



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA

# **DESARROLLO DE SISTEMAS DE REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA PARA LA VISUALIZACIÓN DE ENTORNOS ACROFÓBICOS. ESTUDIOS COMPARATIVOS ENTRE ELLOS**

Presentado por:

David C. Pérez López

Dirigido por:

M<sup>a</sup> Carmen Juan Lizandra

Valencia, 2009



# Índice

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	11
1.2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....	14
1.3 ESTRUCTURA .....	16
1.4 CONCLUSIONES .....	17
<b>2 TERAPIA VIRTUAL, REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA. ANTECEDENTES .....</b>	<b>19</b>
2.1 REALIDAD AUMENTADA .....	19
2.2 REALIDAD AUMENTADA VS. REALIDAD VIRTUAL .....	20
2.3 TERAPIA VIRTUAL EN TRASTORNOS DE ANSIEDAD .....	23
2.3.1 <i>Introducción</i> .....	23
2.3.2 <i>Inmersión</i> .....	25
2.3.3 <i>Presencia y variables mediadoras</i> .....	28
2.3.4 <i>Terapia virtual</i> .....	28
2.3.5 <i>Trastornos de ansiedad</i> .....	30
2.4 APLICACIONES DE RV PARA EL TRATAMIENTO DE LA ACROFOBIA .....	36
2.5 CONCLUSIONES .....	45
<b>3 “FOTO NAVEGABLE” .....</b>	<b>47</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	47
3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA .....	47
3.3 ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS A UTILIZAR .....	48
3.3.1 <i>ARToolKit</i> .....	48
3.3.2 <i>Brainstorm eStudio</i> .....	50
3.4 DESARROLLO DEL SISTEMA .....	52
3.5 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS MATERIALES .....	59
3.6 REQUISITOS TÉCNICOS .....	63
3.7 PROTOCOLO DEL ESTUDIO .....	65
3.8 RESULTADOS .....	67
3.8.1 <i>No Expertos</i> .....	68
3.8.2 <i>Expertos</i> .....	72
3.9 CONCLUSIONES .....	75
<b>4 HABITACIÓN CON AGUJERO, RV VS. RA .....</b>	<b>77</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	77
4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS .....	77
4.3 DESARROLLO DE LOS SISTEMAS .....	78
4.3.1 <i>Estructura común</i> .....	79
4.3.2 <i>Sistema de Realidad Aumentada</i> .....	80
4.3.3 <i>Sistema de Realidad Virtual</i> .....	83
4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS MATERIALES .....	85
4.5 REQUISITOS TÉCNICOS .....	88
4.6 PROTOCOLO DEL ESTUDIO .....	89
4.7 RESULTADOS .....	92
4.7.1 <i>Conclusiones</i> .....	105
4.8 CONCLUSIONES .....	106
<b>5 HABITACIÓN CON AGUJERO, HMD VS. CAVE Y “FOTO NAVEGABLE” EN CAVE .....</b>	<b>109</b>
5.1 INTRODUCCIÓN .....	109
5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS .....	109

5.3	ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS A UTILIZAR .....	110
5.3.1	CAVE.....	110
5.4	DESARROLLO DE LOS SISTEMAS.....	112
5.4.1	Visualización HMD, habitación con agujero .....	113
5.4.2	Visualización CAVE, habitación con agujero.....	113
5.4.3	Visualización CAVE, “foto navegable”.....	116
5.5	DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS MATERIALES.....	118
5.5.1	Habitación con agujero .....	118
5.5.2	“Foto navegable” en CAVE.....	121
5.6	REQUISITOS TÉCNICOS.....	122
5.7	PROTOCOLO DEL ESTUDIO.....	125
5.7.1	Introducción.....	125
5.7.2	HMD vs. CAVE.....	126
5.7.3	“Foto navegable” en CAVE.....	128
5.8	RESULTADOS .....	129
5.8.1	Habitación con Agujero, HMD vs. CAVE.....	130
5.8.2	”Foto navegable” en CAVE.....	144
5.9	CONCLUSIONES.....	148
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>151</b>
6.1	CONCLUSIONES.....	151
6.1.1	“Foto navegable”.....	152
6.1.2	Habitación con agujero, RV vs. RA .....	153
6.1.3	Habitación con agujero, HMD vs. CAVE.....	156
6.1.4	“Foto navegable” en CAVE.....	158
6.1.5	Resumen.....	159
6.2	CONTRIBUCIONES DE LA TESIS.....	161
6.3	TRABAJOS FUTUROS.....	162
6.4	PUBLICACIONES RELACIONADAS CON LA TESIS.....	164
6.4.1	Revistas.....	164
6.4.2	Congresos.....	164
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>165</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>176</b>
I.	CUESTIONARIOS DE ACROFOBIA .....	176
II.	CUESTIONARIOS SOBRE PRESENCIA.....	179
III.	CUESTIONARIO DE JUICIO DE REALIDAD (CPYJR) .....	184
IV.	CUESTIONES SOBRE LA EXPERIENCIA.....	187
V.	PREGUNTAS DE OPINIÓN ABIERTA.....	189
VI.	CUESTIONARIO DE PERSONALIDAD .....	190
VII.	CUESTIONARIO DE ABSORCIÓN .....	193

## Agradecimientos

En primer lugar me gustaría expresar mi agradecimiento al grupo de investigación LabHuman, por ofrecerme la oportunidad y medios para desarrollar este trabajo. Allí, encontré un excelente grupo de profesionales, entre los que tengo que destacar a su director, Mariano Alcañiz, el cual me ha brindado siempre su apoyo.

También me gustaría expresar un especial agradecimiento a M. Carmen Juan, mi directora de tesis, por su comprensión, su inestimable dirección, sus valiosas correcciones, sugerencias, y su apoyo durante el desarrollo de esta investigación. Sin su ayuda, esta tesis no se habría realizado.

Asimismo quiero agradecer la ayuda de Rosa Baños y Cristina Botella, en el diseño de los protocolos de validación de los estudios presentados en este documento, sin su ayuda, esta tesis no habría sido posible.

Igualmente, agradecer a la Universidad Politécnica de Valencia la oportunidad de utilizar su CAVE.

En general, a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.



## Resumen

Esta tesis se enmarca en la aplicación de Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA) para el desarrollo de sistemas que permitan el tratamiento de trastornos psicológicos, en particular a la acrofobia. La acrofobia es un miedo intenso a los lugares elevados, lo que conlleva la evitación de situaciones relacionadas con la altura. En este trabajo se han desarrollado y evaluado sistemas para la visualización de entornos acrofóbicos basados en tecnologías diferentes, como son la RV y la RA. También se han utilizado y comparado distintos dispositivos de visualización.

El tratamiento tradicional de la acrofobia es la exposición “in vivo”, en la que el paciente se expone a una serie de estímulos que le provocan ansiedad. Sin embargo, la terapia de exposición mediante RV o RA proporciona una serie de ventajas respecto a la terapia tradicional. Si un entorno virtual puede provocar miedo y activar las estructuras que provocan ansiedad, la terapia de exposición mediante RV puede funcionar como un modo alternativo de inducir exposición. Diferentes casos de estudio han demostrado que la acrofobia puede ser tratada con éxito mediante terapia de exposición basada en RV [Choi01] [Rothbaum95a]. Respecto a la RA, investigaciones recientes, plantean la posibilidad de inducir exposición mediante RA [Juan05] [Botella05a] [Juan06b] [Juan07].

En la presente tesis se establecieron tres hipótesis de trabajo:

- Un sistema de RA para la visualización de entornos acrofóbicos provocará igual o mayor sensación de presencia y ansiedad que un sistema de RV similar.
- Un sistema de RA con fotografía inmersiva provocará un nivel de presencia alto ( $s=5$  en una escala de 1 a 7).
- Los niveles de presencia y ansiedad provocados por un sistema de RV o RA para la simulación de entornos acrofóbicos están correlacionados.

Para comprobar las hipótesis, se han desarrollado un total de tres estudios con usuarios sin fobia, para los que ha sido necesario desarrollar cinco entornos acrofóbicos, dos basados en RA y tres en RV. Dichos estudios fueron diseñados con la colaboración del Departamento de Psicología Básica y Psicobiología de la Universitat Jaume I de Castellón, y con el Departamento de Personalidad, Evaluación y Tratamientos Psicológicos de la Universidad de Valencia. En el primero de los citados estudios (“Foto navegable”), se desarrolló un sistema de RA, combinado con la técnica de fotografía inmersiva. El sistema dispone de diferentes niveles de altura, desde un primer piso hasta una azotea de un piso trece. En el estudio se compara los niveles de presencia para el sistema mostrando una escena de una escalera a cierta altura, y el entorno real donde se encuentra dicha escalera. Los resultados

demuestran que los usuarios se sienten muy presentes en el entorno desarrollado (aunque no tanto como en el entorno real). Destacar que este sistema es el primero que utiliza la técnica de fotografía inmersiva combinada con RA para la visualización de entornos acrofóbicos.

En el segundo de los estudios (Habitación con agujero, RV vs. RA), se desarrollaron dos aplicaciones que simulan la situación en la que aparece un agujero en el suelo de la habitación en la que se encuentra el usuario. Una aplicación se desarrolló íntegramente utilizando tecnología de RV, mientras que la segunda se basa en RA. En este caso, el estudio compara los niveles de presencia y ansiedad de los usuarios durante la utilización de ambos sistemas. Los resultados permiten afirmar que los entornos desarrollados han provocado presencia y ansiedad en los usuarios, observándose una correlación significativa entre dichas variables. Los niveles de presencia y ansiedad obtenidos son muy similares en ambos sistemas. Este estudio es el primero que compara y valida sistemas de RA y RV similares para la visualización de entornos acrofóbicos.

En el tercero de los estudios (Habitación con agujero, HMD vs. CAVE y “Foto navegable” en CAVE), se introduce un entorno de visualización diferente. Todos los sistemas anteriores utilizan como dispositivo de visualización cascos de RV. En este caso, se introduce como dispositivo de visualización un Computer-Assisted Virtual Environment (CAVE). Los desarrollos realizados se basan en adaptar las aplicaciones de los estudios anteriores al nuevo dispositivo de visualización. Al igual que en los casos anteriores, se realiza un estudio con usuarios sin fobia, comparando los niveles de presencia y ansiedad de los usuarios al visualizar los entornos en el CAVE o en el casco de RV. Respecto a la primera parte de este estudio (Habitación con agujero, HMD vs. CAVE), los resultados demostraron que los entornos provocaban presencia y ansiedad en los usuarios, observándose de nuevo una correlación significativa entre dichas variables. El entorno visualizado en casco de RV no provocaba niveles de presencia/ansiedad elevados, sin embargo el sistema visualizado en CAVE provocaba niveles mayores. Hasta donde sabemos, éste es el primer trabajo en el que se ha estudiado (y se ha demostrado) una correlación significativa entre presencia y ansiedad en entornos CAVE. Destacar que este trabajo es uno de los primeros que compara sistemas para la visualización de entornos acrofóbicos como son un casco de RV y un CAVE. Respecto a la segunda parte del estudio (“Foto navegable” en CAVE), se estudió de forma preliminar la posible utilización de la fotografía inmersiva en un CAVE. Los resultados demostraron que el sistema provocaba ansiedad en los usuarios, aunque ésta no era elevada, asimismo, los niveles de presencia obtenidos tampoco eran óptimos. Al igual que en los casos anteriores, se observa una correlación significativa entre presencia y ansiedad.

Por último, cabe preguntarse sobre la posible utilización terapéutica de los sistemas desarrollados. Como ya se ha comentado, la acrofobia puede ser tratada con



éxito mediante terapia de exposición basada en RV [Choi01] [Rothbaum95a]. También se ha demostrado la potencialidad terapéutica de la exposición basada en RA, para el tratamiento de otras fobias específicas [Juan05] [Botella05] [Juan06a] [Juan06b] [Juan07]. Además, la RA, presenta una serie de ventajas adicionales, que la hacen más atractiva para terapia, tales como, cuando el usuario puede utilizar elementos reales para interactuar con el sistema, como por ejemplo sus manos o sus pies, y cuando se puede reproducir o usar un entorno real [Juan05]. Por otro lado, los sistemas desarrollados en la presente tesis (RA y RV), han provocado cierto nivel de presencia y ansiedad en usuarios sin fobia. Por tanto, estos resultados y los antecedentes en terapia de exposición mediante RV y RA, parecen indicar que dichos sistemas podrían ser efectivos en el tratamiento de la acrofobia.



# 1 Motivación y objetivos

## 1.1 Introducción

En este trabajo se pretende desarrollar y evaluar sistemas para la visualización de entornos acrofóbicos basados en tecnologías diferentes, como son la Realidad Virtual (RV) y la Realidad Aumentada (RA). También se utilizarán distintos dispositivos de visualización.

La acrofobia es un miedo intenso a los lugares elevados. El ‘Manual de diagnóstico y estadística de los trastornos mentales’ [APA00] la clasifica dentro de los trastornos de ansiedad como una fobia específica, es decir, un miedo intenso y específico a situaciones y objetos concretos. En primer lugar, la persona que sufre acrofobia padece un temor marcado, persistente, excesivo e irrazonable que provoca la evitación de cualquier situación que implique altura, su mayor miedo es llegar a caer. En segundo lugar, la exposición a esas alturas provoca casi invariablemente una respuesta inmediata de ansiedad, que puede adoptar la forma de un ataque de pánico. Por último la persona reconoce que su miedo es excesivo, interfiriendo significativamente en su rutina normal [Vander00].

Un sistema de RV es aquél en el que todos los elementos que lo componen son sintéticos y permiten una interacción en tiempo real. Mientras que en los sistemas de RA el mundo real se enriquece con la inclusión de elementos virtuales. Estos elementos virtuales son generados mediante ordenador y coexisten con el mundo real en un mismo espacio. Además de combinar objetos virtuales y reales en un entorno real, la RA se ejecuta interactivamente y en tiempo real, posicionando de forma adecuada los elementos virtuales en el entorno real [Azuma01].

Tradicionalmente, el tratamiento de fobias y otros trastornos psicológicos incluyen la exposición gradual del paciente ante estímulos que le provocan ansiedad. Dichos estímulos pueden ser generados a través de la imaginación del paciente, “exposición en imaginación”, u obteniéndolos directamente de la realidad, “exposición in vivo” [Lozano03]. El tratamiento más común para la acrofobia es la exposición “in vivo” gradual, en la que se rompe el comportamiento de evitación exponiendo al paciente a una serie de estímulos ordenados de forma jerárquica. De este modo el paciente se habitúa y el miedo decrece progresivamente [Schuemie00].

Sin embargo, tanto la RV como la RA se presentan como tecnologías interesantes para la terapia ya que se puede diseñar la situación según los elementos clave de un problema concreto, generando así en la persona las mismas reacciones y emociones que las que experimentaría en una situación similar en el mundo real.

Se pueden generar diferentes ambientes (objetos, lugares o situaciones) ante los que el paciente sienta rechazo pero, al ser generados por ordenador, se evitará la necesidad de tener que desplazarse a esos mismos lugares, en ocasiones, de difícil acceso, o tener que esperar a que se den en la realidad esas situaciones problemáticas, que normalmente no son fácilmente reproducibles. Por contra, la consulta del psicólogo se convertirá en un lugar en donde la confidencialidad del paciente no se pondrá en peligro. Además, en estos entornos el terapeuta tiene gran control y puede manipularlos hasta cierto punto.

Adicionalmente, este control por parte del psicólogo permitirá realizar una exposición progresiva, avanzando poco a poco, desde situaciones fáciles donde el paciente no sienta ansiedad hasta las situaciones más complicadas, donde el psicólogo va comprobando la capacidad del paciente ante los estímulos y modifica éstos en mayor o menor grado.

Los objetos virtuales podrán hacerse todo lo específicos que se quieran, es decir, se pueden conseguir auténticos contextos terapéuticos, ambientes y objetos con aspectos o condiciones directamente relacionados con la fobia o trastorno a tratar y que incluyan información vital para el paciente y para su terapia. Podría incluso, especificarse hasta el extremo de adecuarlos a las características específicas de un paciente.

Al disponer siempre del ambiente y de los objetos, la terapia puede ser experimentada por el paciente tantas veces como estime oportuno el psicólogo, al ritmo y nivel de dificultad que él considere. Esta circunstancia permitirá al paciente experimentar y sentir varias veces las implicaciones y consecuencias de esas situaciones problemáticas, hasta llegar a perderles el miedo y así poder enfrentarse a ellas. Esta reiteración repercutirá en el grado de dominio que experimentará el paciente, cuyo incremento le generará unas expectativas de autoeficacia personal que darán lugar a una importante potenciación de la eficacia del tratamiento.

Además, se pueden explotar las capacidades de almacenamiento de un sistema informático, permitiendo guardar, si fuera necesario en la aplicación que se esté empleando, información referente a las actitudes y comportamientos que haya tenido el paciente durante la terapia. Estos métodos, frente a los tradicionales, facilitan, agilizan y mejoran considerablemente las posteriores labores de estudio, análisis y evaluación personalizada de los pacientes, a realizar por el psicólogo.

Adicionalmente, tanto la RV como la RA proporcionan la siguiente serie de ventajas extra:

- Estimulan varias modalidades sensoriales.
- Permiten al terapeuta saber en cada momento lo que el paciente está viendo, y por tanto saber con mayor precisión qué estímulo está provocando la respuesta.
- Ofrecen un grado de exposición a aquellas personas que se niegan a someterse a este tipo de técnica (exposición a una determinada situación) porque les resulta demasiado difícil.
- Ofrecen un mayor grado de confidencialidad, en el sentido de que el tratamiento se hace en la consulta.
- Permiten diseñar a medida la jerarquía de exposición.
- Son seguras, en tanto que la persona (y el terapeuta) controlan en todo momento lo que ocurre en el ambiente.
- Se puede repetir la exposición a una situación cuantas veces sea necesario.

Desde la década de los noventa, se ha incorporado la RV al campo del tratamiento de fobias y otros trastornos psicológicos. Se ha demostrado que la exposición mediante RV puede ser tanto o más efectiva que la exposición “in vivo” tradicional [Rothbaum00] [Emmelkamp01] [Emmelkamp02] [North02] [Rothbaum02] [Botella04a].

Si un entorno virtual puede provocar miedo y activar las estructuras que provocan ansiedad, la terapia de exposición mediante RV puede funcionar como un modo alternativo de inducir exposición. Paralelamente, se plantea la posibilidad de inducir exposición mediante RA, es una línea de investigación novedosa donde destaca el trabajo desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia por Juan et al. [Juan05] [Botella05a] [Juan06b] [Juan07], que es pionero en el desarrollo de sistemas de RA para el tratamiento de distintos trastornos psicológicos. En resumen, el uso de las nuevas tecnologías puede ayudar a aumentar la utilidad clínica de algunas de las técnicas terapéuticas de las que se dispone actualmente.

Como ya se ha comentado, en esta tesis se pretende desarrollar y validar sistemas para la visualización de entornos acrofóbicos, así se presentan tres estudios para los que ha sido necesario desarrollar cinco aplicaciones diferentes. Si estos sistemas son capaces de provocar niveles presencia y ansiedad “suficientes” en usuarios sin fobia, entonces podrían ser útiles en el tratamiento de la acrofobia.

En el primero de dichos estudios, la “Foto navegable”, se desarrolla un sistema de RA, combinado con la técnica de fotografía inmersiva, para la visualización de entornos acrofóbicos. Este sistema es el primero que combina la fotografía inmersiva con la RA para este propósito. El sistema dispone de diferentes niveles de altura, desde un primer piso hasta una azotea de un piso trece. En el estudio se compara los

niveles de presencia para el sistema mostrando una escena de una escalera a cierta altura, y el entorno real donde se encuentra dicha escalera.

En el segundo de los estudios, se desarrollan dos aplicaciones para la visualización de entornos acrofóbicos, las cuales simulan la situación en la que aparece un agujero en el suelo de la habitación en la que se encuentra el usuario. Una aplicación se ha desarrollado íntegramente utilizando tecnología de RV, mientras que la segunda se basa en RA. En este caso se ha realizado un estudio con usuarios sin fobia para comparar los niveles de presencia y ansiedad de éstos durante la utilización de ambos sistemas. Se trata del primer trabajo en el que se comparan y validan sistemas de RA y RV similares para la visualización de entornos acrofóbicos.

En el tercero de los estudios, se introduce un entorno de visualización diferente a los de los casos anteriores. Todos los sistemas anteriores utilizan como dispositivo de visualización cascos de RV. En este tercer estudio se introduce como dispositivo de visualización un Computer-Assisted Virtual Environment (CAVE). Los desarrollos realizados se basan en adaptar las aplicaciones de los estudios anteriores al nuevo dispositivo de visualización. Al igual que en los casos anteriores, se realiza un estudio con usuarios sin fobia, comparando los niveles de presencia y ansiedad de los usuarios al visualizar los entornos en el CAVE o en el casco de RV. Se trata de uno de los primeros estudios comparativos de sistemas para la visualización de entornos acrofóbicos que utilizan tecnologías de visualización diferentes.

Adicionalmente, en el segundo y tercer estudio se evalúa la posible existencia de una correlación significativa entre las variables que se analizaban, presencia y ansiedad. Hasta donde sabemos, en lo referente al tercer estudio, éste es el primer trabajo en el que se ha estudiado (y se ha demostrado) dicha correlación en CAVE.

## **1.2 Hipótesis y objetivos**

Las hipótesis de trabajo son las siguientes:

- Un sistema de RA para la visualización de entornos acrofóbicos provocará igual o mayor sensación de presencia y ansiedad que un sistema de RV similar.
- Un sistema de RA con fotografía inmersiva provocará un nivel de presencia alto ( $s=5$  en una escala de 1 a 7)
- Los niveles de presencia y ansiedad provocados por un sistema de RV o RA para la simulación de entornos acrofóbicos están correlacionados.

El objetivo fundamental de la presente tesis es el desarrollo y validación de sistemas para la visualización de entornos acrofóbicos, basados en RV y RA, utilizando diversos dispositivos de visualización. A continuación se enumeran los objetivos principales del trabajo:

- Desarrollar y comparar sistemas basados en Realidad Aumentada con entornos reales.
- Desarrollar y comparar sistemas basados en Realidad Virtual y Realidad Aumentada.
- Desarrollar y comparar sistemas visualizados sobre dispositivos de visualización diferentes.
- Analizar detalladamente los resultados.

Como objetivos secundarios se plantean los siguientes:

- Conseguir que los sistemas funcionen en tiempo real. El usuario debe poder interactuar y manejar todos los sistemas en todo momento durante la exposición sin retrasos visuales aparentes.
- Diseñar un sistema de navegación no tradicional para los sistemas de RV, de forma que resulte intuitivo para el usuario, a la vez que innovador.
- Conseguir el menor 'jitter' posible en los elementos virtuales superpuestos en el sistema de RA (minimizar el parpadeo).
- Realizar pruebas con un número mínimo de usuarios.
- Inducir en los usuarios un elevado grado de presencia/ansiedad en todos los sistemas.
- Conseguir sensación de estereoscopía en todos los sistemas.
- Posibilitar que el supervisor de la prueba/terapeuta vea la misma escena que el usuario y al mismo tiempo.
- Proporcionar al supervisor de la prueba/terapeuta un sistema de control del entorno de forma remota.
- Hacer posible que el supervisor de la prueba/terapeuta controle todos los parámetros que se refieran a la experiencia "acrofóbica".
- Estimular al usuario con sonidos que acompañen a los elementos virtuales.

### 1.3 Estructura

Este documento se ha dividido en seis capítulos más la bibliografía y los anexos:

- En el primero de ellos, *Motivación y objetivos*, presenta la motivación de la tesis, introduciendo el campo de aplicación dónde se enmarca el estudio realizado (RV y RA aplicada a tratamientos psicológicos), también se exponen las hipótesis de trabajo y los objetivos perseguidos.
- En el segundo capítulo, *Terapia Virtual, Realidad Virtual y Aumentada. Antecedentes*, se presentan las tecnologías utilizadas (RV y RA) para el desarrollo de los sistemas implementados en la presente tesis. También se introducen los trastornos de ansiedad y su tratamiento tradicional, así como el basado en la aplicación de RV o RA. Por último, se presentan los trabajos realizados hasta la fecha en estas líneas.
- El tercer capítulo, *“Foto Navegable”*, describe el desarrollo de un sistema de RA basado en fotografía inmersiva para la visualización de entornos acrofóbicos, los materiales empleados, así como los requisitos técnicos necesarios para la ejecución del mismo. También se detalla el protocolo a seguir en el estudio planteado. Por último, se presentan los resultados obtenidos, así como las conclusiones que se derivan de ellos.
- El cuarto capítulo, *Habitación con agujero, RV vs. RA*, describe los desarrollos de dos sistemas (uno de RA y otro de RV) para la visualización de entornos acrofóbicos, los materiales, así como los requisitos técnicos necesarios para la ejecución de los dos sistemas. Al igual que en el capítulo anterior se detalla el protocolo seguido en el estudio realizado. Por último, se presentan los resultados obtenidos, así como las conclusiones que se derivan de ellos.
- En el quinto capítulo, *Habitación con agujero, HMD vs. CAVE y “Foto navegable” en CAVE*, se describen las fases seguidas para el desarrollo/adaptación de tres aplicaciones para la visualización de entornos acrofóbicos (Habitación con agujero visualizada con un Head Mounted Display (HMD) y en un CAVE, y “Foto navegable” visualizada en CAVE). Adicionalmente, se describen todos los materiales empleados en los tres sistemas, así como los requisitos técnicos de los mismos. De nuevo se describe el protocolo a seguir en el estudio planteado. Por último, se presentan los resultados obtenidos, así como las conclusiones que se derivan de ellos.



- En el sexto capítulo, *Conclusiones*, se comentan las conclusiones obtenidas, tras el análisis de todos los datos recogidos, las contribuciones de la tesis, los posibles trabajos futuros y las publicaciones derivadas de la misma.
- En los *Anexos* se incluyen todos los cuestionarios utilizados en cada uno de los tres estudios llevados a cabo en la presente tesis.

## **1.4 Conclusiones**

En este capítulo se ha realizado una breve introducción, mostrando el campo de aplicación dónde se enmarca la presente tesis (RV y RA aplicada a tratamientos psicológicos, en particular la acrofobia). Se ha definido la acrofobia como un miedo intenso a las alturas, lo que conlleva la evitación de situaciones relacionadas con la altura. Se ha presentado de forma breve la RV y la RA. Se han descrito una serie de ventajas de la RV y la RA con respecto al tratamiento tradicional de la acrofobia, la exposición “in vivo”, citando una serie de trabajos que lo demuestran. Para terminar la introducción, se han presentado brevemente los tres experimentos realizados en la presente tesis. El primero presenta un sistema de RA combinado con la técnica de fotografía inmersiva. En él se compara el sistema desarrollado con el entorno real que representa. El segundo presenta dos sistemas (uno basado en RV y otro en RA) simulando la situación en la que aparece un agujero en el suelo de la habitación en la que se encuentra el usuario, se comparan ambos sistemas. Por último, el tercero, en el que se adaptan las aplicaciones de los estudios anteriores a un entorno de visualización CAVE, para así comparar las dos visualizaciones diferentes.

En segundo lugar se han presentado las hipótesis de trabajo así como los objetivos planteados. Las hipótesis son: un sistema de RA para la visualización de entornos acrofóbicos provocará igual o mayor sensación de presencia y ansiedad que un sistema de RV similar, un sistema de RA con fotografía inmersiva provocará un nivel de presencia alto ( $s=5$  en una escala de 1 a 7), y por último, los niveles de presencia y ansiedad provocados por un sistema para la simulación de entornos acrofóbicos están correlacionados. Por otra parte, el objetivo fundamental de la presente tesis es el desarrollo y validación de sistemas para la visualización de entornos acrofóbicos, basados en RV y RA, utilizando diversos dispositivos de visualización. Se han presentado diversos objetivos principales, así como una serie de objetivos secundarios.

Por último, se ha presentado la estructura en la que se ha dividido el documento, compuesta por los seis capítulos que se detallan a continuación más la bibliografía y los anexos.

1. *Motivación y objetivos*
2. *Terapia Virtual, Realidad Virtual y Aumentada. Antecedentes*
3. *“Foto Navegable”*
4. *Habitación con agujero, RV vs. RA*
5. *Habitación con agujero, HMD vs. CAVE y “Foto navegable” en CAVE*
6. *Conclusiones*

## **2 Terapia virtual, Realidad Virtual y Aumentada. Antecedentes**

En este capítulo se presentan las tecnologías utilizadas (RV y RA) para el desarrollo de los sistemas implementados en la presente tesis. También se introducen los trastornos de ansiedad y su tratamiento tradicional, así como el basado en RV o RA. Por último se presentan los trabajos realizados hasta la fecha en esta línea.

El estado del arte de esta tesis se centra en la introducción a los distintos tipos de trastornos psicológicos así como al tratamiento de los mismos mediante RV y RA. Se prestará especial atención al tratamiento de la acrofobia. No se ha considerado oportuno, por motivos de espacio, y por centrar la tesis en su temática, el incluir un estado del arte de RA. Sin embargo, si se desea profundizar en este tema, en la tesis de Cristina Portalés [Portalés08] se puede encontrar un estado del arte completo, con especial detalle en los dispositivos de visualización, los sensores y el software para el desarrollo de sistemas de RA.

### **2.1 Realidad Aumentada**

Un sistema de Realidad Aumentada es aquél que enriquece el mundo real con elementos virtuales, generados mediante ordenador, que coexisten en un mismo espacio con los objetos reales. Azuma [Azuma01] define un sistema de RA como aquél que tenga las siguientes tres características:

- Combinación de imagen real y virtual
- Interacción en tiempo real
- Localización 3-D

Con esta definición, se pueden considerar sistemas de RA aquéllos que utilicen como dispositivo de visualización HMDs u otro tipo de tecnologías tales como dispositivos basados en monitor, dispositivos móviles (PDA's, teléfonos móviles), etc., siempre y cuando éstas mantengan las características esenciales de la RA. Por ejemplo, eso no incluye películas o superposiciones 2-D en la imagen. Películas como "*Jurassic Park*" que poseen objetos virtuales fotorrealistas que han sido perfectamente fusionados con el entorno 3-D no pueden ser consideradas como RA porque no existe una interacción con ellos en tiempo real. De igual modo que no lo son, los objetos virtuales superpuestos a vídeos, ya que no están combinados con el mundo real en 3-D.

En RA lo que se pretende es complementar la realidad en lugar de reemplazarla, consiguiendo de este modo un mayor realismo en todas nuestras acciones.

En la figura 1(a) se muestra una imagen real, mientras que en la 1(b) se ve el modelo en alámbrico del objeto virtual a insertar en 1(a). Por último, en la figura 1(c), puede observarse un sencillo ejemplo en el que se combinan las dos imágenes anteriores, constituyendo un escenario de RA. En ella aparece un conjunto de personas en una calle real y junto a ellos hay un coche generado por ordenador que parece formar parte de la misma escena. Tanto es así que el coche oculta parcialmente a dos de las personas que allí aparecen e incluso proyecta su sombra como cualquier otro objeto de los allí presentes.



Figura 1(a): Imagen real

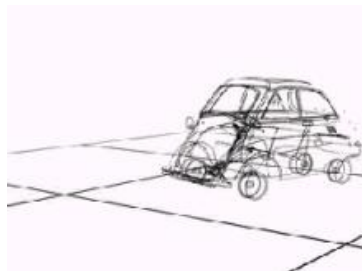


Figura 1(b): Modelo en alámbrico del objeto virtual



Figura 1(c): Imagen aumentada

El objetivo principal perseguido en RA es crear un sistema en el que no se distinga el mundo real de los objetos virtuales incluidos en él, logrando así una fusión total de ambos entornos [Vallino08].

## **2.2 Realidad Aumentada vs. Realidad Virtual**

La RV es una tecnología que engloba un amplio conjunto de ideas, bajo el cual muchos investigadores y compañías han centrado sus trabajos. El término fue definido como “*un entorno tridimensional, interactivo y generado por ordenador en el cual se sumerge una persona*” [Aukstakalnis92].

Los puntos clave de esta definición son tres. El primero de ellos es que el entorno virtual es una escena tridimensional generada por ordenador, la cual requiere un elevado rendimiento gráfico para conseguir un adecuado nivel de realismo. El segundo es que el mundo virtual es interactivo. Un usuario requiere respuestas en tiempo real por parte del sistema para que éste tenga la sensación de interactividad. El último es que el usuario se encuentre inmerso en este mundo virtual. Para que esta inmersión parezca realista, el sistema de RV debe localizar exactamente todos los movimientos del usuario y determinar qué efectos se producirán sobre la escena que se muestra en el dispositivo de visualización empleado.

Respecto a las similitudes y diferencias entre los sistemas de RV y RA, una diferencia importante entre los dos tipos de sistemas es la inmersión del usuario dentro del sistema. La RV procura un entorno totalmente envolvente para el usuario. La visión, y en algunos sistemas la audición y percepción, están controlados por el sistema. Por el contrario, un sistema de Realidad Aumentada complementa el mundo real siendo necesario que el usuario mantenga el sentido de presencia en ese mundo. Las imágenes virtuales se mezclan con la vista real para crear la imagen aumentada. Existe un mecanismo para combinar lo real y lo virtual que no está presente en los entornos propiamente de RV [Vallino08].

Los objetos virtuales generados por ordenador deben estar alineados correctamente con el mundo real en todas las dimensiones, este proceso se conoce como registración. Si existen errores en el ajuste, el usuario no tendrá la percepción de ver ambas imágenes, virtual y real, fusionadas. Además, el ajuste de las imágenes debe ser lo más exacto posible en todo momento, incluso cuando el usuario se esté moviendo, los cambios en la visión debidos al movimiento se deben tener en cuenta y realizar las operaciones oportunas para la situación de los objetos virtuales. Se pueden producir distintos tipos de errores a nivel visual o incluso de percepción, pero son los errores entre la fusión de la imagen real y la virtual a los que el usuario es más sensible [Azuma93].

Tras haber comentado algunas diferencias y similitudes de los sistemas de RA y RV, se muestra una tabla resumen, tabla 1, destacando las más significativas [ARToolkit01].

<b><i>Características</i></b>	<b>RA</b>	<b>RV</b>
<b><i>Inmersión virtual</i></b>	Parcial	Total
<b><i>Control de los sentidos</i></b>	Parcial	Visual total, otros total/parcial
<b><i>Presencia de objetos del mundo real</i></b>	Sí	No
<b><i>Tiempo real</i></b>	Sí	Sí
<b><i>Tridimensional</i></b>	Sí	Sí

Tabla 1: Comparativa de sistemas de Realidad Aumentada y Realidad Virtual

Finalmente, cabría destacar la taxonomía descrita por Milgram, en la cual se detalla cómo es la relación existente entre Realidad Aumentada y Realidad Virtual (Figura 2) [Milgram94]:



Figura 2: Representación del Continuo Realidad-Virtualidad de Milgram

El mundo real y un mundo totalmente virtual son los dos extremos de esta continuidad en cuyo punto intermedio se encuentra lo que Milgram denomina Realidad Mixta (RM). La RA está más cerca del extremo del entorno real, siendo el mundo real complementado con datos generados por ordenador. La Virtualidad Aumentada (VA) es un término creado por Milgram para identificar sistemas que son principalmente sintéticos pero que agregan ciertas imágenes del mundo real como vídeos y texturas sobre objetos virtuales.

Milgram define tres pilares básicos sobre los que se sustentan los sistemas de RM: fidelidad en la reproducción, alcance de la presencia metafórica y alcance del conocimiento del mundo.

- La *Fidelidad en la Reproducción* busca como objetivo principal el realismo en los dispositivos de RM, tomando como punto de referencia para ello la calidad de las imágenes. Este realismo puede oscilar entre simples objetos en alámbrico hasta los completos *renderings* fotorrealistas.
- El *Alcance de la Presencia Metafórica* mide el nivel de inmersión del usuario dentro de la escena visualizada. Hay varios tipos de dispositivos que se usan en sistemas de RA y cada uno de estos dispositivos da una visión distinta de la escena. Una clasificación completa de los tipos de dispositivos de visualización se puede encontrar en [Bimber05]

- El tercer y último de estos pilares es el *Alcance del Conocimiento del Mundo*. La RA no consiste únicamente en superponer un objeto virtual sobre el mundo real, dicha tarea puede considerarse técnicamente sencilla. Lo complicado es el perfecto mantenimiento de la relación entre estos objetos virtuales y la imagen del mundo real. La imagen real y virtual deben estar perfectamente ensambladas y conseguir una armonía entre ambos tipos de imagen. Esto requiere a menudo, un detallado conocimiento de la relación entre los fotogramas de referencia para el mundo real, la visión de la cámara y el usuario. Que exista una buena relación entre estos tres elementos es la verdadera tarea de la RA.

## **2.3 Terapia virtual en trastornos de ansiedad**

### **2.3.1 Introducción**

De los estudios científicos comparativos llevados a cabo entre las distintas formas de abordaje psicoterapéutico, se deduce que los Tratamientos Cognitivos Comportamentales (TCC), son los más efectivos en el tratamiento de los trastornos de ansiedad [Krijn06]. Esta afirmación se sustenta atendiendo al tiempo que se requiere para lograr la recuperación y al bajo porcentaje de recaídas que se producen tras la finalización del tratamiento.

Aunque dentro de la TCC existen varias técnicas para ponerla en práctica, todas ellas asumen que existen una serie de procesos encubiertos internos llamados pensamiento o cognición, y que los acontecimientos cognitivos pueden mediar el cambio de conducta. En otras palabras, cualquier enfoque de la TCC comparte los siguientes supuestos [Lozano03]:

- La actividad cognitiva afecta la conducta
- Es posible controlar y modificar la actividad cognitiva
- El cambio de conducta deseado se puede lograr por medio del cambio cognitivo

El término “cognitivo” asociado al concepto TCC hace referencia a la forma en la que nuestros patrones de pensamiento afectan a nuestras emociones y conducta. Es decir, lo que pensamos acerca del mundo, de los demás y de nosotros mismos, afecta nuestros estados de ánimo y a nuestra conducta. Las distorsiones que se producen en el pensamiento de la persona intervienen en la aparición del trastorno, pudiendo llegar incluso a perpetuarlo. Dichas distorsiones están determinadas en gran medida por la manera de procesar la información (estímulos) proveniente del mundo externo e interno, así como por el significado dado a estos estímulos. De modo que, en un intento por conseguir que la recuperación sea sólida y duradera, la primera tarea a

realizar en la TCC es descubrir y reorganizar los mecanismos cognitivos de la persona.

Por otro lado, el término “comportamental” asociado al concepto TCC hace referencia a la parte operativa con la que se pretende que el paciente recupere la posibilidad de desenvolverse con normalidad en su vida cotidiana. Esta parte operativa va ligada a una serie de tareas programadas para su realización de forma progresiva y diseñadas “a medida” de la persona que padece el trastorno, atendiendo al tipo y gravedad de éste y a las características de su personalidad. En un intento por mejorar la calidad de vida de la persona, la terapia cognitiva se llevará a cabo mediante una terapia comportamental en la que, a través de la realización de prácticas, ejercicios y exposiciones, se pondrá a prueba y se ejercitarán los nuevos estilos de pensamiento adquiridos.

En la presente tesis se va a estudiar el tratamiento de un trastorno de ansiedad específico como es la acrofobia, así que en primer lugar se va a introducir la problemática existente en el tratamiento de fobias y otros trastornos psicológicos.

Atendiendo al DSM-IV (American Psychiatric Association, 1994) [APA00], fobia es un marcado y persistente miedo que es excesivo o irracional provocado por la presencia o anticipación de un objeto específico o situación. La exposición ante los estímulos fóbicos provoca una inmediata respuesta de ansiedad que puede desembocar en un ataque de pánico. Por parte de la persona existe un reconocimiento del exceso e irracionalidad de dicho miedo.

Tradicionalmente, las técnicas para la terapia del comportamiento en el tratamiento de fobias y otros trastornos psicológicos incluyen la exposición gradual del paciente ante estímulos que le provocan ansiedad. Dichos estímulos pueden ser generados a través de la imaginación del paciente, *Exposición en imaginación*, u obteniéndolos directamente de la realidad, *Exposición “in vivo”*.

- En la *Exposición en imaginación* el psicólogo entrena al paciente para enfrentarse a aquello que teme mediante técnicas imaginativas, es decir, solicitando al paciente que intente imaginar, lo más fielmente posible, que ocurre aquello que teme.
- La *Exposición “in vivo”* el paciente se va enfrentando a aquello que teme realmente, de manera gradual y con la ayuda del psicólogo. La producción de los estímulos que le provocan ansiedad la realiza la propia realidad y el psicólogo, de forma estructurada, progresiva y sistemática le hará ir enfrentándose a ellos.



Los trastornos de ansiedad pueden ser tratados con bastante eficacia utilizando TCC. Numerosos estudios realizados durante las últimas tres décadas muestran que la terapia basada en exposición “in vivo” resulta más efectiva que la exposición en imaginación, especialmente en el tratamiento de fobias específicas [Emmelkamp04].

La incorporación de la RV al campo del tratamiento de fobias y otros trastornos psicológicos, iniciada a principios de los años noventa, unida a sus posibilidades técnicas, las experiencias desarrolladas hasta la fecha con esta tecnología, y, sobre todo, los más que esperanzadores resultados que se vienen obteniendo, han provocado la introducción de una nueva alternativa en la psicoterapia denominada Terapia Virtual (TV). Si un entorno virtual puede provocar miedo y activar las estructuras que provocan ansiedad, la TV puede funcionar como un modo alternativo de inducir exposición [Hodges95] [North95] [Rothbaum95a] [Rothbaum95b] [North96a] [North96b] [Rothbaum96] [Carlin97] [North97] [Botella98] [Botella99] [Klein99] [Rothbaum99] [Botella00] [Rothbaum00] [Baños01] [Emmelkamp01] [Rothbaum01] [Emmelkamp02] [García02] [Maltby02] [North02] [Rothbaum02] [Hoffman03] [Botella04a] [Emmelkamp04] [Botella04b] [Krijn04] [Botella05b] [Klinger05]. Recientemente, se ha presentado la RA como otra alternativa para TV [Botella05a] [Juan05] [Juan06a] [Juan06b] [Juan07]

En resumen, el uso de las nuevas tecnologías puede ayudar a aumentar la utilidad clínica de algunas de las técnicas terapéuticas de que disponemos actualmente.

### 2.3.2 Inmersión

La RA y la RV hacen uso de diferentes técnicas hardware y software para hacer que un usuario se sienta de alguna forma presente en el entorno virtual generado. La descripción objetiva de ciertos aspectos del sistema como son la resolución de las pantallas, el campo de visión de las mismas, etc., se denomina inmersión [Slater97]. Las técnicas para lograr la inmersión del usuario se basan principalmente en la visualización sobre un HMD o en un CAVE, los cuales difieren notablemente en algunos aspectos de inmersión. En esta sección nos centraremos básicamente en ellos, dado que son los dos tipos de visualización que se utilizan en esta tesis. Los HMD son los dispositivos que más se han utilizado en aplicaciones de RA y RV. Existen dos tecnologías para mostrar gráficos sobre la vista del mundo real que tiene el usuario: video see-through HMD que utilizan mezcla de vídeo y muestran las imágenes mezcladas en un HMD sin visión directa del mundo real total o parcial, u *optical see-through* HMD que utilizan combinaciones ópticas (esencialmente espejos semiplateados o pantallas LCD transparentes). Se puede encontrar una comparativa de estas dos tecnologías en [Rolland94]. La figura 3 muestra un esquema de ambas tecnologías.

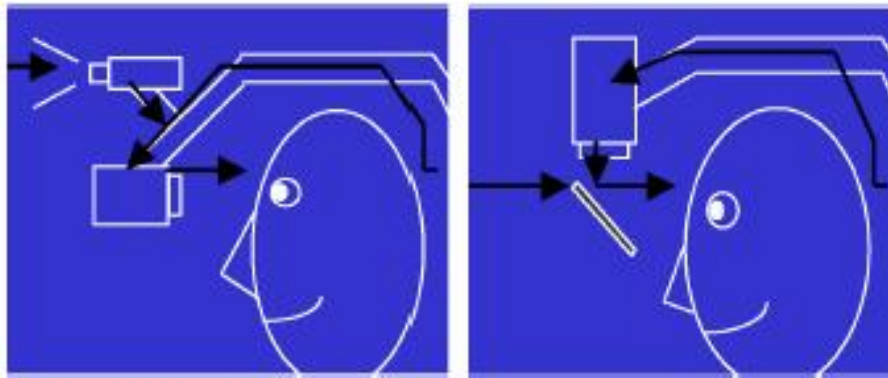


Figura 3: Video see-through (izquierda) y optical see-through (derecha)

La utilización de HMD presenta los siguientes inconvenientes:

- Falta de resolución, debida a las limitaciones de las micropantallas. En los *optical see-through* únicamente los gráficos superpuestos padecen esta falta de resolución, mientras que el entorno real se percibe con la resolución del sistema de visión humano. En los *video see-through* tanto el entorno real como los gráficos superpuestos se perciben con la resolución de la micropantalla.
- Campo de visión limitado, debido a las limitaciones de las ópticas utilizadas.
- Ratio desequilibrado entre ópticas pesadas (que producen dispositivos pesados e incómodos) y dispositivos ergonómicos con una calidad de imagen baja.
- Aspectos de percepción visual debidos a la profundidad constante de la imagen. Para *optical see-through*, dado que los objetos en el entorno real y el plano imagen situado en la cabeza del usuario se perciben a distinta profundidad, los ojos se fuerzan continuamente para cambiar el foco entre los diferentes niveles de profundidad, o percibir un nivel de profundidad poco nítido. Esto se conoce como el problema de la distancia focal fija.
- Los dispositivos *optical see-through* requieren una calibración difícil (dependiente del usuario y de la sesión) y una localización de la cabeza precisa para asegurar una fusión gráfica correcta. Para *video see-through*, los gráficos se pueden integrar basándose en píxeles, pero el procesamiento de la imagen y la localización óptica incrementan los retrasos en los sistemas.
- Incrementan el índice de incomodidad debido a la sensación de mareo a causa del plano de la imagen sujeto a la cabeza (especialmente durante los movimientos rápidos de la cabeza) [Patrick00].

- Los dispositivos *optical see-through* convencionales son incapaces de ofrecer efectos de oclusión consistente entre los objetos reales y virtuales. Una posible causa es el divisor de rayos que refleja la luz de las pantallas miniaturizadas que interfieren con la luz transmitida del entorno real iluminado. Para solventar este problema Kiyokawa et al. [Kiyokawa00] utiliza paneles LCD adicionales para bloquear selectivamente la luz entrante con respecto a los gráficos renderizados.

Un sistema CAVE, se puede definir como una habitación estereoscópica inmersiva, en la que uno de sus objetivos principales es reducir al máximo el hardware que lleva el usuario en una experiencia de RV. Se trata de una sala cuyas paredes son proyectadas desde el exterior con imágenes estereoscópicas, creando así un ambiente tridimensional donde se ubican los usuarios capaces de percibir el mundo virtual creado a través de unas gafas especiales, basadas en obturación para separar los campos alternativos del video dirigido a cada ojo (estéreo activo). En general supera todos los inconvenientes de un HMD, por la resolución de las proyecciones, el campo de visión, comodidad, etc. En las figuras 4(a) y 4(b) se puede ver un ejemplo de CAVE.

