrededor de todo el mundo. Cuando el participante encontraba la incidencia y la apuntaba, una descripción del incidente era mostrada (ver la Tabla 5.3). Esta descripción aportaba pistas del tipo de rol que debía atender la incidencia. Algunas incidencias debían ser atendidas por personal de seguridad, otras por personal sanitario y otras requerían la asistencia de ambos roles. De esta manera podían ocurrir tres posibles casos cuando un participante identificaba una incidencia:

- **El incidente se puede resolver por la persona que lo encuentra:** en este caso, el participante colocaba una marca en la posición geográfica de la incidencia para marcarlo como resuelto.
- **El incidente se debe solucionar por el otro colaborador:** en este caso, el participante debía notificar al otro colaborador que encontró una incidencia y que debía ser resuelta por él.
- **El incidente debía ser resuelto por los dos colaboradores:** en este caso, el participante añade su marca en la posición geográfica del incidente y debía notificar al otro colaborador que debía hacer lo mismo para marcarla como resuelta.

Al principio de cada ensayo, a cada participante se le asignaba un rol específico. El experimentador le explicaba la tarea, cómo interactuar con cada escenario VR, cómo activar los apoyos visuales para generar conciencia situacional y, en general, asegurarse que cada participante entendía los elementos de la aplicación con la que iban a trabajar. Además, a los participantes se les dio un tiempo para familiarizarse con el sistema hasta que se sintiesen listos para utilizarlo. El protocolo completo para ejecutar el experimento se detalla a continuación:

Tabla 5.3: Lista de posibles incidentes mostrados durante la tarea [104]

Rol	Tipo de incidencia	Descripción de la incidencia mostrada al usuario
Policía	Robo a domicilio	Robo a domicilio. Se necesitan agentes policiales para levantar la denuncia.
Policía, sanidad	Accidente de tráfico	Hubo un accidente en este lugar, se necesitan agentes policiales para despejar la vía y personal sanitario para atender a los heridos.
Policía	Animal herido	Turistas encontraron un animal herido. Se necesitan agentes policiales para trasladar al animal.
Policía, sanidad	Desastre natural	El viento esta causando desastres en la zona. Se necesitan agentes policiales para asegurar el área y personal sanitario para atender a posibles heridos.
Sanidad	Fuego	Bomberos extinguieron un incendio y necesitan personal sanitario para atender personas con casos de asfixia.
Policía	Persona desaparecida	Una persona desaparecida se ha reportado en esta área. Se necesitan policías para recoger información del incidente.

1. Saludos, introducción al experimento y firma del consentimiento informado.
2. Tutorial para introducir al usuario en la interacción con la interacción en VR.
3. Entrenamiento del usuario usando ambos escenarios.
4. Cumplimentación de pre-cuestionarios.
5. Primera parte del experimento (ejecución de la tarea por un tiempo fijo de 5 minutos).
6. Recolección de datos de la interfaz.
7. Cumplimentación de cuestionario post-ensayo.
8. Segunda parte del experimento (ejecución de la tarea con el otro escenario por un tiempo fijo de 5 minutos).

9. Recolección de datos de la interfaz.
10. Cumplimentación de cuestionario post-ensayo.
11. Entrevista oral.

El experimento completo tomó al rededor de 25 minutos por cada pareja de participantes.

5.4. Recolección de datos y métodos de análisis

En este experimento se recopilaron datos cuantitativos y cualitativos para poder conectar los resultados de los datos objetivos (eficiencia y carga de trabajo) con la percepción de los usuarios en cada escenario.

5.4.1. Análisis cuantitativo

Rendimiento

Para realizar el análisis cuantitativo se calculó la eficiencia de la tarea de cada pareja de participantes considerando el número de marcas añadidas en el mapa. Se distinguieron 3 tipos de marcas: exitosas, incompletas y erróneas. Marcas exitosas son aquellas que se añadían a no más de 10 unidades de coordenadas geográficas del incidente y colocadas por el rol(es) que debía atenderla. Para aquellos roles que debían ser atendidos por dos roles, era necesario encontrar la marca de cada rol para considerarla como marca exitosa, en caso contrario la marca se consideraba incompleta. Finalmente, marcas incompletas eran aquellas que se añadían al mapa pero sin relación con alguna incidencia.

Carga de trabajo de la tarea

Para medir la carga de trabajo de la tarea se utilizó el cuestionario NASA-TLX [106]. Este instrumento provee un peso al esfuerzo requerido para realizar una tarea en base a 6 dimensiones: esfuerzo mental, esfuerzo físico, tiempo requerido, grado de predisposición a fallo, esfuerzo y nivel de estrés. Los cuestionarios utilizados se presentan en el Anexo B.2. Adicionalmente, los datos recolectados del cuestionario se muestran en el Anexo C.2.

Presencia social y eficiencia percibida

Para estudiar los potenciales efectos de la presencia social en la eficiencia y carga de trabajo de los participantes, se utilizó el cuestionario de presencia social [66]. Adicionalmente, se incluyó una pregunta para medir la eficiencia percibida por el participante.

Los ítems de este cuestionario se detallan en la Tabla 5.4. Los participantes asignaron un valor para cada pregunta utilizando escalas *likert* desde 1 (totalmente en desacuerdo) hasta 5 (totalmente de acuerdo). Los cuestionarios utilizados se presentan en el Anexo C.2. Adicionalmente, los datos recolectados del cuestionario se muestran en el Anexo C.2.

Tabla 5.4: Cuestionario de presencia social basado en [107]

Aspecto	Pregunta
Copresencia	Noté la presencia de la otra persona
Asignación de atención	Mientras realizaba mis tareas, me distraje fácilmente y dejé de prestar atención a la otra persona
Mensaje percibido	Me resulto fácil comprender lo que la otra persona estaba haciendo o tratando de comunicarme
Interdependencia conductual	Respondí a las acciones de la otra persona
Eficiencia percibida	En la tarea que realizamos conjuntamente con la otra persona, sentí que la colaboración fue adecuada y cumplimos con la tarea que se nos pedía

5.4.2. Análisis cualitativo siguiendo el protocolo de análisis temático

Al final del experimento se entrevistó a los participantes con el fin de recoger sus impresiones acerca de los dos escenarios. Se grabó cada entrevista y codificaron sus respuestas utilizando análisis temático [108]. Se realizaron las siguientes preguntas a los participantes:

1. Da tus impresiones generales de los dos escenarios
2. ¿En qué escenario sentiste mayor presencia del otro colaborador y por qué?
3. ¿En qué escenario sentiste mayor carga de trabajo y por qué?

El análisis completo y la codificación de los datos extraídos de las entrevistas se realizó individualmente y luego fue triangulado por el autor y el tutor de este trabajo, siguiendo el protocolo de análisis temático [108] (ver Tabla 5.5). En el siguiente apartado se detalla el procedimiento realizado para la codificación de los resultados de las entrevistas.

Tabla 5.5: Fases del análisis temático [108]

Fase	Descripción
1. Familiarización con los datos:	Transcribir los datos, leer los datos y escribir ideas iniciales.
2. Generación de los códigos iniciales:	Codificar características interesantes de los datos de una forma sistemática en todo el conjunto de datos, cotejar los datos relevantes con cada código generado.
3. Agrupación de los códigos en patrones:	Agrupar los códigos generados en posibles patrones, agrupando todos los códigos generados que estén relacionados entre sí.
4. Revisión de los patrones encontrados:	Revisar si los patrones establecidos tienen sentido en relación a los códigos extraídos y el conjunto de datos, generando un “mapa temático” del análisis.
5. Definición y etiquetado de los patrones:	Análisis adicional para refinar aspectos específicos de cada patrón y la descripción del fenómeno que el análisis desvela, generando definiciones claras y nombres para cada patrón.
6. Realización del reporte de los resultados:	Última etapa del análisis donde se revisan la calidad de los resultados. Selección de ejemplos a destacar de cada patrón y relación de los resultados con la pregunta de investigación del estudio y la literatura. Redacción del reporte final.

Familiarización con los datos

En esta etapa se transcribió el audio de las entrevistas realizadas a cada pareja en documentos de texto y las transcripciones se repartieron entre los investigadores encargados del análisis. Cada investigador realizó una primera revisión de los datos y se socializaron las primeras impresiones sobre los datos.

Generación de los códigos iniciales

Se acordó entre los investigadores subrayar todos aquellos comentarios expresados durante la entrevista que aborden aspectos similares y agruparlos en posibles códigos. Por ejemplo, todos aquellos comentarios relacionados con la carga de trabajo o la percepción de copresencia. La Tabla 5.6 muestra un ejemplo de los comentarios extraídos y las

codificaciones aplicadas.

Tabla 5.6: Comentario extraídos con los códigos aplicados

Comentario extraído	Codificado en
“...era muy complicado fijarte en tu compañero y ver donde estaba, entonces en un punto se te olvidaba su presencia y dejabas de colaborar.”	1. Eficiencia 2. Asignación de atención

Agrupación de los códigos en patrones

Todos aquellos comentarios extraídos que guardaban relación entre sí y codificados con etiquetas similares eran agrupados en “comentarios genéricos” que identificaban el patrón encontrado. En este punto los comentarios se agruparon en patrones que relacionasen los resultados cualitativos y cuantitativos. La Tabla 5.7 muestra la codificación de un patrón a manera de ejemplo. Los patrones generados y los comentarios pertenecientes a cada patrón se agruparon en tres grupos principales:

- Modelo 1 - para el escenario de experiencia compartida
- Modelo 2 - para el escenario de espacio de trabajo compartido
- Modelo 3 - para comentarios que se refieran a ambos modelos

Tabla 5.7: Comentarios agrupados en el patrón carga de trabajo para el Modelo 1

Patrón	Comentarios genéricos agrupados
Carga de trabajo	<ul style="list-style-type: none">■ Debía estar pendiente de la tarea y el compañero (9 comentarios similares).■ Debía realizar mas movimientos de mi cuerpo (5 comentarios similares).■ La variedad y rangos de movimientos del cuerpo hicieron que la comunicación sea complicada (9 comentarios similares).

Revisión de los patrones encontrados

En esta fase del análisis se plasmó visualmente la agrupación en patrones de los comentarios para comprobar que los patrones tuvieran sentido y encontrar posibles agrupaciones alternativas. En esta sección se generaron tres mapas temáticos con comentarios que tenían relación con el modelo 1 (Figura 5.4), modelo 2 (Figura 5.5) y ambos modelos (Figura 5.6).

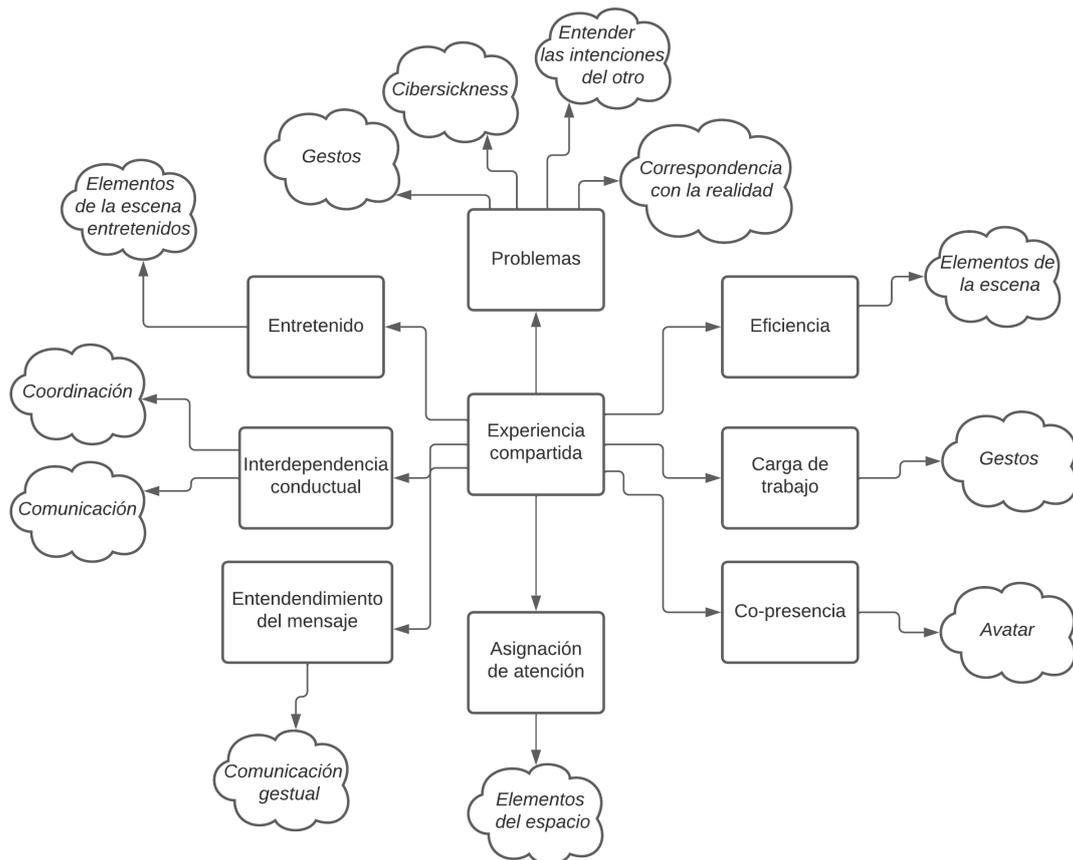


Figura 5.4: Mapa temático del modelo 1

Definición y etiquetado de los patrones

Los mapas temáticos elaborados permitieron comprobar que los comentarios genéricos extraídos se pueden agrupar por un lado para explicar el fenómeno de cada escenario (experiencia compartida, espacio de trabajo compartido y ambas representaciones) y por otro lado en tres factores que permiten describir el fenómeno (presencia social y comunicación, representación visual del escenario y carga de trabajo).

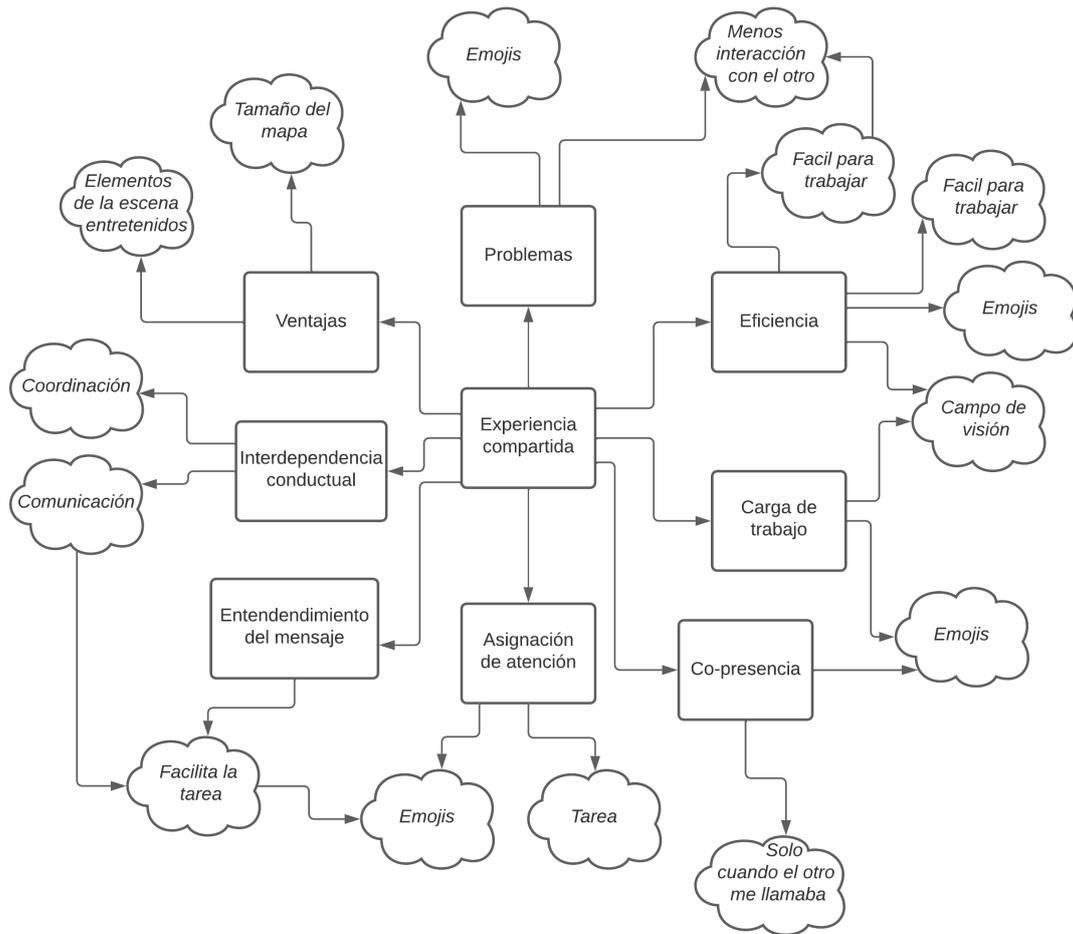


Figura 5.5: Mapa temático del modelo 2

Realización del reporte de los resultados

El resultado final de este análisis permitió extraer resultados que conectan los resultados cuantitativos con los cualitativos, estos resultados se presentan en el siguiente apartado.

5.5. Resultados

Para analizar todas las variables independientes se utilizó la prueba *Wilcoxon signed-rank* con un nivel de significación de $\alpha = 0,05$. Una prueba *Shapiro-Wilk* indicó la no distribución normal de los datos ($p < 0,001$).

5.5.1. Eficiencia de la tarea

Para analizar la eficiencia de la tarea en cada escenario se presenta y detallan los resultados de número de marcas exitosas, marcas incompletas y marcas erróneas.

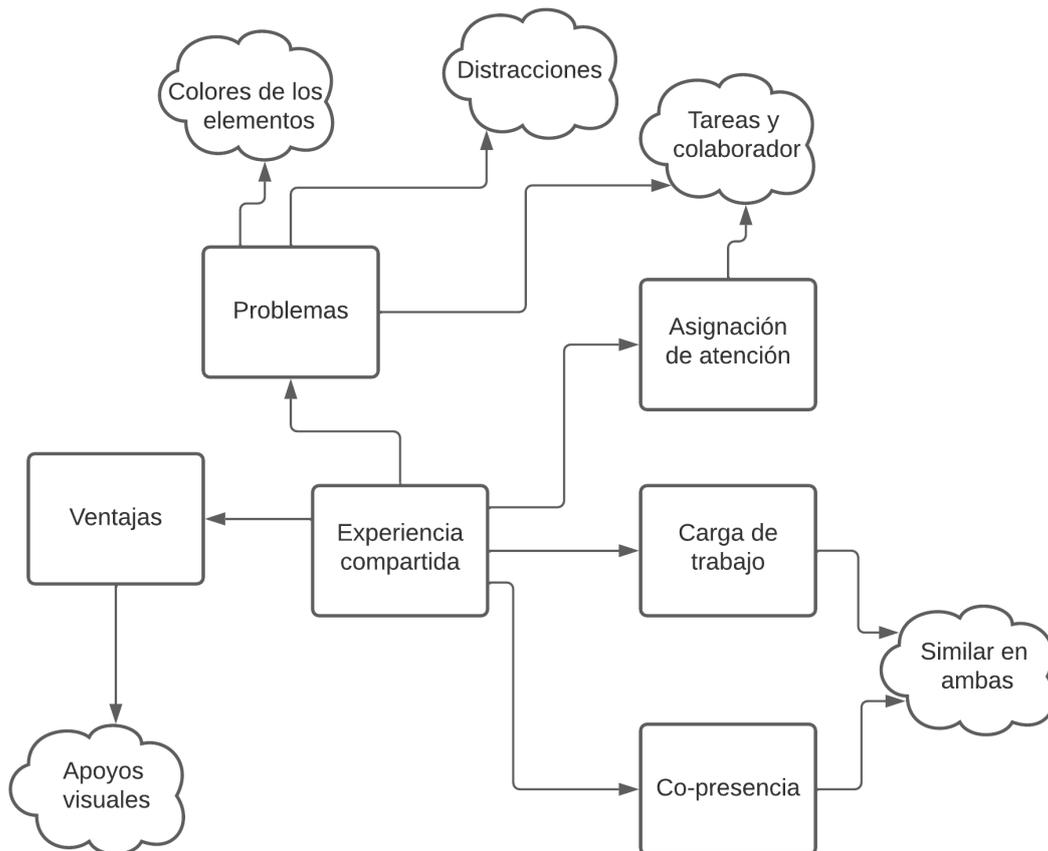


Figura 5.6: Mapa temático con comentarios de ambos modelos

La prueba *Wilcoxon signed-rank* indica que la media de marcas exitosas para el escenario de espacio de trabajo compartido ($Mdn = 9,50$) fue estadísticamente superior que la media de marcas exitosas para el escenario de experiencia compartida ($Mdn = 6$) $Z = 169, p < 0,017$.

La prueba *Wilcoxon signed-rank* no indica una diferencia estadísticamente significativa ($T = 60,5p < 0,97$).

La prueba *Wilcoxon signed-rank* no indica una diferencia estadísticamente significativa ($T = 84,5p < 0,38$).

Con estos resultados se puede rechazar la hipótesis inicial. Del análisis estadístico se puede concluir que los participantes atendieron mas incidencias en un escenario de espacio de trabajo compartido.

5.5.2. Carga de trabajo

La Figura 5.8 compara la carga de trabajo percibida utilizando el cuestionario NASA-TLX. La prueba *Wilcoxon signed-rank* indica que el valor de carga de trabajo NASA-TLX



Figura 5.7: Comparación de marcas exitosas, incompletas y erróneas en los escenarios de experiencia compartida (*Shared experience*) y espacio de trabajo compartida (*Shared workspace*) [104]

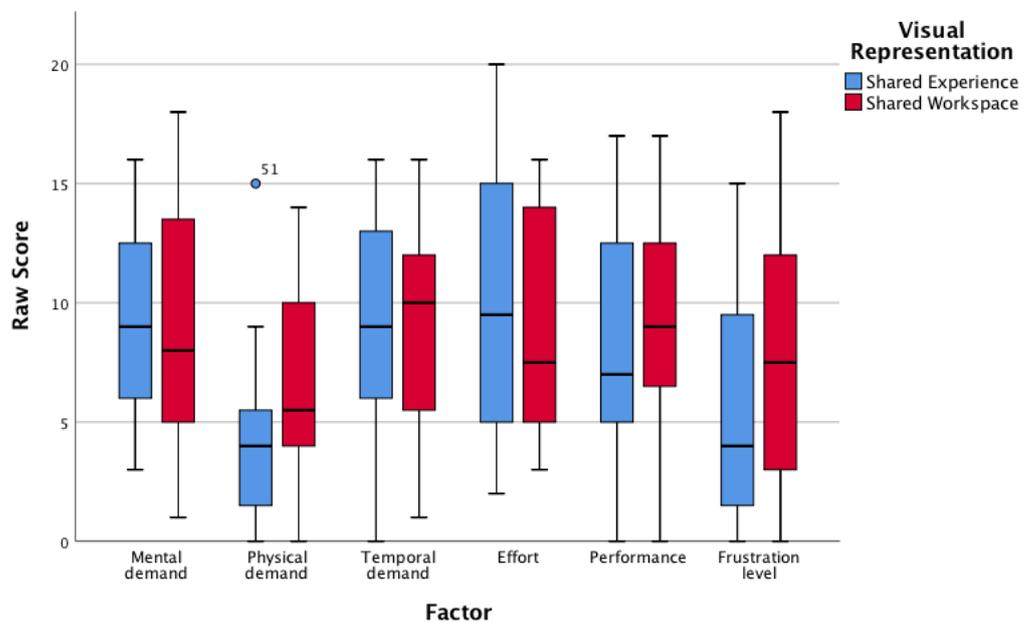


Figura 5.8: Comparación de carga de trabajo usando los escenarios de experiencia compartida (*Shared experience*) y espacio de trabajo compartida (*Shared workspace*) [104]

ponderado para el escenario de experiencia compartida ($Mdn = 40,33$) fue estadísticamente superior que el valor de carga de trabajo NASA-TLX ponderado para el escenario de espacio de trabajo compartido ($Mdn = 36,67$) $T = 58,50$ $p < 0,009$.

Estos resultados también rechazan la hipótesis inicial. Como se muestra en la Figura 5.8, los usuarios perciben menores niveles de carga de trabajo en un escenario de espacio de trabajo compartido.

5.5.3. Presencia social

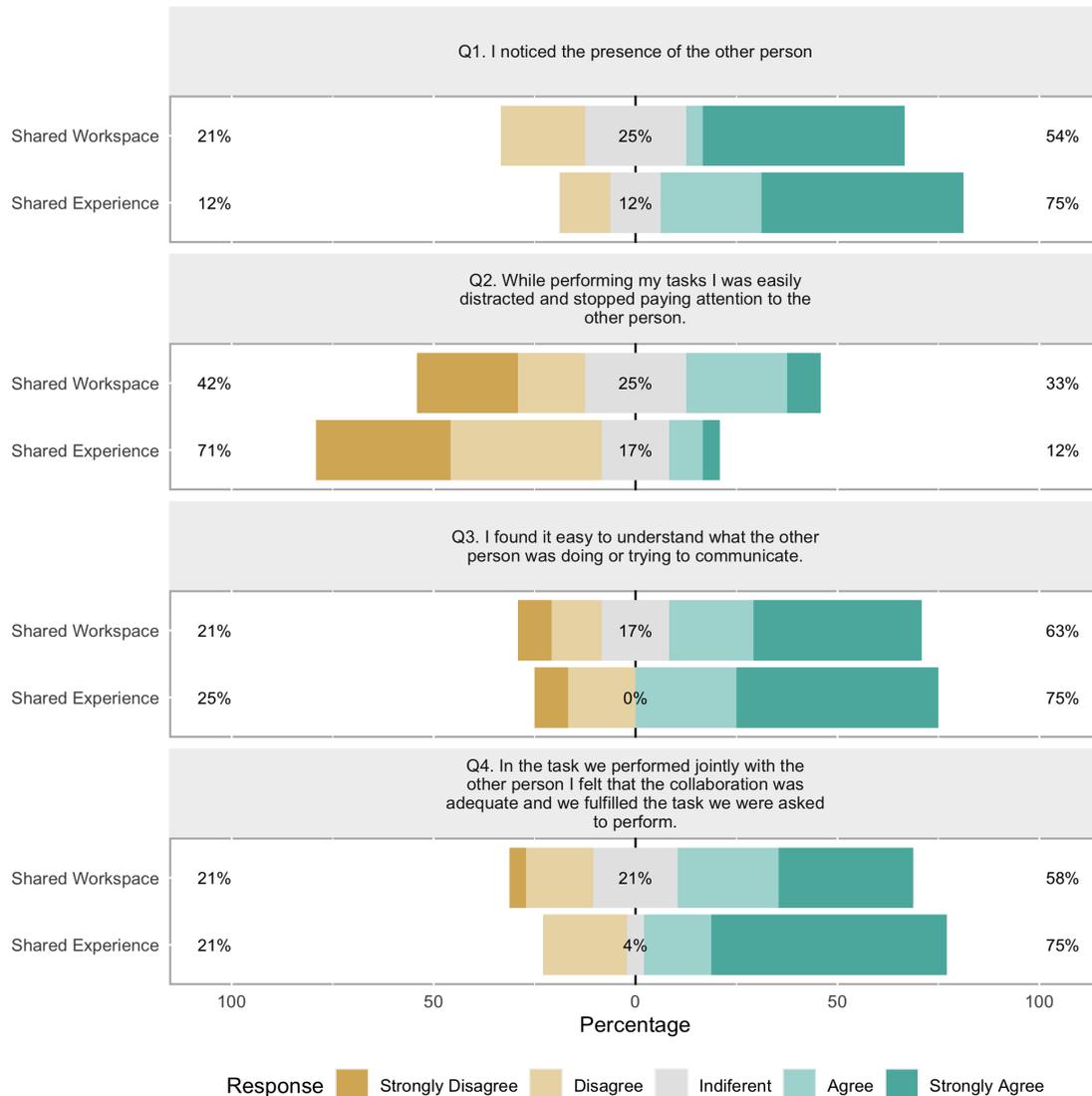


Figura 5.9: Respuestas de los participantes para la representación de espacio de trabajo compartido (SW) y experiencia compartida (SE) para: copresencia (Q1), asignación de atención (Q2), entendimiento del mensaje(Q3) y eficiencia percibida (Q4) [104]

La Figura 5.9 resume las respuestas de los participantes para las preguntas del cuestionario de presencia social. Los resultados de las pruebas *Wilcoxon signed-rank* para cada pregunta son los siguientes:

- Copresencia:** No se encontraron evidencias estadísticamente significativas para esta pregunta ($T = 69, 5p < 0, 27$).

- **Asignación de atención:** La prueba *Wilcoxon signed-rank* indicó que la mediana para esta pregunta en el escenario de experiencia compartida ($Mdn = 3$) fue estadísticamente superior que la media para esta pregunta en el escenario de espacio compartido ($Mdn = 2$) $T = 18p < 0,015$.
- **Mensaje percibido:** La prueba *Wilcoxon signed-rank* indicó que la mediana para esta pregunta en el escenario de experiencia compartida ($Mdn = 3$) fue estadísticamente superior que la media para esta pregunta en el escenario de espacio compartido ($Mdn = 2$) $T = 18p < 0,015$.
- **Eficiencia percibida:** La prueba *Wilcoxon signed-rank* indicó que la mediana para esta pregunta en el escenario de espacio de trabajo compartido ($Mdn = 5$) fue estadísticamente superior que la mediana para esta pregunta en el escenario de experiencia compartida ($Mdn = 3,50$) $T = 149p < 0,026$.

5.5.4. Análisis temático de las entrevistas a los participantes

El propósito de este análisis cualitativo es recoger las impresiones de los participantes cuando utilizaban la interfaz, y establecer una conexión entre las respuestas de la entrevista y los datos cuantitativos recopilados en la sección anterior. Por esta razón se codificó la entrevista y agruparon en patrones las respuestas de los participantes. Los patrones se agruparon dentro de las categorías más representativas del análisis cuantitativo. Estos patrones de los comentarios de los participantes se detallan en la Tabla 5.8. El número al principio de cada comentario representa el número de participantes que dieron un comentario similar. En las siguientes sub-secciones se presentan los resultados y ejemplos de los comentarios dados por los participantes.

Presencia social y comunicación

Un comentario frecuente fue que aunque la presencia del avatar fue un apoyo visual fuerte para notar la presencia de la otra persona, la sensación de copresencia también se sintió en el otro escenario que no tenía avatar. ([C5P2]⁸: “Es cierto que sabías que había otra persona porque veías al avatar cuando te girabas, pero solo la presencia física del otro. En general, yo pienso que se sintió la presencia del otro en ambos escenarios”).

En el caso del escenario de experiencia compartida, la mayoría de los participantes indicaron que el avatar proporcionó una fuerte sensación de copresencia. ([C1P1]: “Ver al avatar me hacía sentir que había otra persona conmigo”). Sin embargo, otros comentarios también mencionaron que por la variedad de gestos que tenían que realizar, la comunicación fue a veces confusa ([C6P2]: “Fue más complicado entender los gestos de la otra persona”, [C3P2]: “Cuando regresaba a ver a la otra persona, sentía que siempre tenía el mismo gesto”).

⁸Identificador del sujeto: C representa a la pareja y P al participante.

En el caso del escenario de espacio compartido muchos participantes mencionaron que era más simple de utilizar ([C10P2]: “Era mas fácil cuando realizaba la tarea en este escenario debido a los *emojis*, estos facilitaban la comunicación con la otra persona”). También se mencionó que los *emojis* permitían al participante dar respuestas mas rápidas al otro colaborador así como entender el mensaje del mismo más rápido ([C8P8]: “Pienso que me gustó este escenario debido al *emojis*. Con el mismo, yo ya sabía lo que la otra persona me decía”). En términos de copresencia del otro colaborador usando el escenario de espacio de trabajo compartido, algunos participantes mencionaron que ellos eran conscientes de la presencia de la otra persona solo cuando la otra persona pedía ayuda ([C5P1]: “En este escenario, tu sabias de la presencia de otra persona cuando esta llamaba tu atención”). Otros participantes mencionaron que ellos sintieron mas copresencia solo por el hecho de la comunicación era más fácil. ([C6P1]: “Me di cuenta de la presencia de la otra persona solo porque me era mas fácil mirar los *emojis* de la otra persona”).