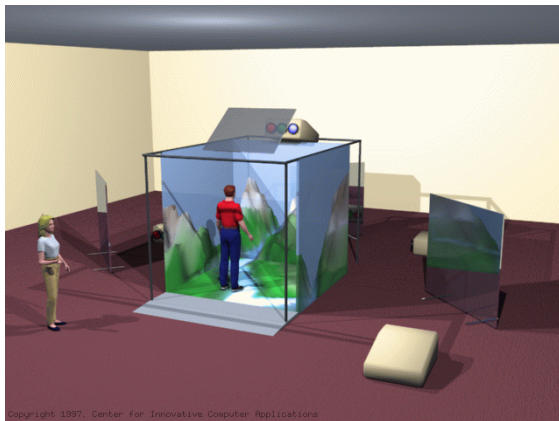


Figura 4(a) : Sistema CAVE en el que se puede ver como son proyectadas sus paredes



Figura 4(b) : Sistema CAVE de la UPV

Para provocar la inmersión del usuario en los entornos virtuales (CAVE o HMD), los estímulos visuales y auditivos están siempre presentes, aunque a veces se puede complementar con otros elementos como pueden ser estímulos táctiles. Un ejemplo podría ser la inclusión de una barandilla real en un entorno virtual, el cual representaría una escena en la que el usuario se encuentre en un balcón a cierta altura del suelo.

### 2.3.3 Presencia y variables mediadoras

La exposición mediante TV se basa en que los usuarios se sienten presentes en el entorno virtual. La presencia se define como la percepción psicológica de “estar” o “existir” en un entorno virtual en el cual el sujeto está inmerso [Heeter92] [Witmer98]. Excepto en los casos más extremos, el individuo puede indicar correctamente que está usando cierta tecnología, pero en algún nivel y en algún grado, su percepción sobrepasa ese conocimiento, objetos, eventos, entidades, y esos entornos son percibidos como si la tecnología no estuviera involucrada en la experiencia [Lombard00].

La presencia se puede medir a través de medidas objetivas como puede ser el ritmo cardíaco, sudoración, etc. [Meehan01] [Meehan02], o a través de medidas subjetivas, que generalmente son cuestionarios [Slater94]. Muchas veces se utilizan cuestionarios, los cuales presentan algunas desventajas, como por ejemplo que los investigadores suelen utilizar diferentes tipos de cuestionarios, con lo que la comparación con estudios previos, a veces resulta complicada.

Las medidas objetivas se suelen utilizar para medir simultáneamente presencia y ansiedad. Este hecho complica notablemente la investigación en busca de la relación e interacción entre estas variables.

Además, las diferencias individuales pueden mediar en la presencia. Ejemplos de rasgos individuales que pueden mediar en la presencia son [Emmelkamp08]:

- La capacidad de concentración y bloqueo de la distracción [Witmer98].
- La tendencia de los usuarios a involucrarse pasivamente en alguna actividad (como leer un libro).
- Posiblemente la hipnosis [Wiederhold00].

La investigación de estos rasgos individuales es importante ya que podría indicar qué individuos son más adecuados para que la exposición mediante TV sea efectiva en ellos. De cualquier forma, la investigación de las variables que pueden mediar en la presencia se encuentra todavía en una fase muy inicial [Krijn04].

### 2.3.4 Terapia virtual

Hoy en día las nuevas tecnologías se están implantando en todos los campos de la medicina, y con lo que respecta a la RV y la RA, la psicología clínica es la que más se está beneficiando de ellas.

La TV puede considerarse como una alteración de la terapia comportamental, y cada vez más en los últimos años se está convirtiendo en una alternativa a la exposición “in vivo” tradicional [Krijn06].

La idea de utilizar la RV para combatir los problemas psicológicos se concibió por primera vez en Noviembre de 1992 en el Human-Computer Interaction Group de la Clark Atlanta University [North02]. Desde entonces hasta la fecha, la diversidad de aplicaciones y la repercusión que ha supuesto entre los profesionales del sector, traducida en varias publicaciones y congresos especializados, demuestran que la RV en psicología tiene un futuro muy prometedor.

Además, esta idea de mejorar las técnicas de tratamiento psicológico existentes cobra más relevancia desde la creación de la ‘Task Force on the Promotion and Dissemination of Psychological Procedures por la Society of Clinical Psychology’, de la American Psychological Association (APA) [Botella07]. En 1995, la APA creó una guía clínica para la validación de los tratamientos psicológicos [APA95]. Esta guía incluía dos ejes para la evaluación de los tratamientos psicológicos [Barlow99]: El eje 1, (eje de la eficacia o validez interna) requiere estudios empíricos rigurosos para evaluar la eficacia de los tratamientos. El criterio más alto de eficacia es demostrar, en un ensayo clínico controlado, que el tratamiento en cuestión es más eficaz que un tratamiento alternativo. El eje 2 (utilidad clínica o validez externa), hace referencia a la importancia de evaluar en qué medida la intervención será efectiva en el ámbito clínico en el cual va a ser aplicada. Esto supone considerar entre otros factores: la generalizabilidad de la administración de la intervención en varios contextos; la viabilidad de la intervención a través de pacientes y contextos, y los costes y beneficios asociados con la administración de la intervención. En los últimos años se ha avanzado mucho con respecto al eje 1. Sin embargo, el reto ahora es poner a prueba la utilidad clínica de las mismas (eje 2). Es decir, conseguir que esas técnicas puedan ser aplicadas a la mayoría de personas que las necesiten. Las nuevas tecnologías pueden ayudar en esta labor. Por ejemplo, en la técnica de exposición, alrededor de un 25% de los pacientes a los que se les propone dicho tratamiento, lo rechazan o lo abandonan [Marks92]. Es posible que esos pacientes encuentren la técnica excesivamente aversiva. Por ello es probable que, desarrollando nuevas formas de aplicar la técnica de exposición, consigamos disminuir el número de pacientes que no se benefician de la misma. Las características de la RV y la RA pueden contribuir a ello.

De acuerdo con la teoría de procesamiento emocional descrita en [Foa86] la TV debe cumplir tres condiciones para ser efectiva. En primer lugar, los participantes necesitan sentirse presentes en el entorno virtual para ser capaces de experimentar dicho entorno como un lugar realmente visitado, y no simplemente visto. En segundo lugar, el entorno virtual debe ser capaz de evocar emociones en los participantes para que la conducta no deseada por éstos desaparezca. En tercer y último lugar, la desaparición de la conducta no deseada se debe generalizar al entorno real.

La TV se comporta como cualquier otra técnica de exposición gradual, exponiendo a los pacientes a estímulos que le provocan miedo. Para que la terapia sea eficaz y gradual, el paciente ha de valorar su ansiedad regularmente durante la exposición mediante ciertas unidades subjetivas (escala de 0-10, 0-100, etc.). El terapeuta hace que el paciente se auto exponga de manera gradual a situaciones que le provoquen ansiedad. A medida que se va reduciendo el nivel de ansiedad del paciente, el terapeuta le invita a seguir con el siguiente nivel de la terapia, en el que se expondrá a una situación que le provoque mayor ansiedad. La TV generalmente hace solo uso de la exposición y el refuerzo positivo.

Además, la aplicación de la TV presenta toda una serie de ventajas frente a los tratamientos tradicionales, en primer lugar, se citan las ventajas frente a la *Exposición en imaginación*:

- El psicólogo puede saber, en todo momento, qué es lo que está ocurriendo: qué ve el paciente, qué está haciendo, qué es lo que le ha provocado ansiedad, etc.
- El paciente va a poder ver, escuchar y vivir acontecimientos virtuales muy similares a la realidad que le cuesta imaginar.
- El nivel de inmersión del paciente se va a ver muy incrementado al poderle estimular prácticamente todas sus modalidades sensoriales.

Adicionalmente, también presenta ventajas respecto a la *Exposición “in vivo”*:

- En los escenarios virtuales se podrá recrear cualquier lugar, estímulo y situación.
- Asegura al paciente que, realmente, no va a ocurrirle nada de lo que teme.
- Asegura confidencialidad del paciente al estar en un lugar privado.

A estas ventajas que ofrece la RV y la RA respecto a los métodos tradicionales, hay que añadir otras que, incluso, permiten mejorar las posibilidades de la terapia ya que ofrecen al psicólogo unas posibilidades que, hasta ahora, no disponía.

A pesar de que el tratamiento con RV y RA comparten una serie de ventajas con respecto al tratamiento tradicional, la RA a veces presenta alguna ventaja adicional. Por ejemplo en RV se pueden incluir avatares que representen al usuario, pero éste no puede ver ninguna parte real de su cuerpo, hecho que sí ocurre en RA.

### **2.3.5 Trastornos de ansiedad**

A lo largo de los años han ido apareciendo trabajos en los que se compara la efectividad de la terapia basada en RV con la exposición “in vivo” en el tratamiento de los trastornos de ansiedad. Estos estudios han demostrado que la terapia basada en RV es tan eficaz como la exposición “in vivo” [Rothbaum00] [Emmelkamp01]

[Emmelkamp02] [North02] [Rothbaum02] [Botella04a]. A continuación se van a introducir una serie de trastornos de ansiedad. También se van a citar los estudios publicados probando la eficacia de la TV en su tratamiento.

### **2.3.5.1 Fobia social**

La fobia social se caracteriza por miedo intenso y persistente relacionado con una o varias situaciones sociales, en las que el individuo se expone a la observación o evaluación de los otros. La exposición a esas situaciones provoca una respuesta intensa de ansiedad, que lleva habitualmente a la evitación de las mismas [APA00]. El número de situaciones temidas varía, desde el miedo a situaciones muy específicas como comer o hablar en público, hasta miedos más generalizados que incluyen la mayoría de las situaciones sociales. La heterogeneidad de las situaciones temidas ha llevado a los investigadores a la necesidad de distinguir entre distintos subtipos. Heimberg et al. [Heimberg93] proponen tres subtipos: fobia social generalizada, que incluye el miedo a la mayoría de las situaciones sociales; fobia social no generalizada, que se refiere a miedo a un número importante de situaciones sociales, pero sin manifestar problemas en al menos un tipo de situación social; y fobia social específica, que se refiere al miedo a una o dos situaciones sociales concretas.

La mayoría de estudios realizados en el campo de la RV han estado dirigidos, hasta ahora, al tratamiento de la fobia social específica, y, más concretamente, al tratamiento del miedo a hablar en público mediante la técnica de exposición virtual.

Slater et al. [Slater99] [Pertaub02] han trabajado en el diseño y validación de software de RV para el tratamiento del miedo a hablar en público. Sus trabajos demostraron que los escenarios virtuales, en los que el sujeto se enfrentaba a la situación de hablar ante audiencias virtuales, producían una respuesta de ansiedad similar a la que produciría una audiencia real. Respecto a los estudios de eficacia terapéutica, Harris et al. [Harris02] realizaron un estudio controlado con población subclínica, que asignaban a una condición de RV o a una condición de lista de espera (sin tratamiento). Los resultados indicaron una mejoría significativa en los sujetos que recibieron el tratamiento con RV. Anderson et al. [Anderson03] publicaron dos casos de estudio, en los que se observaba una mejoría significativa de los participantes tras aplicarle un tratamiento que consistía en técnicas de control de la ansiedad, exposición en vivo y exposición virtual.

En los últimos años se está empezando a aplicar la exposición mediante RV al tratamiento de la fobia social no específica, incorporando la exposición virtual como uno de los componentes de un programa multicomponente, cognitivo-comportamental, para el tratamiento de la fobia social. Roy et al. [Roy03] diseñaron un mundo virtual con posibilidades para la exposición a diferentes dominios sociales: ejecución, intimidad, observación por parte de otros y asertividad. En un trabajo reciente

publicado por Klinger et al. [Klinger05], se ha llevado a cabo un estudio preliminar, en el que se encontró que el programa que incluía exposición virtual, fue igual de eficaz, que el tratamiento cognitivo-comportamental tradicional.

### **2.3.5.2 Trastorno de pánico con agorafobia**

La característica esencial del trastorno de pánico con agorafobia (TPA) es la ocurrencia de ataques de pánico inesperados, caracterizados por miedo intenso, seguidos de preocupación por la posibilidad de padecer otros ataques de pánico o por las posibles consecuencias de los mismos. Una de las complicaciones de padecer ataques de pánico es la evitación de lugares, donde si se produce un ataque de pánico es difícil conseguir ayuda o escapar (transporte público, lugares concurridos, hacer cola, etc.). Los programas cognitivo-comportamentales multicomponente, que incluyen exposición a situaciones y a estímulos internos, terapia cognitiva y técnicas de control de la ansiedad, han demostrado una gran eficacia en el abordaje de este problema.

El gran número de situaciones agorafóbicas temidas por el paciente hace que sea necesario desplazarse, en muchas ocasiones a esos lugares, para llevar a cabo la exposición en vivo. Con la RV el ordenador puede proporcionar muchas situaciones sin salir de la consulta. Además, es posible variar las condiciones de una misma situación para practicar distintas tareas de exposición, teniendo un control absoluto acerca de lo que puede suceder. Existen diferentes aplicaciones para TPA, por ejemplo [Botella04b] [Moore02] [Vincelli00].

Con respecto a los estudios de eficacia, North et al. [North96a] publicaron el primer estudio con resultados prometedores, comparando exposición virtual con una condición de no tratamiento en una muestra subclínica. Jang et al. [Jang00], en un estudio no controlado, mostraron que el escenario virtual diseñado no fue capaz de elicitar una respuesta de ansiedad y por lo tanto el tratamiento virtual no fue eficaz.

Se han llevado a cabo estudios controlados como los de Vincelli et al. [Vincelli03] en los que los resultados hasta la fecha indican que la RV es igualmente eficaz que la exposición en vivo, dentro de un programa multicomponente para el TPA.

### **2.3.5.3 Trastorno de estrés postraumático**

El trastorno de estrés postraumático (TEP) implica la ocurrencia de un acontecimiento en el que se ha percibido o producido una amenaza a la integridad física, nuestra o de los demás, y se ha respondido con temor intenso. Los síntomas que caracterizan este trastorno se engloban en tres grupos: reexperimentación del acontecimiento, evitación de estímulos relacionados o que recuerdan al acontecimiento, y aumento de la activación. Afortunadamente, disponemos de programas cognitivo-comportamentales que han demostrado su eficacia en el



tratamiento del TEP [Foa00]. El componente principal de estos programas es la exposición en imaginación al relato del acontecimiento traumático. El objetivo es que se produzca el procesamiento emocional de dicho acontecimiento.

Reproducir el acontecimiento traumático por medio de RV puede ayudar a los pacientes que no pueden imaginar (el acontecimiento está representado en el mundo virtual) y dificultar la evitación cognitiva (el sentido de presencia inherente a la RV favorece que el paciente no pueda “escaparse” del recuerdo del acontecimiento traumático). Por otra parte, la exposición al acontecimiento traumático puede hacerse gradualmente, exponiendo primero al paciente a partes del acontecimiento que provoquen un menor nivel de ansiedad e ir exponiéndose de forma progresiva a los aspectos más duros del mismo. Rothbaum et al. [Rothbaum99] publicaron el primer estudio aplicando la RV a un veterano del Vietnam con buenos resultados. En 2001 estos investigadores presentaron datos de eficacia en un estudio no controlado con 10 participantes, también veteranos del Vietnam [Rothbaum01]. Los resultados mostraron una reducción en algunos de los síntomas del TEP utilizando escenarios que reproducían situaciones de combate de la guerra del Vietnam.

Otra aproximación es la que ha desarrollado dentro del proyecto europeo EMMA. En los estudios comentados anteriormente se pretende reproducir el acontecimiento traumático de la forma más fidedigna posible. En EMMA el objetivo es diseñar escenarios virtuales que sean significativos para el paciente, atendiendo más al significado del trauma que al acontecimiento en sí mismo [Botella05b].

En resumen, la aplicación de la RV al TEP es muy reciente y los datos de los que se disponen son aún preliminares. Sin embargo, las ventajas que puede ofrecer son importantes. La RV puede resultar una buena alternativa para aquellos pacientes que presenten dificultades en la exposición en imaginación.

#### **2.3.5.4 Fobias específicas y RV**

La aplicación de la RV en el campo de los tratamientos psicológicos ha sido especialmente fructífera en las fobias. Esta nueva tecnología ha resultado eficaz en el tratamiento de diversas fobias específicas, como la fobia a volar, la claustrofobia, la fobia a insectos, la fobia a conducir y la acrofobia que va a ser el núcleo de la presente tesis.

Las características esenciales de las fobias específicas son el miedo y la evitación, relacionados con un objeto o situación concreta que produce malestar y/o interferencia significativos. En [APA00] se distinguen cinco subtipos de fobia específica: animal, ambiental, sangre-inyecciones-daño, situacional, y una categoría de otros tipos.

Desde la publicación del primer caso de estudio, en el que se informaba de la eficacia de la exposición por medio de RV en el tratamiento de la acrofobia [Rothbaum95a], se publicaron bastantes casos de estudio con datos de eficacia del uso de la RV, en ésta y otras fobias específicas: acrofobia [Choi01]; claustrofobia [Botella98] [Botella99]; fobia a las arañas [Carlin97]; fobia a volar [Baños01] [Klein99] [North97] [Rothbaum96] [Wiederhold98]; y fobia a conducir [Wald00]. Posteriormente, fueron apareciendo estudios con un mayor número de sujetos; y ensayos clínicos controlados que demostraron la eficacia de esta nueva forma de aplicar la técnica de exposición: acrofobia [Rothbaum95a] [Emmelkamp01] [Emmelkamp02] [Krijn04]; claustrofobia [Botella00]; fobia a las arañas [García02] [Hoffman03]; fobia a volar; [Wiederhold99] [Rothbaum00] [Maltby02] [Rothbaum02] [Mühlberger03] [Botella04a], y fobia a conducir [Wald03] [Walshe03].

Estos estudios han demostrado que la exposición por medio de la RV es más eficaz que una condición de lista de espera, más eficaz que la exposición en imaginación, e igualmente eficaz a la exposición en vivo. Además, los resultados conseguidos durante el tratamiento se mantienen a largo plazo (hasta 12 meses tras haber finalizado el tratamiento). La mayoría de los estudios se han realizado de forma rigurosa, incluyendo medidas subjetivas (cuestionarios, unidades subjetivas de ansiedad) y objetivas (tests de evitación comportamental); incluyendo en algunos casos índices compuestos de cambio, e informando, también en algunos casos, de cambios tanto estadística como clínicamente significativos.

Se han explorado también aspectos más específicos, como la inclusión de 'biofeedback' en el tratamiento virtual de la fobia a volar [Wiederhold99], o la utilización de señales reales (por ejemplo, señales táctiles en la fobia a las alturas, como tocar una barandilla real mientras el paciente está en el mundo virtual, o tocar una araña de juguete mientras el paciente está en el mundo virtual) [Hoffman03]. Los datos mostraron que estos elementos potenciaban los beneficios del tratamiento.

### **2.3.5.5 Fobias específicas y RA**

Una línea de investigación muy novedosa, en el tratamiento de fobias específicas es el uso de la RA como método de exposición. Cabe destacar el trabajo desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia por Juan et al. [Juan05] [Botella05a][Juan06b] [Juan07], que es pionero en el desarrollo de sistemas de RA para el tratamiento de distintos trastornos psicológicos. Juan et al. [Juan05] presentaron un primer sistema de RA con marcas visibles para el tratamiento de fobias a animales pequeños como cucarachas y arañas (Figura 5). Utilizando este sistema, por ejemplo, en la consulta del terapeuta pueden aparecer en el suelo/encima de la mesa/etc. cucarachas o arañas virtuales vivas o muertas, variar su número y tamaño, que se muevan o permanezcan inmóviles y seleccionar el lugar de aparición. El sistema utilizó un HMD (5 DT) para la visualización de la imagen aumentada. La

captura del mundo real se realizó utilizando una cámara USB (Logitech 4000 Pro). Este primer sistema, se utilizó para terapia en un primer caso de estudio [Botella05a]. Posteriormente, se realizó la terapia con 9 pacientes [Juan05], 5 con fobia a las cucarachas y 4 con fobia a las arañas. Tras una hora de tratamiento con el sistema todos los participantes redujeron significativamente su miedo al enfrentarse a un animal vivo. De hecho, después del tratamiento todos fueron capaces de interactuar y matar a un animal vivo.

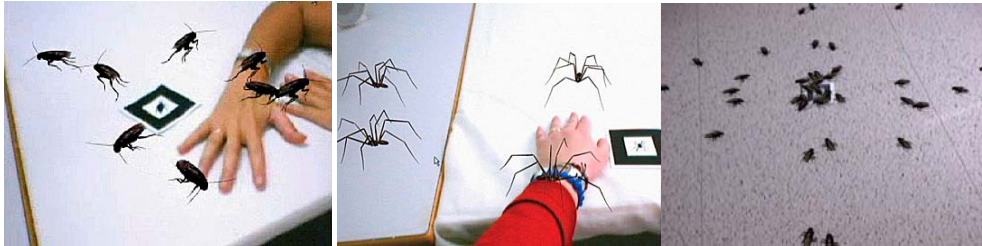


Figura 5: Primer sistema de RA (marcas visibles) para tratar fobias a animales pequeños

En una segunda versión, se desarrolló un sistema de RA con marcas invisibles [Juan06b] con el mismo objetivo (Figura 6). Este segundo sistema, utilizaba una cámara FireWire para la captura del mundo real (DragonFly), una cámara de infrarrojos con un filtro infrarrojo de 715 nm para la captura de la marca en el rango infrarrojo, y un HMD (i-visor) para la visualización de la imagen aumentada. Para dibujar las marcas invisibles se utilizó una tinta especial, con una duración finita. La tinta utilizada estaba dentro del rango infrarrojo. De este modo, el ojo humano no puede ver lo escrito, pero cuando se capta la imagen con una cámara de infrarrojos, la tinta es visible. El sistema se comparó con el primer sistema para determinar la sensación de presencia en población no clínica. 25 participantes, 19 hombres y 6 mujeres. Todos ellos estudiantes, becarios o empleados de la Universidad Politécnica de Valencia (edades entre 21 y 40 años). Después de usar ambos sistemas, los participantes rellenaban un cuestionario adaptado de Slater et al. [Slater94]. Los resultados indicaron que el sistema de marcas invisibles provocó mayor nivel de presencia que el de marcas visibles, y también provocó mayor nivel de ansiedad en pasos importantes durante la exposición.



Figura 6: Segundo sistema de RA (marcas invisibles) para tratar fobias a animales pequeños

En la tercera versión, se desarrolló un sistema de RA cuya visualización se realizaba utilizando un HMD optical see-through [Juan07]. La figura 7 muestra tres imágenes de un usuario utilizando este tercer sistema. El sistema utiliza las LitEye-500 como sistema de visualización en un solo ojo. Su resolución es de 800x600 con un campo de visión (field of view) de 28 grados. Para la captura del mundo real se utilizó la cámara de infrarrojos mencionada en el segundo sistema. Este tercer sistema se comparó con el primer sistema para determinar el grado de presencia en población no clínica. 24 participantes utilizaron tanto este sistema como el primer sistema. Los resultados indican que el primer sistema provoca mayor nivel de presencia que este tercer sistema. Si únicamente se analizan los participantes que presentaban una fobia mayor, los dos sistemas provocan un nivel de presencia similar. Respecto a la ansiedad, los dos sistemas provocaron una ansiedad similar y significativa durante el experimento.

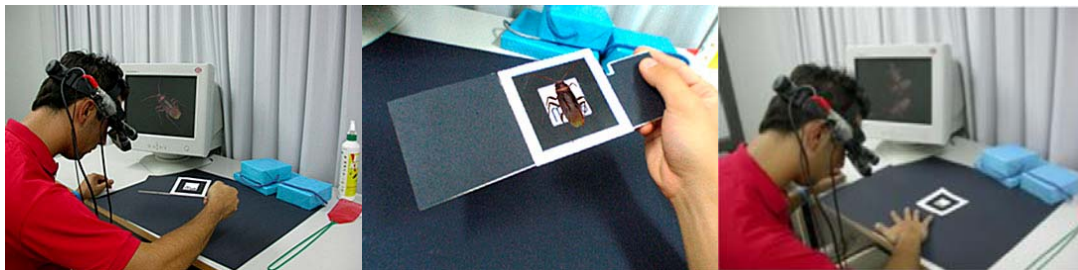


Figura 7: Tercer sistema de RA (HMD optical see-through) para tratar fobias a animales pequeños

## **2.4 Aplicaciones de RV para el tratamiento de la acrofobia**

Hay que destacar que la primera vez que se utilizó la tecnología en el tratamiento de la acrofobia fue en 1982 por parte de Schneider [Schneider82]. Su trabajo es un caso de estudio en el que los sujetos utilizaban unos prismáticos para magnificar la altura durante la exposición “in vivo”. Con esta técnica se podían realizar tratamientos a bajas alturas reales.

Posteriormente, con la aparición de nuevas tecnologías como la RV, se demostró que sistemas basados en dicha tecnología podían ser eficaces en el tratamiento de esta fobia. Los trabajos más relevantes hasta la fecha dentro en este campo son:

- El Kaiser-Permanent Medical Group de California desarrolló un sistema para probar la eficacia de la RV en el tratamiento de la acrofobia. En este sistema el paciente tenía que pasar sobre un profundo barranco a través de un puente colgante. La eficacia del sistema se probó con un total de 32 participantes, con una eficacia del 90%. Los responsables del estudio

afirmaban que los participantes tenían el sentimiento de haberse enfrentado a su miedo y haberlo superado [Knox93].

- El grupo de Rothbaum y North de la Universidad de Clark ha contribuido considerablemente en esta área de conocimiento. En 1992, desarrollaron VREAM (Virtual reality development software package and libraries), mediante el cual pudieron implementar un entorno virtual para el tratamiento de la acrofobia. Se trataba de un entorno en el que había 3 pasarelas, 2 balcones exteriores y un ascensor acristalado [Hodges94]. Se sometieron al estudio un total de 20 sujetos los cuales eran estudiantes con miedo a las alturas. Aleatoriamente, se sometían a la terapia con el sistema desarrollado (12 de ellos), o bien no eran tratados (8 de ellos). Los resultados mostraban que el tratamiento con el sistema desarrollado era más eficaz que no haber aplicado ningún tipo de terapia [Rothbaum95b].
- En 1995, el mismo grupo de investigadores publicó el primer caso de estudio controlado sobre la usabilidad de un software diseñado para el tratamiento de la acrofobia. Utilizaron para ello el entorno anteriormente descrito, pero esta vez solo había un usuario. Se trataba de un estudiante de 19 años, el cual había participado en el estudio anterior, concretamente formó parte de la lista de usuarios que no eran tratados. Acudió a un total de 5 sesiones de unos 35-45 minutos cada una. Este estudio demostró que la exposición gradual mediante RV era efectiva para reducir la evitación de situaciones acrofóbicas, así como la ansiedad que éstas provocan [Rothbaum95a].
- El mismo grupo de investigadores [Hodges95], publicó un trabajo experimentando la eficacia de la exposición mediante TV en el tratamiento de la acrofobia. Se crearon tres entornos virtuales, un ascensor abierto en un edificio de 49 pisos, una serie de balcones exteriores situados en los pisos 0, 2, 10 y 20, y una serie de puentes cruzando un cañón a diferentes alturas y con diferentes aspectos de firmeza. Adicionalmente, construyeron una estructura de madera con una barandilla para aumentar las sensaciones del usuario. Dicha estructura tenía insertados unos botones para permitir al usuario subir y bajar en el entorno virtual. El estudio lo completaron 17 participantes seleccionados por unos cuestionarios previos como posibles pacientes de acrofobia. Eran estudiantes con una media de edad de 20 años. Aleatoriamente eran expuestos al sistema durante 7 sesiones de 35-45 minutos o simplemente no eran tratados. La evaluación del tratamiento se hizo mediante una batería de cuestionarios cumplimentados antes y después de la experiencia y preguntando al usuario durante la sesión por su nivel de confort. Los resultados mostraron que los niveles de ansiedad disminuían con el tiempo y aumentaban con la

altura, tal como ocurre en la exposición “in vivo” tradicional, con lo cual se demuestra la utilidad de la exposición mediante TV.

- En el año 1996, una vez más, el grupo de Rothbaum y North, utilizando de nuevo VREAM, desarrolló un escenario en el que había un ascensor exterior que alcanzaba diferentes alturas, en cada una de ellas, el usuario podía asomarse a un balcón. Además, la exposición era gradual, comenzando desde la altura del suelo, al lado de un puente que cruzaba un río, en medio de un pueblo. Hubo un único paciente, el cual reveló haber tenido un alto grado de inmersión en el entorno. La terapia consistió en un total de 8 sesiones de 20 minutos, en las que el usuario se exponía al entorno virtual. Tras completar el tratamiento era capaz de enfrentarse a una altura de un piso 15 sin sentir miedo [North96b].
- Otro grupo de investigación que ha contribuido considerablemente en la aplicación de la exposición virtual para el tratamiento de la acrofobia es el de Emmelkamp. En el año 2000 presentaron su primera aproximación en esta área [Schuemie00]. El experimento se dividió en dos partes, una primera con 6 participantes en la que se mejoró el sistema gracias a sus comentarios. En la segunda parte se utilizaron 10 participantes que fueron los que evaluaron la eficacia ante la acrofobia del sistema. Éste constaba de un ‘tracker’ inercial, un HMD de baja calidad al cual se le añadió un trozo de tela para impedir que el usuario viera parte del entorno real, además constaba de una plataforma con una barandilla para incrementar la sensación de presencia del participante. La figura 8(a) muestra al participante con todo el equipamiento necesario. Los escenarios representados eran una montaña rusa, dos torres de trampolín sobre una piscina, y un ascensor de cristal sobre esa misma piscina, todos ellos se pueden observar en las figuras 8(b), 8(c) y 8(d). Además, los autores intentaron dotar de mayor realismo a dichos escenarios mediante la inclusión de diferentes sonidos. Los resultados mostraron que un sistema de RV no necesariamente tiene que tener muchos detalles para ser efectivo en el tratamiento de la acrofobia.

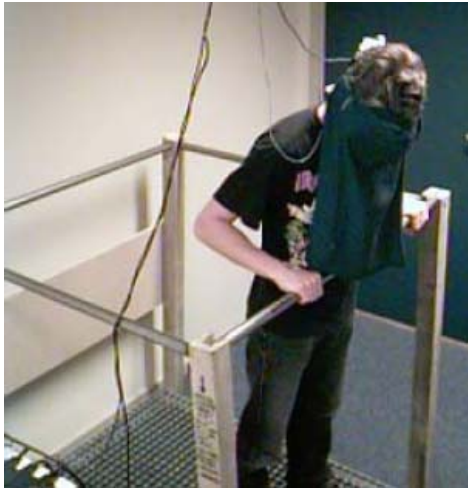


Figura 8(a): Usuario apoyado en la barandilla



Figura 8(b): Montaña rusa

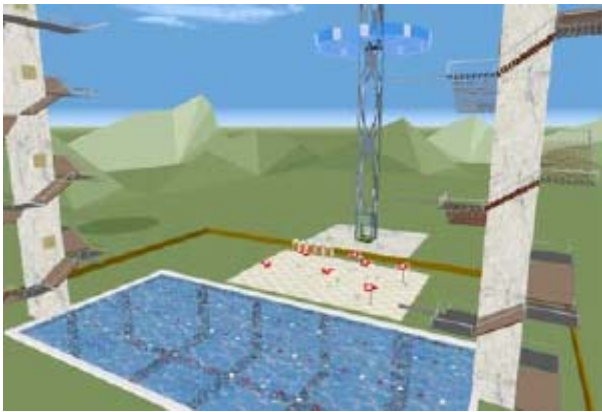


Figura 8(c): Piscina con trampolines y ascensor acristalado



Figura 8(d): Vista desde un trampolín

- De nuevo, Emmelkamp et al., en el año 2001 presentaron otro estudio controlado con pacientes de acrofobia [Emmelkamp01]. Se trataron un total de 10 sujetos con miedo a las alturas. Se trataba de comparar la efectividad de la exposición “in vivo” frente a la de la exposición mediante TV. En primer lugar eran sometidos a la TV para después someterse a una sesión de exposición “in vivo”. Los entornos virtuales desarrollados simulaban un trampolín alto sobre una piscina, y una torre de construcción con un ascensor. Mientras que los entornos reales en los que se realizó la exposición “in vivo” eran una escalera de incendios en un espacio abierto, un balcón de un piso 18 y una azotea de un edificio de 5 plantas. Como resultado del estudio se concluyó que la exposición mediante TV fue tan efectiva como la exposición “in vivo”, aunque hubo una variable que no se tuvo en cuenta, el orden en que se exponían los sujetos.



- En el año 2001, Choi et al. [Choi01] realizaron un estudio con un paciente de 61 años. Dicho estudio constaba de 6 sesiones de 30 minutos. La escena virtual desarrollada constaba de una torre de acero similar a las utilizadas para hacer puenting, con un ascensor abierto en su interior. Además, intentaron aumentar el realismo incluyendo efectos sonoros de viento, y movimiento en la escena provocado por éste. El paciente permanecía aislado y monitorizado por el terapeuta en una sala oscura. El sistema constaba de un HMD, un 'tracker' electromagnético y un simulador de conducción. El tratamiento comenzó exponiendo al paciente al primer piso de la escena recreada, para posteriormente incrementar la altura. Durante la exposición se le preguntaba para conocer su nivel de estrés en una escala de 0 a 100. El paciente fue experimentando una reducción de su estrés a lo largo de las sesiones, y llegó a estar en un piso 25 del ambiente virtual que era el máximo. Llegado a ese punto, el paciente deseaba exponerse a situaciones reales, y lo hizo, llegando a subir al edificio más alto de su ciudad (Seul), cuando nunca había sido capaz de permanecer en una altura superior a la de una décima planta. Los resultados mostraron una reducción muy significativa de los síntomas del trastorno tras el tratamiento. Las figuras 9(a) y 9(b) muestran el entorno desarrollado y al usuario del sistema equipado con el HMD.



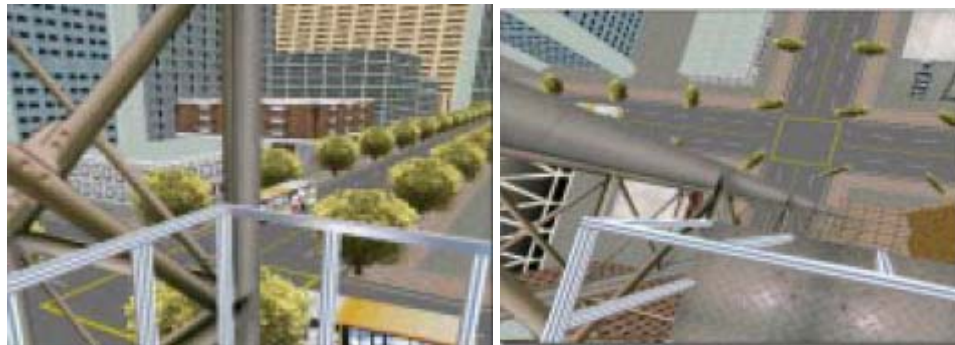
Figuras 9(a) y 9(b): Escena virtual y usuario con HMD, respectivamente

- En el año 2002, nuevamente, el grupo de Emmelkamp [Emmelkamp02] presentó otro estudio controlado en el que un total de 37 sujetos se sometieron en un orden aleatorio a la exposición mediante TV (17) y a la exposición "in vivo" (16). Los escenarios reales para la exposición "in vivo" fueron la parte alta de un centro comercial de cuatro plantas, una escalera de incendios de seis pisos en un espacio abierto y una terraza de un edificio. Esos tres escenarios se replicaron en la aplicación de RV para el



tratamiento. Como resultado del estudio, nuevamente se concluyó que la exposición con TV era tan efectiva como la exposición “in vivo”.

- En el mismo año, Jang et al. [Jang02] publicaron un trabajo similar al que publicaron un año antes [Choi01], en él, un único paciente de 60 años de edad que había experimentado miedo a las alturas durante años se exponía al ambiente virtual durante 8 sesiones de 25-30 minutos. La escena desarrollada consistía en una torre de las que se utilizan para hacer puenting en medio de una ciudad, con un ascensor abierto en su interior. El sistema hacía uso de un HMD, un ‘tracker’ electromagnético, un sistema de sonido 3D y una estructura metálica a modo de barandilla con las mismas características que la existente en el entorno virtual, tal y como se puede ver en las figuras 10(a) y 10(b). El ascensor subía hasta un piso 50, y era acompañado de sonidos que simulaban el viento y el movimiento del ascensor. Además, el usuario era aislado en una sala oscura y se comunicaba con el terapeuta a través de un micrófono, el cual podía verlo a través de una cámara de vídeo. El usuario debía rellenar una serie de cuestionarios sobre acrofobia antes de la terapia, y cuando ésta comenzaba, el terapeuta le preguntaba periódicamente por su nivel de ansiedad en una escala de 0 a 100. Al finalizar la terapia, el usuario rellenaba otro cuestionario para averiguar si la sesión le había provocado algún tipo de daño físico. Los resultados mostraron una reducción significativa de la ansiedad del paciente.



Figuras 10(a) y 10(b): Escena virtual vista desde la posición del usuario

- Meehan et al. [Meehan02] presentaron en ese mismo año un trabajo muy interesante en el que intentaban demostrar que el nivel de presencia de un usuario en un entorno virtual puede ser cuantificado mediante medidas fisiológicas. Para ello parten de la hipótesis de que un entorno virtual provoca similares respuestas fisiológicas que un entorno real de las mismas características, y cuanto más real sea dicho entorno, a juicio del usuario, mayor respuesta provoca. Para ello, diseñaron un entorno virtual

compuesto de dos habitaciones. La primera de ellas se usa para “entrenamiento”, es donde el usuario se habitúa al uso del sistema, y donde los autores marcan una referencia para las señales fisiológicas. La segunda habitación, que se comunica con la primera, y tiene un agujero en su centro, con una pequeña pasarela, permitiendo ver otra estancia al fondo de ésta, como se puede observar en la figura 11(a). El experimento se divide en tres partes: una primera donde se valora el efecto de múltiples exposiciones al sistema, una segunda donde se valora el efecto de incluir un elemento háptico pasivo (pasarela real bajo los pies del usuario, ver figura 11(b)), y una tercera en la que se evalúa el efecto de cambiar el frame rate con el que funciona el sistema. Las variables que monitorizan son el ritmo cardíaco, la conductancia de la piel y la temperatura de la piel. Además utilizaron cuestionarios basados en los creados por Slater et al. [Slater94], para buscar una correlación entre los resultados obtenidos mediante las medidas fisiológicas y los reportados mediante dichos cuestionarios. Los resultados mostraron que la frecuencia cardíaca es la variable que mayor correlación presenta con los resultados obtenidos con los cuestionarios. Además, demostraron que las medidas fisiológicas más adecuadas para cuantificar la presencia son la frecuencia cardíaca y la conductancia de la piel (aunque la frecuencia cardíaca presenta mejores características). Por otra parte, confirmaron que la múltiples exposiciones al sistema hacen que la respuesta fisiológica, y por lo tanto la presencia, disminuya, aunque no a niveles que hagan inusable dicha medida. También confirmaron que el aumento del frame rate de la aplicación, aumenta el nivel de presencia. Por último, también confirmaron que un elemento háptico añadido al sistema hace que éste genere mayor respuesta fisiológica, y por tanto, mayor presencia.



Figura 11(a): Habitación de entrenamiento y habitación con elementos “acrofóbicos”



Figura 11(b): Usuario con equipo de medidas y sobre la plataforma

- En el año 2004, el ya mencionado grupo de Emmelkamp [Krijn04] presentó otro estudio controlado en el que investigaban la efectividad de la exposición mediante TV variando el nivel de presencia. Para ello visualizaban unos entornos virtuales correspondientes a una escalera de incendios de seis pisos en un espacio abierto, una terraza de un edificio y un patio interior de un edificio de ocho plantas en un HMD y en un CAVE. Todos los entornos se pueden ver en las figuras 12(a), 12(b), 12(c) y 12(d). Se sometieron al estudio un total de 37 sujetos, los cuales, aleatoriamente se exponían a uno de los dos sistemas, o bien no se exponían a nada. Este último grupo de usuarios fue utilizado para estudiar si el tiempo esperando tratamiento afectaba a su fobia. La terapia consistió en tres sesiones de una hora. La fobia de los sujetos que no eran sometidos a tratamiento no se vio afectada por el tiempo de espera, por lo que se decidió someterlos aleatoriamente a uno de los dos sistemas desarrollados. Los resultados concluyeron que no había diferencias significativas en la efectividad de los dos sistemas, y que ambos eran más efectivos que no haber realizado ningún tratamiento. El estudio también mostró que se alcanzaba un nivel de presencia mayor en el CAVE, lo cual, sin embargo, no hacía que este sistema fuera más efectivo. Cabe destacar que este trabajo es similar al que se presenta con detalle en el apartado 5 de esta tesis, en el que se compara la efectividad de un mismo entorno virtual visualizado en un HMD y en un CAVE. Sin embargo, en el estudio de Krijn no se encontró correlación alguna entre las variables presencia y ansiedad, hecho que sí se demuestra en el estudio de la presente tesis.



Figura 12(a): Centro comercial

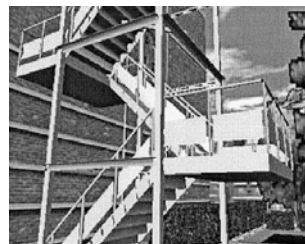


Figura 12(b): Escalera de incendios



Figura 12(c): Terraza de un edificio

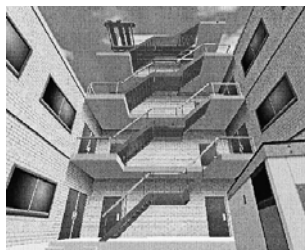


Figura 12(d): Patio interior de un edificio de ocho plantas

- En 2007, Krijn et al. [Krijn07] presentaron un trabajo, en el que tratan de evaluar si se mejora los efectos de la exposición virtual, haciendo que los pacientes hagan uso de la terapia cognitiva consistente en copiar auto afirmaciones (refuerzos), para ello hacen uso de un sistema de RV para el tratamiento de la acrofobia, el cual recrea los entornos virtuales que se ven en las figuras 12(b), 12(c) y 12(d), dicho sistema presenta estereoscopía y es visualizado sobre un HMD. Un total de 35 pacientes de acrofobia formaron parte del estudio, aunque por diferentes razones, ese número decreció hasta 26. El experimento consistió en únicamente aplicar exposición mediante RV, y la misma técnica seguida de la copia de auto afirmaciones. De esta forma se trataba de valorar si esta terapia cognitiva añadida aumentaría el nivel de presencia y por tanto la eficacia del tratamiento. Para ello se utilizaron diferentes cuestionarios antes y después de las sesiones, así como la valoración subjetiva del paciente respecto a su ansiedad durante la exposición. Los resultados demostraron que ambas terapias eran eficaces para el tratamiento de la acrofobia, pero no se encontró influencia alguna en el tratamiento por haber copiado auto afirmaciones. Los autores argumentan que en otros tipos de tratamientos sí fue efectivo, y que quizás habría que hacer más estudios y probar con otras terapias cognitivas.
- Un trabajo reciente en este campo es el publicado por Ibrahim et al. [Ibrahim08]. Dichos autores sometieron a estudio un total de 50 usuarios, los cuales visualizaban un entorno virtual sobre el que no tenían ningún tipo de control, era el terapeuta quien controlaba los parámetros de la simulación. El entorno virtual constaba de unos cuantos edificios altos en mitad de una ciudad, con coches circulando, así como un helicóptero volando sobre ella. La figura 13 muestra una imagen del entorno. Además se incluye un ascensor abierto en el que el usuario va desde el nivel del suelo hasta un piso 60. También se incluyen efectos sonoros tridimensionales para el viento de los pisos superiores, así como para el ruido provocado por el helicóptero pasando cerca del edificio en el que está el usuario. El sistema consta de un HMD y una plataforma con un mecanismo que provoca su vibración y que intenta simular el movimiento de un ascensor. El experimento consiste en llevar al usuario hasta el piso más alto, para luego hacerlo bajar vertiginosamente, en ese instante se observan sus reacciones. Tras la exposición se hacen unas preguntas de opinión sobre el entorno. Obtuvieron como resultado que más de la mitad de los usuarios consideraban muy real el escenario, aunque también observaron la necesidad de añadir control sobre el escenario por parte del usuario.

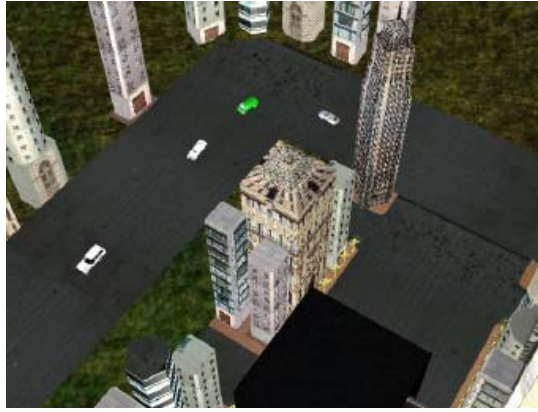


Figura 13: Visión del usuario desde el nivel más alto recreado por el sistema

## 2.5 Conclusiones

En este capítulo se han presentado las tecnologías utilizadas en los experimentos llevados a cabo en la presente tesis, RV y RA. En primer lugar, se ha descrito qué es la RA, definiendo como sistema de RA aquél en el que exista combinación de imagen real y virtual, interacción en tiempo real y localización 3D. Seguidamente, se ha realizado una comparativa entre RV y RA, definiendo en primer lugar la RV como *“un entorno tridimensional, interactivo y generado por ordenador en el cual se sumerge una persona”* [Aukstakalnis92], para después enumerar la principales ventajas y desventajas de sendas tecnologías.

A continuación, se ha introducido el concepto de terapia virtual en trastornos de ansiedad. En primer lugar, se han explicado las terapias psicológicas tradicionales, en las que destaca la exposición “in vivo”, donde el paciente se enfrenta a la situación real que teme. Seguidamente, se han citado las variables que pueden afectar al grado de inmersión de un usuario en un entorno virtual (visualización sobre HMD, en CAVE, campo de visión de la tecnología de visualización utilizada, etc.). Tras dicha explicación se ha definido la “presencia”, como la percepción psicológica de “estar” o “existir” en un entorno virtual en el cual el sujeto está inmerso [Heeter92] [Witmer98]. Además, se han citado las variables que le afectan. Posteriormente, se ha explicado el origen de la TV como la terapia exposición haciendo uso de un entorno virtual, así como las ventajas que esta técnica ofrece respecto a los tratamientos tradicionales. Llegados a este punto, se han definido los trastornos de ansiedad, destacando la fobia social, el trastorno de pánico con agorafobia, el trastorno de estrés postraumático y las fobias específicas, donde hay que destacar la acrofobia, que es la problemática en la que se centra la presente tesis.

Por último, se han descrito los sistemas existentes hasta la fecha para el tratamiento de la acrofobia mediante RV. El primer sistema de RV documentado es el que se describe en [Knox93], aunque hay que destacar como más importante el que realizó el grupo de Rothbaum y North en 1995 al publicar el primer caso de estudio controlado sobre la usabilidad de un software diseñado para el tratamiento de la acrofobia [Rothbaum95a]. Este grupo de investigadores ha contribuido considerablemente en este campo [Rothbaum95b] [Hodges95] [North96b]. Otro grupo de investigación que también ha contribuido significativamente en este campo es el de Emmelkamp [Schuemie00] [Emmelkamp01] [Emmelkamp02] [Krijn04] [Krijn07]. También se han citado otros trabajos de investigadores externos a estos dos grupos [Choi01] [Jang02] [Meehan02] [Ibrahim08]. En este último grupo de trabajos hay que destacar [Meehan02] donde se evalúa la usabilidad de medidas fisiológicas para medir la presencia en un entorno virtual.

## **3 “Foto navegable”**

### **3.1 Introducción**

En este capítulo se describirá de forma detallada la aplicación de RA desarrollada y se presentarán todos los materiales y dispositivos que fueron necesarios para la creación de la misma. También se va a exponer de forma detallada el estudio realizado para validar la efectividad del sistema de RA que simula una situación acrofóbica en la que el usuario ve una escalera desde cierta altura. Además, el estudio compara esta situación con el entorno real donde se encuentra dicha escalera.

El capítulo se ha dividido en las siguientes secciones:

- En primer lugar, se describirá de forma general el sistema desarrollado.
- En segundo lugar, se describirán las funcionalidades que ofrecen Brainstorm eStudio y la librería ARToolKit.
- En tercer lugar, se centrará la atención en el desarrollo del sistema implementado, es decir, en los pasos y funciones que se han realizado. Esta parte especifica principalmente la fase de creación del sistema a nivel de programación.
- En cuarto lugar, se presentarán los elementos materiales que forman parte de la aplicación.
- En quinto lugar, se describirán los requisitos técnicos para la creación y ejecución de la aplicación.
- En sexto lugar, se explicará de forma detallada los pasos seguidos para realizar el estudio.
- Por último, se presentarán los resultados del estudio, pruebas realizadas y los métodos utilizados en el análisis de datos.

### **3.2 Descripción general del sistema**

El sistema desarrollado consiste en una aplicación de RA que hace uso de la fotografía inmersiva o navegable para recrear entornos acrofóbicos. Con esta técnica fotográfica se puede captar un entorno real de forma muy precisa, lo que reduce notablemente la tarea de modelado. Además, con dicha técnica se puede “navegar” dentro de la fotografía.

Todos los estudios realizados en la presente tesis se han planteado de forma comparativa. Así, en este caso, se va a comparar el sistema desarrollado con el entorno real que representa.

En este sistema el usuario ve una escena en la que se percibe cierta altura (segundo piso). En concreto se trata de la vista estereoscópica de una escalera exterior a una altura media. Cuando el usuario mira hacia abajo se fuerza la situación acrofóbica. Si mira un poco más hacia abajo puede llegar a ver sus pies integrados en el ambiente.

El usuario tiene que ir provisto de un casco de RV para la visualización del entorno, un 'tracker' de cabeza para navegar por la fotografía inmersiva, y una cámara de vídeo para captar el entorno real y poder desplazarse de forma lateral en la escena gracias a unos marcadores que devuelven su posición y orientación dentro de la misma. Todos estos elementos se describen con precisión en este capítulo.

El sistema de navegación sigue cualquier giro de la cabeza del usuario, y los movimientos correspondientes a pasos laterales.

Las pruebas con usuarios sin fobia se realizan en un despacho en el que se encuentra el montaje del sistema de RA. Dicho despacho se encuentra situado muy cerca del ambiente real que representa el sistema, así la comparación resulta más fácil. La forma de proceder en las pruebas está descrita en el protocolo que se presenta en este mismo capítulo.

### ***3.3 Análisis de las herramientas a utilizar***

#### **3.3.1 ARToolKit**

ARToolKit es una librería software escrita en lenguaje C desarrollada en la Universidad de Washington (<http://www.hitl.washington.edu>) como parte de un proyecto para la colaboración personal cara a cara y mediante videoconferencia [Kato00], que permite a los programadores desarrollar fácilmente aplicaciones de RA.

La librería ARToolKit utiliza técnicas de visión por ordenador para calcular la posición y orientación de la cámara con respecto a unas marcas, permitiendo al programador la colocación de elementos virtuales sobre dichas marcas. Además incluye las librerías de seguimiento y el código fuente completo de estas librerías, permitiendo al programador usar este código en cualquier tipo de plataforma y adaptarlo a sus propias aplicaciones.

Los pasos a seguir en su modo de funcionamiento se muestran en la figura 14. Primero se captura la imagen de vídeo real a través de la cámara (Figura 14(a)), este frame capturado se transforma en una imagen binaria (blanco y negro) mediante un



valor umbral de luz (Figura 14(b)). Entonces, se busca e identifica en esta imagen todas las regiones cuadradas para buscar posibles marcas. ARToolKit encuentra todas las regiones de este tipo en la imagen binaria, aunque muchas de éstas no serán patrones de seguimiento. Para cada región cuadrada, se captura el patrón o símbolo del interior de estas regiones y se compara con las plantillas de los patrones anteriormente almacenados. Si al comparar el patrón capturado con el que teníamos previamente almacenado existe coincidencia, entonces significa que ARToolKit ha encontrado uno de los patrones de seguimiento de la librería que usa la aplicación.

Una vez localizado un patrón conocido, la librería usa el tamaño de la región que tiene almacenado en un fichero según el patrón, junto con su orientación y posición en la imagen, y calcula la posición de la cámara relativa a la marca en el mundo real. Las coordenadas de la cámara del mundo real en esta posición relativa a la marca o patrón se almacenan en una matriz 3x4. Esta matriz se utilizará más tarde para situar las coordenadas de la cámara virtual que es la encargada de la visión de los objetos virtuales. Por lo que, al estar ambas cámaras, la real y la virtual, en las mismas coordenadas, ya podemos dibujar los gráficos generados por ordenador, situándose éstos precisamente sobre la marca real (Figura 14(c)).



Fig.14(a): Video de entrada

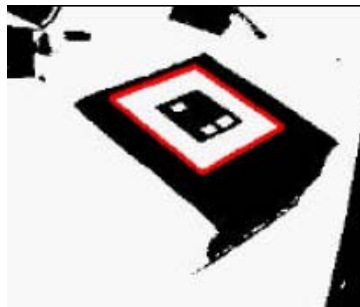


Fig.14(b): Video con transformación binaria

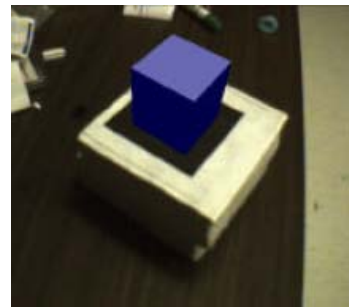


Fig.14(c): Incrustación de objeto virtual

El factor lumínico es muy importante a la hora de reconocer los patrones. Durante el desarrollo y creación de la aplicación tanto como en el posterior uso de la misma, debe mantenerse siempre unas condiciones de luz adecuadas. Dadas dichas condiciones, debe verse el objeto virtual sin problema. En la figura 15 se muestra el esquema básico de los pasos que sigue el proceso de ARToolKit, desde que comienza la captura de vídeo hasta que dibuja el objeto deseado sobre el patrón.

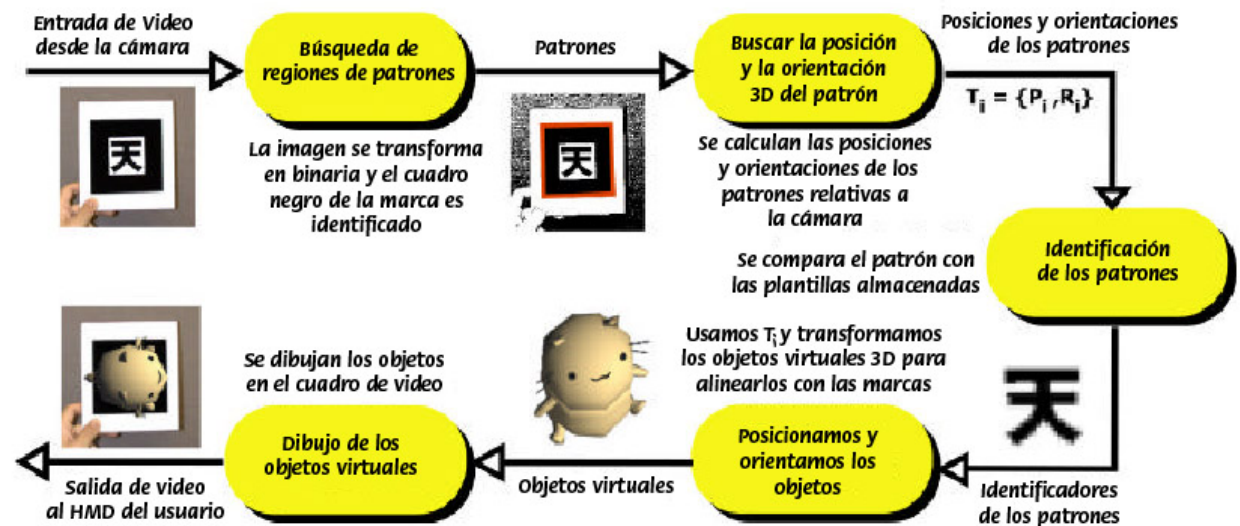


Figura 15: Esquema del proceso que sigue ARToolKit para dibujar un objeto sobre un patrón

### 3.3.2 Brainstorm eStudio

Todos los sistemas desarrollados en la presente tesis se han implementado usando Brainstorm eStudio, el cual ha sido creado y comercializado por Brainstorm Multimedia ([www.brainstorm.es](http://www.brainstorm.es)). Brainstorm eStudio es una herramienta de presentación avanzada multiplataforma de gráficos 3D en tiempo real. Esta herramienta incorpora características como puede ser la inclusión de objetos 3D de forma muy intuitiva, que además pueden ser importados desde ficheros e incluso permite su animación; generar textos en 3D, añadir vídeos a superficies, generar sus propios interfaces y temporizadores, definir acciones que se ejecuten al seleccionar objetos, añadir sonidos, cargar o guardar configuraciones, etc. [Brainstorm03]. Todo es posible realizarlo con el uso del ratón, con menús pop-up y acciones de pinchar y arrastrar. El lenguaje usado para programar en este motor gráfico es Python. Brainstorm eStudio puede ser definido como un interfaz que el programador puede usar para crear complejas visualizaciones en 3D, sin necesidad de utilizar OpenGL.

Se ha incluido la librería ARToolKit en Brainstorm eStudio como un plugin que ha sido programado en C++. De esta forma se ha conseguido incluir opciones de RA en una herramienta de presentación de gráficos 3D, con todas las ventajas que supone.

La figura 16 muestra el aspecto del interfaz gráfico de Brainstorm eStudio, donde se distinguen claramente la ventana donde se muestran los gráficos (GfX Window) y el interfaz para su control (GlobalList Interface).

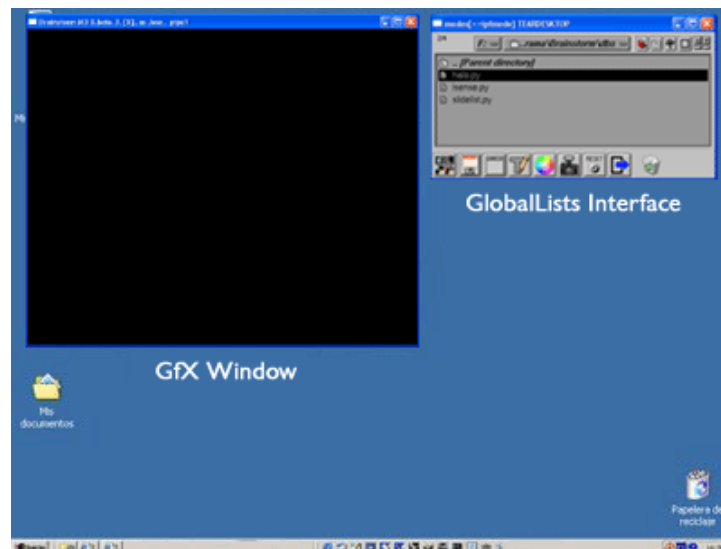


Figura 16: Brainstorm eStudio en un entorno Windows

Todos los archivos de configuración de Brainstorm eStudio (excepto los archivos de texturas, de formato de objetos 3D y de sonidos) son archivos ASCII con sintaxis Python ([www.python.org](http://www.python.org)). En el arranque de una aplicación, Brainstorm eStudio lee e interpreta de cada uno de estos archivos como una colección secuencial de comandos y parámetros. Notar que si se van a desarrollar simulaciones sencillas (no es el caso de la presente tesis) no es necesaria la manipulación de estos archivos de configuración.

Brainstorm eStudio está organizado en listas, elementos de lista y editores de lista. Dichas listas se usan para organizar todos los datos de configuración. Cualquier entidad en Brainstorm eStudio pertenece a una lista. Cada lista representa un concepto, y cada elemento de la lista es una instancia del concepto. Por ejemplo, existe una lista de luces, y cada elemento de esta lista es una de las luces de la simulación. La figura 17(a) muestra esta lista compuesta, en este caso, por las tres luces que se incorporan por defecto.

Cada elemento de la lista tiene una colección de parámetros que define el elemento. Por ejemplo, cada luz en la lista de luces tiene una posición, orientación, color, etc., tal y como se muestra en la figura 17(b).



Figura 17(a): Lista de luces

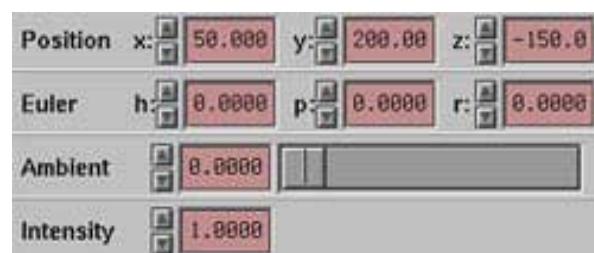


Figura 17(b): Editores de la lista de luces

Las herramientas de interfaz que permiten al usuario modificar estos parámetros se conocen como editores, por lo tanto, cada lista tiene una colección de editores que permiten modificar los parámetros de los elementos de esa lista. Los nombres de dichos editores se usarán para crear enlaces, eventos, etc.

El esqueleto de una configuración de Brainstorm eStudio se llama 'database' y es un conjunto de referencias entre elementos de distintas listas.

### **3.4 Desarrollo del sistema**

Este sistema se basa en la técnica de fotografía inmersiva. Dicha técnica se desarrolló ampliamente durante la década de los noventa, aunque se utilizó únicamente en sistemas de RV. Sin embargo, en este trabajo se utiliza en un sistema de RA.

La técnica de fotografía inmersiva se basa en capturar todo el espacio desde un punto y procesar digitalmente las imágenes así capturadas para obtener una foto de 360 grados. De esta forma, existen sistemas de visualización panorámica como QuickTime VR [Chen95], que es un sistema basado en imágenes estáticas, panorámicas y cilíndricas de 360 grados, donde el usuario ve una fotografía inmersiva que aparentando ser bidimensional, permite manipularla y girarla sobre 360 grados. Así, en este tipo de entornos, el usuario solo puede ver esa foto y nada más, sin embargo, en el sistema desarrollado podrá ver parte del entorno real e incluso partes de su propio cuerpo.

En este sistema se consideró como básico que el usuario tuviera visión estereoscópica del entorno. En definitiva, se tienen que conseguir dos ventanas de simulación (o una extendida), con dos cámaras virtuales de simulación que se encuentren separadas virtualmente entre sí, la distancia que existe entre los ojos de una persona (distancia interpupilar). Para este propósito se creó un primer prototipo en Brainstorm eStudio investigando las posibilidades que ofrecía en este sentido.

En primer lugar, se investigó la posibilidad de crear la escena estereoscópica utilizando una única imagen, con la opción que incorpora Brainstorm eStudio para mostrar estereoscopía, y el resultado fue que la imagen se veía doble, no se apreciaba ningún tipo de 3D. Por lo que se estudió una segunda opción, que finalmente resultó definitiva. Dicha opción consistió en tomar dos fotografías a lo largo de una misma línea recta, separadas entre sí aproximadamente la distancia que existe entre los ojos del ser humano (unos 6 centímetros). Así, el siguiente paso era colocar ese par de fotos enfrente de los ojos del usuario, de forma que cada ojo solo captara una de ellas.

Considerando que se iba a utilizar como dispositivo de visualización un HMD, la solución consistía en disponer de dos pantallas de visualización separadas, cada una de ellas procedente de las salidas VGA y DVI de la tarjeta gráfica del PC encargado

del funcionamiento del sistema. Para conseguirlo, en Brainstorm eStudio hay que crear dos cámaras de simulación y dos “pipes” (pantallas) asociados a ellas. El PC debe tener habilitado el doble monitor, y en el entorno hay que hacer que cada pantalla se sitúe en cada uno de los lados del escritorio. Además, hay que hacer que lo que se vea en cada pantalla sea diferente. Para conseguirlo, se posicionará una de las cámaras de simulación en el origen de coordenadas, orientada con un determinado ángulo, mientras que la otra se orientará con el mismo ángulo pero se posicionará en un punto muy alejado del origen (en cualquiera de los ejes). Las fotografías se colocan en el mismo punto que están las cámaras de simulación aunque desplazadas cierta distancia en el eje perpendicular que separa dichas cámaras, tal y como muestra el esquema de la figura 18.



Figura 18: Esquema para conseguir estereoscopia con imágenes distintas

En este primer sistema, se tomaron dos fotografías, separadas 6 centímetros entre ellas, mediante una cámara estándar con objetivo también estándar. Después, siguiendo el esquema que se acaba de presentar, se montó el primer sistema, en el que se mostraba al usuario, mediante un HMD, dos fotografías planas (una a cada ojo). El sistema produjo unos resultados muy satisfactorios, se apreciaba un 3D muy notable, que podía mejorar utilizando fotos inmersivas.

Por lo tanto, el siguiente paso fue crear este tipo de fotografías, las cuales serían “mapeadas” como texturas en esferas, cuya parte interior sería el objeto que visualizarían las cámaras de simulación. Estas fotos se obtienen tras capturar el ambiente con una cámara fotográfica digital a la que se le acopla un objetivo tipo “ojo de pez”, el cual permite obtener fotografías con un ángulo de visión de 180 grados, como la que se muestra en la figura 19.



Figura 19: Fotografía obtenida con un objetivo tipo “ojo de pez”

El protocolo que se impuso a la hora de capturar las fotografías para tener visión estereoscópica fue tomarlas sobre una misma línea recta a unas distancias de 5, 6 y 7 centímetros, simulando así la variación que puede existir en la distancia interocular del ser humano. Para este propósito se utilizó un soporte metálico con agujeros situados a las distancias citadas. Además, se tomaron otra serie de pares de fotos a una distancia a derecha e izquierda de 2 metros, para simular el desplazamiento lateral del usuario.

Como primera consideración en el tratamiento de las fotografías, cabe comentar que la imagen no es cuadrada y tiene que serlo para su posterior conversión a foto inmersiva.

Ya que era necesario utilizar esferas como elemento primitivo para la visualización, las fotos panorámicas debían ser de 360 grados, y la foto que se acaba de mostrar solo capta 180 grados, con lo que en principio sería necesaria otra foto de 180 grados para obtener el panorama completo. La intención era crear un sistema de RA, por lo que había que mostrar el ambiente real, y se consiguió utilizando una foto de 180 grados cuyo interior fuera un canal de transparencia, como se puede observar en las figuras 20(a) y 20(b).



Figura 20(a): Imagen ya recortada para ser cuadrada

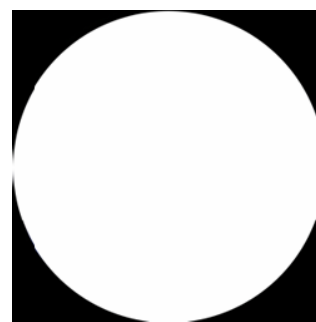


Figura 20(b): Imagen con canal de transparencia

El siguiente paso fue crear la fotografía inmersiva en sí, lo cual requirió la utilización de una herramienta incorporada en el paquete Panorama Tools de Helmut Dersch [Panorama08], en concreto PtPicker. Dicha herramienta precisaba el marcado de unos puntos de control que coincidieran en ambas imágenes, aunque no era imprescindible ser muy preciso, ya que la herramienta realizaba ciertas optimizaciones que solventaban esa posible imprecisión en el marcado. La figura 21 muestra algunos puntos de control marcados en verde.

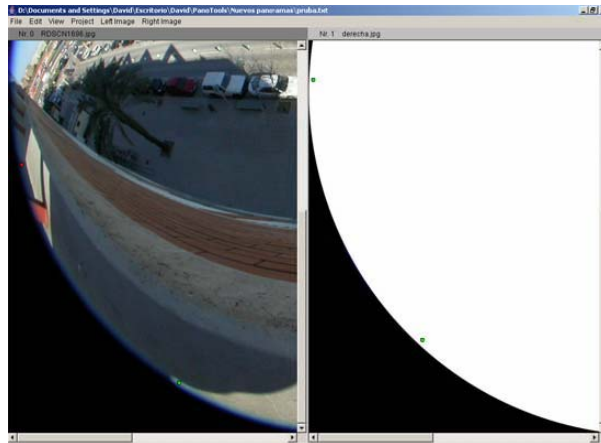


Figura 21: Herramienta PtPicker

PtPicker proporcionaba como salida una imagen deformada lista para ser “mapeada” sobre una esfera. Aunque se trataba ligeramente con Adobe Photoshop para eliminar partes indeseadas en las fotos, así como para verificar el canal de transparencia, que normalmente se extendía para cubrir imperfecciones del tratamiento de las fotos. En la figura 22 se observa la fotografía resultado.



Figura 22: Foto panorámica lista para ser “mapeada” sobre una esfera



A continuación se mapea esta foto sobre una esfera en Brainstorm eStudio, habilitando la transparencia del material correspondiente, con lo que se tiene una foto inmersiva en un espacio de 180 grados y el resto disponible para la introducción de una fuente de vídeo, que en este caso corresponde a una cámara web.

Adicionalmente, se variaba el campo de visión de las cámaras de simulación así como la distancia existente entre la cámara virtual de simulación y la foto inmersiva, para que el campo de visión de la fuente de vídeo estuviera lo más ajustado posible al de la foto (el resultado es equivalente a aplicar un escalado en la foto).

Seguidamente, se definió la navegación del usuario en el entorno, y en principio se optó por una navegación con tres grados de libertad, que fueran los ángulos de giro de su propia cabeza. Se consiguió utilizando un 'tracker' de cabeza el cual devolvía los ángulos de giro 'head', 'pitch' y 'roll', mediante un plugin desarrollado en C++. Dichos datos se enlazaban mediante las herramientas "bind" de Brainstorm eStudio a los editores correspondientes a los ángulos de visión de ambas cámaras de simulación. Así, cuando el usuario giraba la cabeza, las cámaras virtuales rotaban según ese ángulo para mostrar la parte de la foto correspondiente. Por ejemplo, en el caso de girar entorno a sí mismo más de 90 grados o mirar hacia el suelo, veía el entorno real.

En este punto del desarrollo, el sistema se podía considerar acabado para el propósito del estudio, pero se le introdujo una última mejora, consistente en poder navegar también de forma espacial (no solo angular), aunque de forma limitada. Se trata de poder desplazarse horizontalmente sobre el escenario. El usuario podía desplazarse dentro de la foto inmersiva de forma lateral (a derecha e izquierda), y al llegar a cierto punto (cuando empieza a apreciarse la curvatura de la foto inmersiva), se hacían transparentes este par de esferas y aparecía un nuevo par de fotos "mapeadas" sobre una nueva pareja de esferas situadas a cierta distancia, siguiendo el esquema de la figura 23.

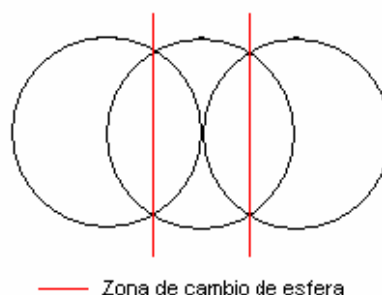


Figura 23: Esquema de las esferas destinadas a un ojo



La forma de detectar el movimiento horizontal del usuario fue utilizar la posición devuelta por marcas de ARToolKit. Se utilizó el plugin de ARToolKit sobre Brainstorm eStudio, y se dispusieron en el suelo un total de cinco marcas en línea recta, de forma paralela al movimiento lateral del usuario. Así, cuando éste miraba hacia el suelo, la cámara situada en el frontal del HMD capturaba las marcas, que tras un procesado traducían el movimiento lateral del usuario en un movimiento sobre la escena que estaba viendo (desplazando en el eje Y, la posición de las cámaras virtuales y aplicando las transparencias adecuadas a las fotos). En la figura 24 se pueden observar las marcas utilizadas y su disposición en línea.



Figura 24: Marcas utilizadas en el sistema

Las marcas estaban separadas una distancia de 50 centímetros y funcionaban como una sola, de forma que con captar una de ellas el sistema ya era capaz de calcular el desplazamiento lateral. Como primera aproximación (que al final fue definitiva) se tomaba únicamente la coordenada X de la posición devuelta por las marcas, ya que se asumía que el usuario siempre se iba a desplazar de forma paralela a ellas. Así, se enlazaba dicha coordenada al desplazamiento en el eje Y de las cámaras de simulación (aplicando una curva para escalar el movimiento). También se enlazaba con la transparencia del material de las esferas sobre las que estaban “mapeadas” las fotos inmersivas, pero modificadas con una curva que las hacía visibles o transparentes en el momento adecuado (en la posición marcada en rojo en la figura). El resultado final era que un desplazamiento lateral real de 1 metro por parte del usuario, se traducía en un desplazamiento virtual de 2 metros en el entorno (limitando así la zona de movimiento real del usuario).

Además, se introdujeron toda una colección de imágenes de diferentes localizaciones seleccionadas por psicólogos de forma que presentaba una serie de niveles de altura, desde un piso hasta una azotea de trece pisos. Todas las localizaciones eran lugares típicos para la aplicación de la terapia, balcones, borde de ventanas, azoteas, escaleras, etc. Como ejemplo se pueden observar algunas de ellas en las figuras 25(b), 25(c), 25(d), 25(e), 25(f), 25(g) y 25(h). La forma de cambiar de localización/nivel era que el supervisor de la prueba/terapeuta pulsara una serie de

teclas en las que se definieron dichos eventos, o que pulsara sobre el botón correspondiente al nivel deseado en un panel que se diseñó a posteriori (ver figura 25(a)).



Figura 25(a): Panel de control con los diferentes niveles



Figura 25(b): Vista desde un balcón en un octavo piso



Figura 25(c): Vista desde una ventana de un sexto piso



Figura 25(d): Vista interior desde el segundo piso de la escuela de informática



Figura 25(e): Vista exterior desde el segundo piso de la escuela de informática



Figura 25(f): Vista desde un puente



Figura 25(g): Vista desde la ventana de un tercer piso



Figura 25(h): Vista desde un tejado

El protocolo a la hora de aplicar la terapia consistiría en comenzar por el nivel más bajo e ir incrementándolo poco a poco. Destacar que cada cambio de panorama implicaba una serie de cambios en la configuración de la escena, sobre todo en lo que se refiere a los ajustes para que el campo de visión de la cámara virtual y real fuera lo más parecido posible.

Destacar que a la hora de realizar el estudio se utilizó solamente el panorama correspondiente a una escalera exterior de la Escuela Técnica Superior de Informática Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia vista desde el piso superior, ya que era un lugar que el usuario podía ver 'in situ', sin necesidad de desplazarse.

Por último, hay que comentar la funcionalidad extra añadida para poder adaptarse a diferentes distancias interoculares de usuarios. Así, previa la colocación del casco se puede medir la distancia entre ojos que presenta el usuario, y de esta forma cargar la escena estereoscópica más adecuada (panoramas tomados a 5, 6 ó 7 centímetros), aunque la experiencia demostró que las imágenes tomadas a 6 centímetros eran las más efectivas para casi todos los usuarios. Esta funcionalidad estaba disponible para el supervisor de la prueba/terapeuta nuevamente a través de teclado mediante una serie de eventos definidos.

### **3.5 Descripción de los elementos materiales**

En cuanto a los elementos materiales de este sistema destacan sobre todo la cantidad de fotos que lo componen. A continuación, en las figuras 26(a) y 26(b) se muestra la pareja de fotos utilizada en el estudio (una para cada ojo, tomadas a 6 centímetros de distancia).



Figura 26(a): Imagen sin tratar digitalmente destinada al ojo izquierdo



Figura 26(b): Imagen sin tratar digitalmente destinada al ojo derecho

Dichas fotos no están tratadas digitalmente, es decir, se muestran tal cual fueron capturadas con el “ojo de pez”. Se puede observar que la imagen captada es análoga a la que se tiene al mirar por una “mirilla” de una puerta. Sin embargo, debido a esta distorsión, es difícil apreciar que las imágenes son ligeramente diferentes. Dicha diferencia, que ahora es imperceptible, permitirá conseguir el efecto estereoscópico. En la figura 27 se muestra una de las dos imágenes pero ya tratada digitalmente.



Figura 27: Imagen deformada para uno de los ojos

En la figura 27 se observa que la imagen está girada (‘flip’ horizontal), ello es debido a que la esfera sobre la que se va a mapear va a ser vista desde dentro, y si no se hace este giro la escena se verá al revés de cómo es en realidad.



También hay que destacar la forma en que se desarrolló la parte estereoscópica del sistema, por medio de dos pantallas dirigidas cada una a un ojo. En la figura 28 se observan las dos pantallas una al lado de la otra. Estas pantallas están situadas en cada escritorio, para poder ser enviadas a sendas salidas de la tarjeta gráfica del PC. A pesar de ser esferas, la curvatura no es apreciable por parte del usuario.



Figura 28: Las dos pantallas, una dirigida a cada ojo

En la figura 28 sí que se puede apreciar la ligera diferencia entre ambas imágenes. Por ejemplo, en la barandilla que rodea a la columna de la parte superior de la imagen: en la imagen de la derecha, en su borde izquierdo, hay más trozo de barandilla que en la imagen de la izquierda.

Por otra parte, en el estudio se comparaba el sistema de RA creado con el propio ambiente real. Para ello, el usuario debía desplazarse hasta dicho lugar y observar el entorno real. En la figura 29 se puede observar a un usuario fijándose en los detalles de dicho entorno.



Figura 29: Usuario en una parte del entorno real

Otro aspecto a resaltar en este sistema es la posibilidad que tiene el usuario de ver partes de su cuerpo en el entorno, mezcla de virtual y real, siendo el entorno real un elemento material más del sistema. Por ejemplo, a continuación se pueden observar las manos y los pies de un usuario en diferentes puntos de vista de una presa (ver figuras 30(a), 30(b), 30(c) y 30(d)).



Figura 30(a): Imagen de una presa



Figura 30(b): Imagen de las manos del usuario junto a la presa



Figura 30(c): Imagen de la misma presa desde otra perspectiva



Figura 30(d): Imagen de los pies del usuario junto a la presa

Por último, comentar otro elemento material importante como son las marcas utilizadas en el sistema, que en este caso eran un total de 5. Cada una de ellas medía 19 centímetros de lado, y se situaban en línea recta separadas por unos 50 centímetros.

### 3.6 Requisitos técnicos

En primer lugar, hay se describen los dispositivos que fueron necesarios para la captura de las fotografías base del sistema. Se utilizó un conjunto de Nikon formado por una cámara digital Coolpix 4500 y un ojo de pez modelo FC-E8. En la figuras 31(a), 31(b) y 31(c) se observan ambos dispositivos por separado y juntos.



Figura 31(a): Cámara de fotos



Figura 31(b): Ojo de pez



Figura 31(c): Conjunto

A continuación se detallan las características técnicas del ordenador donde se desarrolló y validó el sistema, se trata de:

- Procesador AMD Athlon 2.6 GHz
- 1 GB RAM
- Tarjeta NVIDIA GeForce FX 6800 128 MB
- Sistema operativo: Windows 2000

Como fuente de vídeo se utilizó una cámara Dragonfly de Point Grey Research. Se trata de una cámara con conexión Firewire que puede funcionar a 30 fps a 640x480. Es una cámara que funciona en blanco y negro a nivel hardware, pero gracias a la incorporación de un filtro de Bayer [Bayer08] es capaz de realizar la conversión a color vía software, sin apenas carga para el sistema. Una consideración extra sobre la cámara es que se le colocó una lente en formato M12 con distancia focal de 4 milímetros, lo que proporciona un gran campo de visión. En la figura 32(a) se puede observar una foto de la cámara con la lente montada, y sin la protección de cartón pluma que se construyó para dicho propósito y al mismo tiempo poder acoplarla al casco.

En cuanto al 'tracker' de cabeza, se trata de un dispositivo basado en tecnología inercial (giroscopio), el cual proporciona la orientación a la que se encuentra sometido (dispositivo de tres grados de libertad), devolviendo los ángulos 'head', 'pitch' y 'roll'. En el desarrollo de este sistema se utilizó un 'tracker' InterTrax 2 de Intersense que se

colocaba en la parte superior del casco, en una determinada posición y fijado con velcro. En la figura 32(b) se observa dicho ‘tracker’.

Este ‘tracker’ tiene como ventaja que su conexión es tipo USB, lo que hace que no sea necesario alimentar el dispositivo como en los viejos ‘trackers’ con conexión RS232. Sin embargo, tiene un gran inconveniente, y es que no soporta giros en ángulo ‘pitch’ fuera del rango  $[-90, 90]$ . Por ello, a la hora de realizar el estudio se buscó un ‘tracker’ de similares características pero sin esta limitación. Así se utilizó un MTx ‘tracker’ de la casa Xsens Motion Technologies [Xsens08], fijado con velcro a la parte superior del casco. Este ‘tracker’ también tiene conexión USB. En la figura 32(c) se puede observar dicho ‘tracker’.

Para la visualización de sendos sistemas se ha utilizado un dispositivo clásico de RV, en este caso se trata de un casco 5DT (Figura 32(d)). Además, es necesario acoplar la cámara Dragonfly al casco, de forma que se sitúe lo más cerca posible al punto de vista que tendría el usuario si no tuviera colocado el casco. Este montaje consiste en acoplarla al frontal del casco, tal y como se observa en la figura 32(e). Además, en esa figura se puede apreciar que también se ha colocado el ‘tracker’ sobre la parte superior del casco.



Figura 32(a): Cámara Dragonfly



Figura 32(b): ‘Tracker’ InterTrax 2



Figura 32(c): MTx ‘tracker’



Figura 32(d): Casco 5DT





Figura 32(e): Usuario con casco que tiene cámara y 'tracker' coplados



Figura 32(f): Cable VGAX2

Adicionalmente se ha utilizado el cable de la figura 32(f) que convierte la salida VGA de la tarjeta gráfica del ordenador en dos conectores hembra, de forma que se puede conectar uno a un monitor y el otro a una de las entradas del casco, ya que en este caso se utilizan sus dos entradas para tener una escena estereoscópica. De este modo, lo que el usuario ve por uno de sus ojos puede ser visualizado simultáneamente en el monitor, y hace que pueda existir una segunda persona que le guíe en la utilización de la aplicación.

Otra consideración es la referente a las resoluciones empleadas en ambos dispositivos de visualización (tanto monitor como casco). Los sistemas implementados pueden funcionar a cualquier resolución que sea soportada por el elemento de visualización, por lo que éste es el que definirá dicho parámetro. Por lo que respecta a trabajar con el monitor este hecho carece de importancia, sin embargo cuando se utiliza el casco 5DT no sucede lo mismo, ya que sólo es capaz de mostrar una resolución máxima de 800x600, y con un refresco máximo de 75Hz, aunque la visualización más adecuada se consigue a 60Hz.

### **3.7 Protocolo del estudio**

Este estudio fue diseñado en colaboración con el Departamento de Psicología Básica y Psicobiología de la Universitat Jaume I de Castellón y con el Departamento de Personalidad, Evaluación y Tratamientos Psicológicos de la Universidad de Valencia.

Se intentaba probar la eficacia de la fotografía inmersiva en la generación de entornos acrofóbicos. Para ello, se compararían una serie de medidas subjetivas de presencia proporcionadas por los usuarios que serían expuestos al sistema de RA desarrollado, y al entorno real en el que se basa dicho sistema. Este entorno real corresponde a una escalera exterior de la Escuela Técnica Superior de Informática Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia vista desde el piso superior.

Se impuso que, al menos, la muestra fuera de 20 usuarios, expuestos al sistema de RA y al entorno real, de forma contrabalanceada. Los resultados del estudio se obtuvieron tras el procesado de una serie de cuestionarios que rellenaban los usuarios, antes, durante y después de la experiencia.

Previamente a la exposición a cualquiera de los dos ambientes (entorno real o fotografía inmersiva), el usuario rellenaba un cuestionario sobre acrofobia [Cohen77] para excluir así los participantes que sufrieran esta fobia. En los anexos se incluye dicho cuestionario.

Seguidamente, se debería rellenar el cuestionario de personalidad NEO-FFI [Costa92] que organiza de forma jerárquica los cinco rasgos principales de la personalidad humana. Estos cinco rasgos o factores son: Neuroticismo, Extraversión, Responsabilidad, Amabilidad y Apertura, y representan un consenso en el campo de la psicología. Este cuestionario se aplicó para identificar a sujetos inestables y poder así descartarlos del estudio. El cuestionario completo se muestra en los anexos.

En último lugar, antes de iniciar la experiencia propiamente dicha, se debía rellenar el cuestionario de absorción de Tellegen-Atkinson [Tellegen74], el cual presenta una escala para medir lo bien o mal que una persona se puede llegar a concentrar en una tarea, es decir, hasta qué punto puede llegar a estar absorbida por lo que está haciendo. El cuestionario completo se muestra en los anexos.

A continuación, los usuarios escuchaban una narrativa que les introducía en la experiencia. Dicha narrativa fue:

*"Vas a estar un tiempo en un espacio en el que hay una escalera. Tú eres un guardia de seguridad de la Universidad Politécnica, y estás realizando una misión que se te ha encomendado. Te pedimos que te fijes en los detalles de dicho espacio ya que después te haremos algunas preguntas acerca de ellos. Piensa que te han mandado a vigilar este espacio, porque piensan que por ahí pueden salir unos ladrones y, por tanto, hay que estar muy atento para avisar a la central."*

Como ya se ha comentado previamente, los usuarios se expondrían de forma contrabalanceada al sistema y al entorno real, es decir, la mitad de ellos, primero utilizaría el sistema desarrollado, para después visitar el entorno real, mientras que la otra mitad se expondría en orden inverso. Así, en este punto, se debía escoger dicho orden. En el caso del entorno real no había que dotar de ningún equipamiento al usuario, mientras que en el sistema de RA había que colocarle el caso con la cámara y el 'tracker' de cabeza. Además había que facilitarle las instrucciones necesarias para una correcta orientación del 'tracker' de cabeza (reset del mismo), así como la forma de interactuar durante la experiencia.

Cada exposición del usuario o “paseo” debía durar entorno a 5-10 minutos, y lo único que tenía que hacer era observar todos los detalles del entorno. En el caso del sistema de RA la interacción era sencilla: girar la cabeza para ver el entorno y desplazarse mediante pasos laterales y mirando hacia el suelo para cambiar la perspectiva de la imagen que mostraba el sistema.

Una vez que el usuario finalizaba cada una de las exposiciones debía rellenar un cuestionario de Slater [Slater94] adaptado a esta situación. El cuestionario de Slater consta de una serie de preguntas que han demostrado ser eficaces a la hora de cuantificar el grado de presencia de un usuario en un ambiente no real. Cada cuestión se valora en una escala de 1 a 7, donde 7 representa el mayor grado de presencia. Para este estudio se han adaptado las cuestiones originales para que sigan siendo eficaces en un contexto diferente. En el anexo se muestra el cuestionario adaptado completo.

### **3.8 Resultados**

El objetivo principal de este estudio era medir el grado de ansiedad/presencia que provoca el sistema de RA “Foto navegable” en participantes no fóbicos. Como objetivos secundarios aparecen la comparación entre la efectividad del entorno real que representa el sistema y él mismo, así como discernir si el orden en que los sujetos se exponen al entorno real y al sistema desarrollado afecta a los resultados obtenidos.

Así, el estudio consta de un total de 64 sujetos, reclutados a través de anuncios repartidos por el campus de la Universidad Politécnica de Valencia. Todos los sujetos pertenecían a dos grupos: trabajadores y alumnos de la universidad. Debido al tamaño de la muestra se hizo una partición de la misma en dos grupos: expertos y no expertos en las tecnologías que son manejadas en el estudio. Destacar que es un estudio totalmente anónimo, ya que los únicos datos que se pedían a los usuarios eran su edad y sexo.

Tal y como se comentó en la descripción del protocolo, los usuarios rellenaban, en primer lugar, un cuestionario sobre acrofobia, para así descartar aquéllos que sufrieran de esta fobia. Se estableció un umbral de puntuación a partir del cual se asumía que el sujeto padecía acrofobia. Ningún sujeto superó dicho umbral.

A continuación, el usuario visionaba e interactuaba con el entorno “Foto navegable” o con el entorno real, tras lo cual, rellenaba un cuestionario que evaluaba el nivel de presencia en cualquiera de los dos entornos. Se trata de un cuestionario de Slater [Slater94], pero se adaptaron las cuestiones del mismo a la situación concreta del presente estudio. Estos son los datos que se han tratado en este estudio, ya que son suficientes para evaluar los objetivos planteados.

A continuación se mostrarán y analizarán dichos datos, divididos en los dos grupos mencionados.

### 3.8.1 No Expertos

En primer lugar, se van a mostrar los resultados que se obtuvieron de los usuarios considerados como no expertos en las tecnologías del estudio. Se trata de un total de 41 sujetos, 13 mujeres y 28 hombres, con una edad comprendida entre 17 y 45 años (media de 21.7 y desviación típica de 6.2).

La muestra está dividida en dos grupos basándose en el orden de exposición. En primer lugar están los usuarios que fueron expuestos primero al sistema desarrollado y después al entorno real, y en segundo lugar los que fueron expuestos en orden inverso.

Considerando que la escala en la que se están valorando los resultados tiene un máximo de 7, éstos son satisfactorios, salvo algún caso aislado. También, se observa que los resultados son mejores en el entorno real, como era de esperar.

El tratamiento de los datos se hizo con pruebas t para medias de dos muestras emparejadas (t Student), con un intervalo de confianza del 95% ( $p=0.05$ ), aplicadas a cada una de las seis cuestiones que formaban parte del cuestionario, considerando la muestra completa de 40 usuarios. De esta forma se trataba de discernir si la sensación de presencia en el sistema de fotografía inmersiva era similar a la inducida por el entorno real. La tabla 2 contiene los resultados obtenidos tras el análisis.

	“Foto navegable”	Entorno real	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
	Valoración media	Valoración media		
Media	5.29±1.09	6.93±0.29	9.10	2.02
Q1	5.6±1.2	6.9±0.3	6.74	2.02
Q2	5.3±1.3	6.9±0.5	7.88	2.02
Q3	5.3±1.4	6.9±0.6	6.45	2.02
Q4	5.5±1.4	6.9±0.2	6.43	2.02
Q5	5.1±1.2	6.9±0.3	10.09	2.02
Q6	5.1±1.2	6.9±0.2	8.23	2.02

Tabla 2: Resultado del análisis de los datos comparando “Foto navegable” y entorno real,  $p=0.05$

Las dos columnas “Valoración Media” contienen el valor medio de cada cuestión tanto para el sistema “Foto navegable” como para el entorno real. Además, se incluye su desviación típica. La columna “t Student” presenta el valor del estadístico t, y la columna “Valor crítico de t (dos colas)” es el valor utilizado para formar el intervalo de confianza sobre el que comparar el estadístico t, y así discernir si el resultado obtenido en la “Foto navegable” presenta diferencias estadísticas significativas respecto al entorno real.

En primer lugar, cabe destacar que se obtiene una valoración óptima en el entorno real, casi 7 puntos en todas las cuestiones, en una escala donde el máximo es 7. Lo que es lógico teniendo en cuenta que lo que está viendo es un entorno real, y se le está preguntando por su nivel de presencia en él.

En el caso del sistema desarrollado, los resultados obtenidos son bastante satisfactorios, con puntuaciones por encima de 5 en todas las cuestiones. Lo cual indica que los usuarios se están sintiendo muy presentes en el escenario “Foto navegable”.

A continuación se van a discutir los resultados del análisis estadístico realizado (t Student). Para ello es preciso analizar cada cuestión buscando el valor del estadístico t, si éste se encuentra dentro del intervalo de confianza, que está definido por  $\pm$  “Valor crítico de t (dos colas)”, queda demostrado que no hay diferencia estadística significativa entre las dos muestras analizadas, es decir, en este caso, entre el sistema desarrollado y el entorno real. De esta forma, analizando todas las cuestiones, se comprueba que todas ellas presentan diferencias estadísticas significativas, por lo que el usuario está diferenciando claramente el sistema desarrollado del entorno real, sintiéndose más presente en este último.

Además, en un segundo análisis se estudió si el orden de exposición afecta a las puntuaciones. Para ello no se pueden realizar las mismas pruebas t para medias de dos muestras emparejadas (t Student), ya que se forman dos grupos en base al orden de exposición (Foto+Real y Real+Foto), y los sujetos de dichos grupos son distintos. En este caso es preciso realizar pruebas t para dos muestras suponiendo varianzas iguales a cada una de las seis cuestiones, tomando los dos grupos mencionados. Las tablas 3 y 4 muestran los resultados obtenidos del análisis. La primera tabla contiene los resultados de la “Foto navegable” y la segunda los del entorno real.

“Foto navegable”				
	Foto+Real	Real+Foto		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	5.2±1.0	5.4±1.14	0.62	2.02
Q1	5.4±1.1	5.7±1.40	0.96	2.02
Q2	5.0±1.1	5.5±1.30	1.57	2.02
Q3	5.2±1.2	5.4±1.70	0.08	2.02
Q4	5.6±1.4	5.5±1.40	0.16	2.02
Q5	5.1±1.0	5.1±1.35	0.01	2.02
Q6	4.9±1.4	5.3±1.40	0.89	2.02

Tabla 3: Resultado del análisis de los datos comparando orden de exposición para la “Foto navegable”,  $p=0.05$ .

Entorno real				
	Foto+Real	Real+Foto		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	6.9±0.4	7±0	1.41	2.02
Q1	6.9±0.4	7±0	0.98	2.02
Q2	6.9±0.6	7±0	0.98	2.02
Q3	6.7±0.7	7±0	1.38	2.02
Q4	6.9±0.2	7±0	0.98	2.02
Q5	6.8±0.4	7±0	1.72	2.02
Q6	6.9±0.2	7±0	0.98	2.02

Tabla 4: Resultado del análisis de los datos comparando orden de exposición para el entorno real,  $p=0.05$

A la vista de las dos tablas, procediendo de igual forma que en el caso anterior con respecto al estadístico t, se puede afirmar que no hay diferencias estadísticas suficientes para asegurar que el orden de exposición afecta a los resultados.