Representación del escenario

En el caso del escenario de experiencia compartida, los participantes indicaron que la representación visual de la escena hacía la tarea más interesante y entretenida ([C6P1]: “En este escenario, la representación visual es bonita porque puedes ver mas cosas, me gustó esto”). Sin embargo, algunos participantes indicaron que los elementos de la escena los hacía menos eficientes ([C5P1]: “La habitación tenia muchas cosas que podían distraer como los escritorios, teléfonos, o el avatar”). Los participantes también indicaron que tenían una mayor carga de trabajo ya que ellos tenían que asignar atención a los elementos de la escena ([C7P1]: “Este escenario requería ser consciente tanto del espacio como de la otra persona”).

En el caso de el escenario de espacio de trabajo compartido, los participantes encontraron útil la convergencia de algunos de los apoyos visuales de conciencia situacional en la esquina inferior derecha del mapa porque era más eficiente y no tenían que desviar tanto su atención en comparación al escenario de experiencia compartida. Un número importante de participantes (14) estuvo de acuerdo que trabajando en este escenario se sintieron más eficientes ([C11P1]: “Yo tuve las herramientas a mi vista, estaban más centradas y eran más fáciles de comprender”, [C7P2]: “Yo tenía menos cosas que atender. Yo solo debía esperar la llamada de la otra persona a través de la pantalla de apoyo y responderle con el *emoji*”).

Tabla 5.8: Comentarios agrupados de los participantes sobre cada representación visual del escenario [104]

Escenario	Presencia social y comunicación	Representación visual del escenario	Carga de trabajo
Experiencia compartida	(16) El avatar me dio una fuerte sensación de estar con otra persona. (9) La variedad de gestos para comunicarse lo hizo difícil.	(5) Los elementos de la escena lo hicieron entretenido e interesante. (15) Los elementos de la escena lo hicieron menos eficiente.	(9) La variedad y rangos de movimientos del cuerpo hicieron difícil para realizar la comunicación.
Espacio de trabajo compartido	(9) Fue mas fácil comunicarme utilizando emojis. (4) Fui consciente de la presencia de otra persona solo cuando la otra persona solicitaba ayuda (5) Sentí la presencia de la otra persona solo porque la comunicación fue más fácil.	(14) La distribución de elementos del escenario lo hicieron más eficiente.	(11) La pantalla de soporte fue útil para la tarea.
Ambos escenarios	(8) Sentí la presencia de la otra persona en ambos escenarios .	Ningún comentario representativo que reportar	(14) Tuve que desviar mi atención de la tarea principal para ver las intenciones de la otra persona.

Carga de trabajo

Un problema identificado por los participantes en ambos escenarios es que tenían que realizar una tarea secundaria además de atender las incidencias. Esta tarea secundaria consistía en prestar atención a las intenciones y requerimientos de los otros colaboradores ([C3P1]: “Yo tenía que desviar constantemente mi atención de la tarea principal para atender a las intenciones y requerimientos de la otra persona”).

En el caso del escenario de experiencia compartida, los participantes notaron que ellos tenían que poner un poco más de esfuerzo que el otro escenario debido a la variedad y rango de movimientos del cuerpo cuando tenían que comunicarse con el otro colaborador ([C4P1]: “Tomando en cuenta los gestos que tenía que realizar para comunicarme con el otro, pienso que yo tenía que poner un poco más de esfuerzo porque tenía que mover los brazos para realizar el gesto”).

En el caso del escenario de espacio de trabajo compartido, muchos participantes indicaron que la pantalla de soporte fue útil para ejecutar la tarea ([C2P2]: “Encontré útil tener todas las herramientas en una misma pantalla”).

5.6. Discusión

Los resultados del experimento sugieren que la representación visual de espacio de trabajo compartido aporta un mejor soporte a la colaboración en términos de eficiencia y carga de trabajo. Estos resultados están en concordancia con los comentarios que los participantes dieron durante las entrevistas. Además, los resultados también sugieren que los participantes no percibieron mayores diferencias en términos de copresencia entre los dos escenarios. En las siguientes sub-secciones se resumen los hallazgos más significativos de esta investigación.

5.6.1. Eficiencia y carga de trabajo

Los resultados de este estudio sugieren que, en términos de eficiencia y carga de trabajo, el escenario de espacio de trabajo compartido tiene un mejor rendimiento. Esto se puede explicar por dos motivos principales. Por un lado, aunque los participantes del estudio apreciaron la fidelidad provista por el escenario de experiencia compartida, los colaboradores tenían en el escenario de espacio de trabajo compartido menos elementos periféricos que pudieran interferir y distraerlos de la actividad principal. Por otro lado, la comunicación usando *emojis* fue más simple y directa ya que los participantes no tenían que interpretar los gestos que realizaba el avatar del colaborador. Este hallazgo se apoya con los resultados cuantitativos que indican un mayor número de incidencias atendidas en el escenario de espacio de trabajo compartido. También se relaciona con los comentarios de los participantes que indicaron que se sintieron más eficientes en el escenario de espacio de trabajo compartido y que la comunicación con el otro colaborador fue más fácil y

fluida.

Adicionalmente, la distribución de elementos en cada escenario también afectaron en la eficiencia y carga de trabajo. En el caso del escenario de experiencia compartida, los participantes podían encontrar elementos visuales en todo el espacio virtual, y las herramientas en el escritorio de trabajo de cada participante. En el caso del escenario de espacio de trabajo compartido, el único elemento visual que los participantes podían encontrar era el espacio de trabajo y la pantalla de apoyo con las herramientas. En cualquier caso, la cantidad de movimiento o esfuerzo que los participantes debían ejercer eran similares, pero ellos apreciaron el hecho de que estaban agrupadas en el escenario de espacio de trabajo compartido.

5.6.2. Presencia social

En términos generales, los participantes no reportaron grandes diferencias en términos de presencia percibida del colaborador entre ambos escenarios. El apoyo visual más fuerte a la hora de informar de la presencia de otro colaborador, como ocurre en la realidad, es una representación realística del cuerpo humano.

A pesar de las valiosas contribuciones hechas para realizar interacciones naturales en entornos virtuales, las representaciones naturales de información de conciencia situacional social pueden ser confusa y entorpecer la comunicación entre los colaboradores. Mientras la tecnología sigue madurando, apoyos visuales para generar conciencia situacional social tradicionalmente usados en entornos 2D pueden continuarse utilizando en entornos virtuales. Los resultados de este estudio sugieren que apoyos visuales para generar conciencia situacional social tradicionalmente utilizados en entornos 2D colaborativos, podría ser suficientes para que el usuario sienta que no está trabajando solo en el espacio colaborativo.

Adicionalmente, de acuerdo a los participantes, los gestos y movimientos del avatar también pueden representar una distracción de la tarea principal y afectar negativamente en la eficiencia. Los resultados de este estudio sugieren que el uso de representaciones gráficas de los actos comunicacionales, como pueden ser los *emojis*, pueden constituir una alternativa más apropiada para indicar las acciones e intenciones del colaborador. Sin embargo, también es necesario considerar que en el estudio solo se representaron dos actos comunicacionales, los cuales se podían activar fácilmente utilizando los botones de los controles. En otros contextos que requieran representar un mayor número de actos comunicacionales y donde más colaboradores deban participar, la activación e identificación de los actos comunicacionales puede ser más complicada. En este caso sería necesario investigar cómo activar y representar esos actos sin incrementar la carga de trabajo de la tarea principal.

6. RECOMENDACIONES DE DISEÑO

En el presente capítulo, en primer lugar se presenta los resultados de los estudios sistemáticos de estilos de interacción para selección de objetos y técnicas para generar WA en entornos de realidad virtual inmersiva. Estos estudios sistemáticos siguen las directrices propuestas por Petersen et al. [109] y permiten identificar en la literatura los desafíos que se presentan al utilizar diversos mecanismos de interacción utilizados para entornos de realidad virtual inmersiva y las diversas formas de representar visualmente el espacio de colaboración. En segundo lugar, en este capítulo se proponen recomendaciones de diseño para afrontar los desafíos identificados en la literatura y los estudios de usuarios realizados. En tercer lugar se revisan las técnicas disponibles para poder validar las decisiones que se adopten en cada recomendación de diseño propuesta.

El presente capítulo se divide en seis secciones: estudio sistemático de estilos de interacción para selección de objetos, estudio sistemático de técnicas para generar WA, recomendaciones de diseño para estilos de interacción, recomendaciones de diseño para la representación del espacio y conciencia situacional, técnicas para implementar las recomendaciones de diseño y resumen.

6.1. Estudio sistemático de estilos de interacción para selección de objetos en entornos de realidad virtual inmersiva

6.1.1. Preguntas de investigación

El propósito principal de este estudio sistemático es identificar en la literatura cuáles son las técnicas que se utilizan para interactuar en espacios de colaboración inmersiva y cuáles son los desafíos que se presentan a la hora de implementarlas. Para ello se responderá las siguientes preguntas:

PI 1. ¿Cómo ha evolucionado el campo de investigación de selección o manipulación de objetos en entornos de realidad virtual inmersiva en el tiempo?

El objetivo de esta pregunta es identificar como ha evolucionado este campo de investigación a través del tiempo y cuál es el nivel de madurez de los artículos presentados.

PI 2. ¿Cuáles son los estilos de interacción para manipulación o selección de objetos que se pueden encontrar en la literatura?

Esta pregunta de investigación nos permite identificar que estilos de interacción se utilizan para manipular o seleccionar objetos.

PI 3. ¿Cuáles son las técnicas específicas para seleccionar o manipular objetos?

Esta pregunta de investigación nos permite identificar las técnicas específicas que se presentan para interactuar con objetos en entornos virtuales.

6.1.2. Identificación de los trabajos

Para seleccionar las palabras claves de la cadena de búsqueda, identificamos que las mas importantes deberían ser “*immersive*” para identificar la literatura que use tecnologías inmersivas y “*selection*” o “*manipulation*” para limitar los resultados a aquellos que investiguen selección o manipulación de objetos en entornos virtuales. Además, considerando las posibles variaciones de los términos propuesto, se diseñó la cadena de búsqueda que se ilustra en la Figura 6.1.

Enter query string
("selection" or "manipulation" and "immersive" and "virtual reality")

Outline query Add Author name / Affiliation Clear form Search

Figura 6.1: Términos utilizados en la cadena de búsqueda

Esta cadena de búsqueda se ejecuto en *Scopus* para obtener todos los trabajos que se encuentren indexados.

Filtros aplicados en la cadena de búsqueda

El siguiente paso del estudio sistemático fue aplicar los filtros provistos por *Scopus* de acuerdo a criterios de inclusión y exclusión definidos para este estudio sistemático. Los filtros aplicados para seleccionar los trabajos a incluir son los siguientes:

- **Periodo de tiempo:** sin restricción.
- **Tipo de publicación:** Estudios primarios publicados en revistas o conferencias indexadas.
- **Lenguaje de publicación:** solo inglés.

Filtrado manual de los trabajos

Después de aplicar la cadena de búsqueda y los filtros automáticos en *Scopus*, se realizó un filtrado manual del conjunto de trabajos resultantes. Para esto, se leyó el título, resumen, palabras claves e imágenes de cada artículo con el propósito de identificar manualmente el conjunto de trabajos que se quiere incluir en el estudio sistemático. Los criterios seguidos para incluir un artículo en la lista final fue la siguiente:

- Uso de tecnologías inmersivas.
- El artículo aborda técnicas de selección y/o manipulación en entornos virtuales.
- Debe tener al menos una contribución clara sobre técnicas de interacción en entornos virtuales.

Todos aquellos trabajos que no cumplían estos requisitos eran descartados.

Extracción de datos y clasificación

En esta etapa tomamos el listado de artículos final obtenido en *Scopus* y se realizó una lectura del título, abstract, palabras claves e imágenes para extraer los datos y clasificar los artículos de acuerdo a las preguntas de investigación planteadas. El proceso entero y los resultados de cada paso se muestran en la Figura 6.2. El resultado final de este estudio sistemático fue de 50 artículos (ver Anexo D). Este proceso se ejecutó por última vez el 12 de enero de 2020.

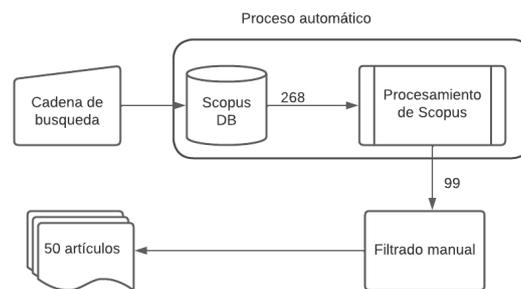


Figura 6.2: Resultados del estudio sistemático en cada etapa

6.1.3. Resultados

Años de publicación y madurez

La mayor cantidad de trabajos que conforman este estudio sistemático se encuentran en el periodo comprendido entre los años 2012 a 2019 (29 de 50 artículos) lo cual coincide precisamente con el auge de tecnologías inmersivas de bajo costo y accesible a los usuarios finales. La Figura 6.3 muestra la distribución de los trabajos que forman parte de este estudio sistemático a lo largo de los años.

En cuanto a la madurez de las publicaciones, la mayor cantidad de artículos son investigaciones de validación (32 de 50 artículos), seguido de propuestas de solución (16 de 50 artículos) y por último artículos de opinión (2 de 50 artículos). Esta categorización se hizo tomando en cuenta los criterios presentados por Wieringa et al. [110] para clasificar artículos de investigación según su madurez.

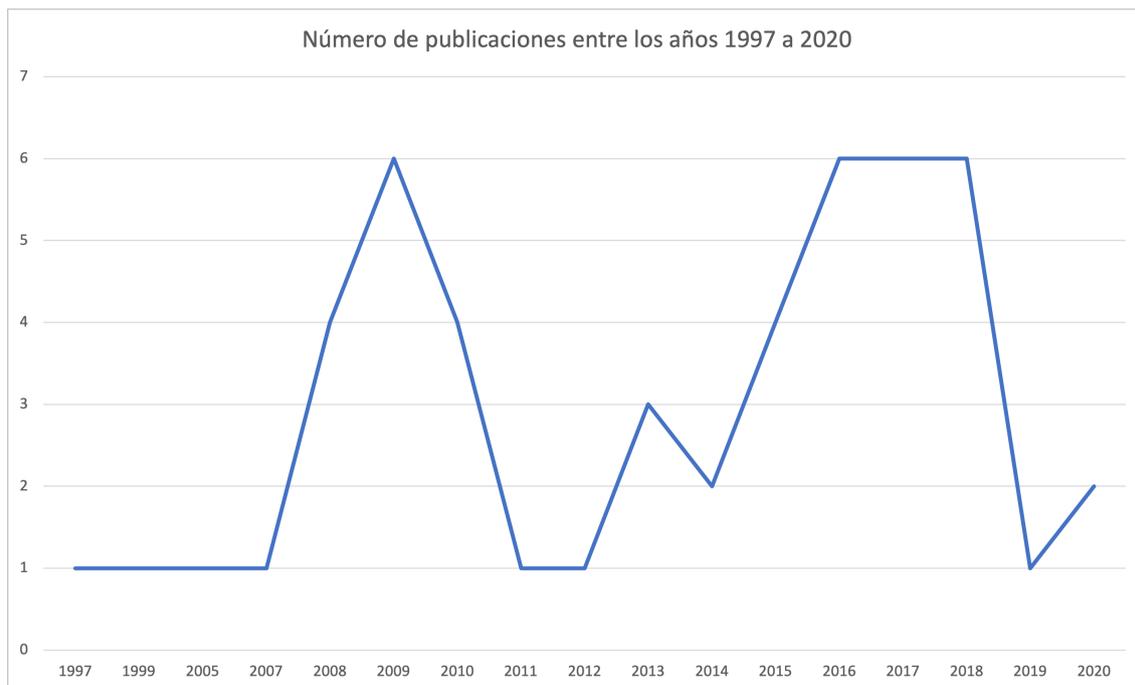


Figura 6.3: Número de publicaciones sobre selección o manipulación de objetos VR entre los años 1997 - 2020

Técnica de selección o manipulación presentado

Esta pregunta de investigación identifica la técnica de selección o manipulación que presenta cada trabajo de este estudio sistemático. La Tabla 6.1 presenta las técnicas identificadas presentando una descripción de cada técnica y los artículos que se agrupan en cada técnica.

Estilo de interacción utilizado

Esta pregunta de investigación se centró en identificar el paradigma utilizado para interactuar con objetos en entornos virtuales, para ello se clasificó cada trabajo en uno de los dos estilos de interacción especificados en el Capítulo 4 (*Body-based* y *Device-based*). La Tabla 6.2 presenta la clasificación que responde a esta pregunta de investigación.

6.1.4. Desafíos identificados sobre interacción en entornos virtuales

Los trabajos que forman parte de este estudio sistemático mencionan desafíos identificados durante la investigación. En los siguientes apartados se resumen desafíos identificados relativos a interacción en entornos virtuales.

Tabla 6.1: Técnicas de selección o manipulación identificados.

Técnica	Descripción	Artículos presentados
<i>Gesture</i>	En esta clasificación se incluyen los artículos que presentan como técnica realizar gestos con el cuerpo que son capturados a través de sensores o cámaras.	[111], [112], [113], [114], [115], [116], [117], [118], [119], [120], [121], [122], [123], [124], [125], [126], [127], [128], [129], [130], [131], [132], [133], [134], [135], [136], [137], [138]
<i>Pointing technique</i>	En esta clasificación se incluyen los artículos que presentan como técnica apuntar mediante un dispositivo el objeto a interactuar.	[139], [140], [48], [141], [142], [143], [144], [132], [145], [146], [147]
<i>Metaphor</i>	En esta clasificación se incluyen los artículos que utilizan metáforas artificiales para interactuar con el objeto en el entorno virtual.	[148], [149], [150], [151]
<i>Optimization</i>	En esta clasificación se incluyen los artículos que presentan algoritmos para optimizar técnicas de interacción con objetos en entornos virtuales.	[152], [153], [154], [155]
<i>Haptic or visual feedback</i>	En esta clasificación se incluyen los artículos que discuten formas de dar retroalimentación mediante canales hápticos o visuales cuando se interactúa con objetos en entornos virtuales.	[156], [157], [158]

Precisión

Entre los desafíos identificados está la precisión con la que se realiza la interacción. Trabajos como [153], [112], o [141] mencionan los problemas asociados a seleccionar objetos que se encuentran total o parcialmente ocluidos por otros objetos o que debido a una importante cantidad de objetos presentes en el espacio virtual resulta difícil identificar el elemento que el usuario quiere seleccionar. Caggianese et al. [121] identifica

Tabla 6.2: Clasificación de los trabajos encontrados en función del estilo de interacción utilizado

Estilo de interacción	Artículos presentados
<i>Body-based</i>	[112], [113], [148], [159], [152], [140], [48], [118], [142], [119], [120], [121], [157], [150], [122], [123], [124], [126], [155], [131], [137]
<i>Device-based</i>	[139], [116], [149], [117], [141], [153], [156], [151], [158], [144], [154], [125], [127], [128], [129], [130], [132], [160], [133], [134], [135], [136], [145], [146], [138], [147]
<i>Others</i>	[111], [114], [143]

este problema particularmente en el estilo de interacción gestual debido a los problemas de la tecnología asociada para captar la posición y rotación de la mano que realiza la interacción mediante gestos.

Entre los trabajos encontrados en este estudio sistemático se proponen soluciones mediante algoritmos de optimización [154], [152] o mediante metáforas [155]. Sin embargo, ninguna de las alternativas propuestas presenta una solución clara o que sea mejor comparada con las otras.

Carga física y cognitiva

Uno de los problemas identificados cuando se interactúa en entornos virtuales es realizar la manipulación de objetos de grandes dimensiones [113] debido a que los puntos de manipulación de los objetos se volvía complicado identificar por parte de los usuarios.

La cantidad de tiempo o el número de veces que los usuarios realizan la tarea también se identifican como problemas importantes a considerar [125], [150]. Por un lado, en estudios de usuarios, repetir varias veces la misma tarea podía tener efectos de curva de aprendizaje que daría lugar a interpretaciones erróneas de los resultados. Por otro lado, también se menciona considerar los efectos del uso intensivo de tecnologías inmersivas pueden llegar a afectar en el rendimiento, fatiga o estado de ánimo de los usuarios cuando interactúan en el entorno virtual, principalmente en tareas repetitivas.

Complejidad de la técnica

Este desafío se refiere a los problemas relativos a la interacción entre el usuario y las tecnologías inmersivas. Algunos autores reportan los problemas de los usuarios a la hora de realizar gestos específicos [126], [135]. También se menciona la dificultad tecnológica que atañe capturar de forma correcta los movimientos del usuario [140], [126], [127].

Realismo de la técnica

En cuanto al realismo, las metáforas de interacción menos realistas parecen conducir a peores rendimientos por parte de los usuarios [149]. Los resultados de un estudio con usuarios realizado por Speicher et al. sugieren que la familiaridad del usuario con la forma de realizar la tarea se encuentra relacionada con la eficiencia a la hora de llevarla a cabo.

Por otro lado, numerosos trabajos destacan la importancia de la retroalimentación cuando se realizan tareas de selección o manipulación [156], [124], [138]. El uso de retroalimentación háptica, sonora, o similar es mencionada en diversos estudios como una característica que mejora el rendimiento de los usuarios cuando esta presente en este tipo de tareas.

6.1.5. Discusión

Una vez presentado los resultados del estudio sistemático realizado, en esta sección se presenta la interpretación de los resultados y las brechas identificadas en esta área de investigación.

Años de publicación y madurez

Se puede observar en la línea de tiempo de la Figura 6.3 que el interés por esta área de publicación se ha venido manteniendo en los últimos 20 años. El pico de publicaciones más sostenido se ha dado entre los años 2014 y 2019 que justamente coincide con la aparición de tecnologías inmersivas asequibles fuera de laboratorio.

Revisando la madurez de las publicaciones, más de la mitad (32 de 50 publicaciones) son investigaciones de validación, es decir las soluciones que se proponen en los trabajos están validados a través de estudios de usuarios. Adicionalmente, cerca de la cuarta parte de artículos identificados (17 de 50) son investigaciones que proponen solución pero no han sido validados con estudios de usuarios.

Finalmente, se identifica en este estudio sistemático la falta de investigaciones de evaluación donde se pongan a prueba las investigaciones realizadas en laboratorio en entornos reales con usuarios finales.

Técnica de selección o manipulación

La técnica más frecuentemente utilizada para seleccionar o manipular objetos es a través de gestos (28 de 50 artículos), seguido de técnicas donde se usa un dispositivo adicional como puntero (11 de 50 artículos). Estos resultados evidencian la tendencia de optar por técnicas de interacción naturales para manipular o seleccionar objetos. Sin embargo, muchos de los trabajos revisados hacen mención a las limitaciones de la tecnología

para capturar correctamente los movimientos de los usuarios [140], [126], [127].

En menor medida en algunos artículos se proponen técnicas más artificiales en la que la interacción se lleva a cabo de forma diferente a cómo haría en la realidad (4 de 50 artículos). Un ejemplo de este tipo de trabajos es el de Zielasko et al. [150] que propone el uso de un micrófono que al ser soplado con distintas intensidades ejecuta diferentes comandos. Si bien este tipo de metáforas alternativas resultan soluciones no invasivas, introducir su introducción y empleo por usuarios finales puede suponer un desafío adicional, debido a su complejidad y las limitaciones de la tecnología.

En esta categorización también se pudieron identificar trabajos cuya contribución fue proponer mejoras o alternativas a técnicas de interacción populares. Por ejemplo, Montano Murillo et al. [152] propone el uso de modelos de optimización para adaptar y mejorar localización física del usuario en el espacio virtual con el fin de lograr una interacción con objetos más confortable.

Finalmente, dentro del estudio sistemático realizado, también se pudieron encontrar trabajos que abordan el problema de brindar retroalimentación a las acciones que se realizan en el entorno virtual (3 artículos de 50). Uno de los desafíos frecuentemente mencionado consiste en proporcionar una retroalimentación a las acciones que realiza el usuario en el entorno virtual que aporte un mayor nivel de realismo.

Estilo de interacción

Con respecto al estilo de interacción, el número de trabajos que emplean un técnica de interacción basada en el uso de un dispositivo externo (*Device-based*) es similar (26 de 50 artículos) al número de trabajos que utilizan interacción basado en gestos (21 de 50 trabajos) .

Los resultados de la revisión sugieren que hay cierta preferencia por el uso de técnicas utilizadas ampliamente en entornos no inmersivos, como por ejemplo en videojuegos, ya que el usuario se encuentra acostumbrado al uso de este tipo de dispositivos. Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones inherentes a este tipo de mandos de control. Por ejemplo, Dunk et al. [128] identifica las limitaciones de los dispositivos para realizar gestos de orientación pueden llegar a tener especialmente en la selección de múltiples objetos y como estas limitaciones pueden afectar al rendimiento de los usuarios.

Con respecto a los estilos de interacción gestuales (*Body-based*), las limitaciones más frecuentemente mencionadas se relacionan con la dificultad a la hora de realizar los gestos de la forma exacta requerida por el sistema [126], [124], así como la limitación de los sistemas de capturar correctamente los gestos y movimientos del usuario [60], [150]. Se espera que a medida que la tecnología vaya madurando, estas limitaciones sean superadas y se pueda integrar estilos de interacción que resulten transparentes al usuario.

Finalmente, los trabajos [111] y [114] realizan comparaciones entre los estilos de interacción *Body-based* y *Device-based*.

Desafíos identificados

Numerosos autores señalan la importancia de conseguir que la interacción sea natural y transparente para el usuario. Entre los principales desafíos identificados para alcanzar esta meta destacan:

1. **Precisión:** Identificar correctamente el objeto con el que se va a interactuar cuando hay numerosos objetos en el espacio o se encuentren ocluidos.
2. **Carga física y cognitiva:** Relativo a la cantidad de veces a repetir, el tiempo que dura, o la complejidad que pueda implicar la interacción del usuario con el objeto en el entorno virtual.
3. **Complejidad de la técnica:** Facilidad del usuario a la hora de realizar la tarea o capacidad de la tecnología para capturar correctamente las intenciones del usuario.
4. **Realismo de la técnica:** Capacidad de la técnica para que la misma sea percibida como natural por parte del usuario.

6.2. Estudio sistemático de técnicas para generar *Workspace Awareness* en entornos de realidad virtual inmersiva

6.2.1. Revisiones previas

Existen en la literatura algunas revisiones previas relacionadas con la colaboración mediada por ordenador y WA. En la Tabla 6.3 se muestran aquellas revisiones que han servido como base para el presente estudio sistemático.

Ens et al. [4] presentan una revisión sistemática que clasifica la literatura de sistemas colaborativos en una matriz de 6 dimensiones: tiempo, espacio, simetría, artificialidad, foco y escenario. Si bien esta revisión sirve para sistematizar el trabajo realizado de colaboración en entornos inmersivos, no cubren aspectos que permitan sistematizar la forma en cómo se representa información de WA en espacios colaborativos inmersivos.

Por su parte, Wang et al. [161] presentan una revisión sistemática sobre la literatura de colaboración en entornos inmersivos tomando en cuenta 7 aspectos concretos: evolución a través de los años, uso de entornos 3D para la reconstrucción de los espacios de colaboración, formas de realizar la investigación, interfaces de usuarios locales y remotas, características de las interfaces de usuario comúnmente usadas, arquitecturas y apoyos visuales no verbales y aplicaciones y toolkits presentados. Si bien esta revisión clasifica los apoyos no verbales para representar información de WA, no emplea ningún *framework* que permita sistematizar la información y establecer categorías de cómo se genera información de WA en entornos inmersivos.

Tabla 6.3: Resumen de revisiones previas sobre colaboración, y WA en sistemas inmersivos

Publicación	Área de la revisión	Años cubiertos	Publicaciones revisadas
Ens et al. [4]	Colaboración en entornos de realidad mixta	1995 -2018	110
Wang et al. [161]	Colaboración remota en tareas físicas utilizando realidad aumentada y realidad mixta	2000 -2018	215
Steinmacher et al. [162]	Soporte de <i>awareness</i> en el desarrollo de software distribuido	2000 - 2010	91
Esta revisión	WA en espacios colaborativos inmersivos	2004 - 2021	46

Por último, Steinmacher et al. [162] presentan una revisión sistemática que clasifica los trabajos en la literatura relacionados con el soporte de *awareness*, tomando en cuenta el modelo de colaboración de las 3C [163] y el *framework* de Gutwin y Greenberg [65]. Sin embargo, esta revisión se encuentra en el campo amplio de desarrollo de software distribuido y no se tienen en cuenta trabajos en el campo específico de colaboración en entornos inmersivos.

El presente estudio sistemático toma como base estas revisiones previas y realiza una identificación y clasificación de la literatura de trabajos de investigación realizados sobre herramientas para representar información de WA en entornos inmersivos.

6.2.2. Preguntas de investigación

El propósito principal de este estudio sistemático es realizar una fotografía de la literatura que permita identificar cuáles son los técnicas que se utilizan para representar información de WA en espacios de colaboración inmersiva. Para obtener esta fotografía, el presente estudio sistemático responderá las siguientes preguntas:

PI 1. ¿Cómo ha evolucionado el campo de investigación de WA en entornos de realidad virtual inmersiva en el tiempo?

El objetivo de esta pregunta es identificar cómo ha evolucionado este campo de investigación a través del tiempo y cuál es el nivel de madurez de los artículos identificados.

PI 2. ¿Cuáles son las aportaciones que se realizan en cada categoría del marco de trabajo de WA?

Esta pregunta de investigación busca clasificar las herramientas que ayudan a generar información de WA. Estas herramientas se categorizan tomando en cuenta el marco de trabajo propuesto por Gutwin y Greenberg [65].

PI 3. ¿Cuáles son las herramientas específicas para establecer WA?

El propósito de esta pregunta de investigación es identificar cuáles son las herramientas que se utilizan en la literatura para representar información de WA.

PI 4. ¿Cómo se representa estas herramientas en el espacio de colaboración?

Esta pregunta de investigación busca identificar qué tipo de paradigma se utiliza para representar el espacio de colaboración. Para ello se clasificará cada trabajo en uno de los paradigmas identificados para representar el espacio de colaboración: espacio de trabajo compartido o experiencia compartida.

6.2.3. Identificación de los trabajos

Cadena de búsqueda

Para seleccionar las palabras claves de la cadena de búsqueda, identificamos que las más importantes deberían ser “*immersive*” para identificar la literatura que use tecnologías inmersivas y “*workspace awareness*” para limitar los resultados a aquellos que investiguen conciencia situacional en espacios de trabajo colaborativos. Además, considerando las posibles variaciones de los términos propuesto, se diseñó la cadena de búsqueda que se ilustra en la Figura 6.4.

Enter query string

```
("workspace awareness" OR "activity awareness") AND ("immersive" AND ("virtual reality" OR "augmented reality" OR "mixed reality"))
```

[Outline query](#)

[Add Author name / Affiliation](#)

[Clear form](#)

[Search Q](#)

Figura 6.4: Términos utilizados en la cadena de búsqueda

Esta cadena de búsqueda se ejecuto en *Scopus* para obtener todos los trabajos que se encuentren indexados.

Filtros aplicados en la cadena de búsqueda

El siguiente paso del estudio sistemático fue aplicar los filtros provistos por *Scopus* de acuerdo a criterios de inclusión y exclusión definidos para este trabajo. Los filtros aplicados para seleccionar los trabajos a incluir son los siguientes:

- **Periodo de tiempo:** sin restricción.