Estos resultados fueron publicados en la revista “Presence: Teleoperators & Virtual Environments” en el año 2006. Cabe destacar que una de las imágenes del artículo fue seleccionada como imagen de portada de la revista.

### 3.8.1.1 Conclusiones

De los resultados obtenidos en este estudio se pueden extraer tres conclusiones:

- En primer lugar, se puede afirmar que el cuestionario de Slater [Slater94] adaptado a la situación concreta de este estudio es una medida válida para discriminar entre los entornos comparados (el ambiente real y el sistema desarrollado).
- En segundo lugar, se puede afirmar que la “Foto navegable” provoca un nivel de presencia alto, pero no tan óptimo como el entorno real.
- Por último, se puede afirmar que el orden de exposición no afecta a los resultados.

En cuanto a la primera conclusión cabe destacar que no coincide con los resultados obtenidos por Usoh et al. [Usoh00]. Estos autores no encontraron diferencias significativas midiendo presencia entre entornos reales y virtuales. Sin embargo, afirmaron que los cuestionarios podían ser útiles cuando todos los participantes experimentan el mismo tipo de entorno, y que la utilidad era dudosa comparando experiencias diferentes como pueden ser un entorno real y un entorno inmersivo. Los resultados de nuestro estudio demuestran que el test de Slater cumple lo que Usoh denomina “reality test”, al obtener el entorno real puntuaciones mayores. En concreto, para el 90% de los participantes, la presencia en el entorno real es óptima.

Es cierto que existen diferencias entre el presente estudio y el realizado por Usoh et al., lo que puede explicar la discrepancia en los resultados. En primer lugar, el presente estudio presenta un diseño “within-subjects” (los sujetos prueban el entorno real y el desarrollado), mientras que Usoh et al. utilizaron un diseño “between-subjects” (los sujetos prueban un entorno o el otro, pero no los dos). En segundo lugar, la muestra es mucho mayor en el presente estudio, 40 usuarios frente a 20. Además, es destacable que en el estudio de Usoh et al. se obtienen puntuaciones bajas en el entorno real (4.4 de media), mientras que en el presente estudio son casi óptimas (6.9 de media). Se da la misma situación en los entornos inmersivos, con puntuaciones alrededor de 3.8 frente a 5.28 de media obtenido en el presente estudio. De cualquier forma, es necesario realizar más estudios con muestras mayores para evaluar la utilidad de los cuestionarios como forma de medir el nivel presencia.

En lo que se refiere a la segunda conclusión, se observa un alto nivel de presencia en el entorno desarrollado aunque no tan bueno como el medido en el entorno real. Así, aparece la necesidad de establecer un criterio para afirmar cuando un entorno ha producido un nivel de presencia “suficiente”, es decir, a partir de qué puntuación se considera que el entorno está induciendo sensación de presencia en el usuario. El establecimiento de este criterio es crucial, sobre todo en el campo

terapéutico. Sin embargo, lo que se hace habitualmente en estudios clínicos es asumir la presencia y analizar si un entorno virtual ha activado la emoción que se pretendía, como puede ser una respuesta de miedo [Rothbaum95a] [Rothbaum96] [Botella98]. Otra forma de proceder es analizar la relación entre la presencia y la emoción provocada en los usuarios [Baños04].

### 3.8.2 Expertos

En esta sección se analizarán los resultados que se obtuvieron de los usuarios considerados como expertos en las tecnologías del estudio. Se trata de un total de 24 sujetos, 5 mujeres y 19 hombres, con una edad comprendida entre 23 y 61 años (media de 34 y desviación típica de 8.7).

Al igual que en el caso anterior (no expertos) la muestra está dividida en dos grupos basándose en el orden de exposición. En primer lugar están los usuarios que fueron expuestos primero a la “Foto navegable” y después al entorno real, y en segundo lugar los que fueron expuestos en orden inverso.

De nuevo, al igual que en el caso anterior (no expertos) se tratan los datos realizando pruebas t para medias de dos muestras emparejadas (t Student), con un intervalo de confianza del 95% ( $p=0.05$ ), aplicadas a cada una de las seis cuestiones que formaban parte del cuestionario, considerando la muestra completa de 20 usuarios. De esta forma se trataba de discernir si el usuario se sentía más presente en alguno de los dos entornos. La tabla 5 muestra los resultados obtenidos tras el análisis conjunto de todos los datos recopilados. Dicha tabla presenta la misma estructura que la análoga en el caso de usuarios no expertos en las tecnologías del experimento.

	“Foto navegable”	Entorno real	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
	Valoración media	Valoración media		
Media	4.94±1.08	6.95±0.45	8.43	2.07
Q1	5.31±1.12	7.00±0.00	6.62	2.07
Q2	4.63±1.22	7.00±0.00	7.77	2.07
Q3	5.04±1.38	6.92±0.64	4.85	2.07
Q4	5.41±1.27	6.92±0.64	4.48	2.07
Q5	4.79±1.17	6.96±0.45	7.56	2.07
Q6	4.46±1.24	6.96±0.45	8.00	2.07

Tabla 5: Resultado del análisis de los datos comparando “Foto navegable” y entorno real,  $p=0.05$



Nuevamente hay que destacar que se obtiene una valoración óptima en el entorno real, casi 7 puntos en todas las cuestiones, en una escala donde el máximo es 7.

En el caso del sistema desarrollado, los resultados obtenidos son bastante satisfactorios, con puntuaciones por encima de 4.4 en todas las cuestiones. Lo cual indica que los usuarios se están sintiendo bastante presentes en el escenario “Foto navegable”. Notar que los resultados son ligeramente peores que en el caso de los usuarios no expertos, lo cual se entiende debido a que este grupo de usuarios está más habituado a las tecnologías del experimento, les está sorprendiendo menos la experiencia y son más exigentes a la hora de la valoración.

Respecto al análisis de los datos, se procedió de forma análoga al caso de usuarios no expertos. Se comprobó que todas las cuestiones presentan diferencias estadísticas significativas, con lo que el usuario está diferenciando claramente el sistema desarrollado del entorno real, sintiéndose más presentes en este último.

Respecto al orden de exposición, al igual que en el apartado anterior, fue necesario realizar pruebas t para dos muestras suponiendo varianzas iguales a cada una de las seis cuestiones, pero esta vez tomando los dos grupos formados en base al orden de exposición (Foto+Real y Real+Foto).

Las tablas 6 y 7 muestran los resultados obtenidos del análisis. La tabla 6 presenta los resultados de la “Foto navegable” y la tabla 7, los del entorno real.

“Foto navegable”				
	Foto+Real	Real+Foto		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	5.36±0.98	4.51±1.20	1.89	2.07
Q1	5.71±1.01	4.92±1.38	1.60	2.07
Q2	5.17±1.34	4.08±1.51	1.86	2.07
Q3	5.92±1.24	4.17±2.08	2.50	2.07
Q4	5.50±1.57	5.33±1.72	0.25	2.07
Q5	5.17±0.94	4.42±1.68	1.35	2.07
Q6	4.75±1.42	4.17±1.64	0.93	2.07

Tabla 6: Resultado del análisis de los datos comparando orden de exposición para la “Foto navegable”,  $\rho=0.05$

Entorno real				
	Foto+Real	Real+Foto		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	6.91±0.28	7±0	1	2.07
Q1	7.00±0.00	7±0	-	-
Q2	7.00±0.00	7±0	-	-
Q3	6.83±0.57	7±0	1	2.07
Q4	6.83±0.57	7±0	1	2.07
Q5	6.92±0.28	7±0	1	2.07
Q6	6.92±0.28	7±0	1	2.07

Tabla 7: Resultado del análisis de los datos comparando orden de exposición para el entorno real,  $p=0.05$

Analizando las dos tablas, se puede afirmar que en todos los casos, salvo uno, no hay diferencias estadísticas suficientes para asegurar que el orden de exposición afecta a los resultados, tal y como se pudo observar en el análisis análogo de los usuarios no expertos. Sin embargo, en este caso, aparece una situación en la que el orden de exposición afecta. Se trata de la cuestión 3 referida al entorno “Foto navegable”, donde se interroga acerca del realismo del recuerdo que se tiene de la escena, el resultado es mejor cuando el orden de exposición es Foto+Real. Este resultado puede explicarse por el hecho de que el sujeto no ha visto el entorno real cuando hace la valoración en la que se obtiene un mejor resultado. Al ver el entorno real y después la “Foto navegable”, puede considerar un poco menos real a ésta.

Destacar de la tabla 7, el hecho de que aparezcan dos filas de la misma sin valor en las casillas correspondientes a “t Student” y “Valor crítico de (dos colas)”. Ello es debido a que absolutamente todos los usuarios otorgaron la misma puntuación (la máxima) a las cuestiones 1 y 2.

### 3.8.2.1 Conclusiones

Las conclusiones que se pueden extraer de los datos recopilados en usuarios “Expertos” en las tecnologías del estudio son prácticamente las mismas que se han descrito en el apartado 3.8.1.1 (usuarios “no expertos”). Aunque se pueden añadir dos peculiaridades:

- Una menor valoración en media del sistema desarrollado (puntuación media de 4.94 frente a 5.29). Es una diferencia que no llega a medio punto, y que puede estar debida precisamente al conocimiento de los límites tecnológicos del experimento.

- La existencia de diferencias estadísticas significativas para afirmar que el realismo del recuerdo que tiene el sujeto de la escena es mejor cuando el orden de exposición es Foto+Real. Este resultado puede explicarse por el hecho de que el sujeto no ha visto el entorno real cuando hace la valoración en la que se obtiene un mejor resultado. Al ver el entorno real y después la “Foto navegable”, puede considerar un poco menos real a ésta, y esta situación puede acentuarse por el conocimiento que tienen los sujetos de las tecnologías del experimento.

### **3.9 Conclusiones**

Este capítulo ha descrito exhaustivamente el sistema “Foto navegable”, así como la validación del mismo.

En primer lugar, se ha presentado de forma general el sistema, destacando la utilización de la técnica de fotografía inmersiva en un sistema de RA que representa un entorno situado a una altura de un segundo piso.

En segundo lugar, se ha realizado un breve análisis de las dos herramientas utilizadas en el desarrollo del sistema, ARToolKit y Brainstorm eStudio. La primera de ellas hace posible la creación de aplicaciones de RA, mientras que la segunda se utiliza como motor gráfico del sistema.

En tercer lugar, se ha detallado con precisión los pasos seguidos para el desarrollo del sistema. Se ha presentado el ciclo de vida del sistema en forma de prototipaje, desde un primer sistema que permitía ver imágenes planas de forma estereoscópica hasta el sistema definitivo. Destacar que se ha prestado especial atención a la técnica para obtener y utilizar fotografías inmersivas.

En cuarto lugar, se han descrito todos los elementos materiales que forman parte del sistema, desde las fotografías inmersivas, hasta las marcas utilizadas en la parte de RA del sistema.

En quinto lugar se han presentado los requisitos técnicos del sistema, compuestos por una cámara fotográfica digital equipada con un objetivo “ojo de pez”, un PC ordinario, una cámara web Firewire, un ‘tracker’ inercial y un casco.

En sexto lugar, se ha descrito de forma precisa el estudio realizado en la validación con usuarios sin fobia. En dicho estudio se ha comparado el sistema desarrollado con el entorno real que representa. Se ha presentado de forma exhaustiva el protocolo del estudio, haciendo hincapié en los cuestionarios utilizados para valorar el nivel de presencia de los usuarios, y por tanto la eficacia del mismo.

Por último, se han presentado con detalle los resultados del estudio. Describiendo las pruebas efectuadas (número de usuarios, orden de exposición, parámetros medidos, etc.), así como los métodos utilizados en el análisis de los datos. El resultado de estos análisis permite afirmar que el cuestionario de Slater [Slater94] es una medida válida para discriminar entre los entornos comparados. Además, se observa un alto nivel de presencia en el entorno desarrollado, aunque no tan bueno como en el entorno real. También, se ha comprobado que el orden en el que los sujetos se exponen al experimento no afecta a los resultados.

## **4 Habitación con agujero, RV vs. RA**

### **4.1 Introducción**

En este capítulo se presentarán todos los materiales y dispositivos que fueron necesarios para la implementación de las aplicaciones y el desarrollo del estudio. También se va a exponer de forma detallada el estudio realizado comparando dos sistemas basados en tecnologías diferentes como son la RA y la RV. Ambos recrean una misma situación acrofóbica (el suelo se hunde en medio de una habitación), así como las aplicaciones que se desarrollaron para dicho estudio.

El capítulo se ha dividido en las siguientes secciones:

- En primer lugar, se describirán de forma general los sistemas desarrollados.
- En segundo lugar, se centrará la atención sobre el desarrollo de los dos sistemas implementados, es decir, en los pasos y funciones que se han realizado. Esta parte especifica principalmente la fase de creación de los sistemas a nivel de programación.
- En tercer lugar, se presentarán los elementos materiales que forman parte de los sistemas desarrollados.
- En cuarto lugar, se describirán los requisitos técnicos para la creación y uso de los sistemas
- En quinto lugar, se explicará el protocolo seguido, durante la validación de sendos sistemas, con usuarios sin fobia.
- Por último, se presentarán los resultados del estudio, pruebas realizadas y los métodos utilizados en el análisis de datos.

### **4.2 Descripción general de los sistemas**

En este estudio, se desarrollan dos sistemas, aunque basados en diferente tecnología (RV y RA), intentan recrear la misma situación, el mismo ambiente, siendo los diferentes usuarios expuestos a sendos sistemas, los que proporcionen los datos que permitan discernir si los sistemas son útiles en la generación de entornos acrofóbicos, y si alguno de los dos provoca mayor nivel de presencia y/o ansiedad en el usuario.

La situación que recrean ambos sistemas es la de una habitación en la que hay colocada en cierta parte de ella una moqueta de color marrón. Dicha moqueta se aprovecha para albergar los elementos virtuales, que son los encargados de “aumentar” la escena produciendo una situación acrofóbica. En este caso se hizo que

apareciera un agujero en el centro de la moqueta, hundiéndose el suelo y quedando el usuario en el borde del mismo, además el usuario podía hundirse junto con él (una especie de efecto ascensor).

El usuario tiene que ir provisto de un casco de RV para la visualización de ambos sistemas. En el sistema de RV, además, necesita un joystick para navegar y un ‘tracker’ de cabeza para que el sistema pueda seguir sus movimientos. En el capítulo 4 se describirán estos elementos.

Por otra parte, en el sistema de RA, se precisa de una cámara situada en la parte delantera del casco y ciertos marcadores que se colocan en el suelo de la habitación para posicionar y orientar los objetos que “aumentarán la escena”.

La prueba por parte de usuarios de los sistemas se realiza en un mismo espacio físico, que es una habitación real en la que se ha colocado todo el hardware necesario.

Para la preparación del sistema de RA, se coloca una moqueta marrón en el suelo, y encima de ella, se colocan a su vez tres marcadores. Mientras, en el sistema de RV no se precisa de ningún elemento extra a los ya citados.

En el sistema de RA el usuario está viendo la habitación gracias al vídeo que recoge la cámara situada en el frontal del casco. Cuando lo decide el supervisor de la prueba/terapeuta, aparece un agujero en el centro de la moqueta, agujero que se fusiona con el vídeo original. Dicho agujero se muestra de forma estereoscópica. La forma en la que se visualiza el agujero varía, desde una animación en la que se hunde en cuatro trozos quedando el usuario al borde del mismo, hasta la animación que simula la caída conjunta del suelo y el usuario, quedando éste encerrado entre cuatro paredes.

En cuanto al sistema de RV, el usuario tiene libertad para navegar por todo el entorno, visualizándolo de forma estereoscópica (la misma habitación real en la que se utiliza en el sistema de RA, pero esta vez es virtual, modelada en 3D Studio Max). Para ello se utiliza el ‘tracker’ de cabeza y el joystick que se describirán posteriormente. Así, puede ver cada detalle de la habitación, y cuando el terapeuta lo decide, se mueve (con una trayectoria automática) desde la posición en la que se encuentre hasta la posición donde aparece el agujero. Las animaciones del agujero son exactamente las mismas que las que se muestran en el sistema de RA.

### **4.3 Desarrollo de los sistemas**

Las dos aplicaciones desarrolladas para la validación realizada en este estudio se han desarrollado utilizando Brainstorm eStudio, y programando en Python. Además, en la aplicación de RA se han utilizado las funcionalidades de ARToolKit. Ambas aplicaciones recrean la misma escena, por lo que se comparte cierta sección de

programación en los dos sistemas. Por este motivo se desarrolló en primer lugar esta parte, que es la relativa al agujero.

#### **4.3.1 Estructura común**

Se precisaba como punto de partida del modelado de una estructura que representara de la forma más realista posible un agujero en el suelo, y que al mismo tiempo permitiera varias formas de animación para su hundimiento.

Este modelado se hizo con 3D Studio Max. Básicamente se trata de un paralelepípedo rectangular con una tapa superior, que se ha de colocar a ras de suelo (real o virtual). Dicha tapa superior debe confundirse con el mencionado suelo, por ello se utilizó una textura basada en una foto de la moqueta que se colocó en el ambiente real.

Además, existían unas paredes de aspecto lúgubre (las del paralelepípedo rectangular) que solo debían verse desde el interior del agujero. Esta circunstancia, en principio era un problema, que se intentó resolver configurando las superficies que formaban las paredes de forma que solo se dibujara su cara interna. Esta solución no era correcta, ya que al hundirse el suelo, el efecto visual no era el deseado. La solución definitiva consistió en separar la tapa del paralelepípedo y añadir otra de tamaño muy grande (infinito respecto a la escena) y transparente, y colocar los tres objetos en el orden correcto de dibujado, así la tapa original hacía de ventana sobre la superficie transparente.

Adicionalmente, se seccionó el paralelepípedo para que permitiera diferentes tipos de animaciones durante el hundimiento. Concretamente se dividió en cuatro bloques. De este modo, las animaciones consistían en hacer caer (variar la posición Z) cada bloque en diferentes combinaciones secuenciales (16 en total). Estas combinaciones las gobernaba un número aleatorio, número que se mantenía a la hora de “restaurar el suelo” (hacer subir los bloques). La velocidad del hundimiento/restauración del suelo se controlaba gracias a diferentes temporizadores, así se aprovechaba para hacer que los bloques cayeran escalonadamente y a velocidades arbitrariamente distribuidas entre los cuatro bloques.

Adicionalmente a la serie de animaciones descritas, se desarrolló otra más, que consistía en hacer creer al usuario que estaba cayendo al fondo del agujero al mismo tiempo que éste se formaba (especie de efecto ascensor). La forma de conseguir este efecto fue dejar la tapa del paralelepípedo estática (los cuatro bloques) y hacer subir las paredes del mismo (variando su componente Z). El efecto obtiene la mayor eficacia cuando el usuario del sistema está mirando hacia el suelo al ponerse en marcha la animación.

Para aumentar el realismo de la escena se incorporaron sonidos que acompañaban a las animaciones. Dichos sonidos eran de longitud temporal mayor que el tiempo transcurrido durante cada una de las animaciones, por lo que hubo que ajustarlos a la duración de éstas. Para realizar este ajuste se calculaba la duración de cada una de ellas justo en el instante antes de su ejecución. Los sonidos se extrajeron de [Flash08] y el usuario los escuchaba gracias a los auriculares del casco.

Por último, se diseñó la forma en la que lanzar cada una de las animaciones. Se optó por la creación de una serie de eventos controlados por teclado. De modo que, había teclas asociadas a una determinada animación, pero también había una tecla que lanzaba tipos de animaciones de forma aleatoria. Añadir que cada evento servía tanto para hundir como para “restablecer” el agujero. La pulsación de la tecla asociada provocaba la acción de hundir o “restablecer” el agujero en función del estado en el que éste se encontrara (hundido o sin hundir). Si el suelo estaba hundido, la pulsación de la misma tecla que provocó su hundimiento hacía que éste se “restableciera”.

#### **4.3.2 Sistema de Realidad Aumentada**

Una vez desarrollada la parte común a ambos sistemas solo había que insertarla en una aplicación básica de RA. Para este sistema el objetivo fundamental era que el agujero virtual se fundiese de forma realista con la moqueta real de la habitación.

En primer lugar, hay que definir una ventana en la que mostrar la fuente de vídeo procedente de la cámara web, que es la parte fundamental de la aplicación.

Seguidamente, hay que cargar el plugin de ARToolKit mediante la lista de librerías dinámicas.

A continuación, hay que crear tantos elementos pertenecientes a la lista del plugin de ARToolKit como marcadores formen parte de la aplicación (3 en nuestro caso), la posición y orientación que devuelvan dichos elementos sirven para ubicar y orientar correctamente el objeto agujero.

El siguiente paso fue ajustar la cámara de la simulación de manera adecuada, ya que el plugin de ARToolKit asume que dicha cámara se encuentra en el origen de coordenadas y apuntando hacia las posiciones negativas del eje Z. Trasladado a la programación de la aplicación se traduce en modificar la cámara de simulación haciendo que se sitúe en el origen de coordenadas (0, 0, 0) y que se oriente según los ángulos (0, -90, 0).

Además, se hizo que el objeto desapareciera cuando la cámara no captaba ningún marcador. Hay varias formas de realizarlo, pero como primera aproximación se creó un map de código Python que se ejecutaba una vez por ciclo de refresco de la tarjeta gráfica. Dicho map toma la salida del plugin de ARToolKit y proporciona como



salida la posición y orientación actual de la marca si ésta está visible o una posición alejada, de forma que no aparezca el objeto en pantalla si la marca no está visible.

Adicionalmente, se hizo que los tres marcadores funcionaran como uno solo, lo que debía ser una mejora importante y dotaría de mayor estabilidad al sistema, ya que la posición y orientación siempre era la media obtenida de todas las marcas capturadas en un frame.

En condiciones ideales, todas las marcas situadas en un mismo plano deben devolver la misma orientación, pero las deficiencias en la óptica de la cámara utilizada, y sobre todo en el entorno lumínico de la aplicación hacen aparecer cierto error.

La idea era crear la lógica necesaria para calcular en cada frame la orientación media de las tres marcas. Lo que ocurre es que hacer una media de los ángulos devueltos por un elemento de la lista del plugin de ARToolKit no es una buena solución, ya que hacer la media de dos ángulos que estén justo en el límite de definición de los mismos resultará en un ángulo que realmente no es la media de los dos. Lo más adecuado para obtener la orientación media es utilizar los vectores de orientación que también devuelve el elemento de la lista del plugin de ARToolKit.

Lo que se hace es promediar el valor resultante de sumar los vectores directores X e Y de las marcas visibles en un determinado instante de tiempo. De este modo se obtiene los vectores de orientación X e Y medios en cada instante. Posteriormente, se calculan los ángulos 'head', 'pitch' y 'roll' (h, p, r) correspondientes a dichos vectores, comparando la matriz devuelta por el elemento de la lista del plugin de ARToolKit y la matriz de rotación de un marcador, descrita por:

$$T = \begin{pmatrix} \cos(h)\cos(r) - \sin(h)\sin(p)\sin(r) & -\sin(h)\cos(p) & \cos(h)\sin(r) + \sin(h)\sin(p)\cos(r) \\ \sin(h)\cos(r) + \sin(r)\cos(h)\sin(p) & \cos(h)\cos(p) & \sin(h)\sin(r) - \cos(r)\cos(h)\sin(p) \\ -\sin(r)\cos(p) & \sin(p) & \cos(p)\cos(r) \end{pmatrix}$$

Se obtiene:

$$\begin{array}{llll} p = \arcsin(T_{32}) & h = \arctan(-T_{12}/T_{22}) & r = \arctan(-T_{31}/T_{33}) & \text{si } T_{32} \neq 1 \\ p = 180^\circ & h = \arctan(T_{21}/T_{23}) & r = 0 & \text{si } T_{32} = 1 \end{array}$$

Los resultados de todos estos cálculos se obtienen mediante la utilización de una serie de maps, actualizados cada ciclo de refresco de la tarjeta gráfica.

Incluso incorporando esta mejora se apreciaba un ‘jitter’ considerable con tamaños de marcas pequeños, por lo que se optó por aumentar el tamaño de éstas hasta unos 24 centímetros de lado, ya que la óptica de la cámara utilizada tenía un elevado campo de visión y el tamaño de marca en pantalla era muy reducido. De este modo se mejoró muy notablemente la estabilidad del sistema. De todas formas, aun se podía mejorar, así que se incluyó un filtrado básico de la posición y orientación. Se establecieron unos umbrales a partir de los cuales se actualizaban las posiciones y orientaciones. La forma de implementarlo fue usar maps de código Python evaluados a cada ciclo de refresco de la tarjeta gráfica del ordenador utilizado. Esta mejora produjo resultados bastante satisfactorios, aunque los umbrales no podían ser muy grandes, por lo que se pensó en hacer otro tipo de optimización.

Una posible mejora era la implementación de un filtro de Kalman [Kalman08], pero se optó por otra solución. Dicha solución partió de la disponibilidad de un ‘tracker’ de cabeza de tres grados de libertad. ‘Tracker’ que ya se ha descrito en el apartado 3.6 y que proporcionaba mucha precisión en las orientaciones que devuelve (‘head’, ‘pitch’ y ‘roll’). La idea era utilizar el posicionamiento que devuelve la tecnología óptica y para la orientación tomar como referencia la tecnología de giroscopios que incorpora el ‘tracker’. De esta forma sí que se obtuvo una mejora considerable.

Posteriormente se incluyeron una serie de extras para facilitar el trabajo de la persona que estuviera a cargo de los sistemas durante las pruebas. La idea era utilizar un joystick inalámbrico para el control del sistema, y así no tener que estar junto al teclado del ordenador. Para ello se utilizó un plugin escrito en C++ que capturaba las pulsaciones del joystick. Éstas se enlazaron (binds) con cada botón de ejecución de los eventos definidos para las pulsaciones de teclado.

Además, para lograr un mayor grado de inmersión se mostró la escena de forma estereoscópica. Para conseguirlo mediante Brainstorm eStudio, hay que definir el pipe gráfico sobre el que se dibuja la escena como ‘pipe’ de tipo “estéreo pasivo” y configurar el tamaño como el doble de una pantalla (si originalmente era 800x600, se pasa a 1600x600, con lo que se han de utilizar las dos salidas de la tarjeta gráfica, y las dos entradas separadas del casco. Además, hay que configurar el paralaje de la escena, acción que se hace utilizando el editor correspondiente dentro de la cámara de simulación de la escena. Considerando que la fuente de video era monoscópica, se obtuvieron resultados muy satisfactorios.

### 4.3.3 Sistema de Realidad Virtual

El objetivo fundamental para este sistema era tener la misma situación que en el sistema de RA pero, únicamente con elementos virtuales. Para ello, fue necesario el modelado realista de la habitación. Dicho modelado se realizó nuevamente con 3D Studio Max, utilizando fotos de la habitación real para el trabajo de mapeado de texturas. Tras el modelado de la habitación, se incluyó la parte común de las dos aplicaciones, el agujero. Nuevamente, bastó con agrupar bajo un mismo padre todos los elementos que formaban parte del agujero, y cargarlos a continuación de la carga de la habitación modelada.

A continuación, había que implementar un sistema de navegación para que el usuario pudiera desplazarse libremente por el entorno. En Brainstorm eStudio se consigue enlazando (hacer 'binds') las posiciones y orientaciones devueltas por el dispositivo hardware de navegación con la cámara virtual de simulación.

Para ello, había que elegir un dispositivo hardware para la navegación, y como se disponía de un joystick inalámbrico con controles analógicos se optó por utilizarlo. Como ya se ha comentado en el punto anterior, se disponía de un plugin para recoger las pulsaciones de los controles del joystick, pero hay que añadir que también era capaz de recoger los controles analógicos y convertirlos en valores incrementales/decrementales, muy útiles a la hora de crear un sistema de navegación.

El siguiente paso era enlazar las posiciones y orientaciones devueltas por el plugin de joysticks a la cámara de simulación, aplicando ciertas escalas para que el movimiento no sea muy brusco. A partir de ese momento ya se puede navegar por el entorno, pero aparece un problema adicional, la navegación no tiene ningún tipo de límite, por lo que se podían atravesar todos los objetos, incluso las paredes, con lo que el usuario se podía quedar en medio de la nada. La solución a este problema es la detección de colisiones. Como primera aproximación a la detección de colisiones, se definieron unos umbrales de posición X e Y que nunca podían superarse, de forma que se provocaba una especie de rebote al llegar a ese umbral, y se deshabilitaba la recepción de datos del joystick. Esta parte del sistema se hizo de la forma habitual ya descrita en los párrafos anteriores, es decir, maps de código Python ejecutados en cada frame.

En este punto, al reflexionar sobre el sistema de detección de colisiones, se pensó que no era óptimo en cuanto a utilización de recursos del sistema, por lo que se estudiaron posibles soluciones. Finalmente se optó por utilizar una de las herramientas que incluye Brainstorm eStudio. Concretamente se utilizarían Intersecciones, las cuales pueden verse como un rayo proyectado desde un cierto punto hasta una geometría dada. Para definir las se precisa del objeto sobre el que se pretende detectar

la colisión así como la distancia a la que se considera o no colisión, el origen y la dirección en la que se proyecta el rayo hasta la geometría de colisión. En este caso, el rayo se proyecta desde la posición de la cámara y con la orientación de ésta, y el objeto de colisión son las paredes de la habitación. De esta forma, en lugar de tener que evaluar a cada frame la colisión (como se hacía en el caso anterior), ahora solo se hacen las operaciones de limitación de movimiento cuando la colisión es válida (uno de los valores devueltos por el elemento Intersección), siendo esta implementación mucho más eficiente.

Cabe destacar que en la detección de colisiones se permitió que los usuarios atravesaran un elemento del ambiente, concretamente una pantalla de proyección (la habitación real era una sala de retroproyección), ya que ésta ocupaba todo el ancho de la habitación real, y físicamente era casi imposible pasar por los laterales que quedaban hasta la pared, aunque se pretendía que los usuarios pudieran ver toda la habitación, así que fue una solución de compromiso.

El sistema de navegación era demasiado tradicional, y no era nada natural el tener que girar un mando del joystick para mirar hacia el suelo. Se pretendía que la navegación fuera lo más parecida posible a la del sistema de RA (dentro de las posibilidades inherentes a una aplicación de RV).

Se consideró que lo adecuado, en este caso, era que cuando el usuario mirara físicamente hacia abajo viera el suelo del escenario virtual. La forma fácil de conseguirlo era utilizando un 'tracker' de cabeza, el descrito en el punto anterior, el cual devolvía los tres ángulos de giro a los que se encontraba sometido, 'head', 'pitch' y 'roll'. Lo que se hizo fue enlazar directamente estos datos a la orientación de la cámara, lo que dio el resultado esperado al mirar físicamente hacia el suelo, y además proporcionó la ventaja adicional de una navegación diferente, de forma que el usuario no necesitaba el control analógico de giro del joystick, ya que al girar su cabeza estaba girando en el escenario virtual, y si avanzaba (utilizando un control analógico del joystick) con la cabeza girada, estaba avanzando en el ambiente virtual en el sentido apuntado por su cabeza. Este fue el tipo de navegación final, deshabilitando el control analógico de giro del joystick, ya que no era necesario. Sin embargo, sí fue necesaria la creación de un control que inicializara las orientaciones del 'tracker' de cabeza, para tener un punto de partida coherente. Se hizo con un evento controlado por teclado, evento que se lanzaba tras indicar al usuario que mantuviera su cabeza recta hacia el frente.

Además, al igual que en el caso anterior, se mostraba la escena de forma estereoscópica (con la misma configuración). Destacar que en este caso la escena resultaba muy atractiva.

Por último, como herramienta para las pruebas se incluyeron dos eventos adicionales controlados por teclado, que posicionaban al usuario al borde del agujero,

y en el centro del agujero siguiendo una trayectoria desde el punto en el que encontrara hasta las posiciones mencionadas. La velocidad se controlaba con unos temporizadores fijados a un valor que dependía de la distancia a la que se encontrara el usuario hasta el destino, para que éste no se mareara.

#### **4.4 Descripción de los elementos materiales**

En cuanto a los elementos materiales de los sistemas hay un elemento común en los dos sistemas que es el agujero virtual. Ya se ha descrito en puntos anteriores cuál es su funcionamiento, por lo que a continuación se muestran unas capturas de pantalla que permitan ver su aspecto, tanto en la aplicación de RA, como en la de RV.

Las figuras 33(a) y 33(e) muestran el aspecto de la moqueta con el agujero camuflado en ella, en los dos sistemas, con la diferencia de que en el sistema de RA se ve uno de los marcadores. Las figuras 33(b) y 33(f) muestran el aspecto del agujero en mitad de una de las animaciones que hace que el suelo se hunda, en cada uno de los sistemas se aprecia lo mismo, algún bloque a medio caer y las paredes del agujero. Las figuras 33(c), 33(d) y 33(h) muestran un par de capturas con la secuencia que intenta simular el hundimiento conjunto de usuario y suelo.



Figura 33(a): Moqueta en sistema RV



Figura 33(b): Agujero en sistema RV



Figura 33(c): Efecto ascensor sistema RV



Figura 33(d): Usuario encerrado sistema RV



Figura 33(e): Moqueta en sistema RA

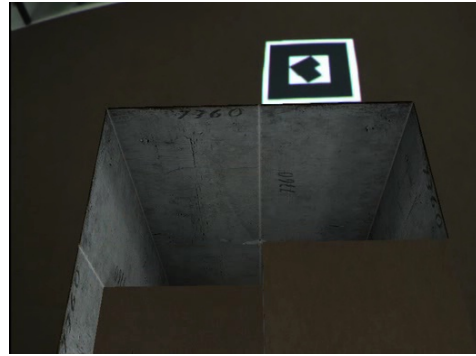


Figura 33(f): Agujero en sistema RA

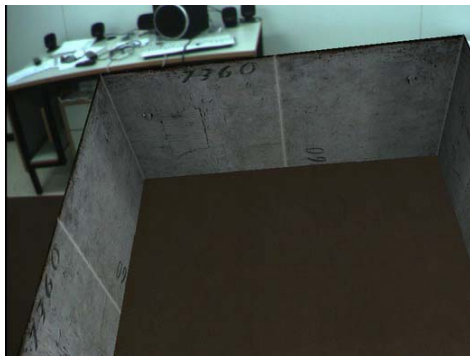


Figura 33(g): Efecto ascensor sistema RA



Figura 33(h): Usuario encerrado sistema RA

El modelado de la habitación es exclusivo del sistema de RV, a continuación, las figuras 34(a-f) muestran una serie de capturas de pantalla de su aspecto final.



Figura 34(a): Puerta1, luces y mobiliario



Figura 34(b): Cortinas y mobiliario



Figura 34(c): Moqueta y pantalla de proyección



Figura 34(d): Cortinas y mobiliario



Figura 34(e): Puerta, estantería y aire acondicionado



Figura 34(f): Mobiliario

La habitación modelada tenía una distribución del mobiliario ligeramente distinta a la que se utilizó en el ambiente real.

En cuanto al sistema de RA, también tiene elementos materiales propios, en concreto las marcas, que como ya se explicó en puntos anteriores tienen un tamaño de 24 cm. Este tamaño hace que no puedan ser impresas en un folio, por lo que se contruyeron a partir de cartulinas negras, blancas y marrones. El negro y blanco se utilizó para obtener el contraste necesario en este tipo de marcas, y el marrón para dar consistencia a la marca e integrarla de la mejor forma en el ambiente. La figura 35 muestra dos de las tres marcas creadas, puestas en línea, y la tercera marca no se ve porque está oculta por el propio agujero. También se puede observar que se han utilizado formas geométricas simples y suficientemente diferentes entre sí.

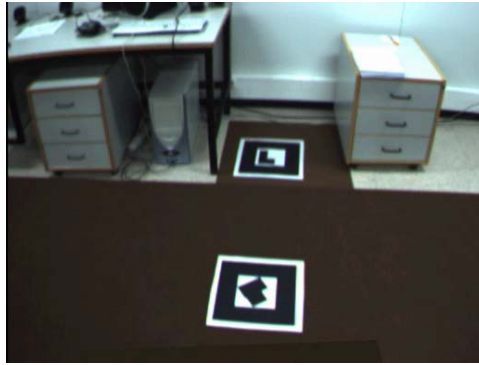


Figura 35: Dos de las tres marcas

Otro elemento material propio del sistema de RA es un pequeño trozo de cartulina amarilla. Aunque podría parecer insignificante, tiene una función muy importante. Esta función es la de posicionar en el lugar correcto al usuario. Éste, debe colocarse de forma que la cartulina quede entre sus pies, así, cuando aparece el agujero, éstos no quedan tapados por él (Figuras 36(a) y 36(b))



Figura 36(a): Usuario mirando hacia el suelo



Figura 36(b): Visión del usuario

## 4.5 Requisitos técnicos

Las características técnicas del ordenador en el que se desarrollaron y probaron los dos sistemas, son:

- Procesador AMD Athlon 2.6 GHz
- 1 GB RAM
- Tarjeta NVIDIA GeForce FX 6800 128 MB
- Sistema operativo: Windows 2000



En cuanto al dispositivo utilizado como fuente de vídeo digital, se utilizó la misma cámara que en el capítulo 3, una Dragonfly de Point Grey Research, cuyas características se detallan en el apartado 3.6.

En cuanto al 'tracker' de cabeza, se utiliza un MTx 'tracker' de la casa Xsens Motion Technologies, cuyas características se detallan en el apartado 3.6.

Para la visualización de sendos sistemas se ha utilizado un casco 5DT, el mismo que también se describió en el apartado 3.6.

Al igual que en el capítulo 3 se ha utilizado un cable que convierte la salida VGA de la tarjeta gráfica del ordenador en dos conectores hembra para conectar monitor y casco simultáneamente.

El sonido se obtiene a través de los auriculares que incorpora el casco, tal y como se puede observar en la figura 32(d) del apartado 3.6.

Por último, el joystick utilizado ha sido un dispositivo inalámbrico con conexión USB, concretamente un Logitech WingMan Cordless Rumblepad (Figura 37), que además de los pulsadores clásicos, tiene dos controles analógicos que son muy útiles para la navegación en entornos virtuales.



Figura 37: Logitech WingMan Cordless Rumblepad

## **4.6 Protocolo del estudio**

El presente estudio fue diseñado en colaboración con el Departamento de Psicología Básica y Psicobiología de la Universitat Jaume I de Castellón, y con el Departamento de Personalidad, Evaluación y Tratamientos Psicológicos de la Universidad de Valencia.

Se impuso que al menos la muestra fuera de 20 usuarios, expuestos a los sistemas la mitad en un orden, y la otra mitad en el orden contrario. Los resultados del estudio se obtuvieron tras el procesado de una serie de cuestionarios que rellenaban los usuarios, antes, durante y después de la experiencia.

Previamente a la exposición a cualquiera de los dos sistemas, el usuario rellenaba un cuestionario sobre acrofobia [Cohen77] para excluir los participantes que sufrieran esta fobia. En los anexos se incluye el cuestionario.

Seguidamente se debería rellenar el cuestionario de personalidad NEO-FFI [Costa92], el cual ha sido descrito con en el apartado 3.7.

Antes de iniciar la experiencia propiamente dicha, se debía rellenar el cuestionario de absorción de Tellegen-Atkinson [Tellegen74], el cual también ha sido descrito en el mismo apartado 3.7.

Justo después, los participantes escuchaban una grabación de una narrativa que les introducía a la experiencia y también les hacía entender mejor su sentido. Concretamente era:

*“Eres guardia de seguridad de la Universidad Politécnica de Valencia y estás de servicio. Se te ha encomendado una importante misión: hay una amenaza terrorista. Ha habido un aviso de bomba en este edificio y hay que rastrear distintos espacios para detectar posibles amenazas e informar al servicio de seguridad central de cualquier paquete, objeto o detalle sospechoso que localices en los espacios que te han sido asignados. En este preciso momento, estás en una habitación de uno de los laboratorios de la Universidad, debes concentrarte y buscar cualquier elemento sospechoso. Ten cuidado pues los terroristas que han anunciado la bomba son realmente peligrosos; pueden haber puesto elementos trampa y puede haber peligro. Además, procura fijarte bien, pues recuerda que luego debes informar a tus superiores.”*

Al igual que en el estudio anterior, los usuarios se exponen de forma contrabalanceada a los sistemas, es decir, la primera mitad utiliza en primer lugar el sistema de RA para después utilizar el de RV, mientras la otra mitad lo hace en el orden inverso. Así, tras escuchar la narrativa se seleccionaba el sistema que iba a probar en primer lugar (RV o RA). Se arrancaba el mismo y se le colocaba el casco al usuario, proporcionándole las instrucciones necesarias para una correcta orientación del ‘tracker’ de cabeza (reset del mismo), así como la forma de interactuar durante la experiencia.

Además, durante toda la experiencia (prueba de ambos sistemas), se preguntaba al usuario sobre su nivel de ansiedad (valorado de 0 a 10) en diferentes momentos:

- Antes de empezar la prueba.
- Después de dar un paseo por el ambiente.
- Mientras se está hundiendo el suelo.
- Después de que se haya hundido el suelo varias veces.
- Mientras se está hundiendo junto al suelo.
- Final de la prueba.

Cada “paseo” del usuario debía durar entorno a 5-10 minutos y constaba de una serie de etapas secuenciales previamente definidas:

- Navegación libre del usuario por el entorno. En el caso particular del sistema de RA, la navegación se limita a moverse por una zona de un metro cuadrado y mirar todo el entorno.
- Colocación del usuario al borde del agujero virtual (antes de que éste aparezca). En el sistema de RA se insta al usuario a colocar sus pies al lado de un marcador situado en el suelo a tal efecto. En el sistema de RV, basta con deshabilitar la navegación del usuario y poner en marcha una trayectoria automática desde donde se encontraba hasta el borde.
- Hundimiento del suelo en repetidas ocasiones, variando cada vez la animación seguida por los bloques que forman el agujero.
- Colocación del usuario en el centro del agujero virtual (estando éste sin formar). En el sistema de RV se pone en funcionamiento otra pequeña trayectoria, mientras que en el sistema de RA, se insta al usuario a dar un paso hacia delante.
- Por último, simulación de hundimiento simultáneo de usuario y suelo en repetidas ocasiones.

En cuanto a los cuestionarios restantes, eran un total de ocho, aunque uno de ellos estaba replicado. Se definió la siguiente secuencia, independientemente del orden de exposición:

- 1) Después del primer “paseo”:
  - Preguntas Slater adaptado [Slater94].
  - Preguntas sobre la tarea realizada (1).

2) Después del segundo “paseo”:

- Preguntas Slater adaptado.
- Cuestionario de presencia y juicio de realidad adaptado.
- Preguntas sobre la tarea realizada (2).
- Preguntas opinión abierta.

El cuestionario de Slater [Slater94] es de características similares al utilizado en el capítulo 3, pero se han adaptado las cuestiones para que sigan siendo eficaces en un contexto diferente al de aquel estudio. En el anexo se muestra el cuestionario adaptado completo.

Las preguntas sobre la tarea realizada (1) y (2) son cuestionarios no cuantitativos, únicamente interrogan al usuario sobre detalles de las experiencias, para evaluar cuál ha sido el grado de atención que ha prestado el usuario. También se incluyen como anexos.

El cuestionario de presencia y juicio de realidad (CPYJR) [Baños00] adaptado al presente estudio se usa para cuantificar hasta qué punto el usuario experimenta los dos sistemas como algo real. En los anexos se puede ver el cuestionario.

Las preguntas de opinión abierta permiten conocer ciertos detalles importantes para sucesivos estudios, con preguntas del estilo: ¿Qué cambiarías/eliminarías/añadirías? Además, también permiten conocer detalles importantes de este estudio, como posibles experiencias previas o si tener como referencia partes del cuerpo del propio usuario es importante (ventaja de RA). Los detalles del cuestionario se incluyen en el anexo.

## **4.7 Resultados**

El objetivo principal de este estudio era medir el grado de ansiedad/presencia que provocan los dos sistemas desarrollados en participantes no fóbicos. Como objetivos secundarios se encuentran la comparación entre la efectividad de dos sistemas basados en tecnologías diferentes (RA y RV), discernir si el orden en que los sujetos se exponen a los sistemas afecta a los resultados obtenidos, y averiguar si existe correlación alguna entre las variables presencia y ansiedad.

El estudio consta de un total de 20 sujetos, 4 mujeres y 16 hombres, reclutados a través de anuncios repartidos por el campus de la Universidad Politécnica de Valencia. Por ello todos los sujetos pertenecían a dos grupos: trabajadores y alumnos de la universidad, con una edad comprendida entre 22 y 38 años (media de 28 y desviación típica de 4.26). Es un estudio totalmente anónimo, ya que los únicos datos que se solicitaban a los usuarios eran su edad y sexo.

Como ya se ha comentado en la descripción del protocolo, los usuarios en primer lugar rellenaban un cuestionario sobre acrofobia, para así descartar aquellos sujetos que sufrieran esta fobia. Para ello, se estableció un umbral de puntuación, 50 puntos, de forma que si era superado se descartaba a esa persona. Ninguno de los sujetos del estudio superó dicho umbral, nadie sufría de acrofobia.

A continuación, los usuarios rellenaban el cuestionario de absorción de Tellegen-Atkinson [Tellegen74]. El objetivo de dicho cuestionario era cuantificar hasta qué punto los usuarios llegaban a ser absorbidos por la tarea realizada. Se valoraba dentro de una escala de 1 a 5. La tabla 7 muestra la media y la desviación típica de las seis cuestiones que componen este cuestionario.

	Análisis	
	Media	Desviación típica
1	2.75	1.164157703
2	2.70	0.97872097
3	3.00	1.025978352
4	3.30	1.128576187
5	2.60	1.231174023
6	2.50	1.277332747

Tabla 7: Análisis cuestionario Tellegen-Atkinson

Se puede observar en todos los casos medias por encima de 2.5, con lo que se podría decir que este grupo concreto de usuarios, en media, presenta un grado de absorción importante.

Después de cada “paseo”, los usuarios rellenaban un cuestionario que evalúa el nivel de presencia en el ambiente recreado. Es el cuestionario de Slater [Slater94] adaptado a la situación concreta de este estudio.

El análisis de los datos se realizó con pruebas t para medias de dos muestras emparejadas (t Student), con un intervalo de confianza del 95% ( $p=0.05$ ), aplicadas a cada una de las diez cuestiones que formaban parte del cuestionario, considerando la muestra completa de 20 usuarios. De esta forma se trataba de discernir si el usuario se sentía más presente en alguno de los dos entornos. La tabla 8 muestra los resultados obtenidos tras el análisis.

	Sistema RA	Sistema RV	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
	Valoración media	Valoración media		
Media	4.66±0.71	4.80±0.59	1.81	2.26
Q1	5.20±1.28	5.25±1.12	0.24	2.09
Q2	4.40±1.25	4.60±1.28	0.85	2.09
Q3	4.10±1.28	4.50±1.30	1.29	2.09
Q4	4.70±1.46	4.55±1.20	0.32	2.09
Q5	4.45±1.32	4.80±1.13	1.02	2.09
Q6	5.20±1.33	5.45±1.20	0.66	2.09
Q7	5.10±1.14	4.90±1.03	0.78	2.09
Q8	4.20±1.23	4.50±1.29	0.88	2.09
Q9	3.95±1.15	4.40±1.21	2.13	2.09
Q10	5.25±1.28	5.05±1.18	0.51	2.09

Tabla 8: Resultado del análisis de los datos de presencia comparando RA y RV,  $p=0.05$

Las dos columnas “Valoración Media” tienen el valor medio de cada cuestión otorgado por los usuarios en cada sistema, acompañado de su desviación típica. La columna “t Student” presenta el valor del estadístico t, y la columna “Valor crítico de t (dos colas)” es el valor utilizado para formar el intervalo de confianza sobre el que comparar el estadístico t, y así discernir si el resultado de un sistema presenta diferencias estadísticas significativas respecto al otro.

En primer lugar hay que destacar que se obtiene una valoración bastante buena en los dos sistemas, con unos resultados medios de 4.66 y 4.8 (RA y RV respectivamente, sobre una escala donde el máximo es 7). Lo cual indica que los usuarios se están sintiendo presentes en ambos entornos.

Para evaluar si alguno de los dos sistemas provoca mayor nivel de presencia en el usuario, se procede de igual forma a la descrita en el estudio anterior en lo referente al estadístico t y el intervalo de confianza. De este modo se comprueba que ninguna de las cuestiones (salvo una) presenta diferencias estadísticas significativas, por lo que el usuario no está encontrando diferencias significativas entre los dos sistemas.

La única cuestión en la que hay diferencias estadísticas significativas es la Q9, referente al efecto “ascensor”, por lo que se puede afirmar que este efecto es más potente, a juicio del usuario, en el sistema de RV.

Respecto a la influencia del orden de exposición, se realizaron las mismas pruebas t para dos muestras suponiendo varianzas iguales a cada una de las diez cuestiones, pero esta vez tomando los dos grupos formados en base al orden de exposición (RA+RV y RV+RA). Las tablas 9 y 10 muestran los resultados obtenidos

del análisis. La tabla 9 presenta los resultados del sistema de RA y la tabla 10, los del sistema de RV.

Sistema RA				
	RA+RV	RV+RA		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	4.49±1.53	4.82±0.96	0.58	2.1
Q1	4.80±1.81	5.60±1.43	1.10	2.1
Q2	4.50±1.71	4.30±1.49	0.28	2.1
Q3	4.50±1.58	3.70±1.70	1.09	2.1
Q4	4.30±2.45	5.10±1.79	0.83	2.1
Q5	4.20±1.93	4.70±1.57	0.64	2.1
Q6	5.30±1.83	5.10±1.79	0.25	2.1
Q7	4.50±1.44	5.70±0.82	2.30	2.1
Q8	3.90±1.66	4.50±1.35	0.88	2.1
Q9	4.00±1.41	3.90±1.29	0.17	2.1
Q10	4.90±2.23	5.60±0.70	0.95	2.1

Tabla 9: Resultado del análisis de los datos de presencia comparando orden de exposición para el sistema de RA,  $p=0.05$

Sistema RV				
	RA+RV	RV+RA		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	4.93±1.33	4.67±0.82	0.53	2.1
Q1	5.30±1.42	5.20±1.14	0.17	2.1
Q2	5.10±1.73	4.10±1.45	1.40	2.1
Q3	4.70±1.95	4.30±1.49	0.52	2.1
Q4	4.80±1.14	4.30±1.70	0.77	2.1
Q5	4.90±1.59	4.70±0.95	0.34	2.1
Q6	5.30±1.77	5.60±1.08	0.46	2.1
Q7	4.80±1.32	5.00±0.82	0.41	2.1
Q8	4.50±1.84	4.50±1.58	0.00	2.1
Q9	4.50±1.71	4.30±1.25	0.30	2.1
Q10	5.40±1.58	4.70±1.16	1.13	2.1

Tabla 10: Resultado del análisis de los datos de presencia comparando orden de exposición para el sistema de RV,  $p=0.05$

Al analizar las dos tablas, procediendo de igual forma que en el caso anterior con respecto al estadístico t, se puede afirmar en todos los casos salvo uno, que no hay diferencias estadísticas suficientes para asegurar que el orden de exposición afecta a los resultados. La situación en el que el orden parece afectar a los resultados se da en el sistema de RA cuando se pregunta sobre el realismo del recuerdo de haber estado en la habitación. En ese caso, los resultados son mejores cuando el orden de exposición es RV+RA. Quizás se deba a que el cuestionario se rellena justo después de visionar el entorno de RA, y se hace precisamente en el mismo lugar en el que tiene lugar la prueba, con lo que el sujeto recuerda mejor lo que puede ver en ese instante.

Por otra parte, los usuarios también rellenaron dos cuestionarios con preguntas sobre la tarea realizada después de utilizar cada uno de los sistemas. Dichas preguntas trataban de evaluar el grado de atención prestado por el usuario durante la experiencia.

Algunos de los resultados obtenidos en las preguntas de estos cuestionarios son:

- 1) A la pregunta ¿Podrías decir cuántas mesas había en la habitación? prácticamente todos contestaron correctamente con un “2”.
- 2) A la pregunta ¿De qué color era la moqueta del suelo? todos contestaron correctamente con “Marrón”.
- 3) A la pregunta ¿De qué color era la pared cuando se produjo la experiencia: “el suelo se hundía”? las respuestas variaban entre “gris” y “negro”, lo cual indica que el efecto de paredes lúgubres funcionó.
- 4) La pregunta ¿En este momento tienes o has tenido alguna vez miedo a las alturas? no arrojó datos significativos, al igual que la pregunta ¿En este momento tienes o has tenido alguna vez miedo a los espacios cerrados?
- 5) A la pregunta ¿Cuántas sillas había en la habitación? las respuestas fueron variadas debido a que el cuestionario podía rellenarse después del uso de cualquiera de los dos sistemas, y como ya se comentó anteriormente, la decoración de los dos ambientes variaba ligeramente, habiendo más sillas en el sistema de RA. De todas formas, las respuestas eran correctas.
- 6) A la pregunta ¿De qué color eran las paredes de la habitación? todos los usuarios contestaron correctamente con “blanco”, pero se puede decir que esta pregunta tenía un poco de trampa, ya que el usuario sabía que los dos sistemas se basaban en una misma habitación, y los cuestionarios los rellenaban dentro de ese mismo lugar, con lo que una ligera mirada les daba la respuesta.

El resto de preguntas no arrojaron datos significativos, y eran muy parecidas a las ya comentadas.



Respecto a los resultados obtenidos con las preguntas de opinión abierta, se van a comentar los resultados de las preguntas que arrojaron datos más interesantes. Aunque hay que destacar que este cuestionario se utilizó con el objetivo de conocer propuestas de los usuarios, errores cometidos o decisiones acertadas en este trabajo, cara a posteriores desarrollos.

- 1) En la pregunta ¿Qué es lo que más te ha hecho “meterte dentro” del ambiente virtual? la mayoría de los usuarios se decantaban por la presentación estereoscópica de la escena. Algunos destacaron también la forma de navegar en el sistema de RV.
- 2) En la pregunta ¿Qué es lo que más te ha impedido “meterte dentro” del ambiente? algunos usuarios han citado la falta de estabilidad en el sistema de RA, esto es algo que se trabajó bastante pero parece ser que el resultado no fue satisfactorio para todos los usuarios.
- 3) En la pregunta ¿Crees que es importante que puedas verte los pies al lado del agujero cuando se cae el suelo? 15 de los 20 sujetos respondieron afirmativamente, con una valoración media de 7.87 (sobre 10) y desviación típica de 1.51, lo cual hace que el sistema de RA sea interesante en este sentido.

Respecto al nivel de ansiedad, al igual que en el caso del nivel de presencia, la muestra está dividida en dos grupos basándose en el orden de exposición. En este caso, la valoración se realiza en una escala de 0 a 10, observándose puntuaciones no elevadas (salvo algún caso) y muy similares en ambos sistemas, sin embargo, nuevamente, se ha de realizar un análisis que permita extrapolar conclusiones.

Previo al análisis de estos datos, para una mejor comprensión de éste, es necesario recordar los momentos a los que corresponde cada nivel de ansiedad reportado (NA1, NA2, NA3, NA4, NA5 y NA6). NA1 corresponde al instante justo anterior al comienzo de la prueba, NA2 al instante después de haber dado un paseo por el ambiente, NA3 al instante en el que se hunde el suelo, NA4 al instante después de que se haya hundido el suelo varias veces, NA5 al instante en el que el usuario se hunde junto con el suelo, y por último, NA6 corresponde al instante después de acabar la prueba.

En primer lugar, análogamente al caso de los niveles de presencia, se trata de discernir si el usuario experimentaba un nivel de ansiedad mayor en alguno de los dos entornos. Para ello, nuevamente se realizan pruebas t para medias de dos muestras emparejadas (t Student), con un intervalo de confianza del 95% ( $p=0.05$ ), aplicadas a cada uno de los seis instantes reportados, considerando la muestra completa de 20 usuarios. La tabla 11 muestra los resultados de aplicar el análisis que se acaba de describir.

	Sistema RV	Sistema RA	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
	Valoración media	Valoración media		
Media	1.65±0.82	2.81±0.84	4.88	2.09
NA1	1.05±0.22	2.75±1.17	6.47	2.09
NA2	1.20±0.52	2.70±0.98	7.09	2.09
NA3	2.10±1.37	3.00±1.02	2.49	2.09
NA4	1.70±1.08	3.30±1.13	4.77	2.09
NA5	2.50±2.09	2.60±1.23	0.21	2.09
NA6	1.35±0.75	2.50±1.28	4.52	2.09

Tabla 11: Resultado del análisis de los datos de ansiedad comparando RA y RV,  $p=0.05$

Las dos columnas “Valoración Media” muestran el valor medio de cada cuestión en cada sistema, acompañado de su desviación típica. La columna “t Student” presenta el valor del estadístico t, y la columna “Valor crítico de t (dos colas)” es el valor utilizado para formar el intervalo de confianza sobre el que comparar el estadístico t, y así discernir si el resultado de un sistema presenta diferencias estadísticas significativas respecto al otro.

En primer lugar, se observa que los usuarios no muestran apenas ansiedad, lo que se puede explicar por el hecho de que los usuarios expuestos no sufrían acrofobia. Sin embargo, procediendo de igual forma a la descrita en los casos anteriores en lo referente al estadístico t y el intervalo de confianza, se comprueba que para todas las situaciones (salvo una), existen diferencias estadísticas significativas para afirmar que el sistema de RA provoca mayor grado de ansiedad en los usuarios que el sistema de RV.

La única situación en la que no existen diferencias estadísticas significativas es la referida al instante en el que el usuario se hunde junto con el suelo. En este caso, puede estar debido a la similitud de ambos efectos en los dos sistemas.

Se ha comparado el nivel de ansiedad del estado inicial con los demás instantes, para averiguar si realmente los sistemas provocan ansiedad en los usuarios. Para ello, se han realizado nuevamente pruebas t para muestras emparejadas para cada sistema, con los mismos criterios que en los casos anteriores, pero esta vez analizado cada instante con respecto al instante inicial. Las tablas 12 y 13 muestran los resultados de este análisis.

	Sistema RA		t Student	Valor crítico de t (dos colas)
	Valoración media	Valoración media NA1		
NA2	1.10±0.30	1.1±0.3	-	-
NA3	2.25±1.48		3.44	2.09
NA4	1.85±1.09		3.00	2.09
NA5	2.30±1.89		2.90	2.09
NA6	1.35±0.75		2.03	2.09

Tabla 12: Resultado del análisis de los datos de ansiedad comparando todos los instantes con el inicial para el sistema de RA,  $p=0.05$

	Sistema RV		t Student	Valor crítico de t (dos colas)
	Valoración media	Valoración media NA1		
NA2	1.20±0.52	1.05±0.3	1.83	2.09
NA3	2.10±1.37		3.56	2.09
NA4	1.70±1.08		2.80	2.09
NA5	2.50±2.09		3.14	2.09
NA6	1.35±0.75		2.04	2.09

Tabla 13: Resultado del análisis de los datos de ansiedad comparando todos los instantes con el inicial para el sistema de RV,  $p=0.05$

Observando las tablas 12 y 13 y procediendo de igual forma que en los casos anteriores en lo referente al estadístico t y el intervalo de confianza, se puede afirmar que existen diferencias estadísticas significativas entre el instante inicial y el resto (salvo dos), es decir, los dos sistemas están provocando ansiedad en el usuario. Notar que en dos instantes no existen diferencias estadísticas significativas. Se trata del momento después de dar un paseo por el ambiente y del final de la prueba. La primera situación se puede explicar basándose en que todavía no se ha producido estímulo alguno que provoque ansiedad (hundimientos del suelo). Mientras que la segunda situación se explica por el hecho de finalizar la prueba, después de ya haber experimentado todos los efectos que provocan ansiedad, provocándose una lógica relajación en el usuario.

Respecto a la influencia del orden de exposición, nuevamente se procedió de forma análoga al análisis de los niveles de presencia considerando el orden de exposición, realizándose pruebas t para dos muestras suponiendo varianzas iguales a cada uno de los seis instantes, tomando los dos grupos formados en base al orden de exposición (RA+RV y RV+RA). Las tablas 14 y 15 muestran los resultados de este análisis.

Sistema RA				
	RA+RV	RV+RA		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	1.72±0.91	1.60±0.69	0.32	2.1
NA1	1.10±0.32	1.10±0.32	0.00	2.1
NA2	1.10±0.32	1.10±0.32	0.00	2.1
NA3	2.20±1.55	2.30±1.49	0.15	2.1
NA4	1.90±0.99	1.80±1.23	0.20	2.1
NA5	2.60±2.22	2.00±1.56	0.70	2.1
NA6	1.40±0.84	1.30±0.68	0.29	2.1

Tabla 14: Resultado del análisis de los datos de ansiedad comparando orden de exposición para el sistema de RA,  $p=0.05$

Sistema RV				
	RA+RV	RV+RA		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	1.68±0.96	1.62±0.71	0.18	2.1
NA1	1.10±0.32	1.00±0.00	1.00	2.1
NA2	1.20±0.63	1.20±0.42	0.00	2.1
NA3	2.00±1.25	2.20±1.55	0.32	2.1
NA4	1.50±0.85	1.90±1.29	0.82	2.1
NA5	2.90±2.69	2.10±1.29	0.85	2.1
NA6	1.40±0.84	1.30±0.68	0.29	2.1

Tabla 15: Resultado del análisis de los datos de ansiedad comparando orden de exposición para el sistema de RV,  $p=0.05$

Al analizar estas dos tablas, y procediendo de igual forma que en el caso de los niveles de presencia respecto al estadístico t e intervalo de confianza, se puede afirmar que el orden de exposición no afecta a los resultados relativos a la ansiedad.

Respecto a la correlación entre presencia y ansiedad, se consideró interesante analizar de forma rigurosa esta relación, ya que en otros trabajos similares a éste no se ha realizado. Para ello, se ha utilizado la correlación de Pearson, donde la hipótesis nula es aquella en la cual el coeficiente de correlación proviene de una población en la que la correlación es cero. Para determinar si la correlación es significativa, se comprueba si el coeficiente de correlación está dentro de la distribución muestral especificada por la hipótesis nula con diferentes probabilidades. A efectos prácticos, se calcula el coeficiente de correlación de Pearson,  $r_{xy}$ , y se calcula el número de desviaciones tipo en las que el coeficiente obtenido se encuentre en el centro de la distribución, según la fórmula 1:

$$t = \frac{r_{xy} - 0}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}} ; N \text{ número de muestras}$$

Fórmula 1

Y se compara el valor obtenido con el existente en las tablas para un cierto nivel de significación  $\alpha$  y  $N-2$  grados de libertad ( $t_{\alpha, N-2}$ ), el cual marca el límite (baja probabilidad de ocurrencia, según la hipótesis nula) de pertenencia de un cierto coeficiente  $r_{xy}$  a la distribución muestra de correlaciones procedentes de una población con correlación cero. Si  $t > t_{\alpha, N-2}$  se rechaza la hipótesis nula, por lo que las muestras están relacionadas. Si  $t < t_{\alpha, N-2}$ , se acepta la hipótesis nula, por lo que las muestras no están relacionadas.

En primer lugar es necesario definir las relaciones entre las cuestiones para medir el nivel de presencia y los instantes en los que se mide el nivel de ansiedad, para así poder estudiar su correlación. Observando el cuestionario de presencia utilizado, que se encuentra en los anexos, y los instantes en los que se pregunta por el nivel de ansiedad, las posibles relaciones quedan definidas como:

- a) NA2-Q1
- b) NA3-Q2
- c) NA3-Q8
- d) NA4-Q8
- e) NA5-Q3
- f) NA3-Q9

Una vez definidas estas posibles relaciones se procede a realizar el análisis como se acaba de describir, en primer lugar considerando toda la muestra. Los resultados se presentan en la tabla 16.

	Sistema RA			Sistema RV		
	$r_{xy}$	t	$\alpha$	$r_{xy}$	t	$\alpha$
NA2-Q1	0.17	0.72	0.48*	0.00	0.00	-
NA3-Q2	0.09	0.39	0.70	0.10	0.42	0.68*
NA3-Q8	0.12	0.50	0.62	0.21	0.90	0.38*
NA4-Q8	0.12	0.49	0.63	0.20	0.88	0.39*
NA5-Q3	0.19	0.83	0.42*	0.16	0.70	0.49
NA5-Q9	0.36	1.66	0.11*	0.05	0.22	0.83

Tabla 16: Resultados del análisis de la relación entre presencia y ansiedad. El asterisco al lado de algunos valores de  $\alpha$  indica que éstos corresponden a una correlación más significativa que la obtenida en el otro sistema

Al analizar esta tabla se puede afirmar que las variables presencia y ansiedad están relacionadas (directa o inversamente), aunque en algunos casos con valores de  $\alpha$  muy elevados, lo que hace que el riesgo de equivocarse al rechazar la hipótesis nula sea elevado. Los valores de  $\alpha$  oscilan entre 0.11 (máximo) y 0.68 (mínimo). Es destacable que en el caso del sistema de RV, la relación NA2-Q1 proporciona un coeficiente de correlación de Pearson igual a cero, lo que no necesariamente indica que no exista correlación entre presencia y ansiedad, es posible que exista, pero no será lineal, y por lo tanto no se puede sacar una conclusión en este caso con este análisis.

Con este análisis no se puede afirmar que la relación entre presencia y ansiedad sea más significativa en uno u otro sistema, ya que cada uno muestra una correlación más significativa en tres de las seis situaciones analizadas. Concretamente, el sistema de RA presenta correlaciones más significativas en las situaciones referidas al momento justo después de dar un paseo por el ambiente y al momento en el que el usuario se hunde junto al suelo. Mientras que el sistema de RV presenta correlaciones más significativas en el instante en el que se hunde el suelo, y en el instante después de haberse hundido el suelo varias veces. Este comportamiento no coincide con el análisis de presencia que se realizó anteriormente, (ver tabla 8), lo que no permite extrapolar conclusiones. Por todo ello, sería necesario la realización de más estudios con muestras mayores.

A continuación, al igual que en los análisis individuales de presencia y ansiedad, se va a realizar el análisis de la relación entre estas variables atendiendo al orden de exposición de los usuarios, para averiguar si éste afecta a los resultados. Para ello, se procede de igual forma que en el caso que se acaba de describir en lo referente al coeficiente de correlación de Pearson y el nivel de significación (ver tablas 17 y 18).

	Orden de exposición RV+RA					
	Sistema RA			Sistema RV		
	$r_{xy}$	t	$\alpha$	$r_{xy}$	t	$\alpha$
NA2-Q1	0.10	0.28	0.79	0.33	0.97	0.36*
NA3-Q2	0.29	0.87	0.41	0.50	1.65	0.14*
NA3-Q8	0.14	0.39	0.71	0.68	2.63	0.03*
NA4-Q8	0.13	0.38	0.71	0.74	3.09	0.02*
NA5-Q3	0.17	0.48	0.64	0.19	0.55	0.6*
NA5-Q9	0.11	0.31	0.76	0.44	1.37	0.21*

Tabla 17: Resultados del análisis de la relación entre presencia y ansiedad con orden de exposición RV+RA. El asterisco al lado de algunos valores de  $\alpha$  indica que éstos corresponden a una correlación más significativa que la obtenida en el otro sistema

	Orden de exposición RA+RV					
	Sistema RA			Sistema RV		
	$r_{xy}$	t	$\alpha$	$r_{xy}$	t	$\alpha$
NA2-Q1	0.16	0.44	0.67	0.32	0.96	0.36*
NA3-Q2	0.17	0.48	0.64*	0.00	0.00	-
NA3-Q8	0.01	0.02	0.98	0.10	0.28	0.79*
NA4-Q8	0.13	0.36	0.73*	0.04	0.1	0.92
NA5-Q3	0.13	0.36	0.73*	0.07	0.2	0.85
NA5-Q9	0.21	0.61	0.56*	0.01	0.03	0.97

Tabla 18: Resultados del análisis de la relación entre presencia y ansiedad con orden de exposición RA+RV. El asterisco al lado de algunos valores de  $\alpha$  indica que éstos corresponden a una correlación más significativa que la obtenida en el otro sistema

Las tablas 17 y 18 demuestran una tendencia a existir mayor significación en la correlación presencia-ansiedad en el sistema que se prueba en primer lugar, sin embargo, tal como muestran las tablas 14 y 15, no hay evidencias estadísticas significativas para asegurar que el orden de exposición afecta a los resultados. Esta tendencia se puede explicar por la habituación a los estímulos acrofóbicos a lo largo de la validación de ambos sistemas, así, al principio de la prueba la ansiedad es mayor. Este efecto de habituación también se ha constatado en otros trabajos como el de Meehan et al. [Meehan02].

Por último, se analiza el cuestionario de presencia y juicio de realidad [Baños00], el cual fue rellenado también por todos los sujetos. En dicho cuestionarios se valoran las afirmaciones planteadas en una escala de 0 a 10, donde 10 significa totalmente de acuerdo, lo cual no significa que un 10 siempre sea una respuesta positiva en lo que respecta a la presencia y juicio de realidad del sujeto. La tabla 19 presenta el análisis de este cuestionario, centrado en la media y la desviación típica, tomando la muestra completa de 20 usuarios. Se ha incluido una columna con un símbolo al lado de cada cuestión indicado si 10 es positivo con un '+', si es negativo con un '-', o dejándolo vacío si es indiferente en el contexto de presencia. Por ejemplo, una cuestión como la 5, "He sentido/notado sensaciones corporales (calor, frío, etc.)" es indiferente en el contexto citado.

		Análisis	
		Media	Desviación típica
+	1	7.60	1.535543792
+	2	7.65	1.565247584
	3	6.95	2.258900524
+	4	5.85	1.496487115
	5	4.00	3.448874721
+	6	6.10	2.291862033
	7	7.15	1.424411236
+	8	7.80	1.50787407
	9	4.30	2.992974229
	10	4.40	2.643761276
	11	5.95	2.258900524
-	12	6.50	3.332456025
+	13	6.70	2.386364776
+	14	6.45	2.543826376
-	15	3.20	2.745330965
+	16	6.90	2.900090743
	17	7.85	1.954078057
+	18	7.05	1.848897253
-	19	4.10	2.425739171
+	20	7.05	2.089447169
+	21	4.20	2.839570019
+	22	3.60	2.72222819
+	23	5.70	2.975337221
+	24	4.85	3.248886449
+	25	7.85	1.843195166
+	26	5.30	2.597569714
+	27	7.35	1.78517285
	28	5.65	2.680828623
+	29	7.75	1.164157703
+	30	5.70	2.273416164
-	31	5.50	2.800375915
	32	8.65	1.348488433
+	33	6.35	2.75824124
-	34	3.60	2.980639281
+	35	7.55	2.305028827
-	36	3.30	2.597569714
-	37	1.45	1.431782106
	38	3.55	2.416500297
	39	5.00	2.79096286
	40	6.40	2.210025006
	41	5.60	2.414866238
	42	5.05	2.910507281
	43	5.80	2.166734142
	44	4.30	2.202868943
	45	6.70	2.226633049
-	46	2.05	2.139232523
	47	1.85	1.694418081
	48	6.85	2.058998223
-	49	5.80	2.546411303
-	50	5.65	2.661123625
+	51	4.70	2.811629982
	52	3.40	3.152275703
	53	7.85	2.084403234
	54	6.00	2.361979544
	55	4.45	2.258900524
	56	5.75	2.244877209
	57	8.15	1.631111988

Tabla 19: Análisis de los datos del cuestionario CPYJR



La tabla 19, demuestra que prácticamente todas las cuestiones marcadas con un ‘+’ obtienen medias superiores a 5. Sin embargo, las cuestiones marcadas con un ‘-’ no obtienen en general medias inferiores a 5. Probablemente se deba a errores en la cumplimentación de este cuestionario, o la falta de atención del usuario.

#### **4.7.1 Conclusiones**

Los resultados presentados en el presente estudio permiten afirmar que los entornos desarrollados han provocado presencia y ansiedad en usuarios sin fobia. También se ha observado una correlación significativa entre presencia y ansiedad.

Ambos sistemas desarrollados provocan niveles de presencia similares, no hallándose diferencias estadísticas significativas para afirmar que uno u otro sistema provoque mayor presencia. Sin embargo, en lo referente a niveles de ansiedad, sí se aprecian diferencias estadísticas significativas para afirmar que el sistema de RA provoca mayor nivel de ansiedad en los usuarios.

El presente trabajo no es el primero en el que se estudia la relación entre dichas variables en sistemas visualizados en casco [Schuemie00] [Bouchard08]. Schuemie et al. [Schuemie00] también emplearon entornos acrofóbicos. La diferencia con el presente estudio radica en que ellos comparan tres entornos de RV diferentes mientras que en el presente estudio se comparan aplicaciones distintas (RA y RV) que representen un mismo entorno. Bouchard et al. [Bouchard08] usaron entornos para provocar ansiedad en usuarios que padecían fobia a las serpientes. Salvando las obvias diferencias, sus resultados en lo referente a la relación entre la presencia y la ansiedad coinciden.

Respecto al orden en el que los sujetos se exponen a los sistemas, éste no afecta a los resultados obtenidos en lo referente a niveles de presencia y ansiedad, lo cual se preveía dados los resultados del estudio anterior (“Foto navegable”).

Un aspecto muy importante que ha revelado este estudio es la importancia que le da el sujeto a ver sus propios pies junto al ambiente acrofóbico en el caso del sistema de RA.

Por otra parte, la presencia es una condición subjetiva, y la utilización de cuestionarios para evaluarla puede producir errores si el sujeto no da una valoración correcta. Por ello, por ejemplo, Meehan et al. [Meehan02] proponen la utilización de medidas fisiológicas para dicha evaluación.

Por último, destacar el hecho de tener una muestra de 20 sujetos. Un estudio con muestras mayores que permitiría la extrapolación de nuevas conclusiones, así como la confirmación de las ya extraídas.

## 4.8 Conclusiones

Este capítulo ha descrito exhaustivamente los sistemas Habitación con agujero, RA vs. RV así como la validación de los mismos.

En primer lugar, se ha descrito de forma general ambos sistemas, destacando una parte común de los dos, el agujero virtual en mitad de una habitación que aparece junto a los pies del usuario, con el conjunto de animaciones asociadas. En el sistema de RV todo el entorno es modelado, mientras que en el sistema de RA, solo el agujero, el cual se inserta en el vídeo que captura una cámara web de una habitación igual a la modelada en el sistema de RV.

En segundo lugar, se ha detallado con precisión los pasos seguidos para el desarrollo de sendos sistemas. Primero, se ha centrado la atención en la creación del elemento virtual agujero. Básicamente era un paralelepípedo rectangular (de aspecto lúgubre) con ciertas peculiaridades que lo hacían susceptible de ser animado. A continuación se ha descrito el desarrollo del sistema de RA, en el que se incluía en elemento agujero en una aplicación básica de RA. En este sistema destaca la utilización de un 'tracker' inercial de cabeza para corregir el 'jitter' del tracking óptico. Por último se describe el desarrollo del sistema de RV, donde destaca el desarrollo de un sistema de navegación no tradicional, donde nuevamente se utiliza el 'tracker' inercial, el cual permite que el usuario avance siempre en la dirección en la que está mirando.

En tercer lugar, se han descrito todos los elementos materiales que forman parte del sistema, el agujero virtual, la habitación modelada, la habitación real, la moqueta real y las diferentes marcas utilizadas.

En cuarto lugar, se han presentado los requisitos técnicos del sistema, compuestos por un PC, una cámara web Firewire, un 'tracker' inercial, un casco y un joystick inalámbrico.

En quinto lugar, se ha descrito el estudio realizado en la validación con usuarios sin fobia. En dicho estudio se han comparado los dos sistemas desarrollados. Se ha presentado de forma exhaustiva el protocolo del estudio, haciendo hincapié en los cuestionarios utilizados para valorar el nivel de presencia de los usuarios, y por tanto la eficacia de los sistemas.

Por último, se han presentado de forma detallada los resultados del presente estudio. Describiendo las pruebas efectuadas (número de usuarios, orden de exposición, parámetros medidos, etc.), así como los métodos utilizados en el análisis de los datos. El análisis de los resultados ha permitido afirmar que los entornos desarrollados provocan presencia y ansiedad. También se ha observado una correlación significativa entre ambas variables. Además, se han obtenido niveles de presencia y ansiedad similares para los dos sistemas desarrollados, no hallando

evidencias estadísticas significativas que permitan afirmar que un sistema provoca más ansiedad o presencia que el otro.



## **5 Habitación con agujero, HMD vs. CAVE y “Foto navegable” en CAVE**

### **5.1 Introducción**

En este capítulo se va a exponer de forma detallada los desarrollos y el estudio realizado comparando la misma situación acrofóbica (el suelo se hunde) con tecnologías de visualización distintas, así como los desarrollos y el estudio preliminar sobre la utilización de una foto navegable en un CAVE. También se presentarán todos los materiales y dispositivos que fueron necesarios para la creación de las aplicaciones y el desarrollo del estudio.

El capítulo se ha dividido en las siguientes secciones:

- En primer lugar, se describirán de forma general los sistemas desarrollados.
- En segundo lugar, se comentan las herramientas utilizadas en los nuevos desarrollos, definiendo de forma precisa lo que es un CAVE.
- En tercer lugar, se centrará la atención en los dos sistemas desarrollados (los pasos y funciones realizados). Esta parte especifica principalmente la fase de creación de los sistemas a nivel de programación.
- En cuarto lugar, se describirán los elementos materiales que forman parte de los sistemas desarrollados.
- En quinto lugar, se presentarán los requisitos técnicos para el desarrollo y funcionamiento de todos los sistemas.
- En sexto lugar, se explicará el protocolo seguido en la validación de los sistemas con usuarios sin fobia.
- Por último, se presentarán los resultados del estudio, pruebas realizadas y los métodos utilizados en el análisis de datos.

### **5.2 Descripción general de los sistemas**

En este estudio se comparan dos dispositivos de visualización distintos, utilizando las aplicaciones de los capítulos anteriores y las adaptaciones de las mismas al nuevo sistema. De modo que se tiene el mismo sistema del agujero en medio de una habitación visualizado sobre un casco de RV y en un entorno denominado CAVE, que es una habitación estereoscópica. El sistema de RV funciona tal y como se describió en el capítulo 4, el usuario utiliza exactamente los mismos dispositivos cuando se trata de visualización sobre casco de RV. Sin embargo, en el

CAVE, el usuario únicamente utiliza unas gafas basadas en obturación, las cuales no incorporan cables, y un flystick para la navegación.

Adicionalmente se adapta la “Foto navegable” descrita en el capítulo 3 al CAVE, para realizar un estudio preliminar.

Las pruebas con usuarios se diseñan en base a un protocolo muy parecido al del capítulo 4. Los detalles se describen en este mismo capítulo.

### **5.3 *Análisis de las herramientas a utilizar***

El elemento diferenciador introducido en este estudio es la utilización de un sistema CAVE para la visualización de los entornos virtuales. De modo que se han adaptado las aplicaciones desarrolladas en los estudios anteriores para que puedan funcionar en dicho sistema.

Todas las aplicaciones desarrolladas hasta el momento en la presente tesis estaban basadas en Brainstorm eStudio, Python y ARToolKit. Debido a las condiciones lumínicas de un CAVE (poca luz), y a las características técnicas de la máquina que lo hacía funcionar (complejidad a la hora de añadir nuevo hardware) se optó por no utilizar las características de RA de las aplicaciones, por lo que no fue necesario adaptar la parte concerniente a ARToolKit.

La máquina que hacía funcionar al CAVE tenía instalado como sistema operativo una SuSE Linux sobre la que se ejecutaba Brainstorm eStudio. Dada la complejidad de esta máquina, Brainstorm Multimedia preparó una versión 10.xx “especial”. Dicha versión era totalmente operativa y trataba de adaptarse a las características técnicas de la máquina. Lo que ocurre es que esta versión no era muy estable, con lo que era difícil hacer sesiones de una duración considerable sin problemas. Por este motivo, se preparó otra nueva versión, pero esta vez no era totalmente operativa, en el sentido de no posibilitar la edición de parámetros durante la ejecución, era un simple “player” de aplicaciones montadas con Brainstorm eStudio. De modo que, todas las aplicaciones finales funcionaban sobre este “player”, aunque se seguía disponiendo de la versión menos estable para poder modificar o corregir algunos parámetros que diferían de lo diseñado en PC.

#### **5.3.1 CAVE**

Un sistema CAVE, se puede definir como una habitación esteroscópica inmersiva, en la que uno de sus objetivos principales es reducir al máximo el hardware que lleva el usuario en una experiencia de RV. Apareció por primera vez en 1992 como resultado de la tesis de la Dra. Cruz-Neira [Cruz92] [Cruz95], de la Universidad de Illinois [Berenguer08].

Por definición, se trata de una sala cuyas paredes son proyectadas desde el exterior con imágenes estereoscópicas, creando así un ambiente tridimensional donde se ubican los usuarios capaces de percibir el mundo virtual creado a través de unas gafas especiales, basadas en obturación para separar los campos alternativos del vídeo dirigido a cada ojo (estéreo activo).

En este estudio se ha utilizado el CAVE de la Universidad Politécnica de Valencia. Éste es un CAVE que tiene tres paredes (frontal, derecha e izquierda) y suelo. En las figuras 38(a) y 38(b) se observa un esquema del mismo.

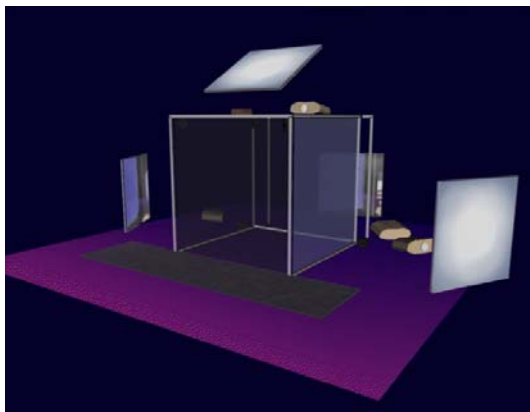


Figura 38(a): Esquema de CAVE con 3 paredes y suelo

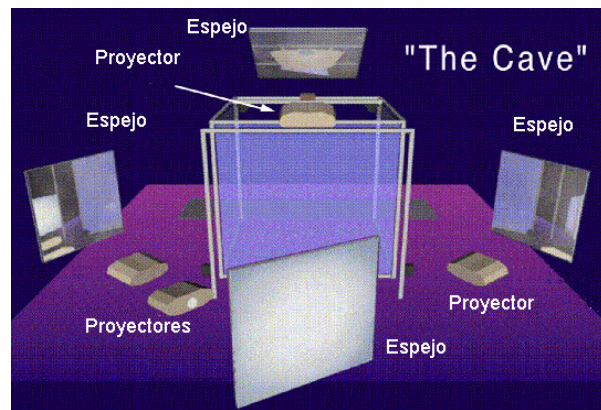


Figura 38(b): Identificación de los elementos de un CAVE con 3 paredes y suelo

Existen cuatro enormes proyectores que proyectan imagen de estéreo activo sobre cuatro delicados espejos, que a su vez la reflejan hacia cada una de las cuatro delicadas paredes del CAVE.

Adicionalmente se precisa un sistema de tracking que obtenga la posición y orientación de la cabeza del usuario para que el sistema pueda corregir el punto de vista del mismo. Se ha utilizado un sistema comercial de tracking óptico infrarrojo, el cual está basado en el reconocimiento de constelaciones de marcas infrarrojas como las de la figura 39. Cada elemento de la constelación es una esfera cubierta de un material catadióptrico.



Figura 39: Constelación de marcas infrarrojas

Además, se precisa de un sistema de navegación, para ello se utilizó un flystick del mismo fabricante que el sistema de tracking, se trata de “advanced realtime tracking GmbH” (<http://www.ar-tracking.de>). Tanto el flystick como el sistema de tracking devuelven sus correspondientes datos a través de un software específico del mismo fabricante, denominado “DTrack”. Dicho software funciona sobre un PC de sobremesa y convierte el flujo de datos a Ethernet para ser enviado a la máquina encargada de los gráficos del CAVE. En la figura 40 se muestra el aspecto de “DTrack”.

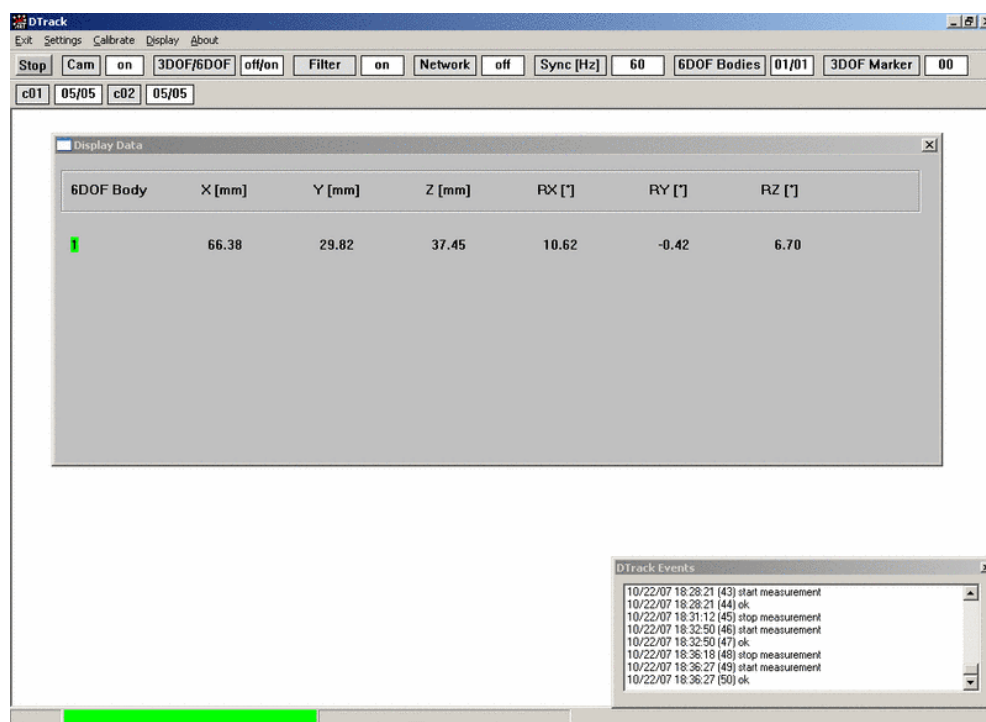


Figura 40: Software “DTrack” en ejecución

Destacar que Brainstorm Multimedia tuvo que desarrollar un plugin para recoger los datos de tracking y navegación por Ethernet.

Todos estos elementos hardware se describirán con detalle en el apartado dedicado a los requisitos técnicos.

## 5.4 Desarrollo de los sistemas

En este estudio se emplearon tres sistemas, dos de ellos nuevos, y el tercero era uno de los utilizados en el estudio anterior, con una mejora que facilitaba el manejo del supervisor de la prueba/terapeuta.



En primer lugar, se compararon dos sistemas que simulaban la aparición de un agujero en mitad de una habitación. Se trata de la misma aplicación de RV del estudio anterior, pero esta vez comparada con el resultado de su adaptación al CAVE de la UPV.

En segundo lugar, se plantea el estudio preliminar de la “foto navegable” en el CAVE, por lo que se adaptó la aplicación correspondiente a este entorno.

#### **5.4.1 Visualización HMD, habitación con agujero**

En este caso se tiene el mismo sistema del apartado 4.3.3, pero además se le introdujo una mejora que también podía ser utilizada por el sistema que era visualizado en el CAVE. Dicha mejora consiste en lanzar las animaciones de forma remota, mediante otro ordenador. Como se verá en posteriores apartados, la mejora surge de la distribución física del espacio del CAVE. Para ello, se desarrolló una aplicación en C que se comunicaba de forma remota con la máquina que está ejecutando la aplicación de RV con el agujero en medio de una habitación. Siempre que se ejecuta una instancia de Braintorm eStudio, ésta, por defecto, aunque no tenga cargado ningún escenario, se queda escuchando en el puerto TCP 5123. La forma de hacerle llegar instrucciones remotamente, consiste en enviar en formato texto, a ese puerto de esa máquina, sentencias de Brainstorm eStudio o Python terminadas en “;”, así, dichas sentencias remotas se interpretan como si se tratara de locales. De este modo, la aplicación desarrollada realizaba las siguientes funciones:

- 1) Mostraba un menú por pantalla indicando la tecla a pulsar para ejecutar la correspondiente animación.
- 2) Recogía los eventos de teclado.
- 3) Mandaba vía TCP los comandos de Brainstorm eStudio que hacían que se ejecutara la animación deseada por el supervisor de la prueba/terapeuta.

Esta aplicación se desarrolló usando la librería winsock ya que se iba a utilizar en un ordenador bajo sistema operativo Windows.

#### **5.4.2 Visualización CAVE, habitación con agujero**

Este sistema es una adaptación del sistema anterior a un entorno de visualización CAVE. Básicamente se tiene que pasar a visualizar una escena en cuatro pantallas con estéreo activo, cuando originalmente se visualizaba en dos pantallas con estéreo pasivo. Además hay que modificar la navegación. Para ello, en primer lugar hay que eliminar todas las configuraciones correspondientes al estéreo pasivo de la aplicación original, es decir, se eliminan los dos “pipes” (ventanas de visualización) y las dos cámaras virtuales. A continuación se crean cuatro nuevos

“pipes”, lo que a su vez hace que se creen cuatro nuevas cámaras de simulación. Cada pareja cámara/“pipe” corresponde a una pantalla de proyección física del CAVE.

El siguiente paso es configurar cada uno de los “pipes” de forma que funcione en estéreo activo. Para ello hay que configurar el editor asociado, y sólo se podrá hacer en equipos en los que esté instalado el hardware destinado a tal efecto. En este sentido comentar que la aplicación fue desarrollada casi por completo en PC, el cual no tenía hardware para estéreo activo, por lo que esta parte de la aplicación se tuvo que desarrollar utilizando la máquina que se encarga de los gráficos del CAVE con el editor de Brainstorm eStudio. Además hay que situar cada pipe en el lugar lógico correspondiente para que se muestre en la pared del CAVE que corresponda. Para ello hay que tener en cuenta cómo se distribuye físicamente el escritorio de la máquina (que está formado por cuatro pantallas). En este caso el escritorio se extiende de derecha a izquierda, con lo que hay que situar cada “pipe” uno al lado del otro, situando cada origen de la ventana a una distancia relacionada con la resolución horizontal de cada pantalla.

Otro detalle concerniente a la configuración de cada “pipe” es el referente al tamaño de las pantallas de proyección, se le ha de indicar en un editor que hay destinado a tal efecto, y que sirve para ajustar las relaciones geométricas de la proyección estereoscópica.

A continuación se configuraron las cámaras de simulación. En concreto había que configurar un editor relacionado con el estéreo, se denomina “Cave Face”, y como su nombre indica hace referencia a la pared del CAVE a la que va a “mirar” cada cámara.

Continuando con la configuración de las cámaras de simulación, hay que corregir el punto de vista del usuario. Para ello, las gafas basadas en obturación que lleva el usuario, tienen una constelación de marcas catadióptricas situadas en su parte superior, las cuales capta el sistema, obteniendo su posición y orientación, y mandándolas vía Ethernet a la máquina encargada de los gráficos, que los recoge mediante el plugin de Brainstorm eStudio comentado en el apartado 5.2.1. Dichos datos, suavizados mediante un filtrado lineal y modificándolos con cierta escala, se enlazan a unos editores situados en cada cámara de simulación, que cumplen con dicha función.

Añadir que se disponía de una configuración básica del CAVE parecida a la que se acaba de describir, pero no se utilizó porque la aplicación desarrollada necesitaba unos ajustes diferentes y más precisos, sobre todo en lo que se refiere a la navegación. Aun así, se copiaron algunos parámetros, como por ejemplo el paralaje de la escena.

El sistema de navegación también está relacionado con las cámaras de simulación, se trata de hacer variar la posición y orientación de todas las cámaras en relación a los movimientos que hace el usuario con el flystick. Se ha utilizado el mismo sistema de colisiones que en el sistema original para que el usuario no se salga de la habitación virtual.

En este caso los datos del flystick se mandan vía Ethernet y se recogen con el mismo plugin descrito en el apartado 5.2.1. Desgraciadamente, el flystick empleado no tiene controles analógicos, son todo botones (o palancas) que devuelven 0 ó 1, con lo que el sistema de navegación se tuvo que diseñar aplicando incrementos a cada pulsación, y haciendo filtrados lineales que evitaran saltos en la navegación. En este momento se utilizaba únicamente la palanca del flystick, la cual permitía avanzar, retroceder y girar a derecha e izquierda. Lo que ocurre es que este tipo de navegación resultaba un poco pobre en comparación con la del sistema original. Por ello, en primer lugar se hizo que el usuario pudiera dar pasos laterales, es decir, moverse en sentido perpendicular a la dirección en la que mira. Esto se conseguía con la pulsación de dos botones adicionales que tenía el flystick muy próximos a la palanca ya descrita.

De todas formas, la navegación hasta este punto del desarrollo resultaba más pobre que en el sistema original. Para ello, se aprovechó la constelación de marcas catadiópticas que tenía el flystick en su parte superior, la cual devolvía posición y orientación de la misma. De esta forma, se tomaba únicamente la orientación de la marca, de forma que si el usuario giraba el flystick mientras avanzaba o retrocedía, ese giro se añadía al desplazamiento, quedando una navegación más parecida a la del sistema original.

Destacar que el CAVE consta de tres habitaciones físicas, una donde se encuentra el propio entorno de visualización, otra, contigua a la anterior donde se encuentran las interfaces de entrada/salida del sistema junto con el PC de tracking y otra donde se encuentra la máquina encargada de los gráficos (lugar a una temperatura bastante baja para evitar calentamiento de la máquina). Dada esta distribución física surge la necesidad de controlar el sistema desde la habitación de visualización. Sería deseable que el supervisor de la prueba/terapeuta estuviera en la misma habitación que el usuario para poder dialogar con él, y poder observar sus reacciones. Por ello se utilizó la aplicación descrita en el punto anterior, ejecutándose en un PC que estaba conectado a la red de la universidad, a la cual también estaba conectada la máquina encargada de los gráficos. Añadir que ya que había que utilizar un PC para el sistema visualizado sobre HMD, éste se colocó en la sala de visualización, y se reutilizó como ordenador a través del cual mandar los comandos correspondientes al inicio de las animaciones del sistema (hundimientos del agujero de diversas formas).