- **Tipo de publicación:** Estudios primarios publicados en revistas o conferencias indexadas.
- **Lenguaje de publicación:** solo inglés.

Filtrado manual de los trabajos

Después de aplicar la cadena de búsqueda y los filtros automáticos en *Scopus*, se realizó un filtrado manual del conjunto de trabajos resultantes. Para esto, se leyó el título, resumen, palabras claves e imágenes de cada artículo con el propósito de identificar manualmente el conjunto de trabajos que se quiere incluir en el estudio sistemático. Los criterios seguidos para incluir un artículo en la lista final fueron los siguientes:

- Uso de tecnologías inmersivas.
- El artículo aborda la colaboración mediada por ordenador.
- Debe tener al menos una contribución clara sobre mecanismos para proveer WA.

Todos aquellos trabajos que no cumplían estos requisitos eran descartados.

Extracción de datos y clasificación

En esta etapa tomamos el listado de artículos final obtenido en *Scopus* y se realizó con cada uno una lectura del título, resumen, palabras claves e imágenes para extraer los datos y clasificar los artículos de acuerdo a las preguntas de investigación planteadas. El proceso entero y los resultados de cada paso se muestran en la Figura 6.5. El resultado final de este estudio sistemático concluyó con una selección final de 46 artículos (ver Anexo D). Este proceso se ejecutó por última vez el 16 de junio de 2021.

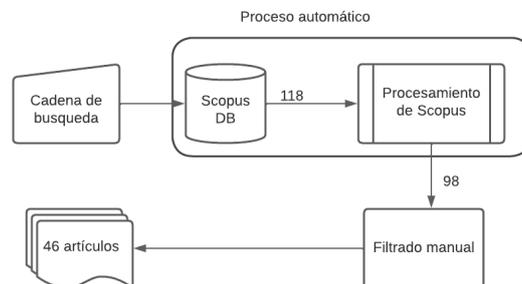


Figura 6.5: Resultados del estudio sistemático en cada etapa

6.2.4. Resultados

Pregunta de investigación 1: Años de publicación y madurez

Los trabajos identificados en este estudio sistemático se encuentran en el periodo comprendido entre el 2004 y el 2021. La mayor cantidad de trabajos se encuentran entre los años 2014 y 2021 (38 artículos de 46) precisamente este es el periodo donde la investigación en el área de entornos de realidad virtual inmersiva a cobrado mayor relevancia gracias a la aparición de dispositivos inmersivos de bajo costo como las *Oculus* o las *Cardboard*. La Figura 6.6 presenta una línea de tiempo con la distribución de artículos del presente estudio sistemático.

En cuanto a la madurez de las publicaciones, siguiendo los criterios propuestos por Wieringa et al. [110], se identifica que la gran mayoría de artículos identificados en este estudio sistemático son investigaciones de validación (36 artículos de 46) mientras que el resto de artículos (10 artículos de 46) presentan una propuesta de solución.

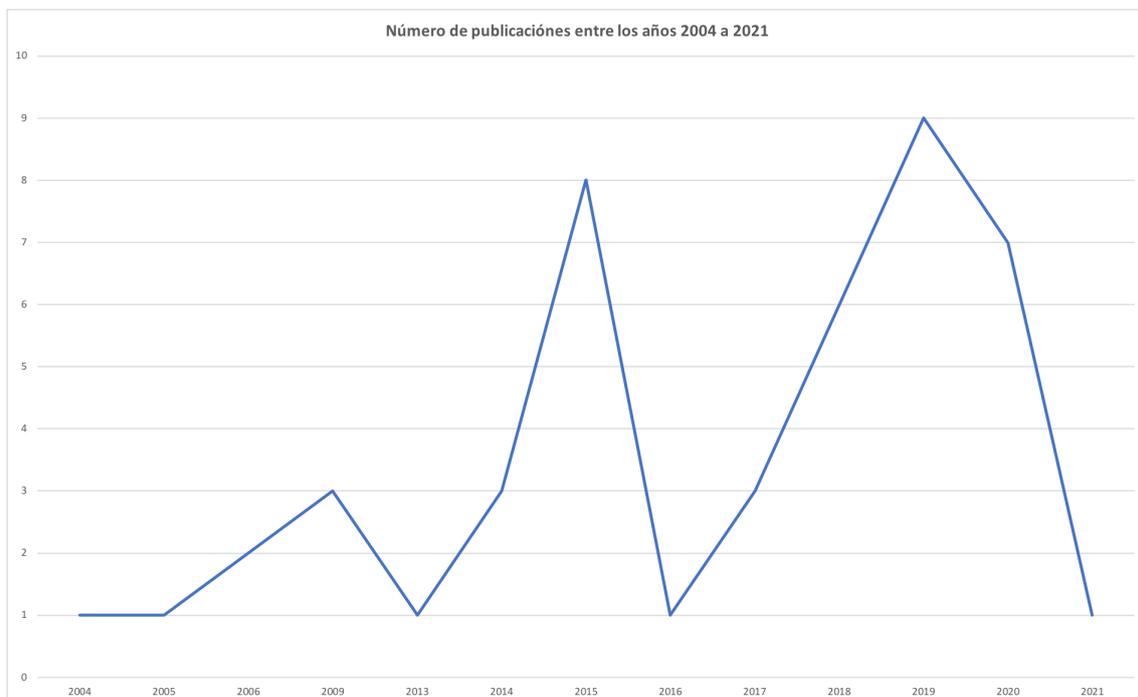


Figura 6.6: Número de publicaciones de WA entre los años 2004 - 2021

Pregunta de investigación 2: Categorización de las herramientas de WA

Esta pregunta de investigación se centró en clasificar los trabajos que forman parte del estudio sistemático en las 3 categorías de WA. La Tabla 6.4 muestra el resultado final del proceso de clasificación.

Tal y como se muestra en la tabla la mayor cantidad de contribuciones revisadas pertenecen a la categoría de *where* (28 artículos de 46). La segunda categoría con más contribu-

ciones es la de *who* (22 artículos de 46). Por último, 15 de 46 los artículos corresponderían a la categoría *what*.

Algunos trabajos presentan herramientas relacionadas con *workspace awareness framework*. En concreto, existen artículos que en el mismo trabajo discuten o aportan con herramientas para las categorías *Who*, *what*, *where* ([77], [164], [165], [148], [166]), para *who*, *where* ([167], [168], [169], [170], [171], [172], [173]), para *who*, *what* ([174], [175], [176]), y para *what*, *where* ([177], [178]).

Tabla 6.4: Trabajos encontrados en cada dimensión del *workspace awareness framework*

Workspace awareness framework	artículos identificados
Who	[179], [180], [77], [164], [181], [165], [168], [169], [182], [170], [183], [148], [171], [82], [96], [184], [172], [173], [176], [166], [185]
What	[174], [77], [164], [165], [177], [186], [187], [178], [148], [188], [189], [190], [191], [176], [166], [192]
Where	[167], [193], [194], [77], [195], [164], [81], [181], [165], [177], [168], [169], [178], [196], [170], [70], [148], [171], [197], [82], [198], [199], [80], [78], [172], [173], [79], [166]

Pregunta de investigación 3: Herramienta específica para generar WA

Esta pregunta de investigación se centró en identificar las herramientas específicas que se proponen en los trabajos de este estudio sistemático. Para ello se revisaron los tipos de herramientas o de estudios específicos realizados para posteriormente agruparlos en función de las similitudes que presentan entre los trabajos de cada categoría del *workspace awareness framework*.

- **Categoría *What*:** En esta categoría se incluyeron 16 artículos que proponen herramientas, o describen estudios de usuario o similares en los que se presente información al colaborador sobre las acciones específicas que están realizando terceros colaboradores o están tratando de transmitir. La clasificación de los artículos de esta categoría se muestra en la Tabla 6.5.
- **Categoría *Who*:** En esta categoría se incluyeron 21 artículos que proponen cualquier herramienta, estudio de usuario o similar que provea información al colaborador sobre terceros colaboradores que se encuentren presentes en el espacio de trabajo. La clasificación de los artículos de esta categoría se muestra en la Tabla 6.6.

- **Categoría *Where*:** En esta categoría se incluyeron 28 artículos que proponen cualquier herramienta, estudio de usuario o similar que provea información al colaborador sobre el lugar en el que están los otros colaboradores, zona en las que interactúan, campo de visión de los otros colaboradores, o cualquier tipo de información de posición de otros colaboradores. La clasificación de los artículos de esta categoría se presenta en la Tabla 6.7.

Tabla 6.5: Trabajos encontrados sobre herramientas para representar información de WA - *what*

Herramienta	Descripción	Artículos identificados
<i>Annotations</i>	En esta clasificación se incluyen aquellos artículos que presentan información de WA a través de anotaciones o figuras superpuestas en el campo de visión del usuario o en la escena virtual.	[177], [170], [188], [190], [191], [176]
<i>Audio</i>	En esta clasificación se incluyen trabajos que transmiten la información mediante cualquier tipo de señal auditiva (por ejemplo voz, timbre, etc).	[77], [186], [192]
<i>Haptic</i>	En esta clasificación se incluyen trabajos que transmiten la información mediante cualquier tipo de señal háptica (por ejemplo vibración).	[174], [77], [186], [175]
<i>Hybrid</i>	En esta clasificación se incluye trabajos cuyas herramientas se pueden clasificar en dos o mas de las clasificaciones anteriores.	[165], [178], [183]

Pregunta de investigación 4: Representación de la herramienta en el espacio de colaboración

Esta pregunta de investigación se centró en identificar el paradigma utilizado para representar la herramienta de WA y el escenario virtual, para ello se clasificó cada trabajo en uno de los dos paradigmas de representación del espacio colaborativo especificados en el capítulo 5 (*Shared experience* y *Shared Workspace*). La Tabla 6.8 muestra la clasificación que responde a esta pregunta de investigación.

Tabla 6.6: Trabajos encontrados sobre herramientas para representar información WA - *who*

Herramienta	Descripción	Artículos identificados
<i>Avatar</i>	En esta clasificación se agrupan los trabajos que dan información de la presencia de otros colaboradores mediante representaciones virtuales de las otras personas que se encuentran en el espacio de trabajo. Los avatares deben como mínimo representar la cabeza y manos del colaborador.	[77], [148], [96], [184], [172], [176], [185], [169]
<i>Virtual hands</i>	En esta clasificación se agrupan los trabajos que dan información de la presencia de otros colaboradores únicamente mediante la parte de las manos o las manos y los brazos.	[167], [200], [182], [171], [82], [173], [166]
<i>Real Human Projection</i>	En esta clasificación se agrupan los trabajos que dan información de la presencia de otros colaboradores mediante la proyección del cuerpo real o parte del mismo de las personas que se encuentran en el espacio de trabajo.	[179], [168], [181]
<i>Notifications</i>	En esta clasificación se agrupan los trabajos que dan información de la presencia de otros colaboradores mediante señales que pueden ser visuales, auditivas o hápticas.	[165], [170], [183]

6.2.5. Desafíos identificados sobre WA

Los trabajos que forman parte de este estudio sistemático mencionan desafíos a considerar cuando se representa información de WA en espacios colaborativos inmersivos. En los siguientes apartados se resumen desafíos identificados relativos a esta problemática.

Tabla 6.7: Trabajos encontrados sobre herramientas para representar información de WA - *where*

Herramienta	Descripción	Artículos identificados
<i>Viewport</i>	En esta clasificación se agrupan los trabajos que proponen como herramienta un marco, cuadrado o similar dentro del campo de visión del usuario que muestra dinámicamente el área de visión actual de otros colaboradores.	[81], [177], [196], [170], [148], [171], [172]
360/3D Viewport	Esta clasificación es similar a la anterior pero en este caso se puede ver el área de visión de otros colaboradores en 3D o mediante un arco circular de 360 grados.	[167], [197]
<i>Deictic gesture</i>	En esta clasificación se agruparon los trabajos que proponen el uso de gestos deícticos que se refiere a apuntar un elemento o zona del espacio de trabajo. En este caso el gesto no se acompaña de ningún otro elemento que ayude a identificar la trayectoria desde el usuario hasta el elemento específico.	[167], [164], [181], [168], [171], [82], [80], [79], [166]
<i>Ray pointer</i>	En esta clasificación se agruparon los trabajos que dan información de WA - <i>Where</i> a través del uso de rayos proyectados desde el usuario hasta el elemento específico o zona del espacio de trabajo en la que están interactuando los colaboradores.	[194], [195], [70], [82], [198], [199], [201]
<i>Frustum</i>	En esta clasificación se agruparon los trabajos que usan figuras geométricas cónicas para mostrar el volumen del espacio de trabajo virtual que los colaboradores pueden ver.	[195], [169], [178]

Tabla 6.8: Clasificación de los trabajos encontrados en función de la forma de representar el espacio de trabajo colaborativo

Representación del espacio	Artículos identificados
<i>Shared Workspace</i>	[174], [167], [193], [194], [164], [181], [165], [168], [182], [186], [175], [178], [196], [170], [188], [171], [197], [199], [190], [78], [96], [81], [173], [191], [166]
<i>Shared Experience</i>	[179], [77], [195], [81], [202], [177], [169], [70], [183], [148], [82], [198], [80], [184], [176], [79], [192], [185]
<i>No es posible identificar</i>	[203], [204], [189]

Información de WA

Como se ha mencionado en secciones anteriores, en entornos de colaboración presenciales es el propio usuario quien a través de sus sentidos va recopilando información sobre lo que sucede en el espacio colaborativo. En entornos colaborativos de VR, resulta complejo presentar esta información a los usuarios sin ser invasivo y sin sobrecargar de información al usuario.

En trabajos como [181], [168], [171] mencionan la importancia de mostrar la información suficiente para generar WA en los colaboradores, pero sin llegar a sobrecargar a los usuarios de información.

Adicionalmente, se reconoce la importancia de tener toda la información de WA en una sola vista que se encuentre accesible siempre a los colaboradores [193], [181], [70]. La información de WA debería presentarse de tal manera que sea fácil para el usuario realizar una búsqueda visual de la misma [183].

Otro de los principales retos que conlleva la representación de WA en entornos de RV está relacionado con el limitado campo de visión que proporcionan algunos visores RV. Por ejemplo, Piumsombon et al. [70] señala los problemas derivados de representar información de WA asociada a los avatares, que no necesariamente tienen que encontrarse dentro del campo de visión del colaborador.

Finalmente, es necesario considerar aspectos relacionados con la privacidad de las personas que se encuentran en el espacio colaborativo. Así, los autores de [168] y [165] destacan la importancia de permitir seleccionar la información de WA que desean compartir al resto de colaboradores de la que quieren mantener privada.

Escalabilidad

Las herramientas identificadas en este estudio sistemático son generalmente para escenarios con la presencia únicamente de dos colaboradores. Cuando en el espacio de trabajo colaborativo se encuentran presentes mas de dos colaboradores resulta complejo difundir información de WA de forma eficaz. Por ejemplo, cuando es necesario representar información asociada a un elemento específico que un solo colaborador está apuntando resulta sencillo proveer esta información a través de manos virtuales. En el caso de entornos con más de 2 colaboradores es necesario complementar esta herramienta con mecanismos adicionales para identificar al colaborador [164], [148], [96]. Lo mismo sucede cuando se presenta información de posición a través de *viewports* o *frustrums* [81], [178].

Oclusión

Cuando la información que se muestra al colaborador interfiere de forma significativa con la tarea principal que los colaboradores realizan, se produce un efecto de oclusión. Este fenómeno se da principalmente cuando se presenta información de WA a través de canales visuales.

En trabajos que utilizan *ray pointers* para representar información de *WA-where* se menciona el efecto negativo que puede llegar a generar la oclusión que genera el rayo en la trayectoria con el objeto que se quiere apuntar [199], [78].

La oclusión puede llegar a ser un problema aún mayor cuando se utilizan herramientas que ocupen dimensiones importantes dentro del espacio de colaboración como *viewports* o *frustrums*. Algunos trabajos mencionan los efectos negativos que pueden llegar a ocasionar estas herramientas de WA al rendimiento de los usuarios si las mismas no son correctamente distribuidas en el campo de visión del usuario [170], [199], [78].

Concurrencia

Este problema se produce cuando llega información de WA desde dos o mas actores diferentes y que afectan al mismo elemento y es típico de espacios de colaboración con mas de dos actores.

Por ejemplo, este fenómeno ocurre cuando se transmite información de WA a través de canales auditivos. Ammi et al. [186] identifica el problema de transmitir señales auditivas de WA cuando existen varios colaboradores en un mismo espacio colaborativo. En este caso, se vuelve complejo diferenciar señales auditivas propias de las que se producen por otros colaboradores.

Lee et al. [185] menciona las limitaciones que pueden llegarse a producir en espacio colaborativos síncronos cuando dos o más personas quieren manipular un mismo artefacto en el espacio colaborativo, este escenario puede llegar a desincentivar a los colaboradores

a realizar tareas colaborativas para evitar el riesgo de colisiones.

Realismo de la escena y representación de la información de WA

Varios de los trabajos revisados mencionan que una representación realista del espacio colaborativo, con mecanismos de WA fieles a cómo se generan en espacios de colaboración presenciales, es una vía útil para aportar en la sensación de (co)presencia a los usuarios.

Por ejemplo Doucette et. al. [182] investiga los efectos de representar el movimiento de los brazos de forma realista en el espacio de trabajo. Los resultados indican que aunque los usuarios reportaron un incremento en la sensación de copresencia, esta herramienta de WA entorpecía sus acciones debido a que los brazos ocluían el espacio de trabajo del colaborador.

La generación de WA también implica desafíos a los usuarios cuando se encuentran representados en espacios colaborativos virtuales a través de avatares. Teo et al. [197] mencionó entre las conclusiones de su estudio, la dificultad que implicaba a los usuarios realizar gestos para llamar la atención de otros colaboradores ya que estos no eran capturados por el sistema de forma correcta, o no transmitían la intención deseada a los colaboradores.

Finalmente, si la información de WA se representa con elementos poco naturales o que no encajen correctamente en la escena pueden llegar a causar *simulator sickness*⁹ [172].

Comunicación

Finalmente, la transmisión de la información entre los colaboradores presentes en el espacio de colaboración fue reportado como un desafío importante a abordar. Por un lado este se debe transmitir entre los usuarios de forma clara y de manera que los colaboradores la puedan interpretar fácilmente. Por otro lado, la información no debe ser invasiva o interferir fuertemente en las actividades que se desarrollan en el espacio colaborativo.

Refiriéndose a la comunicación visual de WA, Regenbrecht et al. [179] menciona la importancia de implementar mecanismos de WA en los propios avatares virtuales, como por ejemplo contacto visual, como mecanismos de comunicación informal. Sin embargo, el autor menciona la necesidad de entender cómo estos apoyos visuales aportan a procesos colaborativos entre usuarios remotos, y como los mismos pueden llegar a beneficiar o perjudicar la colaboración especialmente en entornos virtuales.

De acuerdo a Nguyen et al. [170], en entornos colaborativos con presencia de numerosos actores la comunicación ya sea mediante canales visuales o auditivos puede llegar a

⁹efectos negativos que se pueden producir en los usuarios como mareos, desorientación, etc.

ser desordenada debido a la cantidad de información a presentar. El autor propone como solución permitir a los usuarios seleccionar subgrupos de colaboradores para limitar la cantidad de información de WA que van a recibir.

6.2.6. Discusión

En esta sección se discuten y analizan los resultados obtenidos tras el proceso de estudio y las brechas identificadas en este área de investigación.

Años de publicación y madurez

En primer lugar, el hecho de que la mayor cantidad de artículos encontrados en este estudio sistemático se distribuyen a lo largo de la última década demuestra que esta área de investigación aborda problemáticas actuales. La reciente aparición de diversas tecnologías inmersivas de bajo costo, despierta el interés por problemáticas que aunque ya tienen un amplio recorrido en sistemas clásicos CSCW, aún no es claro el efecto que producen en entornos inmersivos.

En cuanto a la madurez de la investigación, se identifica que la mayor parte de trabajos proponen soluciones a las problemáticas de WA y estas son validadas mediante estudios de usuario. Estos resultados demuestran los esfuerzos que se están realizando para aportar en la literatura soluciones validadas para generar información de WA en entornos inmersivos. Sin embargo, existe aún la necesidad de corroborar la validez de estas soluciones en entornos fuera de laboratorio.

Categorización de las herramientas de WA

Los resultados de este estudio sistemático demuestran que las soluciones que se permiten generar información sobre WA, se centran en dar información del lugar donde otros colaboradores se encuentran interactuando en el espacio virtual. Esto demuestra la importancia que representa identificar las zonas en las que los colaboradores están interactuando en un espacio colaborativo virtual.

Otra categoría relevante identificada en este estudio sistemático es la categoría *WA-Who* (información sobre quiénes se encuentran en el espacio de trabajo) debido al número de trabajos identificados. Esta información aporta la percepción de copresencia en los usuarios de sistemas colaborativos. Adicionalmente, esta información permite identificar la autoría de las acciones realizadas en el espacio colaborativo.

La categoría que aparentemente presenta el menor interés en el área de WA es la información de qué acciones se están realizando en el espacio colaborativo. Una interpretación que se puede dar al considerable número menor de trabajos en esta categoría de información de WA es que precisamente la información de las acciones se presenta

intrínsecamente en la actividad colaborativa, y la información de WA se ve difuminada en las soluciones propuestas. Entre los trabajos que se identificaron claramente en esta categoría se identificó que los apoyos de WA de esta categoría es comunicar instrucciones de forma remota o dar retroalimentación de actividades realizadas.

Herramientas específicas de WA en cada categoría

La principal conclusión que se puede sacar en esta clasificación es que la mayoría de las herramientas identificadas en este campo de investigación son en primer lugar visuales y en un número menor auditivas y hápticas. La interpretación que se puede dar a estos resultados es que el número importante de trabajos que generan información de WA a través de canales visuales va en concordancia con las tecnologías inmersivas que tienen mayor presencia, en este caso las gafas de RV o AR, dispositivos móviles y similares. Muchos de los trabajos que forman parte de este estudio mencionan dentro de la agenda de investigación ofrecer soluciones para otros canales sensoriales.

La segunda conclusión importante que se extrae de esta clasificación es la forma como se presenta la información de WA a los usuarios. Por un lado se representa de forma realística de la información de WA a través de avatares, señales auditivas, o señales hápticas que reproducen con cierto grado de fidelidad a cómo se presenta esta información en entornos colaborativos presenciales. Por otro lado, también se pueden encontrar trabajos que incorporan esta información a través de soluciones menos realistas, como puede ser el uso de manos virtuales o portales que no aportan realismo al escenario, pero pueden presentar efectivamente la información de WA a los usuarios.

6.3. Recomendaciones de diseño para estilos de interacción

Los desafíos de diseño identificados en el estudio sistemático de estilos de interacción fueron: precisión del estilo de interacción, carga física y cognitiva que implica un estilo de interacción, complejidad de ejecutar la interacción o que el sistema la captura y el realismo o similitud de la interacción en comparación a entornos reales. A partir de estos desafíos se establecen criterios de diseño y se proponen recomendaciones para diseñar estilos de interacción en interfaces de mapas que se detallan en la Tabla 6.9.

6.4. Recomendaciones de diseño para representación del escenario y conciencia situacional

Los principales desafíos de diseño identificados en el estudio sistemático de WA en entornos de RV fueron: información de WA que se presentan a los colaboradores, permitir escalabilidad o que se incremente el número de colaboradores en el escenario, oclusión que puede producirse cuando se presenta información de WA, información simultánea de

Tabla 6.9: recomendaciones de diseño propuestas para estilos de interacción en interfaces de mapas para entornos de RV

Criterio	Recomendación de diseño
Perfiles de usuario	Identificar los perfiles de los usuarios que utilizarán la interfaz.
Dimensionamiento del estilo de interacción	Dimensionar los estilos de interacción tomando en cuenta estándares de ergonomía y confort aplicados al ambiente específico en el que se realizará la tarea.
Precisión de las entradas y salidas de la interfaz	Identificar el grado de exactitud que requiere la interfaz para ejecutar la tarea.
Tareas de interacción	Seleccionar mecanismos, dispositivos, técnicas de interacción que se adecuen a la tarea a realizar y a los perfiles concretos de los usuarios.

WA proveniente de varias fuentes o concurrencia de información, realismo de la escena y representación de la información de WA y la comunicación entre los colaboradores. A partir de estos desafíos se establecen criterios de diseño y se proponen recomendaciones para representar visualmente la interfaz de mapas colaborativo en entornos de RV. La Tabla 6.10 muestra el criterio y la recomendación de diseño con la acción específica a realizar en la etapa de diseño de la interfaz.

6.5. Técnicas utilizadas para validar las decisiones de diseño

Para comprender el comportamiento de una interfaz y cómo los usuarios interactúan con las mismas existen una variedad de métodos de investigación disponibles para el campo de Interacción Persona Ordenador (IPO o HCI en inglés) entre las cuales están: observaciones, estudios de campo, encuestas, estudios de usabilidad, experimentos controlados entre otros [205]. Estas técnicas pueden ser cuantitativas o cualitativas. Técnicas cuantitativas son aquellas que realizan investigación experimental tomando como datos valores objetivos que se recopilan a partir de la interacción de los usuarios con las interfaces como puede ser el tiempo de tarea o tasa de errores. Técnicas cualitativas son aquellas que capturan la percepción de los usuarios de cómo fue su comportamiento cuando interactúa con las interfaces. En esta sección se revisan algunos de los métodos de investigación experimentales que permitirán validar los criterios que se adopten cuando se diseñan interfaces de mapas colaborativos en entornos de RV.

Tabla 6.10: Recomendaciones de diseño propuestas para representación del escenario y conciencia situacional en interfaces de mapas para entornos de RV

Criterio	Recomendaciones de diseño
Confección de la escena	Identificar los elementos necesarios de la escena para a incorporar a un escenario colaborativo, tanto aquellos que forman parte del espacio de trabajo como aquellos que contribuyen a establecer una sensación de presencia en el espacio virtual.
Distribución del espacio	Establecer la configuración de la escena adecuada para maximizar la eficiencia de los colaboradores y requerir un esfuerzo similar al que se realiza en entornos cara a cara.
Canales de comunicación	Establecer canales de comunicación adecuados entre los colaboradores tomando en cuenta las capacidades de la tecnología donde se implementan los entornos virtuales. Adicionalmente, se debe identificar cómo se debe facilitar la comunicación de forma eficaz y que sea lo menos invasiva posible durante la realización de la tarea colaborativa.
Apoyos visuales para establecer conciencia sobre la presencia de los colaboradores	Facilitar información a los usuarios que permita identificar la presencia de los otros colaboradores y generar conciencia situacional del espacio de trabajo colaborativo.

6.5.1. Técnicas cuantitativas

Estas técnicas cuantitativas se pueden clasificar en tres grupos: técnicas descriptivas, técnicas relacionales y técnicas experimentales [206]. Las técnicas descriptivas permiten elaborar una descripción precisa de un fenómeno. Las técnicas relacionales permiten establecer relación entre varios factores. Por último, las técnicas experimentales permite establecer la causalidad o el efecto por el que se producen relaciones entre varios efectos.

Técnicas descriptivas

Entre las técnicas más sencillas y ampliamente usadas para poder describir un fenómeno se encuentran las encuestas que consisten en preguntas ya sean abiertas o cerradas que permiten describir poblaciones y entender determinados fenómenos. Para que estas puedan describir un fenómeno correctamente, estas deben estar correctamente escritas y no sesgadas [99]. A continuación se detallan las encuestas validadas que se utilizaron en esta investigación para validar la usabilidad, carga de trabajo y presencia social:

- **Usabilidad - SUS:** El cuestionario *System Usability Scale (SUS)* [100] permite establecer una medida de usabilidad de forma rápida y sencilla a través de un conjunto de preguntas donde los participantes valoran aspectos de la interfaz a través de escalas *Likert*. Las valoraciones que se asignan a cada pregunta permite establecer un valor objetivo de usabilidad en una escala de 0 a 100.
- **Carga de trabajo - NASA-TLX:** El cuestionario *NASA - TLX* [106]. Este cuestionario evalúa 10 factores relacionados con la carga de trabajo para establecer un valor objetivo que estime la carga de trabajo de una tarea. Para ello cada pregunta se puntúa con una escala entre 0 y 100. Los resultados obtenidos deben ser ponderados apropiadamente mediante un cuestionario pre-experimento que establece pesos a cada criterio para cada usuario de acuerdo a sus preferencias.
- **Presencia social - Networked Minds:** El cuestionario *Networked Minds* [66] evalúa seis dimensiones relacionadas a espacios colaborativos: co-presencia, asignación de atención, comprensión del mensaje, comprensión de las emociones, interdependencia conductual e interdependencia emocional.

Técnicas relacionales

El método estadístico mayormente utilizado para establecer correlaciones entre factores es el coeficiente de Pearson [206]. El coeficiente de Pearson varía entre -1.00 y 1.00. Cuando el coeficiente entre dos variables es -1.00, se tiene una perfecta relación lineal negativa. En otras palabras, si los valores de un factor concreto aumentan, los valores del otro factor disminuirán y viceversa. En cambio cuando el coeficiente entre dos variables es 1.00, se tiene una perfecta relación lineal positiva. Es decir, si los valores de un factor concreto aumentan, los valores del otro factor aumentan de la misma forma.

Técnicas experimentales

Las técnicas experimentales permiten identificar las causas de una situación o conjunto de eventos y típicamente se realizan a través de experimentos controlados. La primera etapa del experimento implica plantear una hipótesis, el cual es el planteamiento de un

problema a un fenómeno el cual se quiere investigar. Una hipótesis correctamente planteada identifica claramente las variables dependientes e independientes [99].

Los resultados que se obtengan durante la experimentación deben ser evaluados y analizados mediante métodos estadísticos para obtener resultado y conclusiones significativos de la población estudiada [206]. Las pruebas de significación mas comunes son: pruebas de significación *T-test* para datos paramétricos y pruebas *Wilcoxon signed rank* para datos no paramétricos.

6.5.2. Técnicas cualitativas

Las técnicas cualitativas a diferencia de las técnicas cuantitativas no generan un valor cuantificable sino mas bien las cualidades de un determinado fenómeno. En la investigación IPO las técnicas cualitativas mayormente utilizadas son las entrevistas y grupos focales [99]. Estas técnicas permiten entender las necesidades, actitudes, prácticas , entre otros factores de las personas que puedan interactuar con un sistema informático.

Centrándose en las entrevistas, estas pueden ser estructuradas, semi-estructuradas y no estructuradas:

- **Entrevistas estructuradas:** En una entrevista estructurada se prepara previamente un guión con las preguntas a realizar y el investigador se ciñe rígidamente al mismo sin la posibilidad de cambiar o añadir preguntas al entrevistado. Por un lado las entrevistas estructuradas facilitan el análisis y clasificación de las respuestas, pero limitan la capacidad del investigador para profundizar en un determinado aspecto que pueda surgir durante las entrevistas.
- **Entrevistas semi-estructuradas:** En las entrevistas semi-estructuradas si bien se prepara un guión con las preguntas a realizar, el investigador si lo estima conveniente puede profundizar en determinados tópicos que considere relevantes. En este caso el análisis y codificación podría ser mas complicado porque los tópicos que se encuentren en las mismas podrían ser variados, pero se puede tener una visión mas amplia del fenómeno ya que el investigador puede profundizar cuando estime conveniente para obtener mas información.
- **Entrevistas no estructuradas:** En las entrevistas no estructuradas solamente se organiza un conjunto de tópicos que se planean abordar durante la entrevista y es el investigador quien va formulando las preguntas durante la misma. En este caso, al igual que las entrevistas semi-estructuradas, es más complicado realizar el análisis y codificación de los resultados y además se requiere de mayor experiencia del investigador para conducir adecuadamente la entrevista.