Otro aspecto que se tuvo que adaptar fue la reproducción de los sonidos del sistema. Se debe a que la máquina encargada de los gráficos del CAVE no constaba de tarjeta de sonido en el momento de la realización de esta aplicación, con lo que la única solución era reproducir los sonidos en otra máquina. En la aplicación original, el sonido se ejecutaba en el mismo instante y en la misma máquina en el que lo hacía la animación, así que la solución adoptada fue lanzar un comando vía red con destino a esa otra máquina, la cual sí disponía de tarjeta de sonido, en lugar de ejecutar el sonido. Para conseguirlo se construyó otra nueva aplicación en Brainstorm eStudio, la cual funcionaría sobre este nuevo PC. Además éste debía estar colocado lo más cerca posible del entorno de visualización para que el usuario escuchara perfectamente todos los sonidos. De nuevo se utilizó el PC sobre el que iba a funcionar el sistema visualizado sobre HMD para este propósito.

La nueva aplicación desarrollada sobre Brainstorm eStudio constaba de un conjunto de sonidos cuya duración y lanzamiento (“play”) eran controlados de forma remota vía Ethernet. Para conseguirlo era necesario abrir un socket desde la aplicación de gráficos hacia el PC encargado de reproducir los sonidos, el cual se encontraba escuchando en el puerto 5123 TCP. La forma de abrir un socket desde Brainstorm eStudio consiste en utilizar un elemento de lista denominado “Remote”. A este elemento se le pasa la dirección IP de la máquina a la que se tiene que conectar y el código a enviar. Además, dicho elemento tiene un flag que muestra el éxito o no en el envío de un conjunto de instrucciones, por lo que siempre se debe consultar antes de un nuevo envío para asegurar una correcta comunicación.

#### **5.4.3 Visualización CAVE, “foto navegable”**

En este sistema se trató de adaptar el primer experimento (“foto navegable”) a un entorno de visualización como es el CAVE. Ciertamente se trata de un problema complejo, debido a la concepción del estéreo del sistema original.

En la figura 41 se puede ver un esquema básico de la aplicación original donde existen dos pantallas, cada una con una imagen ligeramente diferente, destinada a cada ojo para así proporcionar sensación de visión estereoscópica.

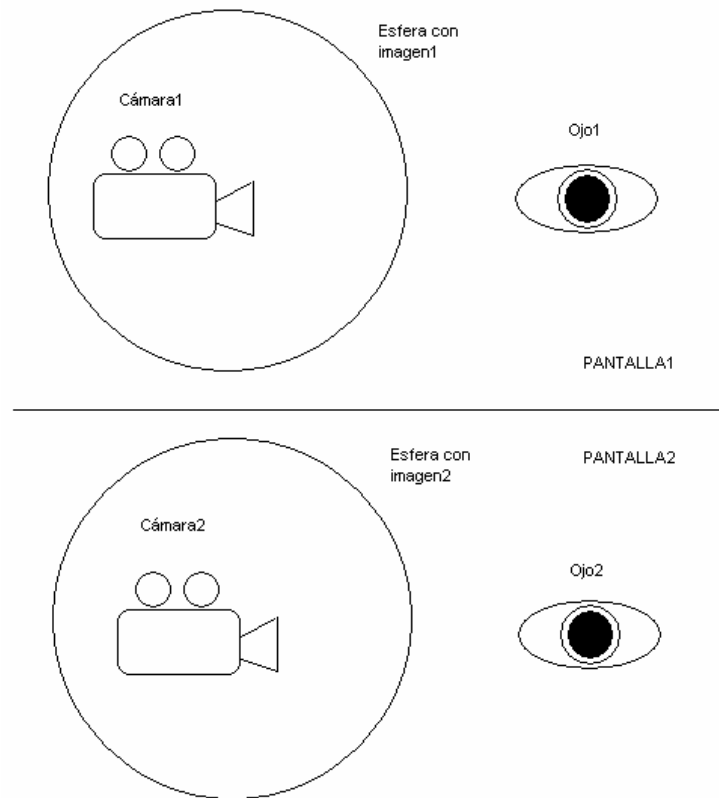


Figura 41: Esquema básico aplicación original

En el caso de la aplicación original, cada pantalla está ocupada por una foto “mapeada” sobre una esfera. Las fotos son diferentes porque se tomaron desde puntos ligeramente diferentes, para simular la distancia interocular de una persona “estándar”.

Este esquema es válido en un sistema de visualización que tenga las pantallas separadas físicamente y enfrentadas al ojo, como por ejemplo un HMD. Sin embargo, en un sistema CAVE sobre el que funcione Brainstorm eStudio esta aproximación no es válida, ya que cada una de las cuatro pantallas superpone las imágenes dirigidas a cada ojo, con lo que no hay separación física de la proyección dirigida a cada uno. Por lo tanto, no hay forma de colocar dos esferas en un mismo lugar físico y hacer que se alterne la visualización de cada una de ellas. Por ello, desde el principio se abandonó la idea de utilizar las dos fotos que servían para crear la visión estereoscópica en el sistema original. Lo que se hizo fue montar el sistema con una única foto pero exagerando el paralaje de la escena para obtener la visión 3D.

Como en el caso anterior, lo primero es convertir la aplicación a 4 “pipes” gráficos, haciéndolo de la misma forma que se explicó en el apartado anterior. Tras este paso hay que colocar la única esfera fija en el origen de coordenadas. El siguiente paso consiste en corregir el punto de vista del usuario, con los editores de los que está provisto Brainstorm eStudio y la posición y orientación que se obtiene de

la constelación catadióptrica situada sobre las gafas. Pero, tras las pruebas realizadas durante el desarrollo se decidió dejar el punto de vista fijo, ya que la foto que era un contenido plano no se mostraba con un correcto 3D cuando se hacía esta corrección. Pero esta solución tenía un inconveniente, la visión del usuario solo era correcta en una región muy pequeña, por lo que se impuso que el usuario apenas se moviera del centro del CAVE.

Adicionalmente, el sistema original permitía el movimiento lateral del usuario, así, cuando el usuario se desplazaba aparecía otro par de fotos nuevas tomadas a cierta distancia del primer par de fotos. Esta característica no se pudo incluir en el sistema adaptado al CAVE, ya que los movimientos laterales del usuario estaban limitados al tamaño del entorno de visualización (2.2 metros). Además, la esfera colocada en el origen de coordenadas abarcaba todo el entorno de visualización, con lo que esta función carecía de sentido en este sistema.

El sistema destinado al estudio preliminar de la “foto navegable” visualizada en CAVE, es el descrito hasta este instante. Sin embargo, se realizó una prueba en la que se intentó mezclar objetos virtuales 3D y la fotografía navegable. Se trataba de incorporar a la foto el elemento virtual agujero de los sistemas anteriores. La incorporación de este elemento no era demasiado complicada debido a la modularidad de la que se dotó a los sistemas Habitación con agujero. El problema era mezclar contenido plano con contenido 3D (objeto virtual agujero), circunstancia que convertía el paralaje de la escena en una variable muy crítica, no encontrado un valor adecuado. Además, la mezcla de objeto virtual y foto real desentonaba bastante, con lo que esta parte del sistema quedó oculta al usuario.

## **5.5 Descripción de los elementos materiales**

En cuanto a los elementos materiales de los sistemas desarrollados en este estudio, hay que distinguir claramente entre los sistemas que muestran un agujero en medio de una habitación y el sistema que muestra la “foto navegable” en el CAVE. A continuación se mostrarán una serie de imágenes donde se puede ver todos los elementos materiales que forman parte de los sistemas.

### **5.5.1 Habitación con agujero**

En ambos sistemas, visualización en HMD y visualización en CAVE, se tienen exactamente los mismo elementos materiales, aunque la percepción de ellos por parte del usuario difiera notablemente en cuanto a calidad.

En primer lugar, en las figuras 42(a) y 42(b) se muestra el aspecto del agujero camuflado en medio de la moqueta en los dos sistemas, con la diferencia de que en el sistema CAVE no cabe toda la moqueta en una única pantalla. Después, en las figuras 42(c) y 42(d) se muestra el aspecto del agujero cuando éste se ha abierto. Se puede observar que en el sistema CAVE, el usuario tiene su cuerpo como referencia, lo cual aumenta el realismo de la escena y por tanto sus sensaciones. En último lugar, en las figuras 42(e) y 42(f), aparece el aspecto del agujero cuando se ha producido el efecto ascensor y el usuario ha quedado encerrado en él. Se puede observar el realismo en el sistema CAVE, donde apenas hay luz en ese instante.



Figura 42(a): Moqueta en CAVE



Figura 42(b): Moqueta en HMD



Figura 42(c): Agujero en CAVE

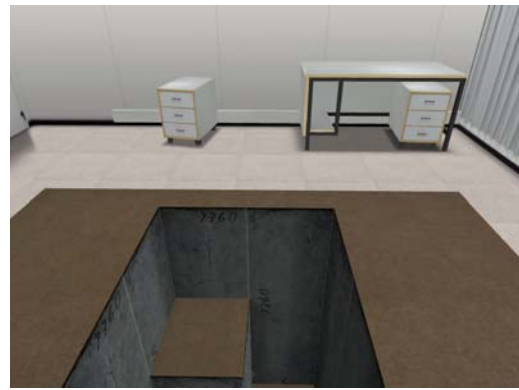


Figura 42(d): Agujero HMD

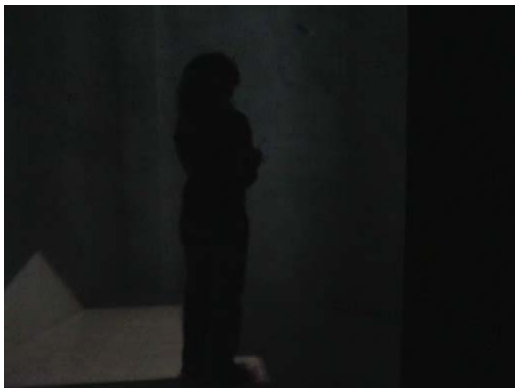


Figura 42(e): Efecto ascensor en CAVE



Figura 42(f): Efecto ascensor en CAVE

Las figuras 43(a)-(f) muestran una serie de imágenes donde se puede ver el aspecto de toda la habitación en ambos sistemas.



Figura 43(a): Estantería en CAVE



Figura 43(b): Estantería en HMD



Figura 43(c): Mesa en CAVE



Figura 43(d): Mesa en HMD



Figura 43(e): Pantalla de proyección en CAVE



Figura 43(f): Pantalla de proyección en HMD

En la comparación se aprecia más nitidez en la imagen del HMD, lo cual se debe al ambiente oscuro que envuelve al CAVE y a la óptica utilizada en la captura de las imágenes del estudio. Sin embargo, la nitidez de ambas imágenes es muy similar, e incluso un poco mejor en el CAVE.



### 5.5.2 “Foto navegable” en CAVE

En lo referente a este sistema, se posicionó una esfera en el origen de coordenadas con una foto inmersiva “mapeada” sobre ella. En concreto, se utilizó la foto de una presa, la cual se muestra en las figuras 44(a) y 44(b). Las figuras 44(c) y 44(d) muestran dos usuarios durante la utilización del sistema.



Figura 44(a): Fotografía de la presa preparada para ser “mapeada” en una esfera



Figura 44(b): Visión de la presa en el sistema visualizado en PC



Figura 44(c): Usuario visualizando la parte inferior de la presa

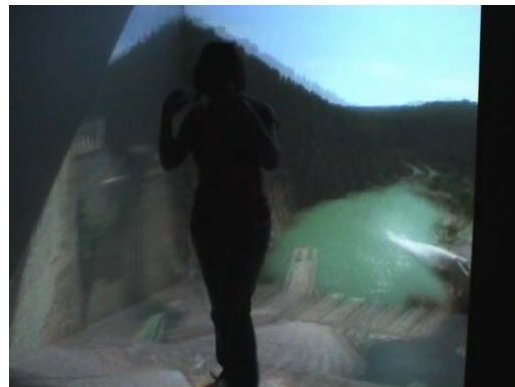


Figura 44(d): Usuario visualizando la parte trasera de la presa

Las figuras 44(c) y 44 (d) están capturadas con una cámara que no lleva ningún tipo de filtro, por lo que está captando los dos campos alternativos dirigidos a cada ojo. Por ello, en ambas imágenes se aprecia una especie de imagen doble que es la que está proporcionando el estéreo. También se puede observar que la foto está ocupando todo el escenario, tal y como se comentó en apartados anteriores.

## **5.6 Requisitos técnicos**

El ordenador utilizado presentaba las siguientes características técnicas:

- Procesador Intel Pentium IV 2.4 GHz
- 512 MB RAM
- Tarjeta NVIDIA GeForce FX 5600 256 MB
- Sistema operativo: Windows 2000

Además, hay que destacar que ese mismo ordenador se utilizaba para la reproducción de los sonidos dentro de la habitación de visualización de gráficos del CAVE, y para el control de la aplicación que se ejecutaba en la máquina encargada de los gráficos del CAVE.

En cuanto al ‘tracker’ de cabeza, se utiliza el mismo MTx ‘tracker’ de la casa Xsens Motion Technologies que fue utilizado en los estudios de los capítulos 3 y 4, cuyas características se detallan en el apartado 3.6.

Para la visualización del sistema original (RV en HMD), se utilizaba el mismo casco 5DT que fue utilizado en los estudios de los capítulos 3 y 4, y cuyas características se detallan en el apartado 3.6.

Notar que al igual que en los capítulos 3 y 4, se ha utilizado el cable que convierte la salida VGA de la tarjeta gráfica del ordenador en dos conectores hembra para conectar monitor y casco simultáneamente. En el apartado 3.6 se puede ver una instantánea del mismo.

En cuanto al sonido, ya que se disponía de unos altavoces para el sistema a visualizar en el CAVE, se optó por utilizar estos mismos en lugar de utilizar los auriculares que incorpora el casco. Se trata de unos altavoces para PC de la marca Genius.

Por último, en lo que se refiere al sistema visualizado en HMD, queda por comentar el joystick, que es el mismo dispositivo inalámbrico con conexión USB que se utilizó en el estudio descrito en el capítulo 4. Concretamente un Logitech WingMan Cordless Rumblepad, cuyas características se detallan en el apartado 4.5.

Respecto a los elementos hardware que componen el sistema CAVE de la Universidad Politécnica de Valencia, básicamente está compuesto por una máquina encargada de los gráficos, un sistema de tracking, un PC encargado de recoger los datos de tracking y enviarlos vía Ethernet a la máquina de gráficos, unas gafas basadas en obturación, un flystick y un entorno de visualización.

En cuanto a la máquina encargada de los gráficos, se trata de una Prism de Silicon Graphics, Inc. (SGI) (<http://www.sgi.com>) que lleva un total de 16 procesadores Intel Itanium 2 y 8 tarjetas gráficas ATI FireGL GPUs. Esta máquina funciona con SUSE Linux Enterprise Server 9, y su aspecto se muestra en la figura 45.



Figura 45: SGI Prism

El sistema de tracking es de la casa “advanced realtime tracking GmbH” (<http://www.ar-tracking.de>), se trata de un conjunto de cámaras (cuatro en total) que captan constelaciones de marcas catadióptricas. Las cámaras utilizadas son el modelo “ARTtrack1”, las cuales poseen una matriz de diodos infrarrojos que iluminan las constelaciones de marcas. Se conectan a un PC que se encuentra en la habitación de control del CAVE, dicho PC ejecuta el software “DTrack” para el reconocimiento y envío de posición y orientación de marcas. En la figura 46(a) se puede observar una de estas cámaras.

En cuanto al dispositivo de navegación, se trata de un flystick de 8 botones del mismo fabricante, el cual tiene una unidad de control que se conecta al mismo PC que está en la sala de control. En las figuras 46(b) y 46(c) se puede observar tanto el flystick como la unidad de control.



Figura 46(a): Cámara ARTtrack1



Figuras 46(b) : Flystick en manos de un usuario



Figuras 46(c) : Flystick y unidad de control

Es un dispositivo inalámbrico recargable, en el que se puede observar que se ha colocado una constelación de marcas catadiópticas en su parte superior, para poder posicionarlo y orientarlo en el entorno virtual.

Además, el usuario tiene que ir provisto de unas gafas para estéreo activo. Se trata de unas gafas de cristal líquido que se sincronizan mediante sensores infrarrojos situados en la parte superior de la habitación (ver figura 47(a)). De este modo permiten ver el cuadro alternativo correspondiente a cada ojo. A este respecto hay que comentar que se trabaja a unas resoluciones de 1280x1024 y 120Hz. En estos 120Hz, se muestran las imágenes correspondientes a cada ojo, con lo que la imagen dirigida a cada ojo está funcionando realmente a 60Hz. Destacar también, que estos 120Hz, obligan a que los dispositivos de visualización para el supervisor de la prueba/terapeuta, ubicados en la habitación de control, sean monitores CRT, ya que esa frecuencia es muy alta para un TFT.

Como se puede observar en la figura 47(a), las gafas también tienen una constelación de marcas catadiópticas colocada en su parte superior. Esta constelación tiene como función corregir el punto de vista del usuario dentro del entorno virtual. Además se puede observar que uno de los cristales está más oscuro, esto es debido a que las gafas estaban funcionando en el momento de la instantánea, sincronizándose con un emisor de leds infrarrojos, mediante un receptor que queda justo encima de la nariz.

La figura 47(b) se muestra el emisor de leds infrarrojos captado por la cámara con la que se filmó el estudio. El funcionamiento de este emisor es pulsante, sincronizado con los 120Hz del sistema. En el momento de la instantánea los leds estaban encendidos.



Figura 47(a): Gafas basadas en obturación



Figura 47(b): Emisor de leds infrarrojos

En este CAVE hay un total de 4 emisores como el de la figura 47(b). Tres están situados en la parte superior de las paredes derecha, izquierda y frontal, y el cuarto se sitúa en la sala de control, para poder tener visión estereoscópica sobre los monitores de dicha sala.

En cuanto al sistema de visualización, se trata de un entorno de cuatro paredes, frontal, derecha, izquierda y suelo. Realmente es una estructura metálica sobre la que se montan las cuatro paredes que son de una especie de tejido delicado de tamaño 2x2 metros. La imagen de cada pared se obtiene al proyectar desde el exterior sobre unos delicados espejos casi translúcidos, que a su vez reflejan la imagen hacia las paredes. El sistema del CAVE de la UPV lo comercializa el fabricante Barco (<http://www.barco.com>).

Los proyectores son unos BarcoReality 909, que son unos enormes dispositivos compuestos por tres CRTs de 9 pulgadas y muy alta calidad. En las figuras 48(a), 48(b) y 48(c) se puede observar uno de estos proyectores.



Figuras 48(a), 48(b) y 48(c): Proyector BarcoReality 909

Cabe resaltar la forma en la que se proyecta en el suelo. Hay diferentes soluciones, y en este caso se utiliza la de tener el proyector en el techo, apuntado a un espejo, que es el que refleja la imagen hacia el suelo. Este sistema tiene un inconveniente, consistente en que el propio usuario produce sombras sobre el suelo.

## **5.7 Protocolo del estudio**

### **5.7.1 Introducción**

Este estudio también fue diseñado en colaboración con el Departamento de Psicología Básica y Psicobiología de la Universitat Jaume I de Castellón, y con el Departamento de Personalidad, Evaluación y Tratamientos Psicológicos de la Universidad de Valencia.

Se impuso que al menos la muestra fuera de 20 usuarios, expuestos a los dos sistemas (visualización con HMD y visualización en CAVE), la mitad en un orden, y la otra mitad en el orden contrario. Los resultados del estudio se obtuvieron tras el procesamiento de una serie de cuestionarios que rellenaban los usuarios, antes, durante y después de la experiencia.

Además, aprovechando estos mismos usuarios se planteó hacer unas pruebas preliminares sobre la adaptación de la “foto navegable” a un CAVE.

### 5.7.2 HMD vs. CAVE

Previamente a la exposición a cualquiera de los sistemas el usuario rellenaba un cuestionario sobre acrofobia [Cohen77] para excluir los participantes que sufrieran esta fobia. En este caso, se usó un cuestionario reducido diferente al del estudio anterior, y se estableció como umbral una puntuación de 14, de forma que cualquier usuario que tuviera ésta u otra puntuación mayor sería excluido del estudio. En los anexos se incluye dicho cuestionario.

Tras este paso los participantes escuchaban una grabación de una narrativa que les introducía a la experiencia y también les hacía entender mejor su sentido. Concretamente era:

*“Eres guardia de seguridad de la Universidad Politécnica de Valencia y estás de servicio. Se te ha encomendado una importante misión: hay una amenaza terrorista. Ha habido un aviso de bomba en este edificio y hay que rastrear distintos espacios para detectar posibles amenazas e informar al servicio de seguridad central de cualquier paquete, objeto o detalle sospechoso que localices en los espacios que te han sido asignados. En este preciso momento, estás en una habitación de uno de los laboratorios de la Universidad, debes concentrarte y buscar cualquier elemento sospechoso. Ten cuidado pues los terroristas que han anunciado la bomba son realmente peligrosos; pueden haber puesto elementos trampa y puede haber peligro. Además, procura fijarte bien, pues recuerda que luego debes informar a tus superiores”.*

Durante toda la experiencia (prueba de ambos sistemas), se preguntaba al usuario sobre su nivel de ansiedad (valorado de 0 a 10) en diferentes momentos:

- Antes de empezar la prueba.
- Al estar sobre uno de los bloques que forman el agujero cuando el resto están hundidos.
- Al quedar en el “vacío” cuando se hunden secuencialmente, y hasta llegar a donde se encuentra él, todos los bloques que forman el agujero.

- Cuando el usuario se hunde junto con el suelo (efecto ascensor).
- Final de la prueba.

También se le preguntaba por el realismo de las sensaciones percibidas (valoradas de 0 a 7) en diferentes momentos:

- Sensación de estar en una habitación en la que se hunde parte del suelo, al estar sobre uno de los bloques que forman el agujero cuando el resto están hundidos.
- Sensación de estar en el vacío en una habitación en la que se ha hundido el suelo, al quedar en el “vacío” cuando se hunden secuencialmente, y hasta llegar a donde se encuentra él, todos los bloques que forman el agujero.
- Sensación de estar encerrado en un agujero al haber caído junto con el suelo.

Cada “paseo” del usuario debía durar entorno a 5-10 minutos y constaba de una serie de etapas secuenciales previamente definidas:

- Navegación libre del usuario por el entrono para que pudiera ver todos los detalles del mismo.
- Colocación del usuario al borde del agujero virtual (antes de que éste aparezca). En el caso particular del sistema visualizado en el CAVE, el usuario se colocaba sobre uno de los bloques que forman parte del agujero, este bloque no se hunde durante esta fase. En los dos sistemas se conduce al usuario hasta este punto desactivando la navegación y activando una trayectoria automática desde el lugar en que se encontraba hasta el destino citado.
- El usuario se encuentra en el mismo lugar que en la fase anterior, pero esta vez el bloque en el que se encuentra sí que se hunde. Lo hace en último lugar para provocar mayor sorpresa en el usuario.
- Colocación del usuario en el centro del agujero virtual (estando éste sin formar). Se lleva al usuario hasta este punto con el mismo sistema de la trayectoria automática que se ha descrito en párrafos anteriores.
- Por último, simulación de hundimiento simultáneo de usuario y suelo en repetidas ocasiones.

En cuanto al resto de cuestionarios, eran un total de cuatro, aunque uno de ellos estaba duplicado. Se definió la siguiente secuencia, independientemente del orden en el que el usuario era expuesto:

- 1) Después del primer “paseo”:
  - Preguntas Slater adaptado [Slater94].
- 2) Después del segundo “paseo”:
  - Preguntas Slater adaptado.
  - Cuestionario de presencia y juicio de realidad adaptado.
  - Preguntas opinión abierta.

El cuestionario de Slater [Slater94] es exactamente el mismo que se ha utilizado en el capítulo 4.

El cuestionario de presencia y juicio de realidad (CPYJR) [Baños00] es muy similar al del capítulo 4, aunque se han hecho unas ligeras adaptaciones para que todas las afirmaciones sean coherentes con el contexto de este estudio. En los anexos se puede ver el cuestionario.

Las preguntas de opinión abierta permiten conocer ciertos detalles importantes para sucesivos estudios, con preguntas del estilo: ¿Qué cambiarías/eliminarías/añadirías? Además, también permiten conocer detalles importantes de este estudio, como posibles experiencias previas o si tener como referencia partes del cuerpo del propio usuario es importante (ventaja del sistema CAVE). Se trata del mismo cuestionario utilizado en el caso del estudio anterior (ver anexos).

### **5.7.3 “Foto navegable” en CAVE**

En esta parte del estudio no se pretende comparar sistemas, únicamente se pretende obtener algún resultado preliminar de la efectividad del sistema “foto navegable” adaptado a un entorno CAVE.

La exposición a este sistema tiene lugar una vez que los usuarios han cumplimentado el protocolo completo del estudio HMD vs. CAVE.

En primer lugar, los participantes escuchan una narrativa que de nuevo tiene como objetivo introducirlos en la experiencia y hacer que ésta tenga más sentido para ellos. En concreto se trata de:

*“Al igual que en el caso anterior, eres un guardia de seguridad y también tienes que buscar objetos sospechosos. Ahora, se ha recibido un aviso diciendo que se ha colocado una bomba en una presa. De nuevo, tienes que inspeccionarla y buscar objetos sospechosos. Procura fijarte bien, pues recuerda que luego debes informar a tus superiores”.*



Durante toda la exposición, se pregunta al usuario sobre su nivel de ansiedad (valorado de 0 a 10) en diferentes momentos:

- Antes de empezar la prueba.
- Al estar en el borde de la presa.
- Al pasar del borde al interior de la presa.
- Final de la prueba.

También se le preguntaba por el realismo de las sensaciones percibidas (valoradas de 0 a 7) en diferentes momentos:

- Sensación de estar al borde de una presa cuando el usuario está en el borde de la misma.
- Sensación de estar en el vacío al hacer pasar al usuario del borde hacia el interior de la presa.

La experiencia del usuario dura entre 2 y 7 minutos conforme a la siguiente secuencia:

- 1) Dar una vuelta por el ambiente (presa) para poder fijarse en los detalles.
- 2) Instar al usuario a colocarse en el centro del escenario, junto a un elemento concreto (una especie de hierro que sale de la presa). Entonces hacer que mire hacia abajo para que pueda percibir la sensación de estereoscopia y altura.

Por último, el usuario rellena un cuestionario de Slater adaptado a la situación concreta de este estudio. En los anexos se incluye este nuevo cuestionario.

## **5.8 Resultados**

El objetivo principal de este estudio era medir el grado de ansiedad/presencia de los sistemas desarrollados que simulaban la aparición de un agujero en mitad de una habitación. Como objetivos secundarios aparecen la comparación entre la efectividad de dos sistemas visualizados sobre dispositivos diferentes (HMD y CAVE), discernir si el orden en que los sujetos se exponen a los sistemas afecta a los resultados obtenidos, y averiguar si existe correlación alguna entre las variables presencia y ansiedad. Adicionalmente se pretendía evaluar, aunque fuera de forma preliminar, la efectividad de la adaptación del primer experimento “Foto navegable” a la visualización en un CAVE.

### 5.8.1 Habitación con Agujero, HMD vs. CAVE

El estudio consta de un total de 25 sujetos, 5 mujeres y 20 hombres, reclutados a través de anuncios repartidos por el campus de la Universidad Politécnica de Valencia. Por ello todos los sujetos pertenecían a dos grupos: trabajadores y alumnos de la universidad, con una edad comprendida entre 18 y 33 años (media de 23.44 y desviación típica de 4.88). El estudio es totalmente anónimo (al igual que los anteriores), ya que los únicos datos que se pedían a los usuarios eran su edad y sexo.

Como ya se ha comentado en la descripción de este estudio, los usuarios en primer lugar rellenaban un cuestionario sobre acrofobia para así descartar aquellos sujetos que sufrieran esta fobia. Para ello se estableció un umbral de puntuación, 14 puntos, de forma que si era superado se descartaba a esa persona. Ninguno de los sujetos del estudio superó dicho umbral, nadie sufría de acrofobia.

Después de cada “paseo”, los usuarios rellenaban un cuestionario que evalúa el nivel de presencia en el ambiente recreado. Es el cuestionario de Slater [Slater94] adaptado a la situación concreta de este estudio.

El análisis de los datos se realizó con pruebas t para medias de dos muestras emparejadas (t Student), con un intervalo de confianza del 95% ( $p=0.05$ ), aplicadas a cada una de las diez cuestiones que formaban parte del cuestionario, considerando la muestra completa de 25 usuarios. De esta forma se trataba de discernir cuál de los dos sistemas provocaba mayor nivel de presencia. La tabla 20 muestra los resultados obtenidos tras el análisis.

	Sistema en HMD	Sistema en CAVE	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
	Valoración media	Valoración media		
Media	3.59±1.14	5.01±0.84	7.19	2.06
Q1	3.88±1.13	5.60±0.71	7.82	2.06
Q2	3.36±1.70	5.66±1.09	7.21	2.06
Q3	3.98±1.64	4.66±1.31	1.94	2.06
Q4	3.40±1.53	4.80±1.26	4.22	2.06
Q5	3.04±1.49	4.88±1.09	5.49	2.06
Q6	4.26±2.05	5.08±1.38	1.79	2.06
Q7	3.52±1.08	4.84±1.11	5.43	2.06
Q8	3.08±1.61	5.08±1.53	5.00	2.06
Q9	3.84±1.57	4.36±1.25	2.01	2.06
Q10	3.52±1.64	5.16±1.25	4.62	2.06

Tabla 20: Resultado del análisis de los datos comparando HMD y CAVE,  $p=0.05$

La tabla 20 presenta la misma estructura que se ha utilizado en los estudios anteriores, recogiendo la valoración media así como los valores “t Student” y “Valor crítico de t (dos colas)” que permiten discernir si el resultado de un sistema presenta diferencias estadísticas significativas respecto al otro.

En primer lugar, hay que destacar que se obtiene una valoración superior a 3.5 en los dos sistemas, con unos resultados medios de 3.59 y 5.01 (HMD y CAVE respectivamente, sobre una escala donde el máximo es 7). Lo cual indica que los usuarios se están sintiendo presentes en ambas escenas, aunque en un mayor grado en el entorno visualizado en el CAVE.

Para evaluar si alguno de los dos sistemas provoca mayor nivel de presencia en el usuario, se procede de forma análoga a la de los dos estudios anteriores en lo que se refiere al estadístico t y el intervalo de confianza. De esta forma se comprueba que siete de las diez cuestiones presentan diferencias estadísticas significativas, con lo que el usuario parece estar percibiendo dichas diferencias entre los dos sistemas.

Dos de las tres cuestiones que no presentan diferencias estadísticas significativas (Q3 y Q9) hacen referencia al efecto “ascensor”, por lo que se puede afirmar que este efecto es similar, a juicio del usuario, en ambos sistemas.

El estudio consideró el orden de exposición para intentar discernir si el orden en el que se exponen los sujetos a los sistemas afecta a los resultados obtenidos. Para ello, al igual que en los estudios anteriores, se realizaron pruebas t para dos muestras suponiendo varianzas iguales a cada una de las diez cuestiones, pero esta vez tomando los dos grupos formados en base al orden de exposición (HMD+CAVE y CAVE+HMD).

Las tablas 21 y 22 muestran los resultados obtenidos del análisis. La tabla 21 contiene los resultados del entorno visualizado sobre un HMD y la tabla 22, los del entorno visualizado en el CAVE.

Sistema en HMD				
	HMD+CAVE	CAVE+HMD		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	3.59±1.00	3.58±1.32	0.02	2.07
Q1	3.92±1.19	3.83±1.11	0.19	2.07
Q2	3.00±1.41	3.75±1.96	1.10	2.07
Q3	3.77±1.48	4.21±1.83	0.66	2.07
Q4	2.92±1.50	3.92±1.44	1.69	2.07
Q5	3.15±1.52	2.92±1.51	0.39	2.07
Q6	4.69±2.06	3.79±2.02	1.10	2.07
Q7	3.69±1.03	3.33±1.15	0.82	2.07
Q8	2.92±1.44	3.25±1.82	0.50	2.07
Q9	4.08±1.38	3.58±1.78	0.78	2.07
Q10	3.77±1.69	3.25±1.60	0.79	2.07

Tabla 21: Análisis de los datos comparando orden de exposición para el entorno visualizado en HMD,  $\rho=0.05$

Sistema en CAVE				
	HMD+CAVE	CAVE+HMD		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	4.95±0.70	5.08±1.00	0.40	2.07
Q1	5.46±0.66	5.75±0.75	1.02	2.07
Q2	5.31±1.11	6.04±0.96	1.76	2.07
Q3	4.62±1.19	4.71±1.48	0.17	2.07
Q4	5.00±1.15	4.58±1.38	0.82	2.07
Q5	4.62±0.96	5.17±1.19	1.28	2.07
Q6	4.92±1.66	5.25±1.06	0.58	2.07
Q7	5.15±0.90	4.50±1.24	1.52	2.07
Q8	5.00±1.35	5.17±1.75	0.27	2.07
Q9	4.38±0.77	4.33±1.67	0.10	2.07
Q10	5.00±1.15	5.33±1.37	0.66	2.07

Tabla 22: Análisis de los datos comparando orden de exposición para el entorno visualizado en el CAVE,  $\rho=0.05$

Al analizar las dos tablas, procediendo de igual forma que en el caso anterior con respecto al estadístico t, se puede afirmar que no hay diferencias estadísticas suficientes para asegurar que el orden de exposición afecta a los resultados, lo cual se preveía dados los resultados obtenidos en los dos estudios anteriores.

Por otra parte, los usuarios también rellenaron un cuestionario con preguntas de opinión abierta. Hay que destacar que este cuestionario se utilizó con el objetivo de conocer propuestas de los usuarios, errores cometidos o decisiones acertadas en este trabajo, cara a posteriores desarrollos. Los resultados de las preguntas que arrojaron datos más interesantes son:

- 1) En la pregunta ¿Qué es lo que más te ha hecho “meterse dentro” del ambiente virtual? la mayoría de los usuarios se decantaban por la presentación estereoscópica de la escena, éste también es un dato que podía preverse a partir de los resultados anteriores.
- 2) En la pregunta ¿Qué es lo que más te ha impedido “meterse dentro” del ambiente? algunos usuarios han citado como perjudicial la cantidad de elementos artificiales que tenían que colocarse en el caso del entorno visualizado en HMD (casco, cables, joystick, etc.).
- 3) A la pregunta ¿Crees que es importante que puedas verte los pies al lado del agujero cuando se cae el suelo? 23 de los 25 sujetos respondieron afirmativamente, con una valoración media de 8.78 (sobre 10) y desviación típica de 1.57, lo cual hace que el sistema visualizado en el entorno CAVE sea mejor valorado en este sentido.
- 4) También se incluía una cuestión en la que se pedía la opinión del usuario en cuanto a sus sensaciones en los dos sistemas, en cuál de los dos eran más intensas. 19 de los 25 sujetos percibían sus sensaciones como más intensas en el sistema CAVE, con una puntuación media de 8.11 (en una escala de 1 a 10) y desviación típica de 2.

Respecto al nivel de ansiedad, de forma análoga al estudio anterior donde se comparaba RV y RA, se definen ciertos instantes en los que el usuario indica su nivel de ansiedad (NA1, NA2, NA3, NA4 y NA5), estos instantes son diferentes a los de aquel estudio, por lo que es necesario definirlos. NA1 corresponde al instante justo anterior al comienzo de la prueba, NA2 al instante en el que el usuario se encuentra sobre uno de los bloques que forman el agujero cuando los demás se han hundido, NA3 al instante en el que se hunde todo el suelo quedando en el “vacío”, NA4 al instante en el que el usuario se hunde junto con el suelo, y por último NA5 corresponde al instante después de acabar la prueba.

Análogamente al caso de los niveles de presencia, se trata de discernir si el usuario experimentó un mayor nivel de ansiedad en alguno de los dos dispositivos. Para ello, se procede de la misma forma que en los estudios anteriores, realizando pruebas t para medias de dos muestras emparejadas (t Student), con un intervalo de confianza del 95% ( $p=0.05$ ), aplicadas a cada uno de los cinco instantes citados en el párrafo anterior, considerando la muestra completa de 25 usuarios. La tabla 23 muestra los resultados obtenidos tras este análisis.

	HMD	CAVE	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
	Valoración media	Valoración media		
Media	1.66±1.31	2.92±1.58	5.70	2.06
NA1	0.36±0.64	1.16±1.49	3.02	2.06
NA2	2.32±1.95	4.28±2.34	5.78	2.06
NA3	2.60±2.00	5.64±2.60	7.13	2.06
NA4	2.56±1.83	2.76±1.99	0.56	2.06
NA5	0.44±0.92	0.76±1.20	2.00	2.06

Tabla 23: Resultado del análisis de los datos de ansiedad comparando el entorno visualizado en HMD y CAVE,  $p=0.05$

La tabla 23 tiene la misma estructura que se ha utilizado en los estudios anteriores, en ella se puede observar que los usuarios no muestran un grado de ansiedad muy alto, lo cual puede explicarse porque los usuarios expuestos no sufrían acrofobia. Además se puede observar que los resultados del entorno CAVE presentan un nivel de ansiedad ligeramente mayor. Por otra parte, procediendo de igual forma a la descrita en los casos anteriores en lo referente al estadístico t y el intervalo de confianza, se comprueba que para todas las situaciones (salvo dos), existen diferencias estadísticas significativas para afirmar que el entorno visualizado en CAVE provoca mayor grado de ansiedad en los usuarios que el entorno visualizado en HMD. Esta circunstancia coincide con los resultados de presencia, donde la mayor parte de las cuestiones revelan un mayor grado de presencia en el entorno visualizado en CAVE.

En cuanto a las situaciones en las que no existen diferencias estadísticas significativas entre ambos entornos, se trata del final de la prueba, y del instante en que el usuario se hunde junto al suelo. La primera de las situaciones se puede explicar por el hecho de que el usuario se habitúa a los estímulos tras cierto periodo de exposición, tal y como han constatado otros trabajos como [Meehan02]. En cuanto a la segunda situación, se explica dada la similitud del efecto “hundirse junto al suelo” en sendos dispositivos. Este hecho también se constata en el estudio de presencia previo.

De forma análoga a la del estudio anterior, se ha comparado el nivel de ansiedad del estado inicial con los demás instantes, para averiguar si realmente los dos entornos provocan ansiedad en los usuarios. Para ello se han realizado nuevamente el mismo tipo de análisis, con los mismos criterios que en los casos anteriores, analizado cada instante con respecto al instante inicial. Las tablas 24 y 25 muestran los resultados de este análisis.

	HMD		t Student	Valor crítico de t (dos colas)
	Valoración media	Valoración media NA1		
NA2	2.42±1.93	0.36±0.64	6.36	2.06
NA3	2.71±1.97		7.12	2.06
NA4	2.67±1.79		8.03	2.06

Tabla 24: Resultado del análisis de los datos de ansiedad comparando todos los instantes con el inicial para el entorno visualizado en HMD,  $p=0.05$

	CAVE		t Student	Valor crítico de t (dos colas)
	Valoración media	Valoración media NA1		
NA2	4.46±2.21	1.16±1.49	8.5	2.06
NA3	5.88±2.46		10.5	2.06
NA4	2.88±1.94		3.55	2.06

Tabla 25: Resultado del análisis de los datos de ansiedad comparando todos los instantes con el inicial para el entorno visualizado en CAVE,  $p=0.05$

Al analizar las tablas 24 y 25 y procediendo de igual forma que en toda la presente tesis en lo referente al estadístico t y el intervalo de confianza, se puede afirmar que existen diferencias estadísticas significativas entre el instante inicial y el resto de instantes, por lo que sendos entornos están provocando ansiedad en el usuario. Éste es un resultado que se preveía a la vista de los resultados del estudio anterior, donde se detectaron resultados similares.

De nuevo, se realizó el análisis de los datos considerando el orden de exposición de los usuarios a los entornos, para averiguar si éste afecta a los resultados. Para ello, se procedió de forma análoga a todos los estudios de la presente tesis cuando se trataba de analizar el orden de exposición, formando dos grupos, compuestos por los usuarios expuestos en orden CAVE+HMD y HMD+CAVE. Las tablas 26 y 27 muestran los resultados de este análisis.

CAVE				
	HMD+CAVE	CAVE+HMD		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	3.49±1.55	2.30±1.42	2.00	2.07
NA1	1.62±1.85	0.67±0.78	1.64	2.07
NA2	4.92±2.25	3.58±2.31	1.47	2.07
NA3	6.23±2.35	5.00±2.95	1.16	2.07
NA4	3.69±1.60	1.75±1.91	2.76	2.07
NA5	1.00±1.23	0.50±1.17	1.04	2.07

Tabla 26: Resultado del análisis de los datos de ansiedad comparando orden de exposición para el entorno visualizado en CAVE,  $p=0.05$

HMD				
	HMD+CAVE	CAVE+HMD		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	1.78±1.58	1.52±1.00	0.50	2.07
NA1	0.46±0.78	0.25±0.45	0.82	2.07
NA2	2.39±2.18	2.25±1.76	0.17	2.07
NA3	2.69±2.39	2.50±1.57	0.24	2.07
NA4	2.69±2.05	2.42±1.62	0.37	2.07
NA5	0.39±1.11	0.17±0.58	1.47	2.07

Tabla 27: Resultado del análisis de los datos de ansiedad comparando orden de exposición para el entorno visualizado en HMD,  $p=0.05$

Observando las tablas 26 y 27, y procediendo de igual forma que en el resto de análisis de la presente tesis, en lo referente al estadístico t e intervalo de confianza, se puede afirmar que para todos los casos (salvo uno) el orden de exposición no afecta a los resultados relativos a la ansiedad. Sin embargo existe un caso donde sí afecta, se trata del instante en que el usuario se hunde junto al suelo en el entorno visualizado en CAVE. Cuando el usuario visualiza en primer lugar el entorno visualizado en HMD, reporta un nivel de ansiedad mayor en el entorno visualizado en CAVE. Este resultado es inesperado, dado que en el análisis de presencia no se había detectado ninguna diferencia estadística significativa referente a este aspecto.



Respecto a la correlación entre presencia y ansiedad, al igual que en el estudio anterior, se consideró interesante analizar rigurosamente dicha relación. Para ello, al igual que en el estudio anterior, se utilizó la correlación de Pearson. El objetivo de este análisis es determinar si la correlación de estas dos variables (en cada relación definida) es significativa. La forma de proceder se explicó con más detalle en el apartado 4.7.

En primer lugar, es necesario definir las relaciones entre las cuestiones para medir el nivel de presencia y los instantes en los que se mide el nivel de ansiedad, para así poder estudiar su correlación. Observando el cuestionario de presencia utilizado, que se encuentra en los anexos, y los instantes en los que se pregunta por el nivel de ansiedad, las posibles relaciones podrían quedar definidas como:

- a) NA2-Q2
- b) NA3-Q2
- c) NA4-Q3
- d) NA2-Q8
- e) NA3-Q8
- f) NA4-Q9

Una vez definidas estas relaciones se procede a realizar el análisis de la correlación de Pearson, tal y como se describió en el apartado 4.7, considerando en primer lugar toda la muestra (25 usuarios). Los resultados se presentan en la tabla 28.

	CAVE			HMD		
	$r_{xy}$	t	$\alpha$	$r_{xy}$	t	$\alpha$
NA2-Q2	0.375	1.94	0.1	0.390	2.03	0.1*
NA3-Q2	0.515	2.88	0.01*	0.301	1.51	0.2
NA4-Q3	0.314	1.59	0.2*	0.275	1.37	0.2
NA2-Q8	0.344	1.76	0.1	0.404	2.12	0.05*
NA3-Q8	0.477	2.60	0.05*	0.348	1.78	0.1
NA4-Q9	-0.014	0.07	-	0.656	4.17	0.001*

Tabla 28: Resultados del análisis de la relación entre presencia y ansiedad. El asterisco al lado de algunos valores de  $\alpha$  indica que éstos corresponden a una correlación más significativa que la obtenida en el otro sistema

A la vista de esta tabla se puede afirmar que las variables presencia y ansiedad están relacionadas (salvo un caso), con valores de  $\alpha$  oscilando entre 0.2 (mínimo) y 0.001 (máximo), por lo que el riesgo de equivocarse al rechazar la hipótesis nula, es

bajo. El único caso en el que no se ha encontrado una correlación significativa es el CAVE, en la relación correspondiente entre el al instante en el que el usuario se hunde junto al suelo y la cuestión número nueve, en la que se pregunta por este efecto. Este resultado es inesperado, ya que el resto de relaciones sí que presentan una correlación significativa, incluyendo la otra relación definida en ese mismo instante. Quizás, el hecho de que influya el orden de exposición (como se comprobó anteriormente), para el entorno CAVE, en ese instante, pueda influir en este resultado.

Por otra parte, con este análisis no se puede afirmar que la relación entre presencia y ansiedad sea más significativa en uno u otro sistema, ya que cada uno muestra una correlación más significativa en tres de las seis situaciones analizadas. Sin embargo, sí que se puede observar que el entorno visualizado en CAVE presenta mayor significación en las relaciones definidas entorno al instante en el que se hunde todo el suelo, quedando el usuario en el “vacío”, lo que puede explicarse por el hecho de que en este efecto el usuario tiene una referencia clara en el entorno CAVE (su propio cuerpo), referencia que no existe en el entorno visualizado en el HMD.

En lo referente a las relaciones definidas entorno al instante en el que el usuario se encuentra encima de uno de los cuatro bloques que forman el agujero, cuando el resto se han hundido, se obtiene un resultado inesperado (mayor significación en el entorno visualizado en el HMD).

Al igual que en los análisis individuales de presencia y ansiedad de este mismo apartado, se va a realizar el análisis de las relaciones entres estas variables atendiendo al orden de exposición de los usuarios. Para ello se va a proceder de la misma forma que en el caso que se acaba de describir, pero separando la muestra según el orden de exposición. Las tablas 29 y 30 muestran los resultados de este análisis.