Codificación y análisis de los resultados

El análisis de datos cuantitativos implica la codificación de los datos por parte de un humano y está expuesto a sesgo [99]. Por lo que este proceso de codificación y análisis de los resultados debería estar sujeto a un procedimiento de codificación validado. Una de las técnicas más utilizadas es el “Análisis Temático” [108] que consiste en codificar entrevistas realizadas en estudios observacionales para extraer patrones de las mismas que lleven a extraer conclusiones significativas de un grupo de población.

6.6. Resumen

En este capítulo, en primer lugar se realizaron dos estudios sistemáticos de la literatura para identificar los desafíos de diseño que implican los mecanismos de interacción para selección de objetos y las técnicas para generar WA en espacios colaborativos. Posteriormente, se proponen un conjunto de recomendaciones de diseño para interacción en interfaces de mapas inmersivos y representación visual del espacio colaborativo para interfaces de mapas inmersivos.

Las recomendaciones de diseño propuestas en este capítulo se resumen en la Tabla 6.11 para los estilos de interacción y la Tabla 6.12 para representación visual del espacio y conciencia situacional. La validación que se propone para cada recomendación de diseño se lo hace tomando en cuenta los parámetros utilizados en los estudios usuarios realizados en esta investigación así como los resultados obtenidos de los mismos.

Tabla 6.11: Recomendaciones de diseño para estilos de interacción

Desafío	Recomendación de diseño	Validación	Técnicas disponibles
Experiencia previa de los usuarios	Identificar el perfil de usuario de la interfaz.	Usabilidad Eficiencia	Cuestionarios de usabilidad (SUS). Eficiencia: tiempo de tarea y tasa de error.
Esfuerzo físico requerido	Dimensionar la interacción tomando en cuenta estándares de confort y ergonomía aplicados al ambiente específico de la tarea.	Carga de trabajo	Cuestionarios de carga de trabajo (NASA-TLX). Entrevistas semi-estructuradas.
Precisión del estilo de interacción	Identificar el grado de exactitud que requiere la tarea.	Eficiencia	Eficiencia: tiempo de tarea y tasa de error.
Complejidad del estilo de interacción	Seleccionar mecanismos, dispositivos, técnicas de interacción que se adecuen a la tarea a realizar y a los perfiles concretos de los usuarios.	Eficiencia de la tarea. Experiencia del usuario	Eficiencia: tiempo de tarea y tasa de error. Cuestionarios de usabilidad (SUS). Cuestionarios de carga de trabajo (NASA-TLX). Entrevistas semi-estructuradas.

Tabla 6.12: Recomendaciones de diseño para conciencia situacional

Desafío	Recomendación de diseño	Validación	Técnicas disponibles
Fidelidad de la escena	Identificar los elementos que contribuyen a la tarea y a generar conciencia situacional	Experiencia de usuario	Cuestionarios de usabilidad: presencia social y carga de trabajo. Eficiencia de la tarea colaborativa. Entrevistas semi-estructuradas.
Distribución del escenario	Dimensionar el espacio y la distribución de elementos.	Carga de trabajo Eficiencia	Cuestionarios de usabilidad: presencia social y carga de trabajo. Eficiencia de la tarea colaborativa. Entrevistas semi-estructuradas.
Comunicación	Identificar actos comunicacionales en la tarea e identificar los mecanismos de comunicación.	Experiencia de usuario	Cuestionarios de usabilidad: presencia social y carga de trabajo. Eficiencia de la tarea colaborativa. Entrevistas semi-estructuradas.
Presencia social	Identificar apoyos que permitan generar conciencia situacional del espacio de trabajo y co-presencia de los colaboradores	Experiencia de usuario Carga de trabajo Eficiencia	Cuestionarios de usabilidad: presencia social y carga de trabajo. Eficiencia de la tarea colaborativa. Entrevistas semi-estructuradas.

7. CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este capítulo se presenta el resumen, las conclusiones y aportaciones de este trabajo de tesis doctoral. Adicionalmente, se detallan las posibles limitaciones de la investigación. Finalmente, se presentan los trabajos de investigación futuros y líneas de investigación abiertas para continuar el trabajo realizado en el presente trabajo de tesis doctoral.

7.1. Resumen

El presente trabajo de investigación se ha centrado en identificar los efectos de la interacción y la representación visual de mapas inmersivos colaborativos. Para ello, se realizaron dos estudios de usuario tomando en cuenta los paradigmas identificados en los estudios sistemáticos: (1) comparación empírica de dos estilos de interacción en interfaces de mapas en entornos de realidad virtual inmersiva y (2) comparación de dos paradigmas de representación visual de interfaces de mapas colaborativas en entornos de realidad virtual inmersiva. Posteriormente, se realizaron dos estudios sistemáticos: (1) para identificar los desafíos cuando se implementan distintos estilos de interacción en entornos de RV inmersiva, y (2) para identificar los desafíos cuando se implementan diferentes paradigmas de representación del espacio colaborativo y generación de información de WA en entornos de RV inmersiva. Estas revisiones sirvieron como base para proponer un conjunto de recomendaciones de diseño cuando se diseñan interfaces de mapas inmersivos y colaborativos.

A continuación se resumen las conclusiones particulares de cada estudio de usuario realizado en el presente trabajo de tesis doctoral.

7.1.1. Estudio de usuario de interacción en interfaces de mapas inmersivos

En el primer estudio de usuario se compararon dos mecanismos de interacción populares: interacción gestual e interacción utilizando controles. En este estudio de usuario se desarrollaron dos prototipos para identificar los principales beneficios y limitaciones de cada estilo de interacción.

Los resultados del estudio identificaron evidencias estadísticamente significativas que sugieren que, a pesar que la interacción gestual ofrece formas más naturales de interactuar en entornos de RV, el estilo de interacción basado en controles puede ser una forma más eficiente de interactuar en interfaces de mapas inmersivos en términos de tiempo de selección, tasa de error y usabilidad.

7.1.2. Estudio de usuario de representación del espacio y conciencia situacional en interfaces de mapas inmersivos

En el segundo estudio de usuario se compararon dos representaciones visuales de interfaces de mapas colaborativos e inmersivos: experiencia compartida y espacio de trabajo compartido. De igual forma, en este estudio de usuario se desarrollaron prototipos para cada representación visual para identificar los beneficios y limitaciones de cada representación visual.

Los resultados del estudio identificaron evidencias estadísticamente significativas que sugieren que, a pesar de que la representación visual de experiencia compartida se espera que brinde una mejor experiencia personal al usuario en términos de fidelidad y presencia social, el escenario de espacio de trabajo compartido puede ser una forma más efectiva de representar el escenario y mejorar la colaboración. Adicionalmente, el estudio sugiere que no hay mayor diferencia en cada modelo en términos de presencia social.

7.2. Conclusiones

7.2.1. Conclusiones generales

La conclusión general que se puede recoger de los estudios realizados en esta tesis doctoral es el hecho de que escenarios de colaboración realistas no necesariamente implican mayor eficiencia cuando se ejecuta la tarea y paradigmas tradicionalmente utilizados en interfaces no inmersivas 2D pueden ser utilizados de forma exitosa en entornos inmersivos de realidad virtual.

En este punto cabe destacar que este trabajo de investigación no pretende indicar a la comunidad que tecnologías son apropiadas o no a la hora de diseñar entornos colaborativos virtuales. Con la vertiginosa evolución de las tecnologías, los resultados encontrados para tecnologías específicas pueden quedar invalidados rápidamente, o aparecer nuevas técnicas que reemplacen a las actuales. El objetivo de esta investigación es proveer una fotografía actual de la tecnología en ambos aspectos estudiados y mostrar herramientas que ayuden a seleccionar criterios eficaces para construir interfaces de mapas colaborativos en entornos virtuales.

7.2.2. Conclusiones del Estudio de usuario de interacción en interfaces de mapas inmersivos

El diseño de estilos de interacción en entornos de realidad virtual inmersiva puede llegar a condicionar la aceptación del usuario y su rendimiento si estos no son correctamente validados. En el estudio realizado se pudo identificar que estilos de interacción gestuales, aunque pueden llegar a provocar un mayor nivel de inmersión en el usuario, pueden condicionar la eficiencia del usuario si el mismo no está familiarizado con las

metáforas consideradas, o la tecnología no es capaz de capturar adecuadamente las intenciones del usuario. En cambio estilos de interacción basado en dispositivos externos pueden resultar una alternativa eficaz si el usuario ya se encuentra familiarizado con estos dispositivos en sistemas no inmersivos.

En cualquier caso, es importante identificar los perfiles de los usuarios cuando se diseñan estilos de interacción para entornos inmersivos y los mismos deben ser validados mediante estudios de usuarios para lograr una integración eficaz del estilo de interacción con la experiencia inmersiva.

7.2.3. Conclusiones estudio de usuario de representación del espacio y conciencia situacional en interfaces de mapas inmersivos

De igual manera, el diseño de apoyos visuales para generar *Workspace Awareness* y la representación de las mismas en el espacio colaborativo pueden condicionar el rendimiento de los usuarios en una tarea colaborativa ya que pueden no disponer o interpretar correctamente información del espacio, del colaborador y del espacio de trabajo que ayudan al usuario a tomar decisiones para aportar positivamente a la consecución exitosa de la tarea colaborativa. En el estudio realizado se pudo identificar que representaciones realistas del escenario de trabajo colaborativo no necesariamente implica una mayor eficiencia ya que el usuario puede llegar a verse sobrecargado de información o analizar todos los apoyos visuales disponibles puede llegar a causar una mayor carga de trabajo.

En cualquier caso, es importante identificar y presentar correctamente la información relevante y que aporta mayormente a generar *Workspace Awareness* considerando la tarea colaborativa a realizar y el entorno inmersivo en el que los colaboradores van a desarrollar dicha tarea.

7.3. Contribuciones

La presente tesis doctoral aporta a la base del conocimiento de dos aspectos fundamentales de los escenarios de realidad virtual: (1) la interacción entre el usuario y el entorno y (2) la representación visual del espacio de trabajo. A continuación se presentaran las aportaciones a la base del conocimiento y al dominio de la aplicación.

7.3.1. Aportaciones en el dominio del conocimiento

Las aportaciones concretas de esta tesis al dominio del conocimiento son las siguientes:

- Los resultados de los estudios de usuario proponen un avance en la base del conocimiento para entender los fenómenos de interacción y representación visual del espacio colaborativo en espacios inmersivos.

- A partir de los desafíos identificados en los estudios sistemáticos y las lecciones aprendidas de los estudios de usuario, se muestran recomendaciones para seleccionar criterios de diseño para este tipo de interfaces.

7.3.2. Aportaciones en el dominio de la aplicación

Las aportaciones concretas de esta tesis al dominio de la aplicación (o contribuciones técnicas de esta investigación) es la elaboración de varios prototipo de interfaz de mapa colaborativa para entornos de realidad virtual que puede ser utilizada (pero no limitada) a escenarios de gestión de crisis. En concreto, los prototipos elaborados son:

- Prototipo con dos mecanismos de interacción entre el usuario y la interfaz de mapa inmersivo.
- Prototipo con dos formas de representar visualmente el escenario y que brinda apoyos visuales para la comunicación entre colaboradores y generación de conciencia situacional en la interfaz de mapa inmersivo.

7.4. Limitaciones

Dentro del trabajo de investigación, se identificaron algunas limitaciones que se pueden tomar en cuenta para considerar trabajos futuros.

En primer lugar, los participantes que se tomaron en cuenta para la experimentación fueron en su mayoría de la comunidad universitaria. Esto hecho puede limitar los resultados ya que no se consideró una población mas variada en rango de edad y perfil. Sin embargo, como se estableció en las recomendaciones de diseño propuestas, una de las variables a considerar en el diseño de entornos virtuales es identificar el perfil de usuario que utilizarán las interfaces para poder adaptarlas según las necesidades del perfil específico de usuario para el que se diseñan las interfaces. En futuros trabajos se deberá tomar en cuenta perfiles de usuario mas variados para consolidar los resultados obtenidos de este trabajo.

Otra limitación esta relacionado con los periféricos y los estilos de interacción que se consideraron para investigar la interacción entre el usuario y el sistema así como las tecnologías inmersivas específicas que se utilizaron. Aunque la revisión de la literatura se hizo lo más amplia posible con el fin de abarcar la mayor cantidad de trabajos realizados existen otras tecnologías que no se han incluido en esta investigación y que podrían llegar a ser una alternativa interesante a las propuestas para las interfaces de mapas inmersivas, como por ejemplo la interacción a través de voz. En futuros trabajos se deberán considerar alternativas de interacción no incluidas en esta investigación.

En cuanto a la forma de generar conciencia situacional en entornos colaborativos virtuales cabe destacar que las soluciones propuestas se basan en representaciones visuales.

Como se revisó en el estado de la cuestión, la conciencia situacional se pueden generar a través de distintos canales sensoriales distintos a la vista. Futuros trabajos de investigación pueden ser explorar otros mecanismos multi-sensoriales para generar conciencia situacional en entornos colaborativos virtuales.

Por último, hay también que considerar que en la presente investigación se plantearon escenarios únicamente con dos colaboradores. En el caso de tener un mayor número de colaboradores en el espacio virtual la interacción y la conciencia situacional del espacio de trabajo se puede volver mas compleja. En futuros trabajos de investigación se deberán diseñar evaluaciones que consideren un mayor número de participantes en el espacio colaborativo.

7.5. Líneas de investigación futuras

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo de tesis doctoral, se plantea como trabajos futuros continuar investigando en otros aspectos relacionados a la interacción y colaboración en interfaces de mapas inmersivos. A continuación se describen las líneas de trabajo futuras mas relevantes.

7.5.1. Extensiones al trabajo realizado referente a interacción

En esta sección se plantean algunas ampliaciones a la investigación realizada en el campo de interacción en interfaces de mapas en entornos de RV inmersiva:

- El trabajo de investigación desarrollado en esta tesis doctoral se centro principalmente en dos estilos de interacción mayormente utilizados en entornos de RV inmersiva: interacción gestual e interacción basada en controles. Una extensión al trabajo de investigación realizado sería investigar estilos de interacción emergentes como puede ser el uso de la voz o incluso interfaces cerebrales como estilos de interacción en este tipo de interfaces.
- Otra posible extensión del trabajo de investigación desarrollado en esta área que se identificó durante el desarrollo de el presente trabajo de tesis doctoral es identificar los beneficios y limitaciones que la RV inmersiva puede reportar sobre interfaces de visualización de mapas tradicionales basados en *tabletops* o pantallas gigantes.

7.5.2. Extensiones al trabajo realizado referente a representación visual y conciencia situacional del espacio colaborativo

En esta sección se plantean posibles ampliaciones a la investigación realizada en el campo de representación visual del y conciencia situacional del espacio colaborativo en interfaces de mapas para entornos de RV inmersiva:

- El presente trabajo de investigación se centró en la representación visual del espacio y apoyos visuales para la colaboración en entornos colaborativos. Una posible extensión al trabajo de investigación realizado sería centrarse en investigar como presentar apoyos visuales específicos que permitan crear concordancia referente al espacio colaborativo (*common ground* en inglés) que permita mejorar la colaboración en interfaces de mapas para entornos de RV inmersivos.
- Como se mencionó en el apartado de limitaciones, el presente trabajo de investigación se centra en un escenario de colaboración de dos personas. Otra posible extensión a esta investigación es estudiar los efectos de incrementar el número de colaboradores en el espacio de trabajo y como se podrían mitigar los efectos que produzcan el incrementar el número de personas en un entornos de RV inmersivo colaborativo.

7.5.3. Otras líneas de investigación futuras

Independientemente de las dos líneas de investigación en los que se centró la presente investigación, durante el desarrollo de la misma se identificó nuevas líneas de investigación que podrían complementar el trabajo desarrollado. A continuación se mencionan las mas relevantes.

Comunicación en entornos colaborativos inmersivos

En entornos colaborativos mediados por ordenador la comunicación resulta fundamental para la consecución exitosa de la tarea. Otra línea de investigación que podría complementar al trabajo realizado es identificar los canales de comunicación adecuados para el tipo de interfaces estudiadas en esta investigación identificando los beneficios y limitaciones de cada canal identificado. A manera de ejemplo, en la presente investigación al centrarse en representaciones visuales utilizó dos tipos de canales de comunicación: mediante gestos del avatar y a través del uso de *emojis*. Resulto interesante identificar información que se pudo extraer de los resultados de los estudios de usuarios a pesar de que la comunicación no fue una parte central de los estudios.

Representación multi-sensorial del espacio de trabajo

La presente investigación se centro en representaciones visuales de espacios colaborativos que es la principal característica de los actuales dispositivos de RV inmersivos. Sin embargo, el avance de estas tecnologías permite explotar otros canales sensoriales para representar escenarios como pueden ser canales auditivos, hápticos, etc. Otra línea de investigación que complementarían este trabajo de investigación es explorar el uso de otros canales para representar espacios colaborativos.

Ampliación del trabajo de investigación desarrollado a otros contextos de uso

Finalmente, la presente investigación se centró en el contexto de interfaces de mapas para entornos inmersivos. Resultaría interesante ampliar este trabajo de investigación a otros contextos de uso que se puedan dar en entornos de RV inmersiva, como por ejemplo: arquitectura, educación, medicina, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Diaz, T. Onorati y S. d. O. Pueblos, “Analyzing and visualizing emergency information in a multi device environment,” *Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 265, pp. 181-194, 2016. doi: [10.1007/978-3-319-47093-1_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47093-1_16)/TABLES/6. [En línea]. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-47093-1_16.
- [2] J. Pirker, M. Holly, I. Lesjak, J. Kopf y C. Gütl, *MaroonVR—An Interactive and Immersive Virtual Reality Physics Laboratory BT - Learning in a Digital World: Perspective on Interactive Technologies for Formal and Informal Education*. Springer Singapore, 2019, pp. 213-238. doi: [10.1007/978-981-13-8265-9](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8265-9). [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8265-9_11.
- [3] T. Dwyer et al., “Immersive Analytics: An Introduction,” en *Immersive Analytics*, K. Marriott et al., eds., 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: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01388-2_1.
- [4] B. Ens et al., “Revisiting collaboration through mixed reality: The evolution of groupware,” *International Journal of Human Computer Studies*, vol. 131, pp. 81-98, 2019. doi: [10.1016/j.ijhcs.2019.05.011](https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.05.011). [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581919300606>.
- [5] A. Fonnert e Y. Prie, “Survey of Immersive Analytics,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 27, n.º 3, pp. 2101-2122, 2021. doi: [10.1109/TVCG.2019.2929033](https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2929033).
- [6] C. Gutwin y S. Greenberg, “A descriptive framework of workspace awareness for real-time groupware,” *Computer Supported Cooperative Work*, vol. 11, n.º 3-4, pp. 411-446, 2002. doi: [10.1023/A:1021271517844](https://doi.org/10.1023/A:1021271517844).
- [7] M. Billingham, M. Cordeil, A. Bezerianos y T. Margolis, “Collaborative Immersive Analytics,” en *Immersive Analytics*, K. Marriott et al., eds., vol 11190, *Lecture Notes in Computer Science*, 2018, pp. 221-257.
- [8] A. Wu, G. Convertino, C. Ganoë, J. M. Carroll y X. L. Zhang, “Supporting collaborative sense-making in emergency management through geo-visualization,” *International Journal of Human Computer Studies*, vol. 71, n.º 1, pp. 4-23, 2013. doi: [10.1016/j.ijhcs.2012.07.007](https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2012.07.007). [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2012.07.007>.

- [9] J. M. Carroll, D. C. Neale, P. L. Isenhour, M. Beth Rosson y D. Scott McCrickard, "Notification and awareness: Synchronizing task-oriented collaborative activity," *International Journal of Human Computer Studies*, vol. 58, n.º 5, pp. 605-632, mayo de 2003. doi: [10.1016/S1071-5819\(03\)00024-7](https://doi.org/10.1016/S1071-5819(03)00024-7).
- [10] A. Hevner, M. Salvatore, P. Jinsoo y R. Sudha, "Design Science in Information Systems Research," *MIS Quarterly*, vol. 28, n.º 1, pp. 75-105, 2004.
- [11] A. Hevner, "A Three Cycle View of Design Science Research," *Scandinavian Journal of Information Systems*, vol. 19, n.º 2, pp. 87-92, 2007. doi: <http://aisel.aisnet.org/sjis/vol19/iss2/4>.
- [12] I. Greif, *Computer-supported cooperative work: A book of readings*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1988. [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/117924>.
- [13] J. Grudin, "Computer-Supported Cooperative Work: History and Focus," *Computer*, vol. 27, n.º 5, pp. 19-26, 1994. doi: [10.1109/2.291294](https://doi.org/10.1109/2.291294).
- [14] R. Johansen, *Groupware: Computer support for business teams*. The Free Press, 1988.
- [15] I. E. McDowall, M. T. Bolas, S. D. Pieper, S. S. Fisher y J. Humphries, "Implementation and integration of a counterbalanced CRT-based stereoscopic display for interactive viewpoint control in virtual-environment applications," en *Stereoscopic Displays and Applications*, International Society for Optics y Photonics, 1990, pp. 136-146. doi: [10.1117/12.19898](https://doi.org/10.1117/12.19898).
- [16] S. Bryson y L. Creon, "The virtual windtunnel: an environment for the exploration of three-dimensional unsteady flow," en *Proceedings of Visualization*, vol. 91, 1991, pp. 17-24.
- [17] C. Cruz-Neira et al., "Scientists in wonderland: A report on visualization applications in the CAVE virtual reality environment," en *Proceedings of 1993 IEEE research properties in virtual reality symposium*, IEEE, 1993, pp. 59-6.
- [18] T. Höllerer, J. Kuchera-Morin y X. Amatriain, "The allosphere: A large-scale immersive surround-view instrument," *ACM International Conference Proceeding Series*, vol. 252, n.º 212, 2007. doi: [10.1145/1278240.1278243](https://doi.org/10.1145/1278240.1278243).
- [19] A. Febretti et al., "CAVE2: a hybrid reality environment for immersive simulation and information analysis," *The Engineering Reality of Virtual Reality 2013*, vol. 8649, p. 864 903, 2013. doi: [10.1117/12.2005484](https://doi.org/10.1117/12.2005484).
- [20] C. Papadopoulos, K. Petkov, A. E. Kaufman, K. Mueller y S. Brook, "The Reality Deck—an immersive gigapixel display," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 35, n.º 1, pp. 33-45, 2015.
- [21] L. Arns, D. Cook y C. Cruz-Neira, "The benefits of statistical visualization in an immersive environment," *Proceedings - Virtual Reality Annual International Symposium*, pp. 88-95, 1999.

- [22] N. Osawa, K. Asai e Y. Y. Sugimoto, “Immersive graph navigation using direct manipulation and gestures,” *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST*, vol. Part F1291, pp. 147-152, 2000. doi: [10.1145/502390.502418](https://doi.org/10.1145/502390.502418).
- [23] C. Ware, K. Arthur y K. S. Booth, “Fish tank virtual reality,” en *InterCHI*, 1993, pp. 37-42. doi: [10.1145/169059.169066](https://doi.org/10.1145/169059.169066).
- [24] C. Ware, D. Hui y G. Franck, “Visualizing Object Oriented Software in Three Dimensions,” vol. 93, 1993, pp. 612-620.
- [25] W. Krüger, C. A. Bohn, B. Fröhlich, H. Schuth, W. Strauss y G. Wesche, “The Responsive Workbench: A Virtual Work Environment,” *Computer*, vol. 28, n.º 7, pp. 42-48, 1995. doi: [10.1109/2.391040](https://doi.org/10.1109/2.391040).
- [26] J. LaViola, “MSVT : a Virtual Reality-Based Multimodal Scientific Visualization Tool,” en *Proceedings of the third IASTED international conference on computer graphics and imaging*, 2000, pp. 1-7.
- [27] J. Durbin et al., “Battlefield visualization on the responsive workbench,” en *Proceedings Visualization’98 (Cat. No. 98CB36276)*, IEEE, 1998, pp. 463-466. doi: [10.1109/VISUAL.1998.745344](https://doi.org/10.1109/VISUAL.1998.745344).
- [28] G. De Haan, M. Koutek y F. H. Post, “Towards intuitive exploration tools for data visualization in VR,” *ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, Proceedings, VRST*, pp. 105-112, 2002. doi: [10.1145/585740.585758](https://doi.org/10.1145/585740.585758).
- [29] M. Agrawala, A. C. Beers, I. McDowall, B. Fröhlich, M. Bolas y P. Hanrahan, “The two-user Responsive Workbench: Support for collaboration through individual views of a shared space,” en *Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH 1997*, 1997, pp. 327-332. doi: [10.1145/258734.258875](https://doi.org/10.1145/258734.258875).
- [30] I. E. Sutherland, “A head-mounted three dimensional display,” en *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*, 1968, pp. 757-764. doi: [10.1145/1476589.1476686](https://doi.org/10.1145/1476589.1476686).
- [31] R. Van Teylingen, W. Ribarsky y C. D. Van Mast, “Virtual data visualizer,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 3, n.º 1, pp. 65-74, 1997. doi: [10.1109/2945.582350](https://doi.org/10.1109/2945.582350).
- [32] A. Fuhrmann, H. Loffelmann y D. Schmalstieg, “Collaborative augmented reality: exploring dynamical systems,” en *Proceedings of the IEEE Visualization Conference*, 1997, pp. 459-462. doi: [10.1109/visual.1997.663921](https://doi.org/10.1109/visual.1997.663921).
- [33] S. Marks, J. E. Estevez y A. M. Connor, “Towards the holodeck: Fully immersive virtual reality visualisation of scientific and engineering data,” *ACM International Conference Proceeding Series*, vol. 19-21-Nove, pp. 42-47, 2014. doi: [10.1145/2683405.2683424](https://doi.org/10.1145/2683405.2683424).

- [34] A. Lu, J. Huang, S. Zhang, C. Wang y W. Wang, “Towards mobile immersive analysis: A study of applications,” en *2016 Workshop on Immersive Analytics, IA 2016*, IEEE, 2017, pp. 25-30. doi: [10.1109/IMMERSIVE.2016.7932378](https://doi.org/10.1109/IMMERSIVE.2016.7932378).
- [35] D. Herr, J. Reinhardt, R. Krüger, G. Reina y T. Ertl, “Immersive Visual Analytics for Modular Factory Layout Planning,” en *Workshop on Immersive Analytics at IEEE Vis*, 2017, pp. 1-5.
- [36] T. V. Billow y J. A. Cottam, “Exploring the Use of Heuristics for Evaluation of an Immersive Analytic System,” en *Workshop on Immersive Analytics at IEEE Vis*, 2017, pp. 1-5.
- [37] K. Nagao, Y. Ye, C. Wang, I. Fujishiro y K. L. Ma, “Enabling interactive scientific data visualization and analysis with see-through hmds and a large tiled display,” *2016 Workshop on Immersive Analytics, IA 2016*, pp. 1-6, 2017. doi: [10.1109/IMMERSIVE.2016.7932374](https://doi.org/10.1109/IMMERSIVE.2016.7932374).
- [38] H. T. Nim et al., “Communicating the Effect of Human Behaviour on the Great Barrier Reef via Mixed Reality Visualisation,” en *2016 Big Data Visual Analytics, BDVA 2016*, 2016, pp. 0–5. doi: [10.1109/BDVA.2016.7787046](https://doi.org/10.1109/BDVA.2016.7787046).
- [39] J. Franz, J. Malloch, D. Reilly y L. Nedel, “More Than Blips on the Radar: Exploring Immersive Visualization for Maritime Decision Making,” en *Proceedings of Immersive Analytics Workshop at VIS*, 2017, pp. 1-4.
- [40] D. A. Bowman y L. F. Hodges, “Formalizing the Design, Evaluation, and Application of Interaction Techniques for Immersive Virtual Environments,” *Journal of Visual Languages & Computing*, vol. 10, n.º 1, pp. 37-53, feb. de 1999. doi: [10.1006/JVLC.1998.0111](https://doi.org/10.1006/JVLC.1998.0111).
- [41] M. Slater y M. Usoh, “Body Centred Interaction in Immersive Virtual Environments,” en *cise.ufl.edu*, 1994, pp. 125-148. [En línea]. Disponible en: <https://www.cise.ufl.edu/research/lok/teaching/ve-s07/papers/bci.pdf>.
- [42] D. A. Bowman, E. Kruijff, J. J. LaViola e I. Poupyrev, “An introduction to 3-D user interface design,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 10, n.º 1, pp. 96-108, feb. de 2001. doi: [10.1162/105474601750182342](https://doi.org/10.1162/105474601750182342).
- [43] F. Argelaguet y C. Andujar, “A survey of 3D object selection techniques for virtual environments,” *Computers & Graphics*, vol. 37, n.º 3, pp. 121-136, mayo de 2013. doi: [10.1016/J.CAG.2012.12.003](https://doi.org/10.1016/J.CAG.2012.12.003).
- [44] I. Poupyrev, S. Weghorst, M. Billinghurst y T. Ichikawa, “Egocentric Object Manipulation in Virtual Environments: Empirical Evaluation of Interaction Techniques,” *Computer Graphics Forum*, vol. 17, n.º 3, pp. 41-52, 1998. doi: [10.1111/1467-8659.00252](https://doi.org/10.1111/1467-8659.00252).

- [45] M. R. Mine, "Virtual environment interaction techniques," en *UNC Chapel Hill Computer Science Technical Report* . . . 1995, pp. 1-18. [En línea]. Disponible en: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=897820%5Cnhttp://staffwww.itn.liu.se/~karlu/courses/TNM086/papers/VEinteractionTechniques.pdf>.
- [46] D. A. Bowman, D. B. Johnson y L. F. Hodges, "Testbed evaluation of virtual environment interaction techniques," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 10, n.º 1, pp. 75-95, 2001. doi: [10.1162/105474601750182333](https://doi.org/10.1162/105474601750182333).
- [47] J. J. LaViola Jr, E. Kruijff, R. P. McMahan, D. Bowman e I. P. Poupyrev, *3D user interfaces: theory and practice*. Addison-Wesley Professional, 2017.
- [48] D. Mendes, D. Medeiros, M. Sousa, E. Cordeiro, A. Ferreira y J. A. Jorge, "Design and evaluation of a novel out-of-reach selection technique for VR using iterative refinement," *Computers & Graphics*, vol. 67, pp. 95-102, oct. de 2017. doi: [10.1016/J.CAG.2017.06.003](https://doi.org/10.1016/J.CAG.2017.06.003).
- [49] M. Weise, R. Zender y U. Lucke, "A comprehensive classification of 3D selection and manipulation techniques," en *PervasiveHealth: Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, vol. 12, ACM, 2019, pp. 321-332. doi: [10.1145/3340764.3340777](https://doi.org/10.1145/3340764.3340777). [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3340764.3340777>.
- [50] I. Rauschert et al., "Designing a human-centered, multimodal GIS interface to support emergency management," en *Proceedings of the ACM Workshop on Advances in Geographic Information Systems*, New York, New York, USA: ACM Press, 2002, pp. 119-124. doi: [10.1145/585168.585172](https://doi.org/10.1145/585168.585172). [En línea]. Disponible en: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=585147.585172>.
- [51] D. A. Bowman, R. P. McMahan y E. D. Ragan, *Questioning naturalism in 3D user interfaces*, sep. de 2012. doi: [10.1145/2330667.2330687](https://doi.org/10.1145/2330667.2330687). [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2330667.2330687>.
- [52] F. Periverzov y H. Ilieş, "IDS: The intent driven selection method for natural user interfaces," en *2015 IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 3DUI 2015 - Proceedings*, 2015, pp. 121-128. doi: [10.1109/3DUI.2015.7131736](https://doi.org/10.1109/3DUI.2015.7131736). [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7131736/>.
- [53] M. R. Mine, "ISAAC: A virtual environment tool for the interactive construction of virtual worlds," *UNC Chapel Hill Computer Science Technical Report* . . . , 1995. [En línea]. Disponible en: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/f2c8.content.pdf%20http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.38.2311&rep=rep1&type=pdf>.
- [54] J. Liang y M. Green, "JDCAD: A highly interactive 3D modeling system," *Computers and Graphics*, vol. 18, n.º 4, pp. 499-506, jul. de 1994. doi: [10.1016/0097-8493\(94\)90062-0](https://doi.org/10.1016/0097-8493(94)90062-0).

- [55] D. A. Bowman y L. F. Hodges, "Evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments," en *Proceedings of the Symposium on Interactive 3D Graphics*, 1997, pp. 35-38. doi: [10.1145/253284.253301](https://doi.org/10.1145/253284.253301).
- [56] R. Rädle, H. C. Jetter, J. Müller y H. Reiterer, "Bigger is not always better: Display size, performance, and task load during peephole map navigation," en *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, Association for Computing Machinery, 2014, pp. 4127-4136. doi: [10.1145/2556288.2557071](https://doi.org/10.1145/2556288.2557071). [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1145/2556288.2557071>.
- [57] D. Kim, D. Seo, B. Yoo y H. Ko, "Points of interest density based zooming interface for map exploration on smart glass," en *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 10273 LNCS, Springer Verlag, 2017, pp. 208-216. doi: [10.1007/978-3-319-58521-5_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58521-5_16).
- [58] I. Giannopoulos, A. Komninos y J. Garofalakis, "Natural interaction with large map interfaces in VR," en *ACM International Conference Proceeding Series*, vol. Part F1325, 2017. doi: [10.1145/3139367.3139424](https://doi.org/10.1145/3139367.3139424). [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3139367.3139424>.
- [59] P. Song, W. B. Goh, W. Hutama, C. W. Fu y X. Liu, "A handle bar metaphor for virtual object manipulation with mid-air interaction," en *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 2012, pp. 1297-1306. doi: [10.1145/2207676.2208585](https://doi.org/10.1145/2207676.2208585).
- [60] D. Mendes, F. Fonseca, B. Araujo, A. Ferreira y J. Jorge, "Mid-air interactions above stereoscopic interactive tables," en *IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2014, 3DUI 2014 - Proceedings*, 2014, pp. 3-10. doi: [10.1109/3DUI.2014.6798833](https://doi.org/10.1109/3DUI.2014.6798833). [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6798833/>.
- [61] I. Poupyrev, S. Weghorst, M. Billinghamurst y T. Ichikawa, "Framework and testbed for studying manipulation techniques for immersive VR," en *ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, Proceedings, VRST*, New York, New York, USA: ACM Press, 1997, pp. 21-28. doi: [10.1145/261135.261141](https://doi.org/10.1145/261135.261141).
- [62] E. Beheshti, A. Van Devender y M. Horn, "Touch, click, navigate: Comparing tabletop and desktop interaction for map navigation tasks," en *ITS 2012 - Proceedings of the ACM Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, 2012, pp. 205-213. doi: [10.1145/2396636.2396669](https://doi.org/10.1145/2396636.2396669).
- [63] Y. Yang, T. Dwyer, B. Jenny, K. Marriott, M. Cordeil y H. Chen, "Origin-Destination Flow Maps in Immersive Environments," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 25, n.º 1, pp. 693-703, 2019. doi: [10.1109/TVCG.2018.2865192](https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2865192). [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8440844/>.

- [64] C. Hurter, N. H. Riche, S. M. Drucker, M. Cordeil, R. Alligier y R. Vuillemot, “FiberClay: Sculpting Three Dimensional Trajectories to Reveal Structural Insights,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 25, n.º 1, pp. 704-714, ene. de 2019. doi: [10.1109/TVCG.2018.2865191](https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2865191).
- [65] C. Gutwin, “Workspace Awareness in Real-Time Distributed Groupware,” Tesis doct., The University of Calgary, 1997.
- [66] F. Biocca, C. Harms y J. K. Burgoon, “Toward a More Robust Theory and Measure of Social Presence: Review and Suggested Criteria,” en *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 12, 2003, pp. 456-480. doi: [10.1162/105474603322761270](https://doi.org/10.1162/105474603322761270). [En línea]. Disponible en: <https://direct.mit.edu/pvar/article-abstract/12/5/456/58921>.
- [67] M. Weinel, M. Bannert, J. Zumbach, H. U. Hoppe y N. Malzahn, “A closer look on social presence as a causing factor in computer-mediated collaboration,” *Computers in Human Behavior*, vol. 27, n.º 1, pp. 513-521, ene. de 2011. doi: [10.1016/j.chb.2010.09.020](https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.09.020).
- [68] T. L. Roberts, P. B. Lowry y P. D. Sweeney, “An evaluation of the impact of social presence through group size and the use of collaborative software on group member "voice in face-to-face and computer-mediated task groups,” *IEEE Transactions on Professional Communication*, vol. 49, n.º 1, pp. 28-43, 2006. doi: [10.1109/TPC.2006.870460](https://doi.org/10.1109/TPC.2006.870460). [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1599552/>.
- [69] C. S. Oh, J. N. Bailenson y G. F. Welch, “A systematic review of social presence: Definition, antecedents, and implications,” *Frontiers Robotics AI*, vol. 5, n.º OCT, 2018. doi: [10.3389/frobt.2018.00114](https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00114).
- [70] T. Piumsomboon et al., “Mini-me: An adaptive avatar for Mixed Reality remote collaboration,” en *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, vol. 2018-April, Association for Computing Machinery, abr. de 2018. doi: [10.1145/3173574.3173620](https://doi.org/10.1145/3173574.3173620). [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3173574.3173620>.
- [71] H. Kim, K. S. Suh y U. K. Lee, “Effects of collaborative online shopping on shopping experience through social and relational perspectives,” *Information and Management*, vol. 50, n.º 4, pp. 169-180, 2013. doi: [10.1016/j.im.2013.02.003](https://doi.org/10.1016/j.im.2013.02.003). [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378720613000128>.
- [72] A. M. Rosenthal-von der Pütten, N. C. Krämer, L. Hoffmann, S. Sobieraj y S. C. Eimler, “An Experimental Study on Emotional Reactions Towards a Robot,” *International Journal of Social Robotics*, vol. 5, n.º 1, pp. 17-34, 2013. doi: [10.1007/s12369-012-0173-8](https://doi.org/10.1007/s12369-012-0173-8).

- [73] X. Pan, M. Gillies y M. Slater, “The Impact of Avatar Blushing on the Duration of Interaction between a Real and Virtual Person,” en *Presence 2008: The 11th Annual International Workshop on Presence*, 2008, pp. 100-106. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/download/47808471/The_Impact_of_Avatar_Blushing_on_the_Dur20160805-19887-p00z47.pdf%20http://discovery.ucl.ac.uk/125118/.
- [74] A. Robb et al., “Training together: How another human trainee’s presence affects behavior during virtual human-based team training,” *Frontiers in ICT*, vol. 3, n.º AUG, 2016. doi: [10.3389/fict.2016.00017](https://doi.org/10.3389/fict.2016.00017).
- [75] S. Chen et al., “SEMarbeta: Mobile sketch-gesture-video remote support for car drivers,” en *ACM International Conference Proceeding Series*, 2013, pp. 69-76. doi: [10.1145/2459236.2459249](https://doi.org/10.1145/2459236.2459249).
- [76] S. Nilsson, B. Johansson y A. Jönsson, “Using AR to support cross-organisational collaboration in dynamic tasks,” en *Science and Technology Proceedings - IEEE 2009 International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2009*, 2009, pp. 3-12. doi: [10.1109/ISMAR.2009.5336522](https://doi.org/10.1109/ISMAR.2009.5336522). [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5336522/>.
- [77] A. S. García, J. P. Molina, P. González, D. Martínez y J. Martínez, “An experimental study of collaborative interaction tasks supported by awareness and multimodal feedback,” en *Proceedings - VRCAI 2009: 8th International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry*, 2009, pp. 77-82. doi: [10.1145/1670252.1670270](https://doi.org/10.1145/1670252.1670270).
- [78] Y. Li, F. Lu, W. S. Lages y D. A. Bowman, “Gaze direction visualization techniques for collaborative wide-Area model-free augmented reality,” en *Proceedings - SUI 2019: ACM Conference on Spatial User Interaction*, Association for Computing Machinery, Inc, oct. de 2019. doi: [10.1145/3357251.3357583](https://doi.org/10.1145/3357251.3357583). [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3357251.3357583>.
- [79] S. Mayer et al., “Improving Humans’ Ability to Interpret Deictic Gestures in Virtual Reality,” en *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, Association for Computing Machinery, abr. de 2020. doi: [10.1145/3313831.3376340](https://doi.org/10.1145/3313831.3376340).
- [80] M. Sousa, R. K. Dos Anjos, D. Mendes, M. Billinghurst y J. Jorge, “Warping deixis: Distorting gestures to enhance collaboration,” en *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, Association for Computing Machinery, mayo de 2019. doi: [10.1145/3290605.3300838](https://doi.org/10.1145/3290605.3300838).
- [81] A. Kunert, A. Kulik, S. Beck y B. Froehlich, “Photoportals: Shared references in space and time,” en *Proceedings of the ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW*, Association for Computing Machinery, 2014, pp. 1388-1399. doi: [10.1145/2531602.2531727](https://doi.org/10.1145/2531602.2531727). [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2531602.2531727>.

- [82] T. Piumsomboon, A. Dey, B. Ens, G. Lee y M. Billinghurst, “The effects of sharing awareness cues in collaborative mixed reality,” *Frontiers Robotics AI*, vol. 6, n.º FEB, 2019. doi: [10.3389/frobt.2019.00005](https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00005).
- [83] T. Ohshima, K. Satoh, H. Yamamoto y H. Tamura, “AR2Hockey: A case study of collaborative augmented reality,” en *IEEE 1998 Virtual Reality Annual International Symposium*, 1998, pp. 268-275. doi: [10.1109/vrais.1998.658505](https://doi.org/10.1109/vrais.1998.658505). [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/658505/>.
- [84] B. Knoerlein, G. Székely y M. Harders, “Visuo-haptic collaborative augmented reality ping-pong,” en *ACM International Conference Proceeding Series*, vol. 203, 2007, pp. 91-94. doi: [10.1145/1255047.1255065](https://doi.org/10.1145/1255047.1255065).
- [85] T.-H. Lin, C.-H. Liu, M.-H. Tsai y S.-C. Kang, “Using Augmented Reality in a Multiscreen Environment for Construction Discussion,” *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 29, n.º 6, p. 04014088, nov. de 2015. doi: [10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000420](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000420).
- [86] D.-N. T. Huynh, K. Raveendran, Y. Xu, K. Spreen y B. MacIntyre, “Art of defense,” en *6th International Conference on Information Visualisation*, Association for Computing Machinery (ACM), 2009, p. 135. doi: [10.1145/1581073.1581095](https://doi.org/10.1145/1581073.1581095). [En línea]. Disponible en: <http://www.eyeofjudgment.com>.
- [87] E. K. K. Yasojima, B. S. Meiguins y A. S. G. Meiguins, “Collaborative augmented reality application for information visualization support,” en *Proceedings of the International Conference on Information Visualisation*, 2012, pp. 164-169. doi: [10.1109/IV.2012.37](https://doi.org/10.1109/IV.2012.37). [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6295809/>.
- [88] S. Nagai, S. Kasahara y J. Rekimoto, “LiveSphere: Sharing the surrounding visual environment for immersive experience in remote collaboration,” en *TEI 2015 - Proceedings of the 9th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, Association for Computing Machinery, Inc, ene. de 2015, pp. 113-116. doi: [10.1145/2677199.2680549](https://doi.org/10.1145/2677199.2680549). [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2677199.2680549>.
- [89] B. Brown, I. MacColl, M. Chalmers, A. Galani, C. Randell y A. Steed, “Lessons from the lighthouse: collaboration in a shared mixed reality system,” en *CHI '03: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Association for Computing Machinery (ACM), 2003, p. 577. doi: [10.1145/642611.642711](https://doi.org/10.1145/642611.642711). [En línea]. Disponible en: www.equator.ac.uk.
- [90] J. Gugenheimer, E. Stemasov, H. Sareen y E. Rukzio, “FaceDisplay: Towards asymmetric multi-user interaction for nomadic virtual reality,” en *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, vol. 2018-April, Association for Computing Machinery, abr. de 2018. doi: [10.1145/3173574.3173628](https://doi.org/10.1145/3173574.3173628).

- [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3173574.3173628>.
- [91] P. Barden et al., “Telematic dinner party: Designing for togetherness through play and performance,” en *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference, DIS '12*, 2012, pp. 38-47. doi: [10.1145/2317956.2317964](https://doi.org/10.1145/2317956.2317964).
- [92] J. R. Onyimbi, M. Koeva y J. Flacke, “Public participation using 3D web-based city models: Opportunities for e-participation in Kisumu, Kenya,” *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 7, n.º 12, 2018. doi: [10.3390/ijgi7120454](https://doi.org/10.3390/ijgi7120454). [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/369902>.
- [93] E. Dong, H. Du y L. Gardner, *An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time*, 2020. doi: [10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1).
- [94] Y. Yang, B. Jenny, T. Dwyer, K. Marriott, H. Chen y M. Cordeil, “Maps and Globes in Virtual Reality,” *Computer Graphics Forum*, vol. 37, n.º 3, pp. 427-438, jun. de 2018. doi: [10.1111/cgf.13431](https://doi.org/10.1111/cgf.13431). [En línea]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/cgf.13431>.
- [95] G. Convertino, H. M. Mentis, A. Slavkovic, M. B. Rosson y J. M. Carroll, “Supporting common ground and awareness in emergency management planning: A design research project,” *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol. 18, n.º 4, dic. de 2011. doi: [10.1145/2063231.2063236](https://doi.org/10.1145/2063231.2063236). [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2063231.2063236>.
- [96] T. Mahmood, W. Fulmer, N. Mungoli, J. Huang y A. Lu, “Improving information sharing and collaborative analysis for remote geospatial visualization using mixed reality,” en *Proceedings - 2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2019*, Institute of Electrical y Electronics Engineers Inc., oct. de 2019, pp. 236-247. doi: [10.1109/ISMAR.2019.00021](https://doi.org/10.1109/ISMAR.2019.00021).
- [97] M. R. Endsley, B. Bolte y D. G. Jones, “What is Situation Awareness?” En *Designing for situation awareness: An approach to user-centered design*, CRC press, 2003, cap. 2, pp. 13-30.
- [98] ———, “SA Demons: The Enemies of Situation Awareness,” en *Designing for situation awareness: An approach to user-centered design*, CRC press, 2003, cap. 3, pp. 31-42.
- [99] J. Lazar, J. H. Feng y H. Hochheiser, *Research methods in human-computer interaction*, Second Edi. Morgan Kaufmann, 2017, p. 26.
- [100] J. Brooke, “SUS: A ‘Quick and Dirty’ Usability Scale,” en *Usability evaluation in industry*, 194, vol. 189, 1996, pp. 4-7.
- [101] A. Santos-Torres, T. Zarraonandia, P. Díaz, T. Onorati e I. Aedo, “An empirical comparison of interaction styles for map interfaces in immersive virtual environments,” *Multimedia Tools and Applications*, 2020. doi: [10.1007/s11042-020-08709-9](https://doi.org/10.1007/s11042-020-08709-9).

- [102] D. Souza, P. Dias y B. Sousa Santos, “Choosing a selection technique for a virtual environment,” en *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 8525 LNCS, Springer Verlag, 2014, pp. 215-225. doi: [10.1007/978-3-319-07458-0_{_}21](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07458-0_{_}21).
- [103] M. A. Muhanna, “Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions,” *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 27, n.º 3, pp. 344-361, 2015. doi: [10.1016/j.jksuci.2014.03.023](https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2014.03.023). [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksuci.2014.03.023>.
- [104] A. Santos-Torres, T. Zarranandia, P. Díaz e I. Aedo, “Comparing visual representations of collaborative map interfaces for immersive virtual environments,” *IEEE Access*, p. 1, 2022. doi: [10.1109/ACCESS.2022.3176949](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3176949).
- [105] W. Brants, B. Sharif y A. Serebrenik, “Assessing the meaning of emojis for emotional awareness - A pilot study,” *The Web Conference 2019 - Companion of the World Wide Web Conference, WWW 2019*, pp. 419-423, 2019. doi: [10.1145/3308560.3316550](https://doi.org/10.1145/3308560.3316550).
- [106] S. G. Hart y L. E. Staveland, “Development of NASA-TLX,” en *Human Mental Workload. Advances in Psychology*, P. Hancock y N. Meshkati, eds., North-Holland, 1988, pp. 139-183.
- [107] C. Harms y F. Biocca, “Internal Consistency and Reliability of the Networked Minds Measure of Social Presence,” *Seventh Annual International Workshop: Presence 2004*, pp. 246-251, 2004.
- [108] V. Braun y V. Clarke, “Using thematic analysis in psychology Using thematic analysis in psychology,” *Qualitative research in psychology*, vol. 3, pp. 77-101, 2006. doi: [10.1191/1478088706qp0630a](https://doi.org/10.1191/1478088706qp0630a).
- [109] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba y M. Mattsson, “Systematic mapping studies in software engineering,” en *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, EASE 2008*, BCS Learning & Development, jun. de 2008. doi: [10.14236/ewic/ease2008.8](https://doi.org/10.14236/ewic/ease2008.8). [En línea]. Disponible en: <https://www.scienceopen.com/hosted-document?doi=10.14236/ewic/EASE2008.8>.
- [110] R. Wieringa, N. Maiden, N. Mead y C. Rolland, “Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: A proposal and a discussion,” *Requirements Engineering*, vol. 11, n.º 1, pp. 102-107, mar. de 2006. doi: [10.1007/s00766-005-0021-6](https://doi.org/10.1007/s00766-005-0021-6). [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00766-005-0021-6>.
- [111] S. Babu, M.-H. Tsai, T.-W. Hsu y J.-H. Chuang, “An Evaluation of the Efficiency of Popular Personal Space Pointing versus Controller based Spatial Selection in VR,” 2020. doi: [10.1145/3385955.3407939](https://doi.org/10.1145/3385955.3407939).

- [112] J. Höcherl, A. Adam, T. Schlegl y B. Wrede, “Human-Robot Assembly: Methodical Design and Assessment of an Immersive Virtual Environment for Real-World Significance,” vol. 2020-Septe, 2020, pp. 549-556. doi: [10.1109/ETFA46521.2020.9212039](https://doi.org/10.1109/ETFA46521.2020.9212039).
- [113] T.-T. Nguyen, T. Duval y C. Pontonnier, “A new direct manipulation technique for immersive 3D virtual environments,” 2019, pp. 67-74. doi: [10.2312/ve.20141367](https://doi.org/10.2312/ve.20141367).
- [114] F. M. Caputo, D. Mendes, A. Bonetti, G. Saletti y A. Giachetti, “Smart Choices for Deviceless and Device-Based Manipulation in Immersive Virtual Reality,” 2018, pp. 519-520. doi: [10.1109/VR.2018.8446598](https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446598).
- [115] F. M. Caputo, M. Emporio y A. Giachetti, “The smart pin: A novel object manipulation technique for immersive virtual environments,” vol. Part F1319, 2017. doi: [10.1145/3139131.3141784](https://doi.org/10.1145/3139131.3141784).
- [116] P. Dias, L. Afonso, S. Eliseu y B. S. Santos, “Mobile devices for interaction in immersive virtual environments,” 2018. doi: [10.1145/3206505.3206526](https://doi.org/10.1145/3206505.3206526).
- [117] T. McGraw, E. Garcia y D. Sumner, “Interactive swept surface modeling in virtual reality with motion-tracked controllers,” 2017. doi: [10.1145/3092907.3092908](https://doi.org/10.1145/3092907.3092908).
- [118] D. Mendes, F. Relvas, A. Ferreira y J. Jorge, “The Benefits of DOF Separation in Mid-air 3D Object Manipulation,” vol. 02-04-Nove, 2016, pp. 261-268. doi: [10.1145/2993369.2993396](https://doi.org/10.1145/2993369.2993396).
- [119] B. Wilson, M. Bounds y A. Tavakkoli, “A full-body motion calibration and retargeting for intuitive object manipulation in immersive virtual environments,” 2016. doi: [10.1109/SEARIS.2016.7551585](https://doi.org/10.1109/SEARIS.2016.7551585).
- [120] A. Giachetti, F. M. Caputo, A. Carcangiu, R. Scateni y L. D. Spano, “Position paper: Shape Retrieval and 3D Gestural Interaction,” 2016, pp. 1-4. doi: [10.2312/3dor.20161079](https://doi.org/10.2312/3dor.20161079).
- [121] G. Caggianese, L. Gallo y P. Neroni, *An investigation of leap motion based 3D manipulation techniques for use in egocentric viewpoint*, 2016. doi: [10.1007/978-3-319-40651-0_{_}26](https://doi.org/10.1007/978-3-319-40651-0_{_}26).
- [122] N. Osawa y K. Asai, “An evaluation on two-handed and one-handed control methods for positioning object in immersive virtual environments,” *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E98D, n.º 7, pp. 1316-1324, 2015. doi: [10.1587/transinf.2014EDP7336](https://doi.org/10.1587/transinf.2014EDP7336).
- [123] C. Antonya, S. Butnariu y H. Beles, *Parameter estimation from motion tracking data*, 2015. doi: [10.1007/978-3-319-21070-4_{_}12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21070-4_{_}12).
- [124] P. Lubos, G. Bruder y F. Steinicke, “Are four hands better than two? Bimanual interaction for quadmanual user interfaces,” 2014, pp. 123-126. doi: [10.1145/2659766.2659782](https://doi.org/10.1145/2659766.2659782).

- [125] A. Komlódi, E. Józsa, K. Hercegfı, S. Kucsora y D. Borics, “Empirical usability evaluation of the Wii controller as an input device for the VirCA immersive virtual space,” 2011.
- [126] N. Osawa y K. Asai, “Adjustment and control methods for precise rotation and positioning of virtual object by hand,” 2010, pp. 131-138. doi: [10.1145/1900179.1900205](https://doi.org/10.1145/1900179.1900205).
- [127] F. Berthaut, M. Hachety y M. Desainte-Catherine, “Piivert: Percussion-based interaction for immersive virtual environments,” 2010, pp. 15-18. doi: [10.1109/3DUI.2010.5444728](https://doi.org/10.1109/3DUI.2010.5444728).
- [128] A. Dunk, A. Haffegge y V. Alexandrov, “Selection methods for interactive creation and management of objects in 3D immersive environments,” en *Procedia Computer Science*, vol. 1, 2010, pp. 2609-2617. doi: [10.1016/j.procs.2010.04.294](https://doi.org/10.1016/j.procs.2010.04.294).
- [129] V. M. Pawar y A. Steed, “Profiling the behaviour of 3D selection tasks on movement time when using natural haptic pointing gestures,” 2009, pp. 79-82. doi: [10.1145/1643928.1643947](https://doi.org/10.1145/1643928.1643947).
- [130] F. Argelaguet y C. Andujar, “Efficient 3D pointing selection in cluttered virtual environments,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 29, n.º 6, pp. 34-43, 2009. doi: [10.1109/MCG.2009.117](https://doi.org/10.1109/MCG.2009.117).
- [131] J. Usabiaga, A. Erol, G. Bebis, R. Boyle y X. Twombly, “Global hand pose estimation by multiple camera ellipse tracking,” *Machine Vision and Applications*, vol. 21, n.º 1, pp. 1-15, 2009. doi: [10.1007/s00138-008-0137-z](https://doi.org/10.1007/s00138-008-0137-z).
- [132] M. Nappi, L. Paolino, S. Ricciardi, M. Sebillio y G. Vitiello, *Advanced maintenance simulation by means of hand-based haptic interfaces*, 2009. doi: [10.1007/978-3-642-03658-3_{_}12](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03658-3_{_}12).
- [133] L. Aguerreche, T. Duval y A. Lécuyer, “Short paper: 3-Hand manipulation of virtual objects,” 2009, pp. 153-156. doi: [10.2312/EGVE/JVRC09/153-156](https://doi.org/10.2312/EGVE/JVRC09/153-156).
- [134] L. Gallo, G. De Pietro, A. Coronato e I. Marra, “Toward a natural interface to virtual medical imaging environments,” 2008, pp. 429-432. doi: [10.1145/1385569.1385651](https://doi.org/10.1145/1385569.1385651).
- [135] N. Osawa, *Two-handed and one-handed techniques for precise and efficient manipulation in immersive virtual environments*, 2008. doi: [10.1007/978-3-540-89639-5_{_}94](https://doi.org/10.1007/978-3-540-89639-5_{_}94).
- [136] C. Wilkes y D. A. Bowman, “Advantages of velocity-based scaling for distant 3D manipulation,” 2008, pp. 23-29. doi: [10.1145/1450579.1450585](https://doi.org/10.1145/1450579.1450585).
- [137] M. S. Pinho, D. A. Bowman y C. M. Dal Sasso Freitas, “Cooperative object manipulation in collaborative virtual environments,” *Journal of the Brazilian Computer Society*, vol. 14, n.º 2, pp. 53-67, 2008. doi: [10.1007/BF03192559](https://doi.org/10.1007/BF03192559).

- [138] R. W. Lindeman, J. L. Sibert y J. K. Hahn, "Towards usable VR: An empirical study of user interfaces for Immersive virtual environments," 1999, pp. 64-71. doi: [10.1145/302979.302995](https://doi.org/10.1145/302979.302995).
- [139] O. Ariza, G. Bruder, N. Katakis y F. Steinicke, "Analysis of Proximity-Based Multimodal Feedback for 3D Selection in Immersive Virtual Environments," 2018, pp. 327-334. doi: [10.1109/VR.2018.8446317](https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446317).
- [140] M. S. Jessee, T. Chiou, A. S. Krepps y B. R. Pongman, "A gaze based operator instrumentation approach for the command of multiple autonomous vehicles," vol. 2017-Janua, 2017, pp. 1841-1846. doi: [10.1109/CCTA.2017.8062724](https://doi.org/10.1109/CCTA.2017.8062724).
- [141] N. Brunhart-Lupo, B. W. Bush, K. Gruchalla y S. Smith, "Simulation exploration through immersive parallel planes," 2017, pp. 19-24. doi: [10.1109/IMMERSIVE.2016.7932377](https://doi.org/10.1109/IMMERSIVE.2016.7932377).
- [142] J. Lee, J. Park, J. Oh y J. Lee, "Fast and accurate 3d selection using proxy with spatial relationship for immersive virtual environments," 2016, p. 209. doi: [10.1145/2983310.2989200](https://doi.org/10.1145/2983310.2989200).
- [143] T. T. H. Nguyen y T. Duval, "Poster: 3-Point++: A new technique for 3D manipulation of virtual objects," 2013, pp. 165-166. doi: [10.1109/3DUI.2013.6550230](https://doi.org/10.1109/3DUI.2013.6550230).
- [144] S. Gebhardt, S. Pick, F. Leithold, B. Hentschel y T. Kuhlen, "Extended pie menus for immersive virtual environments," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 19, n.º 4, pp. 644-651, 2013. doi: [10.1109/TVCG.2013.31](https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.31).
- [145] C. Müller-Tomfelde, *Dwell-based pointing in applications of human computer interaction*, 2007. doi: [10.1007/978-3-540-74796-3_{_}56](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74796-3_{_}56).
- [146] F. Steinicke, T. Ropinski y K. Hinrichs, "Multimodal interaction metaphors for manipulation of distant objects in immersive virtual environments," 2005, pp. 45-48.
- [147] M. R. Mine, F. P. Brooks y C. H. Sequin, "Moving objects in space: Exploiting proprioception in virtual-environment interaction," 1997, pp. 19-26. doi: [10.1145/258734.258747](https://doi.org/10.1145/258734.258747).
- [148] H. Xia, S. Herscher, K. Perlin y D. Wigdor, "SpaceTime: Enabling fluid individual and collaborative editing in virtual reality," en *UIST 2018 - Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, Association for Computing Machinery, Inc, oct. de 2018, pp. 853-866. doi: [10.1145/3242587.3242597](https://doi.org/10.1145/3242587.3242597). [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3242587.3242597>.
- [149] M. Speicher, P. Hell, F. Daiber, A. Simeone y A. Krüger, "A virtual reality shopping experience using the apartment metaphor," 2018. doi: [10.1145/3206505.3206518](https://doi.org/10.1145/3206505.3206518).

- [150] D. Zielasko, S. Freitag, D. Rausch, Y. C. Law, B. Weyers y T. W. Kuhleny, “Blow click: A non-verbal vocal input metaphor for clicking,” 2015, pp. 20-23. doi: [10.1145/2788940.2788953](https://doi.org/10.1145/2788940.2788953).
- [151] P. Lubos, G. Bruder y F. Steinicke, “Analysis of direct selection in head-mounted display environments,” 2014, pp. 11-18. doi: [10.1109/3DUI.2014.6798834](https://doi.org/10.1109/3DUI.2014.6798834).
- [152] R. A. Montano Murillo, S. Subramanian y D. M. Plasencia, “Erg-O: Ergonomic optimization of immersive virtual environments,” 2017, pp. 759-771. doi: [10.1145/3126594.3126605](https://doi.org/10.1145/3126594.3126605).
- [153] P. Martin, S. Masfrand, Y. Okuya y P. Bourdot, *A VR-CAD data model for immersive design the cRea-VR proof of concept*, 2017. doi: [10.1007/978-3-319-60922-5{_}17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60922-5{_}17).
- [154] R. Stenholt, “Efficient selection of multiple objects on a large scale,” 2012, pp. 105-112. doi: [10.1145/2407336.2407357](https://doi.org/10.1145/2407336.2407357).
- [155] S. Frees, “Context-driven interaction in immersive virtual environments,” *Virtual Reality*, vol. 14, n.º 4, pp. 277-290, 2010. doi: [10.1007/s10055-010-0178-2](https://doi.org/10.1007/s10055-010-0178-2).
- [156] E. Ebrahimi, S. V. Babu, C. C. Pagano y S. Jörg, “An empirical evaluation of visuo-haptic feedback on physical reaching behaviors during 3D interaction in real and immersive virtual environments,” *ACM Transactions on Applied Perception*, vol. 13, n.º 4, 2016. doi: [10.1145/2947617](https://doi.org/10.1145/2947617).
- [157] M. Achibet, A. Girard, A. Talvas, M. Marchal y A. Lecuyer, “Elastic-Arm: Human-scale passive haptic feedback for augmenting interaction and perception in virtual environments,” 2015, pp. 63-68. doi: [10.1109/VR.2015.7223325](https://doi.org/10.1109/VR.2015.7223325).
- [158] V. M. Pawar y A. Steed, “Poster: The effect of target size and force feedback on 3D selection within a co-located visual-haptic immersive virtual environment,” 2013, pp. 169-170. doi: [10.1109/3DUI.2013.6550232](https://doi.org/10.1109/3DUI.2013.6550232).
- [159] F. M. Caputo, M. Emporio y A. Giachetti, “The Smart Pin: An effective tool for object manipulation in immersive virtual reality environments,” *Computers and Graphics (Pergamon)*, vol. 74, pp. 225-233, 2018. doi: [10.1016/j.cag.2018.05.019](https://doi.org/10.1016/j.cag.2018.05.019).
- [160] M. Miranda, K. Kiyokawa y H. Takemura, “Implementation and evaluation of a magic lens interface using a handheld device in an immersive virtual environment,” *Kyokai Joho Imeji Zasshi/Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers*, vol. 63, n.º 6, pp. 816-821, 2009. doi: [10.3169/itej.63.816](https://doi.org/10.3169/itej.63.816).
- [161] P. Wang et al., “AR/MR Remote Collaboration on Physical Tasks: A Review,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 72, dic. de 2021. doi: [10.1016/j.rcim.2020.102071](https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102071). [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102071>.