	Orden de exposición HMD+CAVE					
	CAVE			HMD		
	$r_{xy}$	t	$\alpha$	$r_{xy}$	t	$\alpha$
NA2-Q2	0.410	1.51	0.2*	0.297	1.01	0.4
NA3-Q2	0.578	2.00	0.05*	0.246	0.75	0.5
NA4-Q3	0.282	0.83	0.4	0.741	3.29	0.005*
NA2-Q8	0.273	0.91	0.4	0.328	1.09	0.3*
NA3-Q8	0.393	1.42	0.2*	0.234	0.72	0.5
NA4-Q9	0.375	1.23	0.3	0.713	3.06	0.01*

Tabla 29: Resultados del análisis de la relación entre presencia y ansiedad con orden de exposición HMD+CAVE. El asterisco al lado de algunos valores de  $\alpha$  indica que éstos corresponden a una correlación más significativa que la obtenida en el otro sistema

	Orden de exposición CAVE+HMD					
	CAVE			HMD		
	$r_{xy}$	t	$\alpha$	$r_{xy}$	t	$\alpha$
NA2-Q2	0.681	2.94	0.05*	0.545	2.06	0.1
NA3-Q2	0.750	3.56	0.005*	0.459	1.63	0.2
NA4-Q3	0.004	0.01	1	0.306	1.02	0.4*
NA2-Q8	0.468	1.67	0.2	0.518	1.92	0.1*
NA3-Q8	0.581	2.25	0.05*	0.560	2.13	0.1
NA4-Q9	-0.199	-	0.6	0.632	2.58	0.05*

Tabla 30: Resultados del análisis de la relación entre presencia y ansiedad con orden de exposición CAVE+HMD. El asterisco al lado de algunos valores de  $\alpha$  indica que éstos corresponden a una correlación más significativa que la obtenida en el otro sistema

En las tablas 29 y 30 se observa la existencia de una correlación significativa entre las variables presencia y ansiedad (salvo dos casos), con valores de  $\alpha$  oscilando entre 0.005 (máximo) y 0.4 (mínimo). Los dos casos en los que no se ha encontrado una correlación significativa entre presencia y ansiedad, son los relacionados con el sistema visualizado en CAVE, el instante en el que el usuario se hunde junto al suelo. Esta situación podría deberse a dos factores. El primero, podría estar relacionado con la influencia del orden de exposición en ese instante, para el sistema visualizado en CAVE. El segundo, podría estar relacionado con el orden en el que se van sucediendo las diferentes animaciones, así, al mostrar en primer lugar la animación en la que todo el suelo se hunde, ésta resulta impactante, mientras que la animación en la que el usuario se hunde junto al suelo puede parecerlo menos.

Con respecto al orden de exposición, no se observa ningún resultado que muestre algún efecto de éste. Este resultado era previsible ya que coincide con los análisis de presencia y ansiedad realizados con anterioridad.

Además de preguntar al usuario por su nivel de ansiedad durante toda la prueba, también se le preguntaba por el realismo de las sensaciones que percibía en tres instantes (estando encima de uno de los cuatro bloques que forman el suelo cuando el resto se han hundido, cuando se ha hundido todo el suelo y queda en el “vacío” y cuando se hunde junto al suelo). Estas sensaciones se valoraron en una escala de 1 a 7.

El tratamiento de estos datos fue el que se ha hecho en la mayor parte de la presente tesis, pruebas t para medias de dos muestras emparejadas (t Student), con un intervalo de confianza del 95% ( $p=0.05$ ), utilizando la muestra completa de 25 sujetos. Este análisis tiene como objetivo discernir si alguno de los dos sistemas provocaba mayor sensación de realismo en el usuario. La tabla 31, la cual presenta la

misma estructura que tablas similares de este mismo apartado, muestra los resultados del análisis.

	HMD	CAVE	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
	Valoración media	Valoración media		
Media	3.96±1.39	5.21±0.69	5.59	2.07
M1	3.79±1.45	5.79±0.78	6.65	2.07
M2	3.71±1.46	5.58±1.25	7.49	2.07
M3	4.38±1.56	4.25±0.85	0.44	2.07

Tabla 31: Resultado del análisis de los datos comparando HMD y CAVE,  $p=0.05$

En primer lugar, es destacable la obtención de valoraciones superiores a 3.7 en los dos sistemas, con resultados medios de 3.96 y 5.21 (HMD y CAVE respectivamente, sobre una escala donde el máximo es 7). Lo cual indica que los usuarios se están percibiendo ambas escenas de forma realista, aunque parece ser que en un mayor grado en el entorno visualizado en el CAVE. Para asegurar que esta última afirmación es correcta, es necesario proceder de igual forma que en estudios anteriores en lo que respecta al estadístico t y el intervalo de confianza. Se comprueba que dos de los tres instantes evaluados presentan diferencias estadísticas suficientes para asegurar que el usuario percibe sensaciones diferentes en los sistemas. Sin embargo, el instante en el que el usuario se hunde junto al suelo, no presenta estas diferencias estadísticas. Este resultado se preveía, ya que coincide con el análisis de presencia que se realizó en este mismo apartado. Nuevamente, se explica por el hecho de que este efecto es muy similar en los dos entornos.

Al igual que en los casos anteriores se analizó el posible efecto del orden de exposición. Las tablas 32 y 33 muestran los resultados obtenidos del análisis. La tabla 32 contiene los resultados del entorno visualizado sobre un HMD y la tabla 33, los del entorno visualizado en el CAVE.

HMD				
	HMD+CAVE	CAVE+HMD		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	3.72±1.60	4.19±1.15	0.83	2.07
M1	3.50±1.62	4.08±1.24	0.99	2.07
M2	3.58±1.73	3.83±1.19	0.41	2.07
M3	4.08±1.68	4.67±1.44	0.92	2.07

Tabla 32: Análisis de los datos comparando orden de exposición para el entorno visualizado en HMD,  $\rho=0.05$

CAVE				
	HMD+CAVE	CAVE+HMD		
	Valoración media	Valoración media	t Student	Valor crítico de t (dos colas)
Media	5.25±0.87	5.17±0.48	0.29	2.07
M1	6.00±0.74	5.58±0.79	1.33	2.07
M2	5.50±1.62	5.67±0.78	0.32	2.07
M3	4.25±0.62	4.25±1.05	0.00	2.07

Tabla 33: Análisis de los datos comparando orden de exposición para el entorno visualizado en el CAVE,  $\rho=0.05$

Analizando las tablas 32 y 33, procediendo de igual forma que en el caso anterior con respecto al estadístico t, se puede decir que no hay diferencias estadísticas suficientes para asegurar que el orden de exposición afecta a los resultados, lo cual se preveía dados los resultados obtenidos en los estudios anteriores, así como en el estudio de presencia anteriormente realizado.

En cuanto al cuestionario de presencia y juicio de realidad [Baños00], tiene la misma estructura que la del estudio anterior, aunque se modifican algunas cuestiones. Las valoraciones están representadas en una escala de 0 a 10, donde 10 significa totalmente de acuerdo. La tabla 34 presenta el análisis de este cuestionario, centrado en la media y la desviación típica, tomando la muestra completa de 25 usuarios. Al igual que en el estudio anterior se ha incluido una columna con un símbolo al lado de cada cuestión indicando si 10 es positivo con un '+', si es negativo con un '-', o dejándolo vacío si es indiferente en el contexto de presencia.

		Análisis	
		Media	Desviación típica
+	1	7.88	1.423788577
+	2	7.38	1.526932133
	3	5.46	2.781603645
+	4	4.75	2.641639807
	5	3.00	3.021660931
+	6	6.33	2.140025735
	7	6.88	1.596531567
+	8	7.67	1.632993162
	9	6.71	2.349452604
	10	6.38	2.081230823
	11	6.13	2.091650066
-	12	6.25	2.231201665
+	13	6.83	1.685401943
+	14	6.58	1.717345441
-	15	3.17	2.035909511
+	16	7.38	2.122600948
	17	7.29	1.988645304
+	18	6.42	1.612900888
-	19	4.13	2.346366293
+	20	7.29	2.156469874
+	21	6.79	2.702320527
+	22	5.17	2.598773401
+	23	6.96	1.805286119
+	24	6.00	2.53668733
+	25	8.00	1.956038588
+	26	6.50	2.043015674
+	27	6.79	1.977683464
	28	5.42	2.394135347
+	29	6.79	2.146365313
+	30	6.54	1.793203756
-	31	4.46	2.283764373
	32	8.75	1.259744626
+	33	6.92	1.998187585
-	34	2.75	2.307831657
+	35	7.75	1.725763851
-	36	2.54	1.864523874
-	37	2.54	2.431302508
	38	3.58	2.976964703
	39	4.63	2.683484108
	40	6.83	1.659404468
	41	7.00	2.02162225
	42	5.25	2.489106702
	43	5.17	2.648488768
	44	4.25	2.400181153
	45	7.71	1.731527766
-	46	1.21	1.744037461
	47	0.92	1.017954755
	48	8.08	1.909169331
-	49	5.46	2.245365598
-	50	4.58	2.465706825
+	51	5.17	2.513730411
	52	3.83	2.371326297
	53	7.38	1.663221076
	54	4.79	3.189373206
	55	5.25	3.286996779
	56	5.13	3.166571318
	57	8.54	1.413572922

Tabla 34: Análisis de los datos del cuestionario CPYJR

Como se puede observar en la tabla 34, prácticamente todas las cuestiones marcadas con un '+' obtienen medias superiores a 5. Las marcadas con un '-', prácticamente en su totalidad obtienen medias inferiores a 5, como se preveía. Estos resultados permiten afirmar que el juicio de realidad de los usuarios durante el experimento es adecuado.

### **5.8.1.1 Conclusiones**

Los resultados que se acaban de presentar muestran que los entornos desarrollados han provocado presencia y ansiedad en usuarios sin fobia. Además, se ha observado una correlación significativa entre la presencia y la ansiedad. Hasta donde sabemos, éste es el primer trabajo en el que se ha establecido esta correlación en entornos CAVE.

El sistema visualizado en HMD no provoca niveles de presencia elevados, sin embargo, el sistema visualizado en CAVE provoca niveles de presencia mayores. De hecho, se han encontrado diferencias estadísticas significativas que muestran que los dos sistemas no provocan el mismo grado de presencia en los participantes. Este mayor nivel de presencia en el entorno CAVE coincide con los resultados que publicaron Krijn et al. [Krijn04]. Hay varios factores que explican este resultado. En primer lugar el 'field of view' de los elementos de visualización, en el HMD está entorno a 40 grados, mientras que en el CAVE el sujeto está rodeado por todo el entorno, no teniendo limitación alguna de 'field of view'. Un mayor 'field of view' provoca mayor presencia en el sujeto, tal como establecieron Hendrix & Barfield [Hendrix96]. En segundo lugar se debe analizar la comodidad del usuario durante la experiencia. Este factor es muy importante para el usuario, y es claro que unas gafas y un flystick son más cómodas y permiten mayor libertad de movimiento que un HMD y todos los cables así como dispositivos asociados a él. Por último, y quizás sea la característica más importante del entorno CAVE, el usuario es capaz de ver su propio cuerpo dentro de la escena en todo momento. Los datos del presente estudio confirman este hecho al valorar los usuarios muy positivamente el poder ver sus propios pies en el entorno. Este resultado coincide con el obtenido en el estudio anterior.

Con respecto a los niveles de ansiedad, los resultados muestran que hay una diferencia significativa entre el instante previo al inicio de la experimento y el resto de instantes (posteriores) en los que se mide el nivel de ansiedad del sujeto. También se han encontrado evidencias estadísticas suficientes para asegurar que la ansiedad provocada por los dos sistemas es diferente, siendo el entorno visualizado en CAVE el que provoca más ansiedad.

En cuanto a la evaluación del efecto del orden de exposición, no se han encontrado diferencias estadísticas suficientes para afirmar que dicho orden afecte a los resultados en lo referente a niveles de presencia y ansiedad.

Con respecto a las animaciones incluidas en ambos sistemas, a la vista de los resultados, se puede afirmar que provocan ansiedad en los sujetos. Especialmente la animación en la que todo el suelo se hunde quedando el usuario en el “vacío”. Por ello, este tipo de animación podría ser útil en el tratamiento de la acrofobia. En este sentido, también es destacable que el efecto de hundirse junto al suelo es tan similar en ambos sistemas que no se encuentran diferencias estadísticas significativas para afirmar que ese efecto provoca mayor presencia en uno u otro sistema.

Con respecto al estudio de la relación entre las variables presencia y ansiedad, los resultados muestran una correlación significativa entre dichas variables. Este resultado no coincide con el que obtuvieron Krijn et al. [Krijn04], ellos no encontraron correlación alguna. El presente trabajo no es el primero en el que se estudia la relación entre dichas variables en sistemas visualizados en HMD [Schuemie00] [Bouchard08]. Schuemie et al. [Schuemie00] también emplearon entornos acrofóbicos. Todos los participantes del experimento de Schuemie et al., salvo dos, no sufrían de acrofobia severa. Las diferencias con el presente estudio radican en que ellos no comparan las diferentes visualizaciones de un mismo entorno, utilizan un HMD y comparan tres entornos diferentes.

En un reciente estudio, Bouchard et al. [Bouchard08] usaron entornos para provocar ansiedad en usuarios que padecían fobia a las serpientes. Utilizaron un HMD y compararon tres inmersiones diferentes. De nuevo, el presente estudio difiere en varios aspectos, pero sus resultados en lo referente a la relación entre la presencia y la ansiedad sí que coinciden.

La principal limitación del presente estudio es el tamaño de la muestra, una muestra mayor haría que los resultados obtenidos fueran más representativos.

Por otra parte, la presencia es una condición subjetiva, y la utilización de cuestionarios para evaluarla puede producir errores si el sujeto no da una valoración correcta. Por ello, por ejemplo, Meehan et al. [Meehan02] proponen la utilización de medidas fisiológicas para dicha evaluación.

### **5.8.2 "Foto navegable" en CAVE**

Este estudio se realizó con los mismos 25 sujetos, y el objetivo era analizar preliminarmente la adaptación de la fotografía inmersiva a su visualización en un CAVE.

Tal y como ya se describió en el capítulo correspondiente, se preguntaba a los usuarios por su nivel de ansiedad durante toda la prueba, así como por su sensación de realismo ante lo que percibían en el CAVE. Por último, rellenaban un cuestionario reducido de Slater [Slater94] para evaluar su nivel de presencia en este entorno.



En este caso no tiene sentido un estudio en el que se tenga en cuenta el orden de exposición, ya que únicamente hay un orden, que es al final de las pruebas de los sistemas anteriores. Por ello, se realiza el análisis tomado toda la muestra de 25 sujetos, y éste consiste en el cálculo de la media y la desviación típica (ver tabla 35).

Análisis		
	Media	Desviación típica
1	3.13	1.454004964
2	2.67	1.659404468
3	2.46	1.718927033
4	3.13	1.623536130
5	2.96	1.601063958
6	2.38	1.610090465

Tabla 35: Análisis de los datos del cuestionario de Slater para la “Foto navegable”

De la tabla 35 se deduce que los niveles de presencia no llegan a ser lo suficientemente buenos a juicio de los usuarios. Sin embargo, los resultados que se obtuvieron en la “Foto navegable” visualizada en un HMD (primer estudio) sí que eran considerablemente mejores. Se preveía mejores resultados, ya que un CAVE se considera más inmersivo que un HMD [Krijn06]. La explicación puede radicar en un factor muy importante, la imposibilidad de corregir el punto de vista del usuario debido a la topología del sistema. Que el sujeto no perciba interacción hace que el sistema sea menos inmersivo [Ramsamy06]. En el sistema que se visualizaba en HMD no existía este problema.

De forma análoga al estudio del apartado anterior se definen unos instantes en los que el usuario indica su nivel de ansiedad valorado en una escala de 1 a 10. En concreto se definen cuatro instantes, NA1, NA2, NA3 y NA4. NA1 corresponde al instante antes de empezar la prueba, NA2 al instante en el que el sujeto está en el borde de la presa, NA3 al momento en el que el sujeto pasa del borde de la presa a su interior, y NA4 al momento en el que termina la prueba.

La tabla 36 presenta un análisis centrado en la media y la desviación típica, por el mismo motivo que en el caso de los cuestionarios de Slater.

	Análisis	
	Media	Desviación típica
NA1	0.17	0.481543412
NA2	1.67	1.340560125
NA3	1.63	1.244553351
NA4	0.17	0.637022057

Tabla 36: Análisis de los datos relativos a los niveles de ansiedad para la “Foto navegable”

En la tabla 36 se puede observar que los niveles de ansiedad son bajos, con puntuaciones medias inferiores a 2 (en la escala de 0 a 10), y ello puede ser debido principalmente a la ausencia de fobia en los sujetos utilizados en la pruebas.

De forma análoga a la del estudio del apartado anterior, se compara el nivel de ansiedad existente en el estado inicial con el resto de instantes, para así averiguar si este entorno provoca ansiedad en los sujetos expuestos. Se realizan nuevamente pruebas t para medias de dos muestras emparejadas (t Student), con intervalo de confianza del 95% ( $p=0.05$ ), pero esta vez aplicadas a toda la muestra, analizando cada instante con respecto al instante inicial. La tabla 37 muestra los resultados de este análisis.

	“Foto navegable”		t Student	Valor crítico de t (dos colas)
	Valoración media	Valoración media NA1		
NA2	1.67±1.34	0.17±0.48	6.43	2.07
NA3	1.63±1.24		6.72	2.07
NA4	0.17±0.64		0	2.07

Tabla 37: Resultado del análisis de los datos de ansiedad comparando todos los instantes con el inicial para la “Foto navegable” visualizada en el CAVE,  $p=0.05$

Analizando la tabla 37 y procediendo de igual forma que en el resto de estudios presentados en lo referente al estadístico t y el intervalo de confianza, se puede afirmar que existen diferencias estadísticas significativas entre el instante inicial y el resto de instantes en los que el usuario es sometido a estímulos acrofóbicos, por lo que el entorno está provocando ansiedad en el sujeto. En esta misma tabla se observa que entre los instantes NA4 y NA1 no hay diferencias estadísticas significativas, lo cual es lógico, ya que NA4 coincide con el instante en el que la prueba ya ha finalizado, el usuario no está siendo sometido a ningún tipo de estímulo acrofóbico.

Tras la realización de este análisis, y procediendo de forma análoga a la de los estudios anteriores se analiza la relación entre las variables presencia y ansiedad. Para ello, nuevamente se utiliza la correlación de Pearson.

En primer lugar, es preciso definir las relaciones entre las cuestiones para medir el nivel de presencia y los instantes en los que se mide el nivel de ansiedad, para así poder estudiar su correlación. Observando el cuestionario de presencia utilizado, que se encuentra en los anexos, y los instantes en los que se pregunta por el nivel de ansiedad, las posibles relaciones quedan definidas como:

- a) NA2-Q1
- b) NA3-Q1
- c) NA2-Q2
- d) NA3-Q2

Dadas estas relaciones, se procede a realizar el análisis de la correlación de Pearson, como ya se describió en apartados anteriores, considerando toda la muestra compuesta de 25 sujetos. En la tabla 38 se puede ver los resultados de dicho análisis.

	CAVE		
	$r_{xy}$	t	$\alpha$
NA2-Q1	0.42	2.20	0.04
NA3-Q1	0.58	3.34	0.003
NA2-Q2	0.34	1.69	0.20
NA3-Q2	0.48	2.60	0.02

Tabla 38: Resultados del análisis de la relación entre presencia y ansiedad

Observando la tabla 38 se puede afirmar que las variables presencia y ansiedad están relacionadas (directa o inversamente), con valores de  $\alpha$  oscilando entre 0.2 (mínimo) y 0.003 (máximo), por lo que el riesgo de equivocarse al rechazar la hipótesis nula, es muy bajo. Estos resultados coinciden con los del apartado anterior, donde ya se observaba la relación entre estas variables.

Adicionalmente, se preguntaba a los sujetos sobre sus sensaciones, en cuanto al nivel de realismo de la experiencia vivida. Estas sensaciones se valoraron en una escala de 1 a 7.

La tabla 39 presenta un análisis de media y desviación típica de la muestra compuesta por todos los sujetos sometidos a estudio.

Análisis		
	Media	Desviación típica
1	3.71	1.232853412
2	3.33	1.090140265

Tabla 39: Análisis de los datos relativos a las sensaciones de realismo para la “Foto navegable”

En la tabla 39, al igual que en la correspondiente a los niveles de presencia de este mismo apartado, muestran que las puntuaciones no llegan a ser completamente satisfactorias. Posiblemente por los motivos expuestos anteriormente, es decir, la falta de interactividad del sistema.

### 5.8.2.1 Conclusiones

En este estudio preliminar de la “Foto navegable” en CAVE se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La presencia de los sujetos en este entorno no es óptima, el hecho de no percibir interactividad afecta negativamente a los niveles de presencia tal y como se puede observar en trabajos como el de Ramsamy et al. [Ramsamy06]. En este trabajo se comprueba que los elementos hápticos mejoran la inmersión de los sujetos en entornos virtuales. Es cierto que la diferencia con el presente estudio es considerable, pero en lo que se refiere a interacción e inmersión coinciden.
- El sistema está provocando ansiedad en los usuarios, ésta no es elevada, pero los resultados revelan su aparición al someter al sujeto a estímulos acrofóbicos y comparar la ansiedad en esos instantes con la que presentaba antes de iniciar la prueba.
- Existe una correlación significativa entre los niveles de presencia y ansiedad reportados por los sujetos. Nuevamente, coincide con los resultados de Schuemie et al. [Schuemie00] y Bouchard et al. [Bouchard08].

## 5.9 Conclusiones

Este capítulo ha descrito exhaustivamente los sistemas Habitación con agujero, HMD vs. CAVE y “Foto navegable” en CAVE, así como la validación de los mismos.

En primer lugar, se ha descrito de forma general los sistemas desarrollados. Dicho desarrollo ha consistido en adaptar los sistemas anteriores para poderlos visualizar en un sistema CAVE.

En segundo lugar, se ha introducido el concepto CAVE como una habitación estereoscópica, y se ha descrito con precisión el funcionamiento del utilizado en el presente estudio, que es el que se encuentra en las instalaciones de la UPV. Este CAVE está constituido por tres paredes, que es una de las configuraciones más típicas, e incorpora tecnología óptica infrarroja para la corrección del punto de vista del usuario.

En tercer lugar, se ha detallado con precisión los pasos seguidos para adaptar los entornos desarrollados a una visualización en sistema CAVE. Adicionalmente, se ha descrito el módulo desarrollado que permitía la ejecución remota de las animaciones. En la adaptación de la visualización destaca la utilización de estereo activo (en lugar del pasivo utilizado hasta el momento) y el desarrollo de un tipo de navegación diferente para poder utilizar los dispositivos incorporados por el CAVE. También es destacable el desarrollo de otro módulo que permitía la reproducción de sonidos en una máquina diferente a la que se encarga del procesamiento gráfico del CAVE.

En cuarto lugar, se han descrito todos los elementos materiales que forman parte del sistema, el agujero virtual, la habitación modelada, así como la foto navegable utilizada (en concreto la de una presa). Se ha intentado presentar de forma comparativa la visualización en el sistema CAVE y en el HMD.

En quinto lugar, se han presentado los requisitos técnicos del sistema, compuestos por un PC ordinario, un 'tracker' inercial, un HMD, un joystick inalámbrico, un "superordenador", unas cámaras infrarrojas, un flystick, unas gafas basadas en obturación y una serie de marcadores infrarrojos.

En sexto lugar, se ha hecho una descripción precisa del estudio realizado en la validación con usuarios sin fobia. En dicho estudio se han comparado los sistemas que presentan el agujero virtual visualizados en un CAVE y en un HMD. También se ha presentado el estudio preliminar de la "Foto navegable" visualizado en CAVE. Se ha presentado de forma exhaustiva el protocolo de ambos estudios, haciendo hincapié en los cuestionarios utilizados para valorar el nivel de presencia de los usuarios, y por tanto la eficacia de los sistemas.

Por último, se ha presentado con detalle los resultados de la comparativa entre los sistemas visualizados en HMD y CAVE, y los del estudio preliminar de la "Foto navegable" visualizada en CAVE. Se ha descrito con precisión las pruebas efectuadas (número de usuarios, orden de exposición, parámetros medidos, etc.), así como los métodos utilizados en el análisis de los datos. Dichos análisis han permitido afirmar que los entornos desarrollados provocan presencia y ansiedad en sujetos sin fobia. También se ha observado una correlación significativa entre dichas variables. En lo que referente a la primera parte del estudio, se han encontrado diferencias estadísticas significativas para afirmar que el entorno visualizado en CAVE provoca

mayor presencia y ansiedad en los sujetos. Por lo que respecta a la segunda parte del estudio, “Foto navegable” en CAVE, se puede afirmar que la presencia de los sujetos no es óptima. Además, se observa la aparición de ansiedad al someter al sujeto a estímulos acrofóbicos. Como en el caso anterior, se aprecia una correlación significativa entre presencia y ansiedad.

## 6 Conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones generales y las extraídas de cada uno de los tres estudios llevados a cabo en este trabajo.

Además, se presentan las contribuciones de la tesis, así como los posibles trabajos futuros y publicaciones derivadas de la misma.

### 6.1 Conclusiones

La RV y la RA comparten ventajas con respecto a la exposición “in vivo” tradicional. Una de esas ventajas es que las dos realidades ofrecen control sobre las situaciones a las que teme un paciente [Lozano03]. Adicionalmente, los sistemas basados en RA presentan una gran ventaja sobre los sistemas de RV, ofrecen mayor versatilidad, en el sentido de que el entorno es real, por contra en los sistemas de RV todo se ha de modelar e incluir [Pérez07]. Por tanto, en un sistema de RA, el entorno real puede ser cualquier lugar, sin embargo, si el psicólogo requiere un entorno virtual igual al real, sería necesario su modelado completo, lo que implica cierto coste temporal y económico. De esta forma, un sistema de RA se puede utilizar en cualquier entorno real, con un coste muchísimo más bajo que un sistema de RV.

En esta tesis se han desarrollado dos sistemas de RA donde los elementos virtuales modifican el entorno real, aumentándolo y convirtiéndolo en un escenario donde un usuario puede experimentar una situación acrofóbica que le provoque ciertos niveles de presencia y ansiedad. Además, se han desarrollado tres sistemas basados en RV recreando diferentes entornos acrofóbicos, utilizando distintos dispositivos de visualización (HMD y CAVE). Por lo que se cubren dos de los objetivos planteados al inicio del trabajo.

Se ha conseguido que los sistemas permitan su manejo sin retrasos visuales aparentes.

También se ha conseguido desarrollar un sistema de navegación no tradicional en los sistemas de RV, gracias a la utilización de un ‘tracker’ de cabeza con tres grados de libertad. Lo que ha permitido al mismo tiempo que el usuario no se tenga que desplazar apenas mientras utiliza el sistema.

En cuanto a los sistemas de RA se planteó como objetivo principal el que no se apreciara excesivo ‘jitter’ durante la ejecución, por ello se aplicaron diferentes soluciones, que mejoraron ostensiblemente este comportamiento, mejorando el resultado de utilizar únicamente tecnología óptica.

Por otra parte, también se ha conseguido una buena estereoscopía en todos los sistemas, sobre todo en los de RV y la “Foto navegable” visualizada sobre HMD, haciendo que varios usuarios intentaran agarrar físicamente objetos virtuales.

También se ha conseguido que el supervisor de la prueba/terapeuta controle todos los parámetros de la situación acrofóbica, gracias a una serie de controles diseñados a tal efecto, así como la utilización de un monitor donde éste pudiera observar la situación.

Se ha logrado estimular el sentido auditivo del sujeto, enriqueciendo así la experiencia.

Además hay otra serie de objetivos principales que se plantearon al inicio del trabajo, que se han alcanzado gracias a cada uno de los tres estudios realizados. A continuación se van a detallar por cada estudio los objetivos, resultados alcanzados, así como las conclusiones.

### **6.1.1 “Foto navegable”**

El objetivo principal de este estudio era determinar el grado de presencia que provocaba el sistema de RA “Foto navegable” en participantes no fóbicos. Como objetivos secundarios aparecían la comparación entre la efectividad del entorno real que representa el sistema y él mismo, así como discernir si el orden en que los sujetos se exponen al entorno real y al sistema desarrollado afecta a los resultados obtenidos. Para ello se desarrolló una aplicación de RA que hace uso de la fotografía inmersiva para recrear entornos acrofóbicos. Se trata de un sistema donde el usuario ve una escena en la que se percibe cierta altura (segundo piso). En concreto se trata de la vista estereoscópica de una escalera exterior a una altura media. Cuando el usuario mira hacia abajo se fuerza la situación acrofóbica.

El usuario tenía que ir provisto de un HMD para la visualización del entorno, un ‘tracker’ de cabeza para navegar por la fotografía inmersiva, y una cámara de video para recoger el entorno real y poder desplazarse de forma lateral en la escena gracias a unos marcadores que devuelven su posición y orientación dentro de la misma.

El estudio se planteó de forma comparativa. Se intentaba comparar las medidas subjetivas de presencia obtenidas en el sistema de RA desarrollado y en el entorno real. Para este propósito se utilizaron usuarios normales, sin fobia, un total de 64 participantes reclutados a través de anuncios repartidos por el campus de la Universidad Politécnica de Valencia. Se cumple así uno de los objetivos principales.

Esta muestra se dividió en dos partes, los considerados expertos en las tecnologías del experimento y los que no lo son, con 24 y 41 participantes respectivamente. Aplicando exactamente el mismo análisis a los dos grupos.



En primer lugar, se ha estudiado el grado de presencia de los usuarios tanto en el entorno desarrollado como en el entorno real que representa, analizando los resultados obtenidos mediante el cuestionario de Slater [Slater94] adaptado a la situación concreta de este estudio. Observando las altas puntuaciones obtenidas, se puede afirmar que los usuarios se sienten muy presentes en el sistema desarrollado, aunque no tanto como en el entorno real, donde el grado de presencia es óptimo. En este punto del análisis hay que destacar que el sistema desarrollado obtuvo puntuaciones ligeramente inferiores cuando se utilizó la muestra compuesta de usuarios considerados como expertos en las tecnologías del experimento, lo cual puede entenderse por la exigencia de éstos al conocer los límites tecnológicos del experimento.

Respecto a si los sujetos encontraban diferencias entre el sistema desarrollado y el entorno real, la conclusión de este análisis, en ambos grupos muestrales, es que los sujetos distinguen perfectamente sendos entornos. Por ello se puede afirmar que el cuestionario de Slater [Slater94] adaptado a la situación concreta de este estudio es una medida válida para discriminar entre los entornos comparados (el ambiente real y el sistema desarrollado). Éste es un resultado que no coincide con los obtenidos por Usoh et al. [Usoh00]. Ellos afirmaron que los cuestionarios podían ser útiles cuando todos los participantes experimentan el mismo tipo de entorno, y que la utilidad era dudosa comparando experiencias diferentes como pueden ser un entorno real y un entorno inmersivo. Sin embargo, los resultados de nuestro estudio demuestran que el cuestionario de Slater cumple lo que Usoh denomina “reality test”, al obtener puntuaciones mayores el entorno real. No obstante, es necesario realizar más estudios con muestras mayores para evaluar la utilidad de los cuestionarios como forma de medir el nivel presencia.

En última instancia se ha tratado de averiguar si el orden en el que los sujetos son expuestos al sistema y al entorno real afecta a las puntuaciones obtenidas. El análisis, también en ambos grupos muestrales, revela que no hay evidencias estadísticas suficientes para afirmar este hecho.

Destacar que los resultados obtenidos del grupo de usuarios considerados como “no expertos” en las tecnologías del experimento fueron publicados en la revista “Presence: Teleoperators & Virtual Environments” en el año 2006. Siendo seleccionada como imagen de portada de la revista una de las imágenes del artículo.

### **6.1.2 Habitación con agujero, RV vs. RA**

El objetivo principal de este estudio era medir el grado de ansiedad/presencia que provocan los dos sistemas desarrollados en participantes no fóbicos. Como objetivos secundarios se encuentran la comparación entre la efectividad de dos sistemas basados en tecnologías diferentes (RA y RV), discernir si el orden en que los

sujetos se exponen a los sistemas afecta a los resultados obtenidos, y averiguar si existe correlación alguna entre las variables presencia y ansiedad. Para ello se desarrollan dos sistemas, aunque basados en diferente tecnología (RV y RA), intentan recrear la misma situación, el mismo ambiente. En concreto, se trata de una habitación en la que hay colocada en cierta parte de ella una moqueta de color marrón. Dicha moqueta se aprovecha para albergar los elementos virtuales, que son los encargados de “aumentar” la escena produciendo una situación acrofóbica. En el centro de la moqueta aparecía un agujero, hundiéndose el suelo y quedando el usuario en el borde del mismo, además el usuario podía hundirse junto con él (una especie de efecto ascensor). Destacar que en el sistema de RA se utiliza una moqueta real.

El usuario tiene que ir provisto de un HMD para la visualización de ambos sistemas. En el sistema de RV, además, necesita un joystick para navegar y un ‘tracker’ de cabeza para que el sistema pueda seguir los movimientos de ésta. Por lo que respecta al sistema de RA, se precisa de una cámara situada en la parte frontal del casco y ciertos marcadores que se colocan en el suelo de la habitación para posicionar y orientar los objetos que “aumentarán la escena”.

El estudio se planteó nuevamente de forma comparativa. Se intentaba comparar las medidas subjetivas de presencia y ansiedad obtenidas en los dos sistemas desarrollados. Para este propósito se utilizaron usuarios normales, sin fobia, un total de 20 participantes reclutados nuevamente a través de anuncios repartidos por el campus de la Universidad Politécnica de Valencia. Se cumple así uno de los objetivos principales.

En primer lugar, se estudia si los usuarios se han sentido presentes en los dos sistemas, analizando los resultados obtenidos mediante el cuestionario de Slater [Slater94] adaptado a la situación concreta de este estudio. Se puede afirmar que sí observando las altas puntuaciones obtenidas en los cuestionarios.

En segundo lugar, se han analizado los datos de presencia tratando de averiguar si alguno de los dos sistemas provoca mayor nivel de presencia en el usuario, y la conclusión es que no hay evidencias estadísticas suficientes para afirmar que un sistema provoque mayor nivel de presencia que el otro. Probablemente la utilización de una muestra estadística mayor que estos 20 sujetos permitiría que los resultados obtenidos fueran más significativos.

A continuación, se ha tratado de averiguar si el orden en el que los sujetos son expuestos a los sistemas afecta a los resultados obtenidos. Nuevamente, no se han encontrado evidencias estadísticas suficientes para afirmar este hecho, coincidiendo con los resultados del estudio anterior.

Seguidamente, se ha tratado de averiguar si los sistemas desarrollados han provocado ansiedad en los sujetos bajo estudio. En este caso se han comparado los niveles de ansiedad en los instantes en los que los sujetos eran sometidos a estímulos acrofóbicos con el instante previo al comienzo de la prueba. Se encontraron evidencias estadísticas significativas que permiten afirmar que ambos sistemas están provocando ansiedad en los sujetos. Se cumple así uno de los objetivos principales del estudio.

Continuando en el marco del análisis de ansiedad, se trató de averiguar si alguno de los dos sistemas provocaba mayor nivel de ansiedad en el usuario. Se encontraron evidencias estadísticas significativas que permitían afirmar que el sistema de RA provocaba mayor nivel de ansiedad en los usuarios

Al igual que en el caso de la presencia, se estudió el efecto del orden de exposición, no encontrando evidencias estadísticas significativas que permitan afirmar que éste afecte a los resultados.

En lo referente a las animaciones incluidas en ambos sistemas, se puede afirmar que han provocado ansiedad en los sujetos. Especialmente la animación en la que el usuario se hunde junto al suelo. Por tanto, este tipo de animación podría ser útil en el tratamiento de la acrofobia.

En esta parte del estudio se introdujo una novedad con respecto al estudio anterior. Se estudió la posible existencia de una correlación significativa entre las variables presencia y ansiedad. Tras el análisis correspondiente, se demostró la existencia de dicha correlación, coincidiendo con los estudios de Schuemie et al. [Schuemie00] y de Bouchard et al. [Bouchard08]. Sin embargo, no pudo demostrarse que esta correlación fuera más significativa en uno u otro sistema. Tampoco se pudo demostrar que el orden de exposición afectara a los resultados.

Además, los resultados de este estudio revelan un dato muy importante, la gran mayoría de los usuarios confieren mucha importancia al hecho de ver sus pies junto al agujero virtual, lo cual es una ventaja aportada por la RA.

Destacar, como ya se ha comentado, la limitación del tamaño de la muestra utilizada. Sería interesante realizar más estudios con mayor número de sujetos, los cuales proporcionarían resultados más significativos.

Por último, la presencia es una condición subjetiva, y la utilización de cuestionarios para evaluarla puede producir errores si el sujeto no da una valoración correcta. Por ello, Meehan et al. [Meehan02] proponen la utilización de medidas fisiológicas para dicha evaluación.

### 6.1.3 Habitación con agujero, HMD vs. CAVE

El objetivo principal de este estudio era medir el grado de ansiedad/presencia de los sistemas desarrollados que simulaban la aparición de un agujero en mitad de una habitación. Como objetivos secundarios aparecen la comparación entre la efectividad de dos sistemas visualizados sobre dispositivos diferentes (HMD y CAVE), discernir si el orden en que los sujetos se exponen a los sistemas afecta a los resultados obtenidos, y averiguar si existe correlación alguna entre las variables presencia y ansiedad. Para ello se ha utilizado una de las aplicaciones del estudio anterior, el sistema de RV, adaptándolo para poder ser visualizado en el nuevo entorno. Por tanto, se tienen dos sistemas, un agujero en medio de una habitación visualizado sobre un HMD y en un CAVE. El sistema de RV funciona tal y como se describió en el capítulo 4, utilizando el usuario exactamente los mismos dispositivos cuando se trata de visualización sobre casco de RV. Sin embargo, en el CAVE, el usuario únicamente utiliza unas gafas basadas en obturación, las cuales no incorporan cables, y un flystick para la navegación.

El estudio, al igual que en todos los casos anteriores, se planteó de forma comparativa. Se intentaba comparar las medidas subjetivas de presencia y ansiedad obtenidas en los dos sistemas desarrollados. Para este propósito se utilizaron usuarios normales, sin fobia, un total de 25 participantes reclutados de la misma forma que en los dos estudios anteriores, a través de anuncios repartidos por el campus de la Universidad Politécnica de Valencia. Se cumple así uno de los objetivos principales.

En primer lugar, se ha intentado averiguar si los usuarios se han sentido presentes en los dos sistemas desarrollados (Habitación con agujero visualizado sobre HMD y en CAVE), y se puede afirmar que sí observando las altas puntuaciones obtenidas por ambos sistemas.

A continuación, se han analizado los datos proporcionados por los sujetos para averiguar si alguno de los dos sistemas provoca mayor nivel de presencia, y la conclusión es que parece haber evidencias estadísticas suficientes para afirmar que el sistema visualizado en el entorno CAVE provoca mayores niveles de presencia que el visualizado sobre un HMD. Este resultado coincide con el de Krijn et al. [Krijn04]. Este mayor nivel de presencia en el entorno CAVE se explica por varios factores, en primer lugar el 'field of view' de los elementos de visualización ya que un mayor 'field of view' provoca mayor presencia en el sujeto, tal como establecieron Hendrix & Barfield [Hendrix96]. En segundo lugar la comodidad del usuario durante la experiencia.

Seguidamente, siguiendo el modelo de los estudios anteriores, se ha tratado de averiguar si el orden en el que los sujetos son expuestos a los sistemas afecta a los resultados. Nuevamente, no se han encontrado evidencias estadísticas suficientes para afirmar este hecho. Este resultado era previsible vistos los resultados de los dos estudios anteriores, donde tampoco se encontró efecto alguno del orden de exposición.

También se han analizado los resultados referidos al nivel de ansiedad provocado en los sujetos sometidos a estudio. Se observa que los usuarios no muestran un grado de ansiedad elevado, lo cual podría explicarse por el hecho de que los usuarios expuestos no sufrían acrofobia. En cualquier caso, se pretendía averiguar si los sistemas estaban provocando ansiedad en los usuarios, así que se procedió de igual modo al del apartado anterior, se compararon los niveles de ansiedad en los instantes en los que los sujetos eran sometidos a estímulos acrofóbicos con el instante previo al comienzo de la prueba. En este caso, se encontraron evidencias estadísticas significativas que permiten afirmar que ambos sistemas estaban provocando ansiedad en los sujetos, cumpliendo uno de los objetivos principales de este estudio.

Continuando con el análisis de ansiedad y siguiendo con el modelo de los estudios anteriores, se analizaron los resultados tratando de averiguar si alguno de los dos sistemas provocaba mayor nivel de ansiedad en los sujetos. De esta forma se encontraron evidencias estadísticas significativas que permiten afirmar que el sistema visualizado en el CAVE provoca mayor ansiedad. Este resultado parece coincidir con el obtenido en el análisis de presencia, por ello se decidió analizar la posible correlación entre presencia y ansiedad. Correlación que se comenta posteriormente en estas conclusiones.

También dentro del marco del análisis de ansiedad, se analizó el posible efecto del orden de exposición, no encontrado evidencias estadísticas significativas que permitan afirmar que éste afecta a los resultados. Nuevamente era un resultado previsible a la vista de los análisis de los estudios anteriores.

En lo referente a las animaciones incluidas en ambos sistemas, se puede afirmar que han provocado ansiedad en los sujetos. Especialmente la animación visualizada en el CAVE en la que todo el suelo se hunde quedando el usuario en el “vacío”. Por tanto, este tipo de animación podría ser útil en el tratamiento de la acrofobia.

Asimismo, se ha estudiado la posible existencia de una correlación significativa entre la presencia y la ansiedad reportada por los sujetos bajo estudio. Tras el análisis correspondiente, se demostró la existencia de dicha correlación, coincidiendo con los estudios de Schuemie et al. [Schuemie00] y de Bouchard et al. [Bouchard08]. Sin embargo, no pudo demostrarse que esta correlación fuera más significativa en uno u otro sistema. Tampoco se pudo demostrar que el orden de exposición afectara a estos resultados.

En este estudio también se preguntaba por el nivel de realismo de las sensaciones percibidas, y tal como se puede comprobar en el apartado 5.8.1, las sensaciones fueron muy buenas, sobre todo en el sistema visualizado en CAVE, resultado que coincide con el análisis realizado en lo referente a niveles de presencia. De hecho, se pudo demostrar la existencia de evidencias estadísticas significativas que permiten afirmar que las sensaciones de realismo percibidas por el usuario son más intensas en el entorno CAVE.

Además, al igual que en el estudio anterior, los resultados de este estudio han vuelto a revelar un dato muy importante, la gran mayoría de los usuarios dan mucha importancia al hecho de ver sus pies junto al agujero virtual, lo cual es una ventaja aportada por el sistema visualizado en el CAVE.

Al igual que en el caso anterior, la principal limitación del presente estudio es el tamaño de la muestra, una muestra mayor haría que los resultados obtenidos fueran más significativos.

Por último, como ya se ha comentado en estudios anteriores, la utilización de cuestionarios para evaluar la presencia es subjetiva y sería interesante la utilización de medidas objetivas tales como las medidas fisiológicas, tal y como proponen Meehan et al. [Meehan02].

#### **6.1.4 “Foto navegable” en CAVE**

El objetivo principal de esta parte del estudio era evaluar, aunque fuera de forma preliminar, la efectividad de la adaptación del primer experimento “Foto navegable” a la visualización en un CAVE. Se trataba de averiguar si el sistema provocaba presencia y ansiedad en los usuarios, y también si existía una correlación significativa entre ambas variables. Para este propósito se tomó el sistema “Foto navegable”, y se hicieron los cambios oportunos (teniendo en consideración las limitaciones impuestas por la topología del sistema original) para que pudiera ser visualizado en un CAVE. En este sistema, el usuario únicamente tenía que ir provisto de unas gafas basadas en obturación.

A diferencia del resto de los estudios de la presente tesis, éste no se ha planteado de forma comparativa, dado que solo se pretendía evaluarlo de forma preliminar. Por ello, a la finalización de las pruebas del estudio “Habitación con agujero, HMD vs. CAVE” se han realizado las pruebas preliminares del sistema desarrollado con los mismos 25 sujetos.

En primer lugar, se ha evaluado el nivel de presencia del usuario en el entorno. El análisis correspondiente no da como resultado niveles de presencia elevados, parece que los sujetos no se sienten muy presentes en este entorno. Este resultado difiere mucho del obtenido en el primer estudio “Foto navegable” visualizada en un

HMD. Se preveían mejores resultados, ya que un CAVE se considera más inmersivo que un HMD [Krijn06]. Probablemente, la explicación radique en que el sistema (por la topología y diseño del mismo) no es capaz de corregir el punto de vista del usuario en tiempo real. Por ello, el sujeto no aprecia interactividad con el sistema, y el no percibir interactividad hace el sistema sea menos inmersivo [Ramsamy06].

En segundo lugar, se evalúan los niveles de ansiedad provocados por el sistema en los usuarios. A la vista de los resultados, al igual que en el caso de la presencia, no se están provocando niveles de ansiedad elevados. De igual forma que en el caso anterior, se pretende averiguar si se está provocando ansiedad en el usuario. Siguiendo el esquema de los estudios anteriores, se compararon los niveles de ansiedad en los instantes en los que los sujetos eran sometidos a estímulos acrofóbicos con el instante previo al comienzo de la prueba. De esta forma, se encontraron evidencias estadísticas significativas que permiten afirmar que el sistema estaba provocando ansiedad en los sujetos, cumpliendo uno de los objetivos principales de este estudio.

En tercer lugar, también siguiendo el esquema de estudios anteriores, y observando una posible correlación entre la presencia y la ansiedad, se realizó el análisis correspondiente en busca de dicha correlación. Mediante el citado análisis se demostró la existencia de una correlación significativa entre ambas variables, coincidiendo con los estudios anteriores de la presente tesis, así como con los de Schuemie et al. [Schuemie00] y Bouchard et al. [Bouchard08].

Para finalizar el estudio, también se preguntaba por el nivel de realismo de las sensaciones percibidas, y tal como se puede ver en el capítulo 5.8.2, las puntuaciones no fueron elevadas, aunque sí mayores que las referidas a los niveles de presencia. Nuevamente, la no obtención de mejores resultados puede deberse a la falta de interactividad del sistema.

Al igual que en el caso anterior, destacar también la limitación del estudio en lo referente al tamaño de la muestra.

### **6.1.5 Resumen**

Para cerrar este apartado, como conclusión general de los tres estudios se puede decir que:

- El sistema de RA “Foto navegable” desarrollado para el primer estudio provocaba niveles de presencia elevados, sin embargo no eran tan buenos como los obtenidos por el entorno real que representaba, existiendo evidencias estadísticas significativas que lo corroboraban.

- En el caso de los sistemas que representaban un agujero en el suelo de una habitación, los dos (RV y RA) producen en los usuarios similares efectos en lo referente a presencia, no hallándose diferencias estadísticas significativas que permitan afirmar que uno de los dos sistemas provoca mayor nivel de presencia que el otro. Sin embargo, en lo referente a niveles de ansiedad, se han encontrado diferencias estadísticas significativas que permiten afirmar que el sistema de RA provoca mayor ansiedad en los sujetos.
- En el estudio comparativo de los sistemas que representaban un agujero en el suelo de una habitación visualizados respectivamente en un HMD y en el CAVE, los resultados de presencia y ansiedad muestran que el sistema visualizado en HMD no provoca niveles elevados, mientras que el sistema visualizado en CAVE provoca niveles mayores. De hecho, se han encontrado diferencias estadísticas significativas que demuestran que los dos sistemas no provocan el mismo grado de presencia y ansiedad en los participantes.

Por todo ello se puede concluir afirmando que la primera hipótesis de trabajo, un sistema de RA para la visualización de entornos acrofóbicos provocará igual o mayor sensación de presencia y ansiedad que un sistema de RV similar, se cumple, tal y como demuestra el estudio.