- [162] I. Steinmacher, A. P. Chaves y M. A. Gerosa, *Awareness support in distributed software development: A systematic review and mapping of the literature*, 2013. doi: [10.1007/s10606-012-9164-4](https://doi.org/10.1007/s10606-012-9164-4).
- [163] C. A. Ellis, S. J. Gibbs y G. Rein, "Groupware: Some issues and experiences," *Communications of the ACM*, vol. 34, n.º 1, pp. 39-58, ene. de 1991. doi: [10.1145/99977.99987](https://doi.org/10.1145/99977.99987). [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/99977.99987>.
- [164] X. Wang, P. E. Love, M. J. Kim y W. Wang, "Mutual awareness in collaborative design: An Augmented Reality integrated telepresence system," *Computers in Industry*, vol. 65, n.º 2, pp. 314-324, feb. de 2014. doi: [10.1016/j.compind.2013.11.012](https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.11.012).
- [165] B. Ens, T. Grossman, F. Anderson, J. Matejka y G. Fitzmaurice, "Candid interaction: Revealing hidden mobile and wearable computing activities," en *UIST 2015 - Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, New York, NY, USA: ACM, 2015, pp. 467-476. doi: [10.1145/2807442.2807449](https://doi.org/10.1145/2807442.2807449). [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1145/2807442.2807449>.
- [166] N. Reski, A. Alissandrakis, J. Tyrkkö y A. Kerren, ".ºh, that's where you are!- Towards a Hybrid Asymmetric Collaborative Immersive Analytics System," 2020. doi: [10.1145/3419249.3420102](https://doi.org/10.1145/3419249.3420102).
- [167] J. W. Chastine, Y. Zhu, J. C. Brooks, G. S. Owen, R. W. Harrison e I. T. Weber, "A collaborative multi-view virtual environment for molecular visualization and modeling," vol. 2005, 2005, pp. 77-84. doi: [10.1109/CMV.2005.1](https://doi.org/10.1109/CMV.2005.1).
- [168] M. Esbensen, P. Tell, J. B. Cholewa, M. K. Pedersen y J. Bardram, "The dBoard: A digital scrum board for distributed software development," en *Proceedings of the 2015 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS 2015*, New York, New York, USA: ACM Press, 2015, pp. 161-170. doi: [10.1145/2817721.2817746](https://doi.org/10.1145/2817721.2817746). [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1145/2817721.2817746>.
- [169] M. Le Chenechal, S. Chalme, T. Duval, J. Royan, V. Gouranton y B. Arnaldi, "Toward an enhanced mutual awareness in asymmetric CVE," en *2015 International Conference on Collaboration Technologies and Systems, CTS 2015*, Institute of Electrical y Electronics Engineers Inc., ago. de 2015, pp. 233-240. doi: [10.1109/CTS.2015.7210428](https://doi.org/10.1109/CTS.2015.7210428).
- [170] C. Nguyen, S. DiVerdi, A. Hertzmann y F. Liu, "CollaVR: Collaborative in-headset review for VR video," en *UIST 2017 - Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, Association for Computing Machinery, Inc, oct. de 2017, pp. 267-277. doi: [10.1145/3126594.3126659](https://doi.org/10.1145/3126594.3126659). [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3126594.3126659>.

- [171] S. Thanyadit, P. Punpongsanon y T.-C. Pong, “Efficient information sharing techniques between workers of heterogeneous tasks in 3D CVE,” *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, vol. 2, n.º CSCW, 2018. doi: [10.1145/3274441](https://doi.org/10.1145/3274441).
- [172] A. Kunert, T. Weissker, B. Froehlich y A. Kulik, “Multi-Window 3D Interaction for Collaborative Virtual Reality,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 26, n.º 11, pp. 3271-3284, 2020. doi: [10.1109/TVCG.2019.2914677](https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2914677).
- [173] S. Kim, G. Lee, M. Billinghurst y W. Huang, “The combination of visual communication cues in mixed reality remote collaboration,” *Journal on Multimodal User Interfaces*, vol. 14, n.º 4, pp. 321-335, 2020. doi: [10.1007/s12193-020-00335-x](https://doi.org/10.1007/s12193-020-00335-x).
- [174] A. Boukerche, S. Shirmohammadi y A. Hossain, “A prediction algorithm for haptic collaboration,” en *HAVE 2005: IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and their Applications*, vol. 2005, 2005, pp. 154-158. doi: [10.1109/HAVE.2005.1545670](https://doi.org/10.1109/HAVE.2005.1545670).
- [175] V. Kuszter, G. Brunnett y D. Pietschmann, “Cooperation in virtual environments with individual views,” en *2015 IEEE Virtual Reality Conference, VR 2015 - Proceedings*, 2015, pp. 215-216. doi: [10.1109/VR.2015.7223372](https://doi.org/10.1109/VR.2015.7223372). [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7223372/>.
- [176] Z. He, R. Du y K. Perlin, “CollaboVR: A Reconfigurable Framework for Creative Collaboration in Virtual Reality,” 2020, pp. 542-554. doi: [10.1109/ISMAR50242.2020.00082](https://doi.org/10.1109/ISMAR50242.2020.00082).
- [177] S. Pick, S. Gebhardt, B. Weyers, B. Hentschel y T. Kuhlen, “A 3D collaborative virtual environment to integrate immersive virtual reality into factory planning processes,” 2015, pp. 41-46. doi: [10.1109/3DCVE.2014.7160934](https://doi.org/10.1109/3DCVE.2014.7160934).
- [178] M. Cidota, S. Lukosch, D. Datcu y H. Lukosch, “Workspace awareness in collaborative AR using HMDs: A user study comparing audio and visual notifications,” vol. 25-27-Febr, 2016. doi: [10.1145/2875194.2875204](https://doi.org/10.1145/2875194.2875204).
- [179] H. Regenbrecht, M. Haller, J. Hauber y M. Billinghurst, “Carpeno: Interfacing remote collaborative virtual environments with table-top interaction,” *Virtual Reality*, vol. 10, n.º 2, pp. 95-107, oct. de 2006. doi: [10.1007/s10055-006-0045-3](https://doi.org/10.1007/s10055-006-0045-3). [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-006-0045-3>.
- [180] J. W. Chastine, J. C. Brooks, Y. Zhu, G. S. Owen, R. W. Harrison e I. T. Weber, “AMMP-Vis: A collaborative virtual environment for molecular modeling,” en *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST*, vol. 2006, New York, New York, USA: ACM Press, 2006, pp. 8-15. doi: [10.1145/1101616](https://doi.org/10.1145/1101616). [En línea]. Disponible en: www.skype.com.

- [181] J. Zillner, C. Rhemann, S. Izadi y M. Haller, “3D-Board: A wholebody remote collaborative whiteboard,” 2014, pp. 471-480. doi: [10.1145/2642918.2647393](https://doi.org/10.1145/2642918.2647393).
- [182] A. Doucette, C. Gutwin y R. Mandryk, “Effects of arm embodiment on implicit coordination, co-presence, and awareness in mixed-focus distributed tabletop tasks,” en *Proceedings - Graphics Interface*, vol. 2015-June, 2015, pp. 131-138. [En línea]. Disponible en: <https://graphicsinterface.org/wp-content/uploads/gi2015-17.pdf>.
- [183] S. Ghosh, L. Winston, N. P. .-. I. t. o. . . . y u. 2018, “NotifiVR: exploring interruptions and notifications in virtual reality,” *ieeexplore.ieee.org*, [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8260856/>.
- [184] K. Chow, C. Coyiuto, C. Nguyen y D. Yoon, “Challenges and design considerations for multimodal asynchronous collaboration in VR,” *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, vol. 3, n.º CSCW, 2019. doi: [10.1145/3359142](https://doi.org/10.1145/3359142).
- [185] B. Lee, X. Hu, M. Cordeil, A. Prouzeau, B. Jenny y T. Dwyer, “Shared surfaces and spaces: Collaborative data visualisation in a co-located immersive environment,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 27, n.º 2, pp. 1171-1181, feb. de 2021. doi: [10.1109/TVCG.2020.3030450](https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.3030450).
- [186] M. Ammi y B. F. G. Katz, “Intermodal audio-haptic intermodal display: improvement of communication and interpersonal awareness for collaborative search tasks,” *Virtual Reality*, vol. 19, n.º 3-4, pp. 235-252, 2015. doi: [10.1007/s10055-015-0273-5](https://doi.org/10.1007/s10055-015-0273-5).
- [187] V. Kuszter, G. Brunnett y D. Pietschmann, “Exploring stereoscopic multi-user interaction with individual views,” 2014, pp. 101-106. doi: [10.1109/CW.2014.22](https://doi.org/10.1109/CW.2014.22).
- [188] S. H. Choi, M. Kim y J. Y. Lee, “Situation-dependent remote AR collaborations: Image-based collaboration using a 3D perspective map and live video-based collaboration with a synchronized VR mode,” *Computers in Industry*, vol. 101, pp. 51-66, 2018. doi: [10.1016/j.compind.2018.06.006](https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.06.006).
- [189] L. Liu y A. Kaplan, “No longer alone: Finding common ground in collaborative virtual environments,” 2018, pp. 240-246. doi: [10.1145/3167132.3167170](https://doi.org/10.1145/3167132.3167170).
- [190] D. Aschenbrenner et al., “Comparing human factors for augmented reality supported single-user and collaborative repair operations of industrial robots,” *Frontiers Robotics AI*, vol. 6, n.º MAY, 2019. doi: [10.3389/frobt.2019.00037](https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00037).
- [191] D. Fang, H. Xu, X. Yang y M. Bian, “An Augmented Reality-Based Method for Remote Collaborative Real-Time Assistance: from a System Perspective,” *Mobile Networks and Applications*, vol. 25, n.º 2, pp. 412-425, 2020. doi: [10.1007/s11036-019-01244-4](https://doi.org/10.1007/s11036-019-01244-4).

- [192] G. Haas, E. Stemasov, M. Rietzler y E. Rukzio, “Interactive auditory mediated reality: Towards user-defined personal soundscapes,” 2020, pp. 2035-2050. doi: [10.1145/3357236.3395493](https://doi.org/10.1145/3357236.3395493).
- [193] K.-H. Tan et al., “ConnectBoard: A remote collaboration system that supports gaze-aware interaction and sharing,” 2009. doi: [10.1109/MMSP.2009.5293268](https://doi.org/10.1109/MMSP.2009.5293268).
- [194] T. Duval y C. Fleury, “An asymmetric 2D Pointer / 3D Ray for 3D Interaction within Collaborative Virtual Environments,” *Proceedings of Web3D 2009: The 14th International Conference on Web3D Technology*, pp. 33-41, 2009. doi: [10.1145/1559764.1559769](https://doi.org/10.1145/1559764.1559769).
- [195] Agustina y C. Sun, “XPointer: An X-ray telepointer for relaxed-space-time WY-SIWIS and unconstrained collaborative 3D design systems,” 2013, pp. 729-740. doi: [10.1145/2441776.2441857](https://doi.org/10.1145/2441776.2441857).
- [196] A. Tang, O. Fakourfar, C. Neustaedter y S. Bateman, “Collaboration in 360° videochat: Challenges and opportunities,” 2017, pp. 1327-1339. doi: [10.1145/3064663.3064707](https://doi.org/10.1145/3064663.3064707).
- [197] T. Teo, L. Lawrence, G. A. Lee, M. Billingham y M. Adcock, “Mixed reality remote collaboration combining 360 video and 3D reconstruction,” 2019. doi: [10.1145/3290605.3300431](https://doi.org/10.1145/3290605.3300431).
- [198] T. Weissker, A. Kulik y B. Froehlich, “Multi-ray jumping: Comprehensible group navigation for collocated users in immersive virtual reality,” 2019, pp. 136-144. doi: [10.1109/VR.2019.8797807](https://doi.org/10.1109/VR.2019.8797807).
- [199] A. Irlitti, T. Piumsomboon, D. Jackson y B. H. Thomas, “Conveying spatial awareness cues in xR collaborations,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 25, n.º 11, pp. 3178-3189, 2019. doi: [10.1109/TVCG.2019.2932173](https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2932173).
- [200] P. Wang y W. Guangqiang, “Interactive and intelligent vehicle driving simulator based on network communication,” 2009, pp. 646-651. doi: [10.1109/IVS.2009.5164353](https://doi.org/10.1109/IVS.2009.5164353).
- [201] N. Kim, G. J. Kim, C.-M. Park, I. Lee y S. H. Lim, “Multimodal menu presentation and selection in immersive virtual environments,” p. 281, 2000.
- [202] S. Lukosch, H. Lukosch, D. Datcu y M. Cidota, “Providing Information on the Spot: Using Augmented Reality for Situational Awareness in the Security Domain,” *Computer Supported Cooperative Work: CSCW: An International Journal*, vol. 24, n.º 6, pp. 613-664, 2015. doi: [10.1007/s10606-015-9235-4](https://doi.org/10.1007/s10606-015-9235-4).
- [203] D. H. Sonnenwald, K. L. Maglaughlin y M. C. Whitton, “Designing to support situation awareness across distances: An example from a scientific collaboratory,” *Information Processing and Management*, vol. 40, n.º 6, pp. 989-1011, 2004. doi: [10.1016/j.ipm.2003.10.002](https://doi.org/10.1016/j.ipm.2003.10.002).

- [204] I. Rae, G. Venolia, J. C. Tang y D. Molnar, “A framework for understanding and designing telepresence,” 2015, pp. 1552-1566. doi: [10 . 1145 / 2675133 . 2675141](https://doi.org/10.1145/2675133.2675141).
- [205] B. Shneiderman, C. Plaisant, M. S. Cohen, S. M. Jacobs, N. Elmqvist y N. Diakopoulos, “Designing the user interface strategies for effective human-computer interaction,” vol. 6, 2016.
- [206] R. Rosenthal y R. L. Rosnow, *Essentials of Behavioral Research: Methods and Data Analysis*, 3.^a ed. McGraw-Hill, 2008. doi: [10 . 34944 / dspace / 66](https://doi.org/10.34944/dspace/66).

ANEXO A

1. Modelo de formularios de consentimiento utilizados para recabar el consentimiento informado de los participantes en los experimentos.

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO DE REALIZACIÓN DE EXPERIMENTO

FORMULARIO PARA PRESTAR CONSENTIMIENTO A LA CESIÓN DE DATOS PARA LA EJECUCIÓN Y DESARROLLO DEL PORYECTO DE INVESTIGACIÓN DENOMINADO CROSSCOLAB IDENTIFICANDO LAS CAPACIDADES DE LOS ENTORNOS CROSS-REALITY PARA MEJORAR LA COLABORACIÓN.

DATOS IDENTIFICATIVOS DEL INTERESADO:

Nombre: _____ Apellidos: _____

DNI: _____

OTROS DATOS OBJETO DE CESIÓN:

Para el experimento se recopilará grabaciones de su avatar en el escenario virtual, datos relativos a la efectividad de la tarea realizada dentro del experimento, y respuestas que cumplimentará en un formulario anónimo de google forms relativo a la experiencia en la que participó.

Correo electrónico: _____

Breve descripción del proyecto de investigación:

El propósito del experimento al que ha accedido participar es evaluar mecanismos de ayuda para la colaboración en ambientes de realidad virtual. El experimento consistirá en realizar tareas de forma colaborativa en una aplicación de visualización de mapas inmersiva. Al final de la actividad se le pedirá rellenar un cuestionario en línea. Está en libertad de no contestar las preguntas que crea convenientes.

Por medio de la presente declaración presto mi consentimiento explícito para ceder mis datos personales para el desarrollo y ejecución del proyecto de investigación denominado CROSSCOLAB IDENTIFICANDO LAS CAPACIDADES DE LOS ENTORNOS CROSS-REALITY PARA MEJORAR LA COLABORACIÓN. Organizado por la Universidad Carlos III de Madrid.

Declaro haber recibido información suficiente sobre el contenido del proyecto de investigación y haber sido resueltas todas mis dudas y contestadas mis preguntas al respecto.

Mi participación es voluntaria y libre.

Se me ha informado sobre la posibilidad de revocar mi consentimiento en cualquier momento.

Para los siguientes puntos marque “Sí” o “No”:

- Autorizo expresamente a que, con ocasión de la difusión de los resultados del proyecto mis datos personales seudonimizados sean objeto de publicación, para lo cual bastará con que se me informe al respecto, mediante una comunicación al correo electrónico facilitado.
Sí/No
- Autorizo expresamente a que mis datos sean utilizados para la ejecución y desarrollo de otros proyectos similares, para lo cual bastará con que se me informe al respecto, mediante una comunicación al correo electrónico facilitado.
Sí/No
- Estoy de acuerdo en que la grabación de video o audio (del avatar en el escenario virtual) sea utilizada por los investigadores en este experimento y en estudios de investigación adicionales.
Sí/No
- Estoy de acuerdo en que la información proporcionada en el/los cuestionarios sean utilizado por los investigadores en este experimento y en estudios de investigación adicionales
Sí/No.

Firma del/de la participante,

Firmado:.....

Fecha:/...../.....

INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE PROTECCIÓN DE DATOS.

RESPONSABLE. Universidad Carlos III de Madrid;

IDENTIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO: CROSSCOLAB

FINALIDAD DE TRATAMIENTO. Se podrán ejercer ante el responsable del tratamiento los derechos de acceso, rectificación, supresión, limitación, portabilidad y oposición ante el responsable del tratamiento en la dirección de correo: dpd@uc3m.es

INFORMACIÓN ADICIONAL: Puede consultarse la información adicional detallada sobre protección de datos personales en nuestra página web <http://www.uc3m.es/protecciondatos>

ANEXO B

1. Cuestionarios en línea utilizados para el estudio de usuario de interacción en interfaces de mapas inmersivos.
2. Cuestionarios en línea utilizados para el estudio de usuario de representación del espacio y conciencia situacional en interfaces de mapas colaborativos inmersivos.

Experimento interacción en interfaces de mapas inmersivos.

1. Edad

2. Sexo

Marca solo un óvalo.

Masculino

Femenino

3. Nivel de Estudios

4. Área de estudios

5. ¿Ha utilizado alguna vez un casco de realidad virtual?

Marca solo un óvalo.

Sí *Salta a la pregunta 6*

No *Salta a la pregunta 8*

Contestar seleccionando una opción entre 1 y 5, siendo 1 "Muy en desacuerdo" y 5 "Muy de acuerdo"

6. ¿Cuántas veces a utilizado un casco de realidad virtual?

Marca solo un óvalo.

- 1 vez
- 2 veces
- 3 veces
- Regularmente (posee un dispositivo propio)

7. ¿Para qué propósitos a utilizado un casco de realidad virtual?

Selecciona todos los que correspondan.

- Videojuegos
- Video 360
- Simuladores

Otro: _____

Untitled section

8. ¿Utiliza lentes para corregir su visión?

Marca solo un óvalo.

- Si
- No

Untitled section

9. Tipo de interacción utilizada

Marca solo un óvalo.

- Gestos
- Controles

18. 9. Me siento seguro usando este sistema

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	<input type="radio"/>	Muy de acuerdo				

19. 10 Necesito aprender muchas cosas antes de dominar este sistema

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy en desacuerdo	<input type="radio"/>	Muy de acuerdo				

20. 11. Indique el nivel de esfuerzo empleado en el uso de este sistema

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	Muy alto				

21. 12. Indique el nivel de cansancio que le produjo el uso de este sistema.

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	Muy alto				

22. 13. Indique el nivel de precisión que usted considera tuvo al utilizar este sistema.

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	Muy alto				

23. 14. Indique el nivel de confort que usted considera tuvo al utilizar el sistema.

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	Muy alto				

24. 15. Indique el nivel de cansancio que tuvo en el cuello al utilizar este sistema.

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	Muy alto				

25. 16. Indique el nivel de cansancio que tuvo en los brazos al utilizar este sistema.

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	Muy alto				

26. Comente brevemente su experiencia y aspectos que debería mejorar del sistema

Untitled section

27. Tipo de aplicación utilizada

Marca solo un óvalo.

Gestos

Controles

28. 1. Pienso que me gustaría usar este sistema frecuentemente.

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Muy en desacuerdo Muy de acuerdo

29. 2. Encuentro este sistema innecesariamente complejo

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Muy en desacuerdo Muy de acuerdo

38. 11. Indique el nivel de esfuerzo empleado en el uso de este sistema

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	Muy alto				

39. 12. Indique el nivel de cansancio que le produjo el uso de este sistema.

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	Muy alto				

40. 13. Indique el nivel de precisión que considera tuvo al utilizar este sistema.

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	Muy alto				

41. 14. Indique el nivel de confort que tuvo al utilizar el sistema.

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	Muy alto				

42. 15. Indique el nivel de cansancio que tuvo en el cuello al utilizar este sistema.

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	Muy alto				

43. 16. Indique el nivel de cansancio que tuvo en los brazos al utilizar este sistema.

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Muy bajo	<input type="radio"/>	Muy alto				

44. Comente brevemente su experiencia y aspectos que debería mejorar del sistema

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Representación del espacio y conciencia situacional en interfaces de mapas colaborativos inmersivos.

Proposito

El propósito del experimento al que ha accedido participar es evaluar mecanismos de ayuda para la colaboración en ambientes de realidad virtual. El experimento consistirá en realizar tareas de forma colaborativa en una aplicación de visualización de mapas inmersiva. Al final de la actividad se le pedirá rellenar un cuestionario en línea. Está en libertad de no contestar las preguntas que crea convenientes.

Confidencialidad

Durante el experimento el investigador podrá tomar fotos y realizar videos (del escenario virtual) para mantener registros. Todos los datos serán codificados con el fin de proteger su anonimidad en cualquier documento o presentación resultante de este trabajo.

Consentimiento informado del participante

Al rellenar el siguiente formulario y marcar las casillas correspondientes, indica que comprende la información proporcionada y consiente su participación en el experimento, así como el uso de los datos obtenidos del mismo. La participación es de carácter voluntario y le permite negarse a responder ciertas preguntas del cuestionario o retirarse del estudio sin ningún tipo de penalización.

*Obligatorio

Información Demográfica

En esta sección se le pedirá algunos datos referente a su situación demográfica

1. Indique su género

Marca solo un óvalo.

- Hombre
- Mujer
- Prefiero no decirlo

2. Indique su rango de edad *

Marca solo un óvalo.

10-20

20-30

30-40

40-50

50-60

otros

3. Indique su ocupación

4. ¿Utiliza gafas para corregir su visión?

Marca solo un óvalo.

Si

No

5. ¿Cuál es su mano dominante?

Marca solo un óvalo.

Izquierda

Derecha

Ambas

6. ¿Ha utilizado dispositivos de Realidad Virtual? (ejemplo: oculus, htc vive, cardboard u otros)

Marca solo un óvalo.

- Sí *Salta a la pregunta 7*
- No *Salta a la sección 4 (Fin de la primera encuesta)*

Información sobre uso de dispositivos de Realidad Virtual

7. Indique cuantas veces ha utilizado estos dispositivos de Realidad Virtual

Marca solo un óvalo.

- Nunca
- 1 vez
- 2 a 5 veces
- Con frecuencia o dispongo de un equipo

8. Para que ámbitos ha utilizado los dispositivos de Realidad Virtual

Selecciona todos los que correspondan.

- Ocio
- Educación
- Simulación
- Salud
- tele conferencias

Otro: _____

Fin de la primera encuesta

Deténgase aquí y siga las instrucciones del investigador

Instrucciones
para evaluar la
carga de
Trabajo (NASA
-TLX)

La evaluación que va a realizar es una técnica desarrollada por NASA para valorar la importancia relativa de seis factores para determinar cuánta carga de trabajo experimentaste mientras realizaste la tarea que recientemente completaste.

Estos seis factores están definidas en la siguiente página. Lee atentamente para asegurarte que entiendes qué significa cada factor. Si tienes cualquier pregunta, por favor habla con el experimentador en cualquier momento.

Definiciones

DEMANDA MENTAL (BAJA/ALTA)

¿Cuánta demanda mental y perceptiva fue requerida (por ejemplo, pensar, decidir, calcular, recordar, mirar buscar, etc.)? ¿Fue la tarea fácil o demandante. Simple o compleja. exigente o indulgente?

DEMANDA FÍSICA (BAJA/ALTA)

¿Cuánta actividad física fue requerida (por ejemplo, presionar, tirar, girar, controlar, activar, etc.)? ¿Fue la tarea fácil o demandante. Lenta o enérgica. Floja o extenuante. Relajante o laborioso?

DEMANDA TEMPORAL (BAJA/ALTA)

¿Cuánta presión por el tiempo sentiste debido a la velocidad o ritmo en la que las tareas ocurrían? ¿Fue el ritmo lento y sin prisa o rápido y frenético?

RENDIMIENTO(BUENO/POBRE)

¿Cuán exitoso piensas que fuiste en completar los objetivos de la tarea propuesta por el experimentador (o tú mismo)? ¿Cuán satisfecho estuviste con tu rendimiento en completar estos objetivos?

ESFUERZO (BAJO/ALTO)

¿Que tan duro tuviste que trabajar (mental o físico) para lograr tu nivel de rendimiento?

NIVEL DE FRUSTRACIÓN (BAJO/ALTO)

¿Cuán inseguro, desanimado, irritado, estresado, y enojado versus seguro, satisfecho, contento, relajado y complaciente te sentiste durante la tarea?

9. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

Esfuerzo

Rendimiento

10. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

Demanda Temporal

Frustración

11. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

- Demanda Temporal
 Esfuerzo

12. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

- Demanda Física
 Frustración

13. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

- Rendimiento
 Frustración

14. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

- Demanda física
 Demanda temporal

15. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

Demanda Física

Rendimiento

16. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

Demanda Temporal

Demanda Mental

17. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

Frustración

Esfuerzo

18. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

Rendimiento

Demanda Mental

19. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

- Rendimiento
 Demanda Temporal

20. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

- Demanda Mental
 Esfuerzo

21. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

- Demanda Mental
 Demanda Física

22. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

- Esfuerzo
 Demanda Física

23. Selecciona el factor que representa el factor más importante que contribuyo a la carga de trabajo que acabaste de realizar.

Marca solo un óvalo.

- Frustración
- Demanda Mental

Primera parte del experimento

Espera instrucciones del experimentador

24. Indique el modelo utilizado

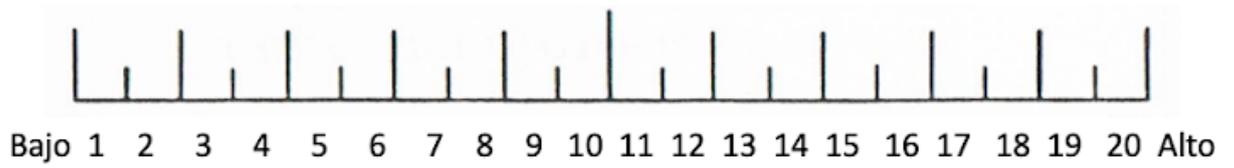
Marca solo un óvalo.

- Modelo 1 *Salta a la pregunta 25*
- Modelo 2 *Salta a la pregunta 39*
- Fin

Modelo 1

Esfuerzo mental

25. ¿Cuánta actividad mental y perceptual fue requerida (ejemplo pensar, decidir, calcular, recordar, mirar, buscar, etc)?



Marca solo un óvalo.

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

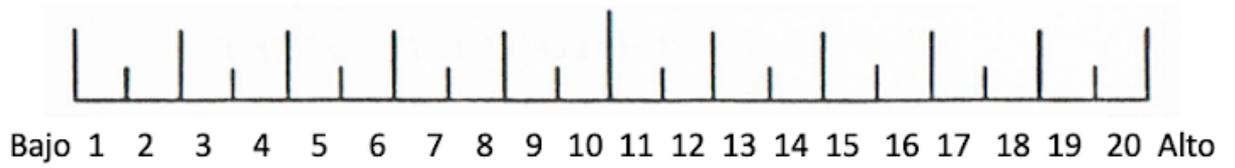
18

19

20

Esfuerzo físico

26. ¿Cuánta actividad física fue requerida? (ejemplo: presionar, jalar, rotar, controlar, activar, etc)?



Marca solo un óvalo.

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

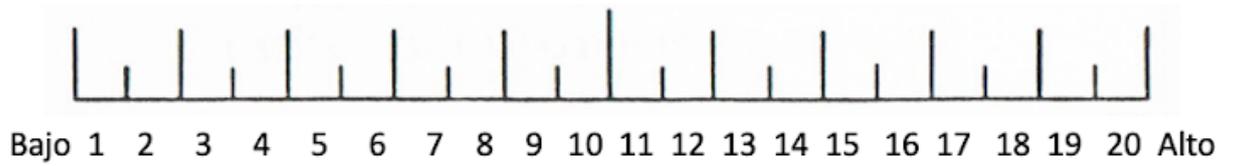
18

19

20

Demanda temporal

27. ¿Cuánta presión de tiempo sentiste debido a el flujo de actividades que ocurrieron?

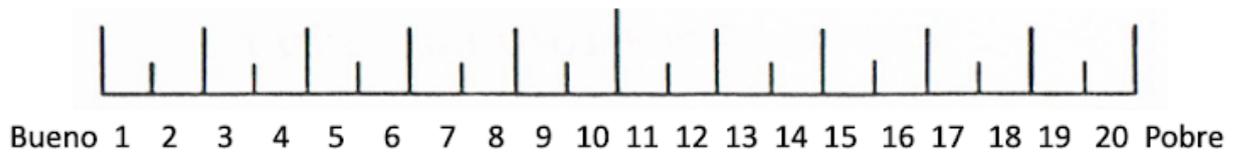


Marca solo un óvalo.

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20

Rendimiento

28. ¿Cuánto éxito crees que has tenido en los objetivos de la tarea?



Marca solo un óvalo.

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

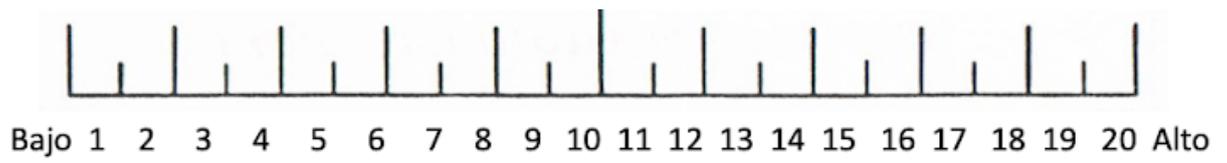
18

19

20

Esfuerzo

29. ¿Cuánto tuviste que trabajar (física o mentalmente) para llegar a un nivel de rendimiento que tu consideras adecuado?



Marca solo un óvalo.

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

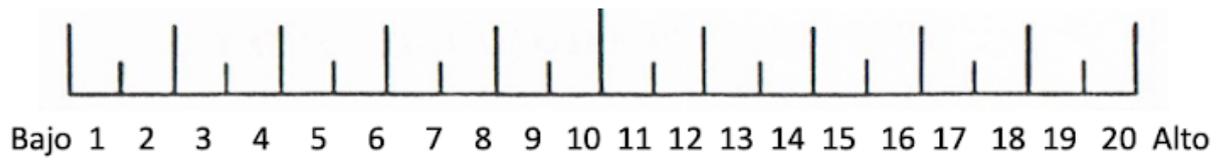
18

19

20

Nivel de frustración

30. ¿Cuánta frustración sentiste mientras realizabas la tarea?



Marca solo un óvalo.

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

Co-presencia

Mientras estuvo participando en la tarea con su colaborador(a):

35. En la tarea que realizamos conjuntamente con la otra persona, sentí que la colaboración fue adecuada y cumplimos con la tarea que se nos pedía

Marca solo un óvalo.

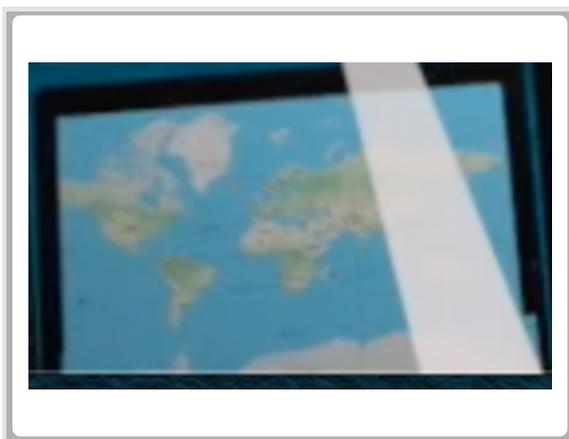
1 2 3 4 5

totalmente desacuerdo totalmente de acuerdo

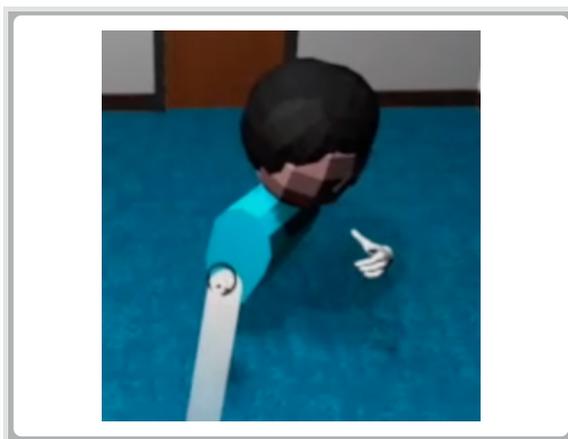
Uso de herramientas

36. Indique las herramientas disponibles que te parecieron útiles para interactuar con el colaborador

Selecciona todos los que correspondan.



View Port (mapa pequeño en la escena)



Gestos (signos para enviar señales al colaborador)



Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)

Descripción general de la experiencia

37. Explica brevemente como fue tu experiencia realizando la tarea.

Continuación del experimento

Espere instrucciones del experimentador

38. Indique el modelo utilizado

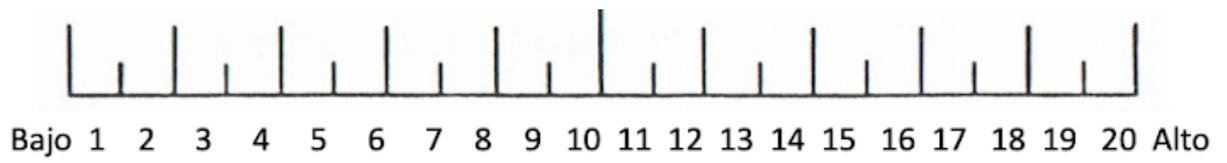
Marca solo un óvalo.

- Modelo 1 *Salta a la pregunta 25*
- Modelo 2 *Salta a la pregunta 39*
- Fin

Modelo 2

Esfuerzo mental

39. ¿Cuánta actividad mental y perceptual fue requerida (ejemplo pensar, decidir, calcular, recordar, mirar, buscar, etc)?



Marca solo un óvalo.

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

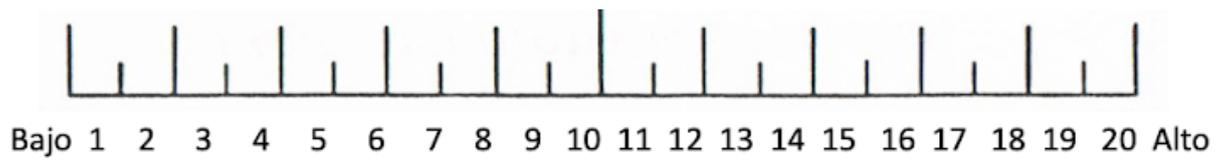
18

19

20

Esfuerzo físico

40. ¿Cuánta actividad física fue requerida? (ejemplo: presionar, jalar, rotar, controlar, activar, etc)?



Marca solo un óvalo.

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

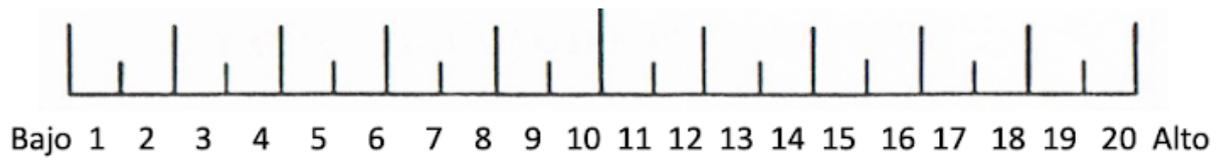
18

19

20

Demanda temporal

41. ¿Cuánta presión de tiempo sentiste debido al flujo de actividades que ocurrieron?



Marca solo un óvalo.

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

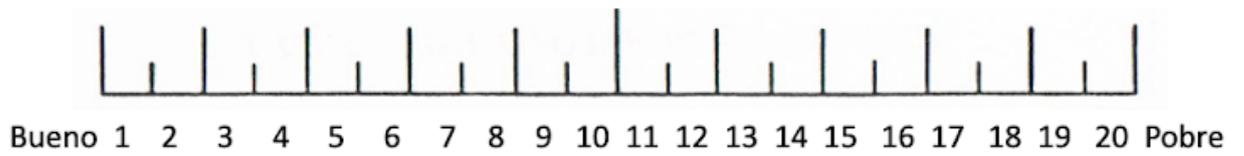
18

19

20

Rendimiento

42. ¿Cuánto éxito crees que has tenido en los objetivos de la tarea?



Marca solo un óvalo.

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

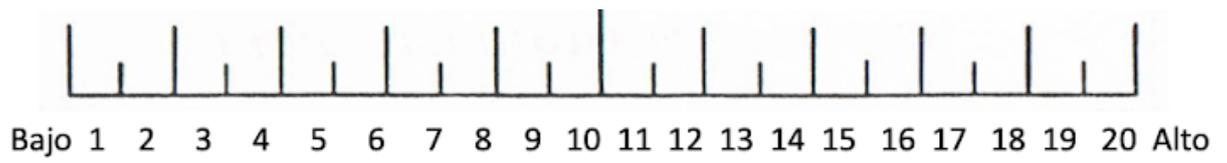
18

19

20

Esfuerzo

43. ¿Cuánto tuviste que trabajar (física o mentalmente) para llegar a un nivel de rendimiento que tu consideras adecuado?



Marca solo un óvalo.

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

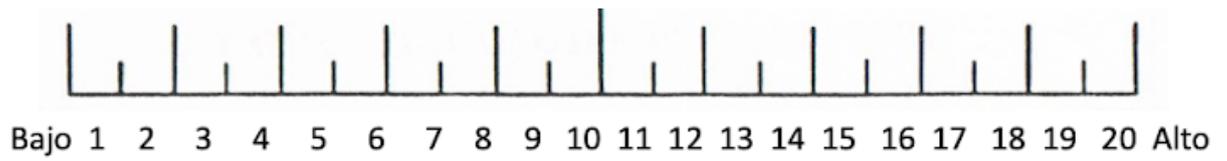
18

19

20

Nivel de frustración

44. ¿Cuánta frustración sentiste mientras realizabas la tarea?



Marca solo un óvalo.

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

Co-presencia

Mientras estuvo participando en la tarea con su colaborador(a):

49. En la tarea que realizamos conjuntamente con la otra persona, sentí que la colaboración fue adecuada y cumplimos con la tarea que se nos pedía

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

totalmente desacuerdo totalmente de acuerdo

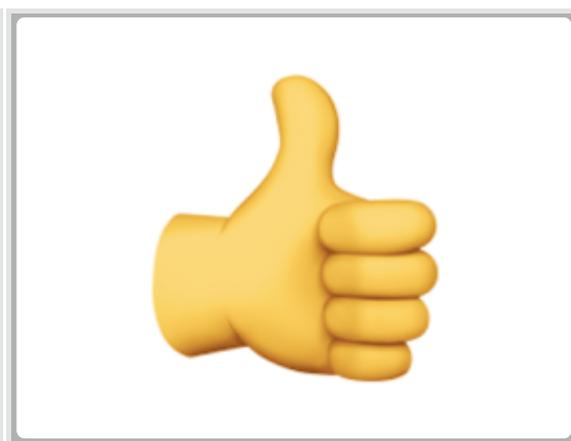
Uso de herramientas

50. Indique las herramientas disponibles que te parecieron útiles para interactuar con el colaborador

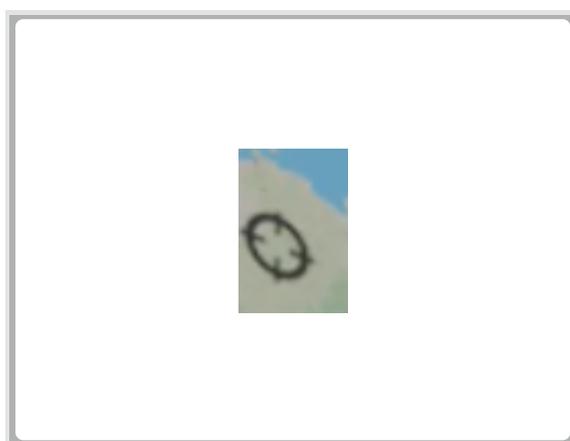
Selecciona todos los que correspondan.



View Port (mapa pequeño en la escena)



Emojis (signos para enviar señales al colaborador)



Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)

Descripción general de la experiencia

51. Indica cómo fue tu experiencia al realizar la tarea o si deseas dejar comentarios o sugerencias utiliza este espacio.

Continuación del experimento

Espere instrucciones del experimentador

52. Indique el modelo utilizado

Marca solo un óvalo.

- Modelo 1 *Salta a la pregunta 25*
- Modelo 2 *Salta a la pregunta 39*
- Fin

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

ANEXO C

1. Datos sin procesar del estudio de usuario de interacción en interfaces de mapas inmersivos.
2. Datos sin procesar del estudio de usuario de representación del espacio y conciencia situacional en interfaces de mapas colaborativos inmersivos.

DATOS DEMOGRÁFICOS PARTICIPANTES EXPERIMENTO INTERACCIÓN MAPAS INMERSIVOS

Marca temporal	Edad	Sexo	Nivel de Estudios	Área de estudios	¿Ha utilizado alguna vez un casco de realidad virtual?	¿Cuántas veces a utilizado un casco de realidad virtual?	¿Para qué propósitos a utilizado un casco de realidad virtual?	¿Utiliza lentes para corregir su visión?
2/4/2019 12:34:01	26	Femenino	Estudiante de doctorado	Ciencias de la computación	Sí	3 veces	Video 360	No
2/4/2019 13:26:09	18	Masculino	Bachillerato	Universidad	Sí	3 veces	Video 360	Si
2/4/2019 13:53:10	18	Femenino	Estudiante universitario	Ingeniería (biomédica)	Sí	3 veces	Video 360	Si
2/4/2019 14:16:22	18	Masculino	bachillerato	ingenieria	No			No
2/5/2019 13:25:42	20	Masculino	Estudios Universitario	Informática, Computación	Sí	3 veces	Videojuegos	No
2/6/2019 11:25:51	20	Femenino	universitario	Informática	Sí	2 veces	Simuladores	No
2/6/2019 11:51:56	20	Masculino	3er curso de grado en	Ing. Informática	Sí	3 veces	Video 360	No
2/6/2019 12:58:00	20	Masculino	Ingeniería	Ingeniería Informática	No			Si
2/6/2019 13:16:52	18	Femenino	Grado	Ingeniería biomédica	Sí	1 vez	Simuladores	No
2/6/2019 13:36:16	99	Femenino	Misma	Misma	Sí	(posee un	Videojuegos, misma	No
2/6/2019 13:54:54	19	Masculino	Estudiante de grado universitario	Ingenieria	No			No
2/6/2019 14:21:49	18	Femenino	Grado	Ingenieria Biomedica	No			No
2/7/2019 13:37:42	18	Femenino	grado universitario	ingeniería biomédica	No			No
2/7/2019 14:08:00	19	Masculino	Cursando grado	Ingeniería	Sí	2 veces	Video 360, Simuladores	Si
2/7/2019 14:41:59	19	Masculino	Estudiando un grado	Ingeniería biomédica	Sí	1 vez	Videojuegos	No
2/7/2019 14:56:36	20	Masculino	Bachillerato	Informática	Sí	3 veces	Videojuegos, Video 360, Simuladores	No
2/7/2019 15:18:37	31	Femenino	doctorado	psicologia	Sí	2 veces	Simuladores, experimento	Si
2/8/2019 13:53:23	18	Masculino	Grado	Ingeniería Biomédica	Sí	3 veces	Videojuegos	Si
2/8/2019 14:06:17	19	Masculino	Primero	Grado en Ingeniería Biomédica	Sí	2 veces	Video 360, Simuladores	Si
2/8/2019 14:32:37	20	Femenino	3ro	Ingeniería Informática	Sí	2 veces	Videojuegos, Simuladores	Si
2/8/2019 14:56:53	20	Femenino	3°	Grado en ingeniería informática	Sí	1 vez	Videojuegos	Si
2/8/2019 17:44:54	28	Femenino	Master	Tecnología	Sí	2 veces	experimentación	Si

PRIMERA PARTE EXPERIMENTO INTERACCIÓN EN INTERFACES DE MAPAS INMERSIVOS

Marca temporal	Tipo de interacción utilizada	Comente brevemente su experiencia y aspectos que debería mejorar del sistema																
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	
2/4/2019 12:34:01	Controles	4	1	5	2	5	1	5	1	5	1	2	1	4	4	1	2	La función de los comando fue muy simple asi que aprendí rápido como funcionaba, me temblaba mi mano pero aun asi no tuve tan mala puntería. Fue divertido
2/4/2019 13:26:09	Gestos	5	1	4	2	4	2	5	2	4	1	1	1	4	3	1	2	Ha sido una experiencia interesante, se sentía cómodo y fácil de usar. La única pega que le encuentro es la disposición de los botones virtuales que había que pulsar ya que los de la parte superior no era capaz de verlos.
2/4/2019 13:53:10	Controles	4	2	5	3	4	1	5	1	4	1	2	3	3	4	1	2	La experiencia ha sido interesante y creo que el programa podría ser útil por ejemplo para la enseñanza. Creo que la velocidad en que el usuario se mueve por el mapa es algo lenta y la precisión del rayo no muy exacta.
2/4/2019 14:16:22	Controles	4	2	3	2	4	2	5	2	4	3	3	3	4	3	3	2	El sistema era facil de usar y permitia moverse bien en las zonas centrales del mapa, aunque la falta de una conexión entre los extremos del mapa me confundió a priori dado que estoy acostumbrado a los globos terráqueos conexos.
2/5/2019 13:25:42	Controles	4	1	5	1	4	2	5	2	5	1	2	2	4	5	2	3	Las letras de la ciudad a buscar estaban muy arriba. El movimiento podría ser algo más rápido para agilizar el proceso.
2/6/2019 11:25:51	Controles	4	2	5	1	4	1	5	1	5	2	2	2	4	4	2	2	Los botones de los movimientos están muy cerca de los de acción, aunque igual al hacerlos más pequeños podría llevar a un nivel de cansancio en el usuario mayor.
2/6/2019 11:51:56	Gestos	4	2	5	1	4	2	5	2	5	2	4	3	3	4	1	2	A la hora de eliminar ubicaciones no estaba del todo seguro si tenía seleccionada la señal de la ubicación
2/6/2019 12:58:00	Controles	3	1	5	1	4	2	5	1	4	1	2	1	4	4	1	2	
2/6/2019 13:16:52	Controles	4	3	3	2	4	2	4	3	3	4	3	2	2	3	1	1	
2/6/2019 13:36:16	Gestos	4	3	3	3	4	3	3	3	2	3	1	1	2	4	1	1	Al principio no llegaba bien al recuadro con el que se movía el mapa hacia arriba.
2/6/2019 13:54:54	Gestos	4	2	4	2	5	3	4	3	5	1	3	1	3	4	4	3	Al ser la prueba un periodo de tiempo corto no he sentido mucho cansancio en brazos ni cuello pero en caso de que el tiempo de uso fuera mayor creo que este si que sería un problema
2/6/2019 14:21:49	Controles	5	2	5	1	3	2	5	2	4	1	2	2	3	4	2	1	Moverse por el mapa es un tanto pesado, en lugar de un plano podría ser un globo terráqueo para llegar antes a los sitios. Los controles podrían ser difíciles de usar para ciertas personas porque es fácil darle sin querer a un boton.
2/7/2019 13:37:42	Gestos	2	2	4	1	2	2	4	4	4	1	1	1	4	4	1	1	Inicialmente tuve un poco de dificultad al tratar de 'pulsar' ciertos botones, pero al final creo que es un método bastante intuitivo y fácil de usar
2/7/2019 14:08:00	Controles	5	1	4	1	4	1	5	2	4	1	2	1	5	4	2	1	La interfaz me parece muy apropiada y creo que las funciones son las adecuadas para este tipo de aplicación en la que hay que moverse en dos dimensiones. Tan solo diría que me gustaría mayor fluidez al desplazarme o al hacer zoom, pero por lo demás lo veo cómodo y funcional.
2/7/2019 14:41:59	Gestos	2	4	2	1	3	1	2	4	4	1	2	2	2	2	1	2	Quizá hace falta algo más de precisión y controles más intuitivos
2/7/2019 14:56:36	Gestos	2	2	4	1	3	1	5	4	3	1	4	4	2	2	4	4	Considero que el desplazamiento seria mas fácil si se realizara con movimientos de la cabeza.
2/7/2019 15:18:37	Controles	5	1	4	2	5	1	5	1	4	1	2	2	4	4	3	2	facil a utilizar
2/8/2019 13:53:23	Controles	3	1	4	1	3	1	5	4	3	1	2	1	4	3	1	1	La experiencia es satisfactoria, aunque quizás se siente un poco lento a la hora de desplazarse. Al estar más acostumbrado al uso de los atajos de teclado, el utilizar las gafas se ha sentido más como un juego que como una herramienta de navegación más rápida y funcional que la convencional. Sin embargo, veo bastante potencial en esta idea.
2/8/2019 14:06:17	Gestos	5	2	2	2	2	3	5	3	4	1	2	3	2	4	1	1	Me provocó cansancio en los ojos después de la prueba, me costaba concentrarme en las palabras, aunque es posible que sea porque decidí hacer la prueba sin gafas. Algunos de los botones estaban fuera del alcance y por lo tanto había que intentar "adivinar" dónde estaban, pero una vez te acostumbras a la distancia resulta más cómodo.
2/8/2019 14:32:37	Gestos	4	1	4	2	5	2	4	3	5	2	2	2	4	3	2	3	Colocación de botones superiores más centrados
2/8/2019 14:56:53	Controles	3	3	4	2	5	2	4	3	5	1	2	2	2	4	1	1	
2/8/2019 17:44:54	Controles	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	1	1	5	5	1	1	

SEGUNDA PARTE EXPERIMENTO INTERACCIÓN EN INTERFACES DE MAPAS INMERSIVOS

Marca temporal	Tipo de interacción utilizada	Comente brevemente su experiencia y aspectos que debería mejorar del sistema																
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	
2/4/2019 12:34:01	Gestos	3	2	3	3	4	1	5	2	5	1	3	3	5	5	2	2	Entender al principio como funcionaba me costó mas que con los joystick pero despues sentí que me movía mas rápido en el mapa. Ubicar la ciudad era mas comodo para mi con solo ubicar el punto con mi mirada que intentr balancer con el joystick.
2/4/2019 13:26:09	Controles	5	1	4	3	4	2	4	2	5	2	1	1	5	4	2	1	Se siente algo más complejo al utilizar mandos y sobre todo con esa configuración de botones (apretar el joystick para apuntar no me parece de las mejores formas de usarlo) y la ciudad que tenias que encontrar estaba demasiado arriba y no se veía bien. Por otra parte se siente cómodo utilizar los mandos ya que tienes algo a lo que agarrarte (hay un feedback entre el comando y la acción) y eso permite una mayor precisión y comodidad a la hora de trabajar con este sistema
2/4/2019 13:53:10	Gestos	3	2	4	2	4	2	4	3	4	2	4	4	4	3	2	3	Creo que la posición de los botones en la pantalla es algo incómoda, difícil de alcanzar en ocasiones, y creo que esta forma produce más cansancio, pero creo que la precisión ha sido algo mejor.
2/4/2019 14:16:22	Gestos	5	1	4	2	4	2	5	2	4	2	2	1	4	4	3	3	
2/5/2019 13:25:42	Gestos	3	1	3	4	3	2	4	3	4	1	3	3	4	4	2	4	Los brazos eran confundidos a veces por el sistema provocando que mi brazo izquierdo saliera del derecho. La barra para subir en el mapa era más difícil de alcanzar que las otras, en parte porque mi cabeza se giraba inconscientemente hacia arriba alejándolo más de mi mano, lo que me llevo a intentar usar la barra superior lo menos posible. A veces necesitaba presionar mucho para que el botón reconociera la tecla. La precisión me ha parecido mejor con este sistema ya que mi pulso hacia que fallara al apuntar en la otra, cosa que en este modo no me ha pasado.
2/6/2019 11:25:51	Gestos	3	3	3	2	4	1	2	4	5	2	4	4	5	3	3	4	Es más complicado de usar y menos preciso que con los controles, aunque creo que cuando se aprende a usarlo resulta bastante cómodo.
2/6/2019 11:51:56	Controles	4	1	5	1	5	1	5	2	4	2	1	2	4	4	1	2	No hay movimiento diagonal, además para una persona que tenga mal pulso (no es mi caso) puede llevarle mucho más tiempo y cansancio elegir lo que quiere.
2/6/2019 12:58:00	Gestos	3	3	3	2	5	2	3	2	3	2	3	3	4	3	2	3	Cuesta un poco hacerse a como se pulsa cada botón. Me ha resultado mirar a los controles y al mapa a la vez
2/6/2019 13:16:52	Controles	4	2	3	2	4	2	3	2	2	3	2	1	2	3	1	1	
2/6/2019 13:36:16																		
2/6/2019 13:54:54	Controles	5	1	5	2	5	2	4	2	4	2	2	1	4	5	1	1	en cuanto a este uso lo veo mas practico, funcional y comodo, sobre todo en tiempos de uso más largos que el de gestos aunque si lo que se busca es una experiencia breve y mas inmersiva el de gestos seria mejor en mi opinion
2/6/2019 14:21:49	Gestos	5	2	5	1	4	2	4	3	4	1	2	2	3	4	2	1	Me ha resultado más facil que usar controles.
2/7/2019 13:37:42	Controles	2	4	2	2	3	2	4	4	2	1	1	1	2	4	1	1	En general se hace más difícil acertar los puntos que representan las ciudades, creo que se debe al hecho de que es un poco complicado ser preciso mientras se mantiene presionado el joystick, y es posible pulsar sin querer el botón de atrás mientras tanto.
2/7/2019 14:08:00	Gestos	3	2	3	2	2	2	3	4	3	1	3	2	3	2	2	2	Este sistema me ha parecido menos cómodo porque los botones de la parte de arriba me han resultado difíciles de alcanzar. También se encontraban un poco fuera de mi campo de visión y si miraba hacia arriba para buscarlos, se movían más arriba y no lograba verlos. Pienso que la idea de un sistema sin mandos es más novedosa pero tiene que estar a la altura a nivel de comodidad.
2/7/2019 14:41:59	Controles	3	2	4	4	3	3	1	2	5	4	3	1	3	4	2	1	El control para manejar el mapa del sistema con controles es mucho mas sencillo y manejable. Sin embargo para poner las banderas es mucho mas complejo, por tener que mantener pulsado para que salga el rayo verde. Me parece más intuitiva la idea del primer experimento, en el que se pone la bandera en el punto al que miras.
2/7/2019 14:56:36	Controles	4	1	4	1	5	1	4	2	4	2	2	2	4	4	2	1	Se me hacia un poco difícil presionar el joystick a la vez que el botón de colocar un elemento en el mapa.
2/7/2019 15:18:37	Gestos	4	1	4	2	4	1	4	2	3	1	3	2	3	4	2	3	un poco difícil de estar preciso
2/8/2019 13:53:23	Gestos	5	1	4	1	3	2	5	1	5	1	1	1	5	4	1	1	Al no utilizar los controles, no me sentía como si utilizara dos herramientas distintas al mismo tiempo, sino una donde involucro varias partes de mi cuerpo. Me parece un sistema bastante más intuitivo que el otro, e incluso cuando la posición de los marcadores se controlase en ambos con las gafas, en éste se sentía más preciso. La única cosa que me ha costado ha sido que, si quería acceder a la parte superior de la interfaz, intuitivamente trataba de girar la cabeza hacia arriba para "mirar" esas opciones, pero al hacerlo se alejaban más. Quizás un menú fijo o semifijo sería más accesible.
2/8/2019 14:06:17	Controles	4	2	4	1	4	1	5	1	4	3	2	2	5	4	1	1	Comparado con el sistema de gestos, este me brindaba mayor precisión, pero a cambio de velocidad. Me parecía más rápido mirar a los puntos y apretar un botón que apuntar con el láser y marcarlos. Además, resultaba un poco complicado ser preciso cuando tenías que usar fuerza para apretar el botón del láser y luego poner el marcador.
2/8/2019 14:32:37	Controles	4	1	4	2	5	1	4	1	4	2	1	1	3	4	1	1	
2/8/2019 14:56:53	Gestos	4	1	5	1	5	1	5	1	4	1	3	2	5	3	3	4	
2/8/2019 17:44:54	Gestos	2	1	2	4	1	2	3	2	4	1	4	3	4	2	2	2	los botones superiores son de difícil acceso en el mundo virtual

DATOS DEMOGRÁFICOS EXPERIMENTO REPRESENTACIÓN DEL ESPACIO Y CONCIENCIA SITUACIONAL EN INTERFACES DE MAPAS COLABORATIVOS INMERSIVOS

Marca temporal	Indique su género	Indique su rango de edad	Indique su ocupación	¿Utiliza gafas para corregir su visión?	¿Cuál es su mano dominante?	¿Ha utilizado dispositivos de Realidad Virtual? (ejemplo: oculus, htc vive, cardboard u otros)	Indique cuantas veces ha utilizado estos dispositivos de Realidad Virtual	Para que ámbitos ha utilizado los dispositivos de Realidad Virtual
1/18/2021 13:43:06	Mujer	30-40	Investigadora	Si	Derecha	Si	2 a 5 veces	Ocio, Educación
1/18/2021 13:44:38	Hombre	20-30	Investigador en Formación	No	Derecha	Si	Con frecuencia o dispongo de un equipo	Ocio, Educación
2/8/2021 14:02:26	Mujer	30-40	Investigador, estudiante de doctorado	Si	Derecha	Si	Con frecuencia o dispongo de un equipo	Investigación
2/8/2021 14:02:34	Mujer	20-30	Estudiante de doctorado	Si	Derecha	Si	2 a 5 veces	Ocio
3/9/2021 21:59:38	Hombre	10-20	Estudiante	Si	Derecha	No		
3/9/2021 22:01:07	Mujer	30-40	Estudiante	Si	Derecha	Si	2 a 5 veces	Educación
3/12/2021 18:33:53	Hombre	20-30	Abogado	Si	Derecha	No		
3/12/2021 18:34:26	Hombre	20-30	Desarrollador de videojuegos	No	Derecha	Si	2 a 5 veces	Ocio, Educación
3/12/2021 20:10:38	Mujer	20-30	Estudiante	Si	Derecha	No		
3/12/2021 20:11:49	Mujer	20-30	Estudiante	Si	Derecha	Si	2 a 5 veces	Ocio
3/19/2021 20:26:08	Mujer	30-40	Traductora	No	Derecha	Si	1 vez	Ocio
3/19/2021 20:26:49	Hombre	30-40	Estudiante	Si	Derecha	Si	2 a 5 veces	Ocio
3/28/2021 17:15:50	Mujer	20-30	Estudiante	Si	Derecha	No		
3/28/2021 17:15:51	Hombre	20-30	Doctorando	Si	Derecha	No		
4/9/2021 17:20:29		30-40	Investigador	No	Derecha	Si	1 vez	Ocio
4/9/2021 17:20:45	Hombre	20-30	Ingeniero	No	Derecha	Si	Con frecuencia o dispongo de un equipo	Ocio, Salud
4/15/2021 11:27:16	Hombre	10-20	Estudiante	No	Derecha	No		
4/15/2021 11:27:20	Hombre	20-30	Estudiante	Si	Derecha	Si	1 vez	Ocio
4/21/2021 18:06:57	Hombre	10-20	Estudiante	No	Derecha	Si	1 vez	Ocio
4/21/2021 18:07:02	Hombre	10-20	estudiante	No	Izquierda	No		
4/23/2021 11:07:53	Mujer	20-30	estudiante	Si	Derecha	No		
4/23/2021 11:07:57	Mujer	10-20	Estudiante	No	Derecha	No		
4/23/2021 13:50:09	Hombre	20-30	Estudiante	Si	Derecha	No		
4/23/2021 13:50:13	Mujer	10-20	Estudiante	No	Izquierda	No		
4/23/2021 17:55:00	Hombre	10-20	Estudiante	No	Derecha	No		
4/23/2021 17:55:05	Mujer	10-20	Estudiante	Si	Derecha	No		

PRIMERA PARTE EXPERIMENTO REPRESENTACIÓN DEL ESPACIO Y CONCIENCIA SITUACIONAL EN INTERFACES DE MAPAS COLABORATIVOS INMERSIVOS

Marca temporal	Indique el modelo utilizado	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	Indique las herramientas disponibles que te parecieron útiles para interactuar con el colaborador	Explica brevemente como fue tu experiencia realizando la tarea.
1/18/2021 13:43:06	Modelo 1	9	9	7	8	8	7	4	7	7	7	4	Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
1/18/2021 13:44:38	Modelo 1	7	7	5	6	8	6	3	6	8	5	6	View Port (mapa pequeño en la escena)	
2/8/2021 14:02:26	Modelo 1	5	5	5	5	5	15	4	15	20	17	4	View Port (mapa pequeño en la escena), Emojis o gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	No ha sido difícil una vez que aprendes como hay que interactuar con los avatares.
2/8/2021 14:02:34	Modelo 1	4	3	4	3	2	15	5	10	8	3	2	Emojis o gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	El mensaje percibido no fue tan bueno porque el avatar aun cuando trataba de mandarme un gesto, parecía apuntar a otro lado y no hacia mi, por lo que el gestos parecía confuso.
3/9/2021 21:59:38	Modelo 2	5	4	5	5	5	5	6	10	15	8	0	View Port (mapa pequeño en la escena), Gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Este mapa puede llegar a distraer mas
3/9/2021 22:01:07	Modelo 2	2	2	4	3	3	3	0	4	15	1	0	View Port (mapa pequeño en la escena), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Me sentí mareada al principio del experimento, moviarme dentro de la habitación fué difícil por la sensación incomoda del cuerpo.
3/12/2021 18:33:53	Modelo 2	3	3	3	2	2	17	8	12	6	9	12	View Port (mapa pequeño en la escena), Gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	No estar totalmente acostumbrado a los controles me impedía la comunicación sin embargo a través del tiempo cada vez se hace más fácil comprender al compañero de equipo.
3/12/2021 18:34:26	Modelo 2	3	3	2	4	2	6	4	4	3	8	10	Gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Frustrante porque es difícil atender al mapa y a la persona de al lado sin comunicación verbal. Requiere que uno se gire todo el rato para mirarlo. No queda muy claro cuando has solucionado la incidencia realmente
3/12/2021 20:10:38	Modelo 1	2	4	2	2	2	8	15	15	15	15	15	View Port (mapa pequeño en la escena)	Es bastante sencilla la tarea sin embargo es complicada la colaboración al no estar mirándonos, por lo que se complica la efectividad en el resultado.
3/12/2021 20:11:49	Modelo 1	3	3	4	4	4	10	4	10	15	5	5	Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Es complicado prestar atención al compañero mientras realizas la actividad
3/19/2021 20:26:08	Modelo 1	5	1	1	5	5	5	5	5	5	5	3	View Port (mapa pequeño en la escena), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
3/19/2021 20:26:49	Modelo 1	4	1	5	5	5	5	8	4	4	6	2	Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Buena, pero un poco cansada por el peso de los objetos
3/28/2021 17:15:50	Modelo 2	5	1	1	3	3	15	10	10	12	6	10	Gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Divertido
3/28/2021 17:15:51	Modelo 2	5	4	2	4	3	18	13	16	8	17	18	View Port (mapa pequeño en la escena), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Fue complicado que mi compañero entendiera mis mensajes
4/9/2021 17:20:29	Modelo 2	5	3	5	4	5	7	10	12	5	13	1	Gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
4/9/2021 17:20:45	Modelo 2	4	4	3	5	4	7	10	15	3	7	8	View Port (mapa pequeño en la escena), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Muy buena experiencia. Prefiero el modelo 2.
4/15/2021 11:27:16	Modelo 2	2	3	1	2	2	15	1	12	5	12	17	Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Un poco caótica, no entendía a mi compañero
4/15/2021 11:27:20	Modelo 2	2	3	2	4	3	14	11	14	10	13	12	View Port (mapa pequeño en la escena), Gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
4/21/2021 18:06:57	Modelo 1	5	2	4	4	5	6	1	0	16	11	0	Gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Satisfactoria y entretenida
4/21/2021 18:07:02	Modelo 1	5	2	5	4	5	12	4	8	3	7	1	Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
4/23/2021 11:07:53	Modelo 2	5	3	3	2	1	4	0	7	8	0	15	Gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
4/23/2021 11:07:57	Modelo 2	2	1	4	5	4	5	10	10	5	10	5	Gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
4/23/2021 13:50:09	Modelo 1	4	2	2	3	5	16	7	11	11	15	9	Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Muy gratificante e innovador
4/23/2021 13:50:13	Modelo 1	4	3	4	5	5	12	9	7	14	15	6	View Port (mapa pequeño en la escena), Gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
4/23/2021 17:55:00	Modelo 2	5	4	5	3	3	8	9	9	5	9	9	View Port (mapa pequeño en la escena), Gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
4/23/2021 17:55:05	Modelo 2	3	4	3	3	2	13	10	15	11	12		Gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	