Además, se ha comprobado la obtención de niveles de presencia elevados en el primero de los estudios, cumpliendo la segunda de las hipótesis de trabajo planteadas, un sistema de RA con fotografía inmersiva provocará un nivel de presencia alto ( $s=5$  en una escala de 1 a 7).

Asimismo, se ha demostrado la existencia de una correlación significativa entre la presencia y ansiedad provocada en los usuarios por los sistemas del segundo (Habitación con agujero, RV vs. RA) y tercer estudio (Habitación con agujero, HMD vs. CAVE y “Foto navegable” en CAVE), cumpliéndose también la última de las hipótesis de trabajo, los niveles de presencia y ansiedad provocados por un sistema para la simulación de entornos acrofóbicos están correlacionados.

Por otra parte, cabe preguntarse sobre la posible utilización terapéutica de los sistemas desarrollados. Tal y como han demostrado diferentes casos de estudio, la acrofobia puede ser tratada con éxito mediante terapia de exposición basada en RV [Choi01] [Rothbaum95a]. También se ha demostrado la potencialidad terapéutica de la exposición basada en RA, para el tratamiento de otras fobias específicas [Juan05] [Botella05] [Juan06a] [Juan06b] [Juan07]. Además, la RA, tal y como se presentó en el apartado 2.3, presenta una serie de ventajas adicionales, que la hacen más atractiva para terapia, cuando el usuario puede interactuar con elementos reales, como sus manos o sus pies, y cuando se puede reproducir o usar un entorno real [Juan05].



Los sistemas desarrollados en la presente tesis (RA y RV), han provocado cierto nivel de presencia y ansiedad en usuarios sin fobia. De hecho, estos resultados y los antecedentes en terapia de exposición mediante RV y RA, parecen indicar que dichos sistemas podrían ser efectivos en el tratamiento de la acrofobia.

## **6.2 Contribuciones de la tesis**

En esta tesis se han desarrollado distintos sistemas de RA y RV, y se han realizado tres estudios comparativos con los que se pretende demostrar que un sistema de RA provoca la misma o mayor sensación de presencia y ansiedad que un sistema de RV similar para la visualización de entornos acrofóbicos. Para ello, todos los estudios se han realizado con usuarios que no padecen de esta fobia.

En el primer sistema desarrollado, “Foto navegable”, se describe el primer sistema que utiliza la técnica de fotografía inmersiva combinada con RA para la visualización de entornos acrofóbicos.

En el segundo estudio, “Habitación con agujero, RV vs. RA”, en el que se desarrollan los dos sistemas citados, se presenta el primer trabajo en el que se comparan y validan sistemas de RA y RV similares para la visualización de entornos acrofóbicos.

En el tercer estudio, “Habitación con agujero, HMD vs. CAVE, y ‘Foto navegable’ en CAVE” se presenta uno de los primeros estudios comparativos de sistemas para la visualización de entornos acrofóbicos que utilizan tecnologías de visualización diferentes como son un HMD y un CAVE.

Por último, en el segundo y tercer estudio se ha evaluado la posible existencia de una correlación significativa entre las variables presencia y ansiedad. Hasta donde sabemos, en lo referente al tercer estudio, éste es el primer trabajo en el que se ha estudiado (y se ha demostrado) esta correlación en entornos CAVE. Se encontró una correlación significativa entre la ansiedad y la presencia, lo cual no coincide con los resultados que obtuvieron Krijn et al. [Krijn04]. El presente trabajo no es el primero en el que se estudia la relación entre dichas variables en sistemas visualizados en HMD [Schuemie00] [Bouchard08]. Schuemie et al. [Schuemie00] también emplearon entornos acrofóbicos. Las diferencias con el presente estudio radican en que Schuemie et al. no comparan las diferentes visualizaciones de un mismo entorno, utilizan un HMD y comparan tres entornos diferentes. Por lo que se refiere al segundo estudio, la diferencia radica en que este trabajo compara aplicaciones distintas (RA y RV) que representen un mismo entorno, mientras que ellos comparan entornos diferentes.

### **6.3 Trabajos futuros**

En cuanto a trabajos futuros, se considera importante plantear más estudios con muestras mayores, para así poder obtener conclusiones estadísticamente más significativas.

Un aspecto importante a mejorar es el 'jitter' de la aplicación de RA, sería posible la utilización de alguna otra librería diferente a ARToolKit, diferentes filtros, o incluso que se complemente con otro tipo de tecnología.

Las interfaces de control que utiliza el supervisor de la prueba/terapeuta son muy sencillas, aunque a veces no demasiado intuitivas ni cómodas, ya que su diseño se basó únicamente en la funcionalidad dentro del experimento. Por ello, se podrían diseñar otras interfaces más cómodas e intuitivas, así como estudiar la utilización de tecnologías inalámbricas.

Un aspecto importante a incorporar es la reducción del equipamiento que tiene que llevar encima el usuario en los sistemas que utilizan como elemento de visualización el HMD. Estos sistemas incorporan los cables de vídeo que llevan la señal desde el PC hasta el HMD, pero además, en el caso de los sistemas de RA, se añade una cámara web y su cable correspondiente. En el caso de los sistemas de RV se incorpora un 'tracker' inercial con su correspondiente cable. Sería muy importante liberar al usuario de todo ese conglomerado de cables.

En la presente tesis se ha utilizado un CAVE y un HMD como dispositivos de visualización, sin embargo, sería interesante investigar la utilización de algún dispositivo diferente. Habría que estudiar si estos nuevos dispositivos presentan ventajas sobre los utilizados, y si provocan mayor inmersión del usuario, que en definitiva es uno de los aspectos más importantes para la posible validez clínica.

El gran inconveniente observado en la adaptación de la "Foto navegable" a la visualización en un CAVE es la estereoscopia. La topología del sistema original hace imposible la utilización de estereo activo "corregido" en tiempo real. Lo que se traduce en una percepción de falta de interactividad por parte del usuario, circunstancia que influye negativamente en la inmersión del mismo. Por ello, habría que investigar la forma de conseguir estereoscopia de alta calidad con fotos inmersivas dentro en un CAVE.

Los efectos sonoros de los sistemas desarrollados son muy sencillos. Se trata de sonidos con calidad estereo. Una posible mejora en lo referente a este aspecto podría ser la utilización de técnicas de sonido envolvente.

Aumentar las resoluciones utilizadas en el caso de las fotografías inmersivas. Con resoluciones mayores, se podrían captar más detalles en la fotografía, dotándola de un mayor realismo, que podría mejorar el nivel de inmersión del sujeto, y por tanto, su nivel de presencia. Esta limitación la imponía el programa de tratamiento de imágenes, se podría utilizar otro paquete de tratamiento de imágenes.

Las fotografías inmersivas utilizadas cubren un rango visual de 180 grados. El límite entre el entorno real y la fotografía está definido por el tamaño de la misma (su borde). Esta circunstancia puede provocar que el usuario experimente un decremento de su nivel de inmersión (y por lo tanto de su presencia) al pasar de estar viendo la fotografía al entorno real. Una posible mejora pasaría por aplicar degradados a los bordes de las fotografías utilizadas, de forma que la fusión entre ellas y el entorno real fuera mucho más imperceptible.

En esta misma línea, se podrían añadir elementos reales que facilitaran la interacción de la foto inmersiva en el mundo real, tales como barandillas.

En la presente tesis se han utilizado diferentes cuestionarios para evaluar el nivel de presencia y ansiedad del usuario durante la exposición. Sin embargo, esta evaluación puede introducir cierto error, por tanto, siguiendo la propuesta de Meehan et al. [Meehan02], se podría considerar la utilización de medidas fisiológicas (sudoración, conductividad de la piel, ritmo cardíaco, etc.) para evaluar el nivel de presencia y ansiedad de los usuarios durante la exposición.

El CAVE utilizado en el tercer estudio de la presente tesis tiene cuatro paredes (derecha, izquierda, frente y suelo) como la gran mayoría. Sin embargo, la utilización de un CAVE de seis paredes (las cuatro anteriores más techo y parte trasera), podría provocar un nivel de inmersión superior en los sujetos, y por lo tanto, un nivel de presencia también mayor.

Respecto al uso terapéutico de los sistemas desarrollados, se considera de especial relevancia la utilización de mismos en el tratamiento de pacientes con acrofobia, dado que los resultados con pacientes sin fobia parecen indicar que estos sistemas podrían ser efectivos en dicho tratamiento. Posteriormente, se podría comparar los nuevos resultados con trabajos similares como el de Krijn et al. [Krijn04].

## **6.4 Publicaciones relacionadas con la tesis**

### **6.4.1 Revistas**

- 1) Juan, M.C., Baños, R., Botella, C., Pérez, D., Alcañiz, M., Monserrat, C. An Augmented Reality System for acrophobia: The sense of presence using immersive photography. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, Vol. 15, N.4, pp. 393-402, 2006. Seleccionada una figura del artículo como imagen de portada. JCR-SCI: Factor de impacto en el año de publicación 1.0. Categorías:
  - Computer Science, Cybernetics: 6 de 18.
  - Computer Science, Software Engineering: 32 de 82.
- 2) Juan, M.C., Pérez, D., Comparison of the levels of presence and anxiety in an acrophobic environment viewed via HMD or CAVE, *Presence: Teleoperators and virtual environments*, Vol. 18, N.3, 2009 (aceptado, pendiente de publicación). JCR-SCI: Factor de impacto: 0.723 en el año de 2007 (último disponible). Categorías:
  - Computer Science, Cybernetics: 10 de 17
  - Computer Science, Software Engineering: 49 de 84

### **6.4.2 Congresos**

- 1) Juan, M.C., Pérez, D., Tomás, D., Rey, B., Alcañiz, M., Botella, C., Baños, R. An Augmented Reality system for the treatment of acrophobia. *The 8th international workshop on presence, Presence 2005*, pp. 315-318, 2005.
- 2) Pérez, D., Juan M.C., Alcañiz M., Botella C., and Baños R. Two similar Systems for the Treatment of Acrophobia, *An Augmented Reality System and a Virtual Reality System. 12th International Conference, HCI International 2007*, pp. 850-854, 2007.
- 3) Pérez, D., Juan, M.C. Dos Sistemas de Realidad Aumentada para el tratamiento de la acrofobia. *XVIII Congreso Español de Ingeniería Gráfica (CEIG'2008)*. pp. 249-252, 2008.

## Bibliografía

[Anderson03] Anderson, P., Rothbaum, B.O., Hodges, L. Virtual reality exposure in the treatment of social anxiety. *Cognitive and Behavioral Practice*, Vol. 10, N. 3, pp. 240-247, 2003.

[APA95] American Psychological Association Task force on Psychological Intervention Guidelines. Template for developing guidelines: Interventions for mental disorders and psychological aspects of physical disorders. Washington, D. C. American Psychological Association, 1995.

[APA00] American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders, fourth edition, Revised Text. Washington, D.C.: American Psychiatric Association (Traducción española: Masson), 2000.

[ARToolKit01] Manual de usuario de ARToolKit 2001, [http://www.lamce.ufrj.br/grva/data/realidade\\_aumentada/index.php?go=artoolkit/ARToolkit\\_for\\_Dummies.pdf](http://www.lamce.ufrj.br/grva/data/realidade_aumentada/index.php?go=artoolkit/ARToolkit_for_Dummies.pdf). Última consulta Abril 2009.

[Aukstakalnis92] Aukstakalnis, S., Blatner D. Silicon Mirage. The Art and Science of Virtual Reality. Peachpit Press, Berkeley, CA, USA, 1992.

[Azuma01] Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., MacIntyre, B. Recent Advances in Augmented Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 21, N. 6, pp. 34-47, 2001.

[Baños00] Baños, R.M., Botella, C., García-Palacios, A., Villa, H., Perpiña, C., Alcañiz, M., Presence and Reality Judgment in Virtual Environments: A Unitary Construct?. *Cyberpsychology & Behavior*, Vol. 3, N. 3, pp. 327-335, 2000.

[Baños01] Baños, R.M., Botella, C., Perpiñá, C., Quero, S. Tratamiento mediante realidad virtual para la fobia a volar: un estudio de caso. *Clínica y Salud*, Vol. 12, N. 3, pp. 391-404, 2001.

[Baños04] Baños, R., Botella, B., Alcañiz, M. Liaño, V., Guerrero, B., Rey, B. Immersion and Emotion. The impact on the sense of presence. *CyberPsychology & Behaviour*. Vol. 7, N. 6, pp. 734-741, 2004.

[Barlow99] Barlow, D.H., Levitt, J.T., Bufka, L.F. The dissemination of empirically supported treatments: a view to the future. *Behaviour Research and Therapy*, Vol. 37, N. 1, pp. 147-162, 1999.

[Bayer08] Filtro de Bayer, 2008, [http://es.wikipedia.org/wiki/Mosaico\\_de\\_Bayer](http://es.wikipedia.org/wiki/Mosaico_de_Bayer). Última consulta Abril 2009.

[Berenguer08] Pàgines de Xavier Berenguer, Cave, 2008, [http://www.iaa.upf.es/~berenguer/recursos/ima\\_dig/\\_8\\_/estampes/2\\_5.htm](http://www.iaa.upf.es/~berenguer/recursos/ima_dig/_8_/estampes/2_5.htm). Última consulta Abril 2009.

[Bimber05] Bimber, O., Raskar, R., Spatial Augmented Reality. Merging Real and Virtual Worlds, Ed. A. K. Peters, Ltd., 2005, <http://www.uni-weimar.de/medien/ar/research.php>. Última consulta Abril 2009

[Botella98] Botella, C., Baños, R.M., Perpiñá, C., Villa, H., Alcañiz, M., Rey, A. Virtual reality treatment of claustrophobia: a case report. Behaviour Research and Therapy, Vol. 36, N. 2, pp. 239-246, 1998.

[Botella99] Botella, C., Villa, H., Baños, R.M., Perpiñá, C., García-Palacios, A. The treatment of claustrophobia with virtual reality: Changes in other phobic behaviours not specifically treated. CyberPsychology & Behaviour, Vol. 2, N. 2, pp. 135-141, 1999.

[Botella00] Botella, C., Baños, R.M., Villa, H., Perpiñá, A., García-Palacios, A. Virtual reality in the treatment of claustrophobic fear: A controlled, multiple-baseline design. Behavior Therapy, Vol. 31, N. 3, pp. 583-595, 2000.

[Botella04a] Botella, C., Osmá, J., García-Palacios, A., Quero, S., Baños, R.M. Treatment of flying phobia using virtual reality: Data from a 1-year follow-up using a multiple baseline design. Clinical Psychology and Psychotherapy, Vol. 11, N. 5, pp. 311-323, 2004.

[Botella04b] Botella, C., Villa, H., García-Palacios, A., Baños, R.M., Perpiñá, C., Alcañiz, M. Clinically significant virtual environments for the treatment of panic disorder and agoraphobia. CyberPsychology & Behavior, Vol. 7, N. 5, pp. 527-535, 2004.

[Botella05a] Botella, C., Juan, M.C., Baños, R.M., Alcañiz, M., Guillén, V., Rey, B. Mixing realities, An Application of Augmented Reality for the Treatment of Cockroach phobia. Cyberpsychology & Behavior, Vol. 8, N. 2, pp. 162-171, 2005.

[Botella05b] Botella, C., García-Palacios, A., Baños, R.M., Guillén, V., Quero, S., Lasso de la Vega, N., Osmá, J. The treatment of emotions in a virtual world. Application in a case of posttraumatic stress disorder. Cyberpsychology & Behavior, Vol. 8, N. 4, pp. 305, 2005.

[Botella07] Botella, C., García-Palacios, A., Baños, R., Quero, S. Realidad Virtual y Tratamientos Psicológicos. Cuadernos de Medicina Psicosomática y Psiquiatría de Enlace, Vol. 82, pp. 17-31, 2007.

[Bouchard08] Bouchard, S., St-Jaques, J., Robillard, G. & Renaud, P. Anxiety increases the feeling of presence in Virtual Reality, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 17, N. 4, pp. 376-390, 2008.

[Brainstorm03] Brainstorm Team. Reference Guide. Brainstorm the realtime graphics suite, 2003.

[Carlin97] Carlin, A., Hoffman, H., Weghorst, S. Virtual reality and tactile augmentation in the treatment of spider phobia: a case report. Behaviour Research and Therapy, Vol. 35, N. 2, pp. 153-158, 1997.

[Chen95] Chen, S.E. QuickTime VR. An image-based approach to Virtual Environment Navigation. 22nd annual ACM conference on Computer Graphics, pp. 29-38, 1995.

[Choi01] Choi, Y.H., Jang, D.P., Ku, J.H., Shin, M.B., Kim, S.I. Short-term treatment of acrophobia with virtual reality therapy (VRT): A case report. CyberPsychology & Behavior, Vol. 4, N. 3, pp. 349-354, 2001.

[Cohen77] Cohen, D.C. Comparison of self-report and behavioral procedures for assessing acrophobia. Behavior Therapy, Vol. 8, N. 1, pp. 17-23, 1977.

[Costa92] Costa, P.T. Jr., McCrae, R.R. Revised NEO Personality Inventory (NEO-PI-R) and NEO Five Factor Inventory (NEO-FFI): professional manual. Odessa, FL. Psychological Assessment Resources, 1992.

[Cruz92] Cruz-Neira, C., Sandin, D., DeFanti, T., Kenyon, R., Hart, J., The CAVE®: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment. Communications of the ACM, Vol. 35, N. 6, pp. 65-72, 1992.

[Cruz95] Cruz-Neira, C. Projection based Virtual Reality: The CAVE and its Applications to Computational Science. PhD thesis, University of Illinois, Chicago, 1995.

[Emmelkamp01] Emmelkamp, P.M.G., Bruynzeel, M., Drost, L., van der Mast, C.A.P.G. Virtual reality treatment in acrophobia: a comparison with exposure in vivo. CyberPsychology & Behavior, Vol. 4, N. 3, pp. 335-339, 2001.

[Emmelkamp02] Emmelkamp, P.M.G., Krijn, M., Hulsbosch, A.M., de Vries, S., Schuemie, M.J., van der Mast, C.A.P.G. Virtual reality treatment versus exposure in vivo: a comparative evaluation in acrophobia. *Behaviour Research and Therapy*, Vol. 40, N. 5, pp. 509-516, 2002.

[Emmelkamp04] Emmelkamp, P. M. G. Behavior therapy with adults. In Lambert, M. (Ed.), *Handbook of Psychotherapy and Behavior Change*, fifth Edition, New York, Wiley, pp. 393-446, 2004.

[Emmelkamp08] Emmelkamp, P. M. G. Technological Advances in Therapy. [http://www.dgvt.de/fileadmin/user\\_upload/Fort-\\_und\\_Weiterbildung/Int.Fachtagung/Kongresse\\_Tagung/Emmelkamp.pdf](http://www.dgvt.de/fileadmin/user_upload/Fort-_und_Weiterbildung/Int.Fachtagung/Kongresse_Tagung/Emmelkamp.pdf). Última consulta Abril 2009.

[Flash08] Base de datos con multitud de sonidos, 2008 <http://www.flashkit.com/soundfx/>. Última consulta Abril 2009.

[Foa86] Foa, E. B., Kozak, M. J. Emotional processing of fear: exposure to corrective information. *Psychological Bulletin*, Vol. 99, N. 1, pp. 20-35, 1986.

[Foa00] Foa, E.B., Keane, T.M., Friedman, M.J. Practice guidelines from the international society for traumatic stress studies: Effective treatments for PTSD. New York. The Guilford Press, 2000.

[García02] García-Palacios, A., Hoffman, H., Carlin, A., Furness, T.A., Botella, C. Virtual reality in the treatment of spider phobia: a controlled study. *Behaviour Research and Therapy*, Vol. 40, N. 9, pp. 983-993, 2002.

[Harris02] Harris, S.H., Kemmerling, R.L., North, M.M. Brief virtual reality therapy for public speaking anxiety. *CyberPsychology & Behavior*, Vol. 5, N. 6, pp. 543-550, 2002.

[Heimberg93] Heimberg, R.G., Holt, C.S., Schneider, F.R., Spitzer, R.L., Liebowitz, M.L. The issue of subtypes in the diagnosis of social phobia. *Journal of Anxiety Disorders*, Vol. 7, N. 3, pp. 249-270, 1993.

[Hendrix96] Hendrix, C., Barfield, W. Presence within virtual environments as a function of visual display parameters. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 5, N. 3, pp. 274-289, 1996.

[Heeter92] Heeter, C. Being There: The subjective experience of presence. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, Vol. 1, N. 2, pp. 262-271, 1992.



[Hodges94] Hodges, L.F., Rothbaum, B.O., Kooper, R., Opdyke, D., Meyer, T., de Graaff, J.J., et al. Presence as The Defining Factor in a VR Application: Virtual Reality Graded Exposure in the Treatment of Acrophobia. Technical Reports GIT-GVU. 94-06. Georgia Institute of Technology, 1994.

[Hodges95] Hodges, L., Kooper, R., Meyer, T., Rothbaum, B., Opdyke, D., de Graaff, J., Williford, J., North, M. Virtual environments for treating the fear of heights, Vol. 28, N. 7, pp. 27-34, 1995.

[Hoffman03] Hoffman, H.G., García-Palacios, A., Carlin, A., Botella C. Interfaces that heal: coupling real and virtual objects to treat spider phobia. International Journal of Human-Computer Interaction, Vol. 16, N. 2, pp. 283-300, 2003.

[Ibrahim08] Ibrahim, N., Balbed, M.A.M., Yusof, A.M., Hani, F., Singh, J., Shahidan, M.S. Virtual Reality Approach in Acrophobia Treatment. 7th WSEAS Int. Conf. on Applied Computer & Applied Computational Science (ACACOS '08), pp 194-197, 2008.

[Jang00] Jang, D.P., Ku, J.H., Shin, M.B., Choi, Y.H., Kim, S.I. Objective validation of the effectiveness of virtual reality psychotherapy. CyberPsychology y Behavior, Vol. 3, N. 3, pp. 369-374, 2000.

[Jang02] Jang, D.P., Ku, J.H., Choi, Y.H., Wiederhold, B.K., Nam, S.W., Kim, I.Y., Kim, S.I. The development of virtual reality therapy (VRT) system for the treatment of acrophobia and therapeutic case. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol. 6, N.3, pp. 213-217, 2002.

[Juan05] Juan, M.C., Alcañiz, M., Monserrat, C., Botella, C., Baños, R., Guerrero, B., Using Augmented Reality to treat phobias. IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 25, N. 6, pp. 31-37, 2005.

[Juan06a] Juan, M.C., Baños, R., Botella, C., Pérez, D., Alcañiz, M., Monserrat, C. An Augmented Reality System for acrophobia: The sense of presence using immersive photography. Presence: Teleoperators & Virtual Environments, Vol. 15, N.4, pp. 393-402, 2006.

[Juan06b] Juan, M.C., Joele, D. Baños, R., Botella, C., Alcañiz, M., Van der Mast, C. A markerless augmented reality system for the treatment of phobia to small animals. The 9th international workshop on presence, Presence 06, pp. 71-74, 2006.

[Juan07] Juan, M.C., Alcañiz, M., Calatrava, J., Zaragoza, I., Baños, R., Botella, C. An Optical see-through Augmented Reality system for the treatment of phobias to small animals. Lecture Notes in Computer Science: ICVR 2007. Vol. 4563, pp. 651-659, 2007.

[Kalman08] Filtro de Kalman, 2008 [http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro\\_de\\_Kalman](http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_de_Kalman). Última consulta Abril 2009.

[Kato99] Kato, H., Billinghurst, M. Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-Based Augmented Reality Conferencing System. 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, pp. 85-94, 1999.

[Kato00] Kato, H., Billinghurst, M., Poupyrev, I. Manual ARToolKit versión 2.33, 2000. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/Papers/isar2000.pdf>. Última consulta Abril 2009.

[Kiyokawa00] Kiyokawa, K., Kurata, Y., Ohno, H. An Optical See-through Display for Mutual Occlusion of Real and Virtual Environments. In proceedings of IEEE & ACM ISAR 2000, pp. 60-67, 2000.

[Klein99] Klein R.A. Treating fear of flying with virtual reality exposure therapy. In Vandecreek, L., y Jackson, T. L. (eds), Innovations in clinical practice: A source book, Vol. 17. pp. 449-465, 1999.

[Klinger05] Klinger, E., Bouchard, S., Légeron, P., Roy, S., Lauer, F., Chemin, I., Nugues, P. Virtual reality therapy versus cognitive behaviour therapy for social phobia: A preliminary controlled study. CyberPsychology & Behavior, Vol. 8, N. 1, pp. 76-88, 2005.

[Knox93] Knox, D., Schacht, C., Turner, J. Virtual reality: A proposal for treating test anxiety in college students. College Student Journal, Vol. 27, pp. 294-296, 1993.

[Krijn04] Krijn, M., Emmelkamp, P.M.G., Olafsson, R.P., Biemond, R. Virtual reality exposure therapy of anxiety disorders: A review. Clinical Psychology Review, Vol. 24, N. 3, pp. 259-281, 2004.

[Krijn06] Krijn, M. Virtual Reality and Specific Phobias, Welcome to the real world. Tesis doctoral. University of Amsterdam, 2006.

[Krijn07] Krijn, M., Emmelkamp, P.M.G., Olafsson, R.P., Schuemie, M.J., van der Mast, C.A.P.G. Do Self-Statements Enhance the Effectiveness of Virtual Reality Exposure Therapy? A Comparative Evaluation in Acrophobia. *CyberPsychology & Behavior*, Vol. 10, N. 3, pp. 362-370, 2007.

[Lozano03] Lozano Quilis, José Antonio. *Teleterapia Virtual: un Nuevo Paradigma de Telemedicina para el Tratamiento de Trastornos Psicológicos*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia 2003.

[Lombard00] Lombard, M. Resources for the study of presence: Presence explication, about presence. [http://www.temple.edu/ispr/frame\\_explicat.htm](http://www.temple.edu/ispr/frame_explicat.htm). Última consulta Abril 2009.

[Maltby02] Maltby, N., Kirsch, I., Mayers, M., Allen, G.J. Virtual reality exposure therapy for the treatment of fear of flying: A controlled investigation. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, Vol. 70, N. 5, pp. 1112-1118, 2002.

[Marks92] Marks, I.M. Tratamiento de exposición en la agorafobia y el pánico. En E. Echeburua, (Ed.), *Avances en el tratamiento psicológico de los trastornos de ansiedad*, 1992.

[Meehan01] Meehan, M. J. Physiological reaction as an objective measure of presence in virtual environments. The University of North Carolina at Chapel Hill, 2001.

[Meehan02] Meehan, M., Insko, B., Whitton, M., Brooks, F.P. Jr. Physiological measures of presence in stressful virtual environments. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. Vol. 21, N. 3, pp. 645-652, 2002.

[Milgram94] Milgram, P., Kishino, F., A taxonomy of mixed reality visual displays, IEICE(Institute of Electronics, Information and Communication Engineers) *Transactions on Information and Systems*, Special issue on Networked Reality, Vol. 77, N. 12, pp. 1321-1329, 1994.

[Minsky80] Minsky, M. Telepresence. *Omni*. Vol. 2, N. 9, pp. 45-52, 1980.

[Moore02] Moore, K., Wiederhold, B.K., Wiederhold, M.D., Riva, G. Panic and agoraphobia in a virtual world. *CyberPsychology & Behavior*, Vol. 5, N. 3, pp. 197-202, 2002.

[Mühlberger03] Mühlberger, A., Wiedemann, G., Pauli, P. Efficacy of one-session virtual reality exposure treatment for fear of flying. *Psychotherapy Research*, Vol. 13, N. 3, pp. 323-336, 2003.

[North95] North, M.M., North, S.M., Coble, J.R., Effectiveness of virtual environment desensitization in the treatment of agoraphobia. *International Journal of Virtual Reality*, Vol. 1, N. 2, pp. 25-34, 1995.

[North96a] North, M.M., North, S.M., Coble, J.R. Effectiveness of virtual environment desensitization in the treatment of agoraphobia. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 5, N. 3, pp. 346-352, 1996.

[North96b] North, M., North, N., Virtual reality psychotherapy, *The Journal of Medicine and Virtual Reality*, Vol. 1, N. 2, pp. 28-32, 1996.

[North97] North, M.M., North, S.M., Coble, J.R. Virtual reality therapy for fear of flying. *American Journal of Psychiatry*, 1997; Vol. 154, N. 1, pp. 130.

[North02] North, M.M., North, S.M., Coble, J.R. Virtual reality therapy: an effective treatment for psychological disorders. *Handbook of Virtual Environments. Design, Implementation and Applications*, Kay M. Stanney (Ed.), pp. 1065-1077, 2002.

[Panorama08] Panorama Tools of Helmut Dersch, 2008, <http://fh-furtwangen.de/~dersch>. Última consulta Abril 2009.

[Patrick00] Patrick, E., Cosgrove, D., Slavkovic, A., Rode, J.A., Verratti, T., Chiselko, G. Using a Large Projection Displays Screen as an Alternative to Head-Mounted Displays for Virtual Environments. *CHI' 2000*, Vol. 2, N. 1, pp. 479-485, 2000.

[Pérez07] Pérez, D., Juan M.C., Alcañiz M., Botella C., Baños R. Two similar Systems for the Treatment of Acrophobia, An Augmented Reality System and a Virtual Reality System. *12th International Conference, HCI International 2007*, pp. 850-854, 2007.

[Pertaub02] Pertaub, D., Slater, M., Baker, C. An experiment on public speaking anxiety in response to three different types of virtual audience. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, Vol. 11, N. 1, pp. 68-78, 2002.

[Portalés08] Portalés C. Entornos multimedia de Realidad Aumentada en el campo del arte. Tesis doctoral. Facultad de Bellas Artes, Universidad Politécnica de Valencia, 2008.

[Ramsamy06] Ramsamy, P., Haffegge, A., Jamieson, R., Alexandrov, V. Using Haptics to Improve Immersion in Virtual Environments. *International Conference on Computational Science N° 6, Reading , ROYAUME-UNI 2006*, Vol. 3994, pp. 603-609, 2006.

[Rolland94] Rolland, J., Rich, H., Fuchs, H. A Comparison of Optical and Video See-Through Head-Mounted Displays. SPIE: Telemanipulator and Telepresence Technologies, pp. 293-307, 1994.

[Rothbaum95a] Rothbaum, B.O., Hodges, L.F., Kooper, R., Opdyke, D., Williford, J.S., North, M. Virtual-Reality Graded Exposure in the Treatment of Acrophobia - A Case Report. Behaviour Therapy, Vol. 26 N. 3, pp. 547-554, 1995.

[Rothbaum95b] Rothbaum, B.O., Hodges, L., Kooper, R., Opdyke, D., Williford, J. S., North, M. Effectiveness of computergenerated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia. American Journal of Psychiatry, Vol. 152, N. 4, pp. 626-628, 1995.

[Rothbaum96] Rothbaum, B.O., Hodges, L., Watson, B.A., Kessler, G.D., Opdyke, D. Virtual reality exposure therapy in the treatment of fear of flying: A case report. Behaviour Research and Therapy, Vol. 34, N. 5-6, pp. 477-481, 1996.

[Rothbaum99] Rothbaum, B.O., Hodges, L., Alarcon, R.D., Ready, D., Shahar, F., Graap, K., Pair, J., Herber, P., Gotz, D., Wills, B., Baltzell, D. Virtual reality exposure therapy for Vietnam veterans with posttraumatic stress disorder. Journal of Traumatic Stress, Vol. 12, N. 2, pp. 263-271, 1999.

[Rothbaum00] Rothbaum, B.O., Hodges, L., Smith, S., Lee, J.H., Price, L. A controlled study of virtual reality exposure therapy for fear of flying. Journal of consulting and Clinical Psychology, Vol, 68, N. 6, pp. 1020-1026, 2000.

[Rothbaum01] Rothbaum, B.O., Hodges, L., Ready, D., Graap, K., Alarcon, R.D. Virtual reality exposure therapy for Vietnam veterans with posttraumatic stress disorder. Journal of Clinical Psychiatry, Vol. 62, N. 8, pp. 617-622, 2001.

[Rothbaum02] Rothbaum, B.O., Hodges, L., Anderson, P.L., Price, L., Smith, S. Twelve-month follow-up of virtual reality and standard exposure therapies for the fear of flying. Journal of Consulting and Clinical Psychology, Vol. 70, N. 2, pp. 428-432, 2002.

[Roy03] Roy, S., Klinger, E., Légeron, P., Lauer, F., Chemin, I., Nugues, P. Definition of a VR-based protocol to treat social phobia. CyberPsychology & Behavior, Vol. 6, N. 4, pp. 411-420, 2003.

[Schuemie00] Schuemie, M.J., Bruynzeel, M., Drost, L., Brinckman, M., de Haan, G., Emmelkamp, P.M.G, van der Mast, C.A.P.G. Treatment of Acrophobia in Virtual Reality: a Pilot Study. Euromedia 2000. May 8–10, pp. 271-275, 2000.

[Schneider82] Schneider, J. Lens-assisted in vivo desensitisation to heights. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, Vol. 13, N. 4, pp. 333-336, 1982.

[Slater94] Slater, M., Usoh, M., Steed, A. Depth of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 3, pp. 130-144, 1994.

[Slater97] Slater, M., Wilbur, S. A framework for immersive virtual environment (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 6, N. 6, pp. 603–616, 1997.

[Slater99] Slater, M., Pertaud, D.P., Steed, A. Public speaking in virtual reality: Facing an audience of avatars. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 19, N. 2, pp. 6-9, 1999.

[Tellegen74] Tellegen, A., Atkinson, G. Openness to absorbing and self-altering experiences ("Absorption"), a trait related to hypnotic susceptibility. *Journal of Abnormal Psychology*, Vol. 83, pp. 268-277, 1974.

[Timmins05] Timmins, L.R., Lombard, M. When "real" seems medicated: Inverse presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 14, N. 4, pp. 492–500, 2005.

[Usoh00] Usoh, M., Catena, E., Arman, S., Slater, M. Using presence questionnaires in reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 9, N.5, pp. 497-503, 2000.

[Vander00] Van der Maast, C. Virtual Reality and Phobias, <http://mmi.tudelft.nl/~vrphobia/vrpsych.html>. Última consulta Marzo 2009.

[Vallino08] Vallino, Introduction to Augmented Reality, <http://www.se.rit.edu/%7Ejrv/research/ar/introduction.html>. Última consulta Abril 2009.

[Vincelli00] Vincelli, F., Choi, Y.H., Molinari, E., Wiederhold, B.K., Riva, G. Experiential cognitive therapy for the treatment of panic disorder with agoraphobia: definition of a clinical protocol. *CyberPsychology & Behavior*, Vol. 3, N. 3, pp. 375-385, 2000.

[Vincelli03] Vincelli, F., Anolli, L., Bouchard, S., Wiederhold, B.K., Zurloni, V., Riva, G. Experiential cognitive therapy in the treatment of panic disorder with agoraphobia: A controlled study. *CyberPsychology & Behavior*, Vol. 6, N. 3, pp. 321-328, 2003.

[Wald00] Wald, J., Taylor, S. Efficacy of virtual reality exposure therapy to treat driving phobia: a case report. *Journal of Behaviour Therapy and Experimental Psychiatry*, Vol. 31, N. 3-4, pp. 249-257, 2000.

[Wald03] Wald, J., Taylor, S. Preliminary research on the efficacy of virtual reality exposure therapy to treat driving phobia. *CyberPsychology & Behavior*, Vol. 6, N. 5, pp. 459-465, 2003.

[Walshe03] Walshe, D.G., Lewis, E.J., Kim, S.I., O'Sullivan, K., Wiederhold, B.K. Exploring the use of computer games and virtual reality in exposure therapy for fear of driving following a motor vehicle accident. *CyberPsychology & Behavior*, Vol. 6, N. 3, pp. 329-334, 2003.

[Wiederhold98] Wiederhold, B.K., Gervitz, R., Wiederhold, M.D. Fear of flying: A case report using virtual reality therapy with physiological monitoring. *CyberPsychology & Behavior*, Vol. 1, N. 2, pp. 97-103, 1998.

[Wiederhold99] Wiederhold, B.K. A comparison of imaginal exposure and virtual reality exposure for the treatment of fear of flying. *Dissertation Abstracts International: Section B: The Sciences y Engineering*, Vol. 60, N. 4, pp. 1837, 1999.

[Wiederhold00] Wiederhold, B.K., Wiederhold, M.D. Lessons learned from 600 virtual reality sessions. *Cyberpsychology & Behavior*, Vol. 3, N. 3, pp. 393-400, 2000.

[Witmer98] Witmer, B.G., Singer, M.J. Measuring Presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 7, N. 3, pp. 225-240, 1998.

[Xsens08] Xsens Motion Technologies, 2008 <http://www.xsens.com/>. Última consulta Abril 2009.

# Anexos

## ***I. Cuestionarios de acrofobia***

Estos cuestionarios fueron diseñados por Cohen en 1977 [Cohen77].

### **CUESTIONARIO DE MIEDO A LAS ALTURAS (ANSIEDAD)**

A continuación te vamos a presentar un listado con una serie de situaciones relacionadas con las alturas. Nos gustaría saber cuánta ansiedad (tenso, inseguro) experimentarías en esta clase de situaciones, en tu vida corriente.

Puedes indicar cómo te encontrarías escribiendo en la parte izquierda de cada situación descrita los siguientes números (0,1,2,3,4,5,6). El significado de cada número es el siguiente:

- 0 nada ansioso
- 1
- 2 un poco ansioso
- 3
- 4 moderadamente ansioso
- 5
- 6 extremadamente ansioso

- 1.- Saltar desde el trampolín más bajo de una piscina.
- 2.- Cruzar un río pequeño caminando sobre piedras.
- 3.- Mirar hacia abajo desde varios pisos en una escalera de caracol.
- 4.- Mantenerse de pie en una escalera de mano apoyada a la parte exterior de una casa a la altura de un segundo piso.
- 5.- Sentarse en el palco del segundo piso de un teatro.
- 6.- Subirse a una noria grande de feria.
- 7.- Durante una excursión, subir a una colina empinada.
- 8.- Hacer un viaje en avión hasta Londres.
- 9.- Estar al lado de una ventana abierta en el tercer piso.
- 10.- Cruzar por un paso elevado de peatones que cruza la autopista.
- 11.- Conducir por un puente alto.
- 12.- Estar lejos de una ventana en una oficina en el piso 15°.
- 13.- Ver limpiadores de ventanas sobre una pequeña plataforma, a una altura de diez pisos.
- 14.- Caminar por la acera sobre un entramado metálico a través del cual, se puede ver lo que hay debajo.
- 15.- Estar de pie en el borde del andén en una estación de metro.
- 16.- Subir una escalera de incendios hasta el tercer piso.
- 17.- Estar en el tejado de un edificio de diez pisos.
- 18.- Coger el ascensor para ir al piso 50 de un edificio.
- 19.- Estar subido en una silla para coger algo de una estantería.
- 20.- Pasear por la cubierta de un barco durante un crucero.



## CUESTIONARIO DE MIEDO A LAS ALTURAS (EVITACIÓN)

Acabas de indicar en el apartado anterior cuánta ansiedad experimentarías en cada una de las situaciones. Ahora, nos gustaría que indicaras en qué medida evitarías cada situación. En la parte izquierda de cada frase indica en qué medida evitarías la situación, si ocurriera en este momento.

0.- No lo evitaría

1

2.- Intentaría evitarlo

3.- Lo evitaría absolutamente.

- 1.- Saltar desde el trampolín más bajo de una piscina.
- 2.- Cruzar un río pequeño caminando sobre piedras.
- 3.- Mirar hacia abajo desde varios pisos en una escalera de caracol.
- 4.- Mantenerse de pie en una escalera de mano apoyada a la parte exterior de una casa a la altura de un segundo piso.
- 5.- Sentarse en el palco del segundo piso de un teatro.
- 6.- Subirse a una noria grande de feria.
- 7.- Durante una excursión, subir a una colina empinada.
- 8.- Hacer un viaje en avión hasta Londres.
- 9.- Estar al lado de una ventana abierta en el tercer piso.
- 10.- Cruzar por un paso elevado de peatones que cruza la autopista.
- 11.- Conducir por un puente alto.
- 12.- Estar lejos de una ventana en una oficina en el piso 15°.
- 13.- Ver limpiadores de ventanas sobre una pequeña plataforma, a una altura de diez pisos.
- 14.- Caminar por la acera sobre un entramado metálico a través del cual, se puede ver lo que hay debajo.
- 15.- Estar de pie en el borde del andén en una estación de metro.
- 16.- Subir una escalera de incendios hasta el tercer piso.
- 17.- Estar en el tejado de un edificio de diez pisos.
- 18.- Cogér el ascensor para ir al piso 50 de un edificio.
- 19.- Estar subido en una silla para coger algo de una estantería.
- 20.- Pasear por la cubierta de un barco durante un crucero.

## **CUESTIONARIO DE MIEDO A LAS ALTURAS (ANSIEDAD). Reducido**

A continuación te vamos a presentar un listado con una serie de situaciones relacionadas con las alturas. Nos gustaría saber cuánta ansiedad (tenso, inseguro) experimentarías en esta clase de situaciones, en tu vida corriente.

Puedes indicar cómo te encontrarías escribiendo en la parte izquierda de cada situación descrita los siguientes números (0,1,2,3,4,5,6). El significado de cada número es el siguiente:

- 0 nada ansioso
- 1
- 2 un poco ansioso
- 3
- 4 moderadamente ansioso
- 5
- 6 extremadamente ansioso

\_\_\_\_\_ Mantenerse de pie en una escalera de mano apoyada a la parte exterior de una casa a la altura de un segundo piso.

\_\_\_\_\_ Subirse a una noria grande de feria.

\_\_\_\_\_ Ver limpiadores de ventanas sobre una pequeña plataforma, a una altura de diez pisos.

## **II. Cuestionarios sobre presencia**

Estos cuestionarios están basados en los que diseñaron Slater et al. en 1994 [Slater94]. Se han adaptado las cuestiones para que sean adecuadas al contexto de cada estudio.

### **CUESTIONARIO DE SLATER “FOTO NAVEGABLE”**

A continuación te vamos a hacer una serie de preguntas. El objetivo es saber hasta qué punto has considerado real o no las cosas que has visto, y hasta qué punto has sentido que "tú estabas ahí", en esa situación. Queremos saber hasta qué punto la experiencia ha sido parecida a ver una imagen o una película de cine, o ha sido la realidad que estabas viviendo.

**1. Por favor, valora la sensación que has tenido de estar en un espacio en el que hay una escalera, en una escala de 1 a 7 (donde 7 representa tu experiencia normal de estar en un lugar).**

*Tuve la sensación de "estar ahí", en un espacio en el que hay una escalera.*

1-Nada en absoluto, 7-Totalmente.

**2. Por favor, valora en una escala de 1 a 7 si hubo momentos durante la experiencia en los que creíste que este espacio en el que hay una escalera era real.**

*Hubo momentos durante la experiencia en que este espacio en el que hay una escalera era real para mí.*

1-En ningún momento, siempre me pareció totalmente irreal, 7-Me pareció real todo el tiempo.

**3. Ahora, al reflexionar y pensar sobre la experiencia que has vivido, ¿cómo recuerdas el espacio en el que hay una escalera, como una imagen (una película, una foto) que has visto, o como un sitio en el que tú has estado?**

*Al pensar en el espacio en el que hay una escalera, la recuerdo más como...*

1-Imágenes que he visto, 7-Como un sitio en el que he estado.

**4. Mientras duraba esta experiencia, ¿lo que has sentido con más fuerza es que estabas "en un espacio en el que hay una escalera", o has sentido que estabas en otro lugar?**

*Mi mayor sensación fue la de ...*

1-Estar en algún otro lugar, 7-Estar en el espacio en el que hay una escalera.

**5. Piensa en el recuerdo que tienes de estar en "un espacio en el que hay una escalera" ¿Hasta qué punto ese recuerdo es similar a otros recuerdos que tienes de haber estado en otros sitios? (Considera cosas tales como: el grado en que ese recuerdo es en color, es vívido o realista, su tamaño, su localización en tu imaginación, etc.)**

1-Totalmente distinto, 7-Completamente igual.

**6. Mientras duró la experiencia, solías pensar que tú estabas realmente en un espacio en el que hay una escalera.**

*Durante la experiencia, solía pensar que estaba en un espacio en el que hay una escalera.*

1-Nunca ... 7-Todo el rato.

## CUESTIONARIO DE SLATER HABITACIÓN

A continuación te vamos a hacer una serie de preguntas. El objetivo es saber hasta qué punto has considerado real o no las cosas que has visto, y hasta qué punto has sentido que “tú estabas ahí”, en esa situación. Queremos saber hasta qué punto la experiencia ha sido parecida a ver una imagen o una película de cine, o ha sido la realidad que estabas viviendo.

**1. Por favor, valora en una escala de 1 a 7 la sensación que has tenido de estar en una habitación (donde 7 representa tu experiencia normal de estar en un lugar).**

*Tuve la sensación de “estar ahí”, en una habitación.*

1-Nada en absoluto, 7-Totalmente.

**2. Por favor, valora en una escala de 1 a 7 la sensación que has tenido de estar en una habitación en la que, en un momento determinado, el suelo bajo tus pies se hundía (donde 7 representa tu experiencia normal de estar en un lugar).**

*Tuve la sensación de “estar ahí”, en una habitación en la que el suelo se hundía.*

1-Nada en absoluto, 7-Totalmente.

**3. Por favor, valora en una escala de 1 a 7 la sensación que has tenido de estar en una habitación en la que, en un momento determinado, las paredes subían y quedabas encerrado por ellas (donde 7 representa tu experiencia normal de estar en un lugar).**

*Tuve la sensación de “estar ahí”, en una habitación en la que las paredes subían.*

1-Nada en absoluto, 7-Totalmente.

**4. Por favor, valora en una escala de 1 a 7 si hubo momentos durante la experiencia en los que creíste que la habitación era real.**

*Hubo momentos durante la experiencia en los que la habitación era real para mí.*

1-En ningún momento, siempre me pareció totalmente irreal, 7-Me pareció real todo el tiempo.

**5. Ahora, al reflexionar y pensar sobre la experiencia que has vivido, ¿cómo recuerdas la habitación, como una imagen (una película, una foto) que has visto, o como un sitio en el que tú has estado?**

*Al pensar en la habitación, la recuerdo más como...*

1-Imágenes que he visto, 7-Como un sitio en el que he estado.

**6. Mientras duraba esta experiencia, ¿lo que has sentido con más fuerza es que estabas “en una habitación”, o has sentido que estabas en otro lugar?**

*Mi mayor sensación fue la de ...*

1-Estar en algún otro lugar, 7-Estar en la habitación.

**7. Piensa en el recuerdo que tienes de estar en “la habitación” ¿Hasta qué punto ese recuerdo es similar a otros recuerdos que tienes de haber estado en otros sitios? (Considera cosas tales como: el grado en que ese recuerdo es en color, es vívido o realista, su tamaño, su localización en tu imaginación, etc.)**

1-Totalmente distinto, 7-Completamente igual.

**8. Piensa en el recuerdo que tienes de la experiencia “el suelo se hundía”,  
¿Hasta qué punto ese recuerdo es similar