SEGUNDA PARTE EXPERIMENTO REPRESENTACIÓN DEL ESPACIO Y CONCIENCIA SITUACIONAL EN INTERFACES DE MAPAS COLABORATIVOS INMERSIVOS

Marca temporal	Indique el modelo utilizado	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	Indique las herramientas disponibles que te parecieron útiles para interactuar con el colaborador	Explica brevemente como fue tu experiencia realizando la tarea.
1/18/2021 13:43:06	Modelo 2	9	9	9	9	9	4	2	8	8	7	2	Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
1/18/2021 13:44:38	Modelo 2	7	7	7	7	7	4	4	7	8	3	3	View Port (mapa pequeño en la escena), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Creo que hemos mejorado porque la anterior nos ha entrenado bastante.
2/8/2021 14:02:26	Modelo 2	5	5	5	5	5	15	4	15	7	16	7	Emojis o gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	El tener que salir y entrar al mapa2 ha hecho que me desubicara un poco, pero por lo demás creo que ha la interacción ha estado bien
2/8/2021 14:02:34	Modelo 2	5	5	5	5	5	1	4	6	15	8	0	Emojis o gestos (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Lo que sentía es que aún colaborando había un colaborador que guiaba, es decir, veía primero el apuntador y con los gestos podía señalar si era para ambos el apuntador en el que me encontraba
3/9/2021 21:59:38	Modelo 1	5	1	5	3	5	15	0	5	20	5	0	View Port (mapa pequeño en la escena), Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
3/9/2021 22:01:07	Modelo 1	2	2	2	2	2	3	1	3	20	2	0	View Port (mapa pequeño en la escena), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	La llamada de compañero no se encontro sobre la pantalla. Así que se aproximó a la respuesta de la incidencia.
3/12/2021 18:33:53	Modelo 1	5	2	4	5	4	12	3	7	10	13	2	View Port (mapa pequeño en la escena), Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Un color más resaltante en el puntero del compañero ayudaría a identificarlo mejor en la simulación
3/12/2021 18:34:26	Modelo 1	2	4	2	3	3	8	1	3	2	10	11	Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Es difícil mantener la atención en el mapa y la información de colaboración al mismo tiempo. Un feedback auditivo al activar un gesto quizá ayudara
3/12/2021 20:10:38	Modelo 2	3	4	5	4	5	5	5	5	7	5	5	Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Mejor que la del mapa 1. Más fácil interactuar con el colaborador ya que ambos estamos viendo a un mismo sitio. También sentí que cumplí mejor el objetivo
3/12/2021 20:11:49	Modelo 2	5	2	5	5	5	5	5	5	16	10	3	View Port (mapa pequeño en la escena), Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Es muy intuitivo, no hace falta esforzarme tanto, es fácil de entender y manipular, tener a la vista las acciones del compañero es muy útil.
3/19/2021 20:26:08	Modelo 2	5	1	4	3	4	8	6	6	6	6	4	View Port (mapa pequeño en la escena), Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
3/19/2021 20:26:49	Modelo 2	3	1	5	5	5	5	4	3	6	6	1	Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Mejor que el anterior
3/28/2021 17:15:50	Modelo 1	5	1	5	5	5	10	5	15	10	6	7	Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Divertido
3/28/2021 17:15:51	Modelo 1	5	1	5	5	5	13	5	10	3	13	10	View Port (mapa pequeño en la escena), Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Usar más emojis.
4/9/2021 17:20:29	Modelo 1	5	1	5	5	5	6	3	12	5	12	1	Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	

4/9/2021 17:20:45 Modelo 1	5	2	5	5	5	4	5	7	2	5	4	View Port (mapa pequeño en la escena), Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Muy intuitiva, la colaboración me resultó sencilla con este método de emojis. Quizás podría existir un método para transportarse directamente al marcador del colaborador sin necesidad de hacer zoom in y zoom out
4/15/2021 11:27:16 Modelo 1	5	2	4	5	5	15	1	16	16	10	0	Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Entretenida y colaborativa
4/15/2021 11:27:20 Modelo 1	4	2	5	4	4	12	6	14	6	12	8	Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Bastante interesante y comunicativo
4/21/2021 18:06:57 Modelo 2	5	1	4	5	4	9	1	1	14	12	3	Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
4/21/2021 18:07:02 Modelo 2	5	1	5	4	4	12	4	6	4	7	4	Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
4/23/2021 11:07:53 Modelo 1	3	3	5	3	2	8	2	10	15	0	12	View Port (mapa pequeño en la escena), Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
4/23/2021 11:07:57 Modelo 1	3	1	1	5	2	5	0	7	5	5	10	View Port (mapa pequeño en la escena), Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
4/23/2021 13:50:09 Modelo 2	3	2	4	4	4	8	4	10	14	16	8	View Port (mapa pequeño en la escena), Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Mejor que el Mapa1
4/23/2021 13:50:13 Modelo 2	2	2	5	5	5	12	14	10	16	17	17	View Port (mapa pequeño en la escena), Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	
4/23/2021 17:55:00 Modelo 1	5	1	5	5	5	7	4	7	9	7	3	View Port (mapa pequeño en la escena), Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Muy buena experiencia. Cumplía totalmente su objetivo y era muy intuitivo.
4/23/2021 17:55:05 Modelo 1	4	2	5	4	4	6	8	15	8	7	14	Emojis (signos para enviar señales al colaborador), Puntero (símbolo que indicaba la posición del colaborador en el mapa)	Me ha gustado aunque un poco frustrante en algún momento

ANEXO D

1. Listado final de artículos del estudio sistemático sobre estilos de interacción en entornos de realidad virtual inmersiva.
2. Listado final de artículos del estudio sistemático sobre técnicas para generar workspace awareness en entornos de realidad virtual inmersiva.

ESTUDIO SISTEMÁTICO ESTILOS DE INTERACCIÓN EN ENTORNOS DE RV

ID	Paper	Authors	Year	Maturity	Interaction style	Selection/manipulation technique	Source	Citations
1	An Evaluation of the Efficiency of Popular Personal Space Pointing versus Controller based Spatial Selection in VR	Babu, S., Tsai, M.-H., Hsu, T.-W., Chuang, J.-H.	2020	Validation research	Body Based Device Based	Gesture	Symposium on Applied Perception	0
2	Human-Robot Assembly: Methodical Design and Assessment of an Immersive Virtual Environment for Real-World Significance	Höcherl, J., Adam, A., Schlegl, T., Wrede, B.	2020	Solution proposal	Body Based	Gesture	IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation	0
3	A new direct manipulation technique for immersive 3D virtual environments	Nguyen, T.-T.H., Duval, T., Pontonnier, C.	2019	Validation research	Body Based	6-DOF direct manipulation	International Conference on Artificial Reality and Telexistence and Eurographics Symposium on Virtual Environments	14
4	SpaceTime: Enabling fluid individual and collaborative editing in virtual reality	Xia, H., Herscher, S., Perlin, K., Wigdor, D.	2018	Solution proposal	Body Based	Collaborative manipulation techniques	UIST 2018	23
5	Smart Choices for Deviceless and Device-Based Manipulation in Immersive Virtual Reality	Caputo, F.M., Mendes, D., Bonetti, A., Saletti, G., Giachetti, A.	2018	Validation research	Body Based Device Based	Gesture	IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2018	1
6	Analysis of Proximity-Based Multimodal Feedback for 3D Selection in Immersive Virtual Environments	Ariza, O., Bruder, G., Katzakis, N., Steinicke, F.	2018	Validation research	Device based	pointing gesture	25th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2018	14
7	The Smart Pin: An effective tool for object manipulation in immersive virtual reality environments	Caputo, F.M., Emporio, M., Giachetti, A.	2018	Validation research	Body Based	Mid air gesture	Computers and Graphics (Pergamon)	9
8	Mobile devices for interaction in immersive virtual environments	Dias, P., Afonso, L., Eliseu, S., Santos, B.S.	2018	Validation research	Device based	Interaction with mobile phone	Proceedings of the Workshop on Advanced Visual Interfaces AVI	3
9	A virtual reality shopping experience using the apartment metaphor	Speicher, M., Hell, P., Daiber, F., Simeone, A., Krüger, A.	2018	Validation research	Device based	Shopping car vs pointing metaphor	Proceedings of the Workshop on Advanced Visual Interfaces AVI	14
10	Erg-O: Ergonomic optimization of immersive virtual environments	Montano Murillo, R.A., Subramanian, S., Plasencia, D.M.	2017	Validation research	Body Based	Ergonomic Optimization	UIST 2017 - Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology	28
11	A gaze based operator instrumentation approach for the command of multiple autonomous vehicles	Jessee, M.S., Chiou, T., Krepps, A.S., Prengaman, B.R.	2017	Validation research	Body Based	Gaze based interaction	1st Annual IEEE Conference on Control Technology and Applications	0

ESTUDIO SISTEMÁTICO ESTILOS DE INTERACCIÓN EN ENTORNOS DE RV

12	Design and evaluation of a novel out-of-reach selection technique for VR using iterative refinement	Mendes, D., Medeiros, D., Sousa, M., (...), Ferreira, A., Jorge, J.A.	2017	Validation research	Body Based	Pointing gesture	Computers and Graphics (Pergamon)	20
13	Interactive swept surface modeling in virtual reality with motion-tracked controllers	McGraw, T., Garcia, E., Sumner, D.	2017	Solution proposal	Device based	Gesture	Proceedings - Sketch-Based Interfaces and Modeling	3
14	Simulation exploration through immersive parallel planes	Brunhart-Lupo, N., Bush, B.W., Gruchalla, K., Smith, S.	2017	Solution proposal	Device based	Tracking device	2016 Workshop on Immersive Analytics, IA 2016	6
15	A VR-CAD data model for immersive design the cRea-VR proof of concept	Martin, P., Masfrand, S., Okuya, Y., Bourdot, P.	2017	Solution proposal	Device based	Data model interaction	Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)	11
16	The Benefits of DOF Separation in Mid-air 3D Object Manipulation	Mendes, D., Relvas, F., Ferreira, A., Jorge, J.	2016	Validation research	Body Based	Mid air gesture	Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST	38
17	Fast and accurate 3d selection using proxy with spatial relationship for immersive virtual environments	Lee, J., Park, J., Oh, J., Lee, J.	2016	Solution proposal	Body Based	Sphere casting	SUI 2016 - Proceedings of the 2016 Symposium on Spatial User Interaction	2
18	A full-body motion calibration and retargeting for intuitive object manipulation in immersive virtual environments	Wilson, B., Bounds, M., Tavakkoli, A.	2016	Solution proposal	Body Based	Gesture	2016 IEEE 9th Workshop on Software Engineering and Architectures for Realtime Interactive Systems	2
19	An empirical evaluation of visuo-haptic feedback on physical reaching behaviors during 3D interaction in real and immersive virtual environments	Ebrahimi, E., Babu, S.V., Pagano, C.C., Jörg, S.	2016	Validation research	Device based	Visuo-haptic feedback	ACM Transactions on Applied Perception	25
20	Position paper: Shape Retrieval and 3D Gestural Interaction	Giachetti, A., Caputo, F.M., Carcangiu, A., Scateni, R., Spano, L.D.	2016	Opinion papers	Body Based	gesture	Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval, EG 3DOR	4
21	An investigation of leap motion based 3D manipulation techniques for use in egocentric viewpoint	Caggianese, G., Gallo, L., Neroni, P.	2016	Validation research	Body Based	Gesture	International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics	9
22	Elastic-Arm: Human-scale passive haptic feedback for augmenting interaction and perception in virtual environments	Achibet, M., Girard, A., Talvas, A., Marchal, M., Lecuyer, A.	2015	Solution proposal	Body Based	Haptic feedback	2015 IEEE Virtual Reality Conference, VR 2015 - Proceedings	47

ESTUDIO SISTEMÁTICO ESTILOS DE INTERACCIÓN EN ENTORNOS DE RV

23	Blow click: A non-verbal vocal input metaphor for clicking	Zielasko, D., Freitag, S., Rausch, D., (...), Weyers, B., Kuhleny, T.W.	2015	Validation research	Body Based	Non-Verbal Vocal Input Metaphor	SUI 2015 - Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Spatial User Interaction	8
24	An evaluation on two-handed and one-handed control methods for positioning object in immersive virtual environments	Osawa, N., Asai, K.	2015	Validation research	Body Based	Mid air gesture	IEICE Transactions on Information and Systems	0
25	Parameter estimation from motion tracking data	Antonya, C., Butnariu, S., Beles, H.	2015	Solution proposal	Body Based	gesture	International Conference on Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management	4
26	Are four hands better than two? Bimanual interaction for quadmanual user interfaces	Lubos, P., Bruder, G., Steinicke, F.	2014	Validation research	Body Based	gesture	SUI 2014 - Proceedings of the 2nd ACM Symposium on Spatial User Interaction	4
27	Analysis of direct selection in head-mounted display environments	Lubos, P., Bruder, G., Steinicke, F.	2014	Validation research	Device based	Direct Selection	IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2014, 3DUI 2014 - Proceedings	55
28	Poster: The effect of target size and force feedback on 3D selection within a co-located visual-haptic immersive virtual environment	Pawar, V.M., Steed, A.	2013	Validation research	Device based	visuo-haptic feedback	IEEE Symposium on 3D User Interface 2013, 3DUI 2013 - Proceedings	0
29	Poster: 3-Point++: A new technique for 3D manipulation of virtual objects	Nguyen, T.T.H., Duval, T.	2013	Validation research	Body Based Device Based	Pointing technique	IEEE Symposium on 3D User Interface 2013, 3DUI 2013 - Proceedings	5
30	Extended pie menus for immersive virtual environments	Gebhardt, S., Pick, S., Leithold, F., Hentschel, B., Kuhlen, T.	2013	Validation research	Device based	pointing gesture	IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	38
31	Efficient selection of multiple objects on a large scale	Stenholt, R.	2012	Validation research	Device based	Multiple object selection	Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology	9
32	Empirical usability evaluation of the Wii controller as an input device for the VirCA immersive virtual space	Komlódi, A., Józsa, E., Hercegfí, K., Kucsora, S., Borics, D.	2011	Validation research	Device based	Gesture	2011 2nd International Conference on Cognitive Infocommunications, CogInfoCom 2011	10

ESTUDIO SISTEMÁTICO ESTILOS DE INTERACCIÓN EN ENTORNOS DE RV

33	Adjustment and control methods for precise rotation and positioning of virtual object by hand	Osawa, N., Asai, K.	2010	Validation research	Body Based	Gesture	Proceedings - VRCAI 2010, ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Application to Industry	3
34	Context-driven interaction in immersive virtual environments	Frees, S.	2010	Solution proposal	Body Based	Context driven interaction	Virtual Reality	8
35	Piivert: Percussion-based interaction for immersive virtual environments	Berthaut, F., Hachety, M., Desainte-Catherine, M.	2010	Solution proposal	Device based	Gesture	3DUI 2010 - IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2010, Proceedings	6
36	Selection methods for interactive creation and management of objects in 3D immersive environments	Dunk, A., Haffegée, A., Alexandrov, V.	2010	Opinion papers	Device based	Gesture	Procedia Computer Science	9
37	Profiling the behaviour of 3D selection tasks on movement time when using natural haptic pointing gestures	Pawar, V.M., Steed, A.	2009	Validation research	Device based	Gesture	Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST	5
38	Efficient 3D pointing selection in cluttered virtual environments	Argelaguet, F., Andujar, C.	2009	Validation research	Device based	Gesture	IEEE Computer Graphics and Applications	43
39	Global hand pose estimation by multiple camera ellipse tracking	Usabiaga, J., Erol, A., Bebis, G., Boyle, R., Twombly, X.	2009	Solution proposal	Body Based	Gesture	Machine Vision and Applications	15
40	Advanced maintenance simulation by means of hand-based haptic interfaces	Nappi, M., Paolino, L., Ricciardi, S., Sebillio, M., Vitiello, G.	2009	Solution proposal	Device based	Gesture	Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)	2
41	Implementation and evaluation of a magic lens interface using a handheld device in an immersive virtual environment	Nappi, M., Paolino, L., Ricciardi, S., Sebillio, M., Vitiello, G.	2009	Validation research	Device based	pointing gesture	Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)	2
42	Short paper: 3-Hand manipulation of virtual objects	Aguerreche, L., Duval, T., Lécuyer, A.	2009	Solution proposal	Device based	Gesture	Proceedings of the Joint Virtual Reality Conference of EGVE - The 15th Eurographics Symposium on Virtual Environments, ICAT, EuroVR 2009	15

ESTUDIO SISTEMÁTICO ESTILOS DE INTERACCIÓN EN ENTORNOS DE RV

43	Toward a natural interface to virtual medical imaging environments	Gallo, L., De Pietro, G., Coronato, A., Marra, I.	2008	Solution proposal	Device based	Gesture Speech recognition	Proceedings of the Workshop on Advanced Visual Interfaces AVI	19
44	Two-handed and one-handed techniques for precise and efficient manipulation in immersive virtual environments	Osawa, N.	2008	Validation research	Device based	Gesture	International Symposium on Visual Computing	10
45	Advantages of velocity-based scaling for distant 3D manipulation	Wilkes, C., Bowman, D.A.	2008	Validation research	Device based	mid air gesture	Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST	18
46	Cooperative object manipulation in collaborative virtual environments	Pinho, M.S., Bowman, D.A., Dal Sasso Freitas, C.M.	2008	Validation research	Body Based	mid air gesture	Journal of the Brazilian Computer Society	26
47	Dwell-based pointing in applications of human computer interaction	Müller-Tomfelde, C.	2007	Validation research	Device based	Pointing technique	IFIP Conference on Human-Computer Interaction	21
48	Multimodal interaction metaphors for manipulation of distant objects in immersive virtual environments	Steinicke, F., Ropinski, T., Hinrichs, K.	2005	Solution proposal	Device based	Pointing technique	13th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2005, WSCG'2005	6
49	Towards usable VR: An empirical study of user interfaces for Immersive virtual environments	Lindeman, R.W., Sibert, J.L., Hahn, J.K.	1999	Validation research	Device based	Gesture	Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings	81
50	Moving objects in space: Exploiting proprioception in virtual-environment interaction	Mine, M.R., Brooks, F.P., Sequin, C.H.	1997	Validation research	Device based	pointing gesture	SIGGRAPH '97: Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques	75

ESTUDIO SISTEMÁTICO DE ARTÍCULOS SOBRE TÉCNICAS PARA GENERAR WORKSPACE AWARENESS EN ENTORNOS INMERSIVOS

ID	Paper	Authors	Year	Maturity	Awareness Framework	Proposed Tool	Representation of the Workspace	Source	Citations
1	Designing to support situation awareness across distances: An example from a scientific laboratory	Sonnenwald, D.H., Maglaughlin, K.L., Whitton, M.C.	2004	Validation Research	Framework proposal	Model for awareness	-	Information Processing and Management	67
2	A prediction algorithm for haptic collaboration	Boukerche, A., Shirmohammadi, S., Hossain, A.	2005	Solution Proposal	Who, What	Haptic feedback	Shared Workspace	International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and their Applications	4
3	Carpeno: Interfacing remote collaborative virtual environments with table-top interaction	Regenbrecht, H., Haller, M., Hauber, J., Billingham, M.	2006	Validation Research	Who	Human projection	Shared Experience	Virtual Reality	23
4	AMMP-Vis: A collaborative virtual environment for molecular modeling	Chastine, J.W., Brooks, J.C., Zhu, Y., (...), Harrison, R.W., Weber, I.T.	2006	Solution Proposal	Who, where	Virtual hands, 3D viewport	Shared Workspace	Virtual Reality Software and Technology (VRST)	23
5	ConnectBoard: A remote collaboration system that supports gaze-aware interaction and sharing	Kar-Han Tan, Ian Robinson, Ramin Samadani, Bowon Lee, Dan Gelb, Alex Vorbau, Bruce Culbertson, John Apostolopoulos	2009	Solution Proposal	Where	Gaze ray	Shared Workspace	IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing, MMSP	20
6	An asymmetric 2D Pointer / 3D Ray for 3D Interaction within Collaborative Virtual Environments	Duval, T., Fleury, C.	2009	Validation Research	Where	Pointer	Shared Workspace	International Conference on Web3D Technology	18
7	An experimental study of collaborative interaction tasks supported by awareness and multimodal feedback	García, A.S., Molina, J.P., González, P., Martínez, D., Martínez, J.	2009	Validation Research	Who, What, Where	Avatar, vibrations, sounds	Shared Experience	International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry	4
8	XPointer: An X-ray telepointer for relaxed-space-time WYSIWIS and unconstrained collaborative 3D design systems	Agustina, Sun, C.	2013	Solution Proposal	Where	Frustum view, pointer	Shared Experience	CSCW	9
9	Mutual awareness in collaborative design: An Augmented Reality integrated telepresence system	Wang, X., Love, P.E.D., Kim, M.J., Wang, W.	2014	Solution Proposal	Who, What, Where	Virtual hands	Shared Workspace	Computers in Industry	52
10	Photoportals: Shared references in space and time	Kunert, A., Kulik, A., Beck, S., Froehlich, B.	2014	Validation Research	Where	Viewport	Shared Experience	CSCW	21
11	3D-Board: A wholebody remote collaborative whiteboard	Zillner, J., Rhemann, C., Izadi, S., Haller, M.	2014	Validation Research	Where	Avatar	Shared Workspace	UIST	20
12	Providing Information on the Spot: Using Augmented Reality for Situational Awareness in the Security Domain	Lukosch, S., Lukosch, H., Datcu, D., Cidota, M.	2015	Validation Research	Framework proposal	Visual cues of the objects in the real world	Shared Experience	CSCW	35

13	Candid interaction: Revealing hidden mobile and wearable computing activities	Ens, B., Grossman, T., Anderson, F., Matejka, J., Fitzmaurice, G.	2015	Solution Proposal	Who, What, Where	Notifications	Shared Workspace	UIST	21
14	A 3D collaborative virtual environment to integrate immersive virtual reality into factory planning processes	Pick, S., Gebhardt, S., Weyers, B., Hentschel, B., Kuhlen, T.	2015	Solution Proposal	What, Where	Viewport, annotation	Shared Experience	International Workshop on Collaborative Virtual Environments	8
15	The dBoard: a Digital Scrum Board for Distributed Software Development	Esbensen, M., Tell, P., Cholewa, J.B., Pedersen, M.K., Bardram, J.	2015	Validation Research	Who, where	Virtual window	Shared Workspace	International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces	7
16	Toward an enhanced mutual awareness in asymmetric CVE Open Access	Morgan Le Chenechal, Sebastien Chalme, Thierry Duval, Jerome Royan, Valerie Gouranton and Bruno Arnaldi	2015	Validation Research	Who, Where	Frustum view	Shared Experience	International Conference on Collaboration Technologies and Systems	5
17	Effects of arm embodiment on implicit coordination, co-presence, and awareness in mixed-focus distributed tabletop tasks	Doucette, A., Gutwin, C., Mandryk, R.	2015	Validation Research	Who	Arm embodiment	Shared Workspace	Graphics Interface	4
18	Intermodal audio-haptic intermodal display: improvement of communication and interpersonal awareness for collaborative search tasks	Ammi, M., Katz, B.F.G.	2015	Validation Research	What	Audio, Haptic	Shared Workspace	Virtual Reality	1
19	Cooperation in virtual environments with individual views	Kusztner, V., Brunnett, G., Pietschmann, D.	2015	Solution Proposal	Who, What	viewport, haptic	Shared Workspace	IEEE VR	0
20	Workspace awareness in collaborative AR using HMDs: A user study comparing audio and visual notifications	Cidota, M., Lukosch, S., Datcu, D., Lukosch, H.	2016	Validation Research	What, Where	Frustum view, notifications	Shared Workspace	Augmented Human International Conference (AH)	8
21	A Framework for Understanding and Designing Telepresence	Irene Rae, Gina Venolia, John C. Tang, David Molnar	2017	Validation Research	Framework proposal	Model for awareness	-	CSCW	43
22	Collaboration in 360° videochat: Challenges and opportunities	Tang, A., Fakourfar, O., Neustaedter, C., Bateman, S.	2017	Validation Research	Where	Viewport	Shared Workspace	DIS Conference on Designing Interactive Systems	29
23	CollaVR: Collaborative in-headset review for VR video	Nguyen, C., DiVerdi, S., Hertzmann, A., Liu, F.	2017	Validation Research	Who, Where	Viewport, annotation	Shared Workspace	UIST	24

24	Mini-Me: An Adaptive Avatar for Mixed Reality Remote Collaboration	Thammathip Piumsombon, Gun A. Lee, Jonathon D. Hart, Barrett Ens, Robert W. Lindeman, Bruce H. Thomas and Mark Billingham	2018	Validation Research	Where	Pointer	Shared Experience	CHI	75
25	NotifiVR: Exploring Interruptions and Notifications in Virtual Reality	Sarthak Ghosh, Lauren Winston, Nishant Panchal, Philippe Kimura-Thollander, Jeff Hotnog, Douglas Cheong, Gabriel Reyes, and Gregory D. Abowd	2018	Validation Research	Who	notification s	Shared Experience	IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	21
26	SpaceTime: Enabling fluid individual and collaborative editing in virtual reality	Xia, H., Herscher, S., Perlin, K., Wigdor, D.	2018	Validation Research	Who, What, Where	Avatar, viewport	Shared Experience	UIST	11
27	Situation-dependent remote AR collaborations: Image-based collaboration using a 3D perspective map and live video-based collaboration with a synchronized VR mode	Choi, S.H., Kim, M., Lee, J.Y.	2018	Validation Research	What	Annotations	Shared Workspace	Computers in Industry	11
28	Efficient information sharing techniques between workers of heterogeneous tasks in 3D CVE	Thanyadit, S., Punpongson, P., Pong, T.-C.	2018	validation Research	Who, Where	Viewport	Shared Workspace	CSCW	5
29	No longer alone: Finding common ground in collaborative virtual environments	Liu, L., Kaplan, A.	2018	Validation Research	Who	Verbal vs non verbal	No specified	Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing	0
30	Mixed reality remote collaboration combining 360 video and 3D reconstruction	Teo, T., Lawrence, L., Lee, G.A., Billingham, M., Adcock, M.	2019	Validation Research	Where	360 Viewport	Shared Workspace	CHI	30
31	The effects of sharing awareness cues in collaborative mixed reality	Piumsombon, T., Dey, A., Ens, B., Lee, G., Billingham, M.	2019	Validation Research	Where	Virtual hands, Head gaze, eye gaze, field of view	Shared Experience	Frontiers Robotics AI	24
32	Multi-ray jumping: Comprehensible group navigation for collocated users in immersive virtual reality	Weissker, T., Kulik, A., Froehlich, B.	2019	Validation Research	Where	Pointer	Shared Experience	IEEE VR	11
33	Conveying spatial awareness cues in xR collaborations	Irlitti, A., Piumsombon, T., Jackson, D., Thomas, B.H.	2019	Validation Research	Where	Arrow, path, glow, radial, World in miniature	Shared Workspace	IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	7

34	Warping deixis: Distorting gestures to enhance collaboration	Sousa, M., Dos Anjos, R.K., Mendes, D., Billinghurst, M., Jorge, J.	2019	Validation Research	Where	Distorting pointing	Shared Experience	CHI	7
35	Comparing human factors for augmented reality supported single-user and collaborative repair operations of industrial robots	Doris Aschenbrenner*, Florian Leutert, Argun Çençen, Jouke Verlinden, Klaus Schilling, Marc Latoschik and Stephan Lukosch	2019	Validation Research	What	Annotations	Shared Workspace	Frontiers Robotics AI	7
36	Gaze direction visualization techniques for collaborative wide-Area model-free augmented reality	Li, Y., Lu, F., Lages, W.S., Bowman, D.A.	2019	Validation Research	Where	Gaze ray	Shared Workspace	SUI: ACM Conference on Spatial User Interaction	5
37	Improving information sharing and collaborative analysis for remote geospatial visualization using mixed reality	Mahmood, T., Fulmer, W., Mungoli, N., Huang, J., Lu, A.	2019	Validation Research	Who	Avatar	Shared Workspace	IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR	5
38	Challenges and design considerations for multimodal asynchronous collaboration in VR	Chow, K., Coyiuto, C., Nguyen, C., Yoon, D.	2019	Validation Research	Who	Avatar	Shared Experience	CSCW	4
39	Multi-Window 3D Interaction for Collaborative Virtual Reality	Kunert, A., Weissker, T., Froehlich, B., Kulik, A.	2020	Validation Research	Who, Where	Viewport, Avatar representati on	Shared Workspace	IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	8
40	The combination of visual communication cues in mixed reality remote collaboration	Kim, S., Lee, G., Billinghurst, M., Huang, W.	2020	Validation Research	Who, where	Hand, pointer	Shared Workspace	Journal on Multimodal User Interfaces	3
41	An Augmented Reality-Based Method for Remote Collaborative Real-Time Assistance: from a System Perspective	Fang, D., Xu, H., Yang, X., Bian, M.	2020	Validation Research	What	Annotations	Shared Workspace	Mobile Networks and Applications	3
42	CollaboVR: A Reconfigurable Framework for Creative Collaboration in Virtual Reality	He, Z., Du, R., Perlin, K.	2020	Validation Research	Who, what	Avatar, Annotations	Shared Experience	IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality	2
43	Improving Humans' Ability to Interpret Deictic Gestures in Virtual Reality	Mayer, S., Reinhardt, J., Schweigert, R., (...), Wolf, K., Henze, N.	2020	Validation Research	Where	Deictic gestures	Shared Experience	CHI	2
44	"Oh, that's where you are!" - Towards a Hybrid Asymmetric Collaborative Immersive Analytics System	Reski, N., Alissandrakis, A., Tyrkkö, J., Kerren, A.	2020	Solution Proposal	Who, What, Where	Deictic gestures, hand avatar, annotations	Shared Workspace	Virtual Reality	0
45	Interactive auditory mediated reality: Towards user-defined personal soundscapes	Haas, G., Stemasov, E., Rietzler, M., Rukzio, E.	2020	Solution Proposal	What	Audio	Shared Experience	ACM Designing Interactive Systems Conference	0

46	Shared surfaces and spaces: Collaborative data visualisation in a co-located immersive environment	Benjamin Lee, Xiaoyun Hu, Maxime Cordeil, Arnaud Prouzeau, Bernhard Jenny and Tim Dwyer	2021	Validation Research	Who	Avatar	Shared Experience	IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	4
----	--	---	------	---------------------	-----	--------	-------------------	--	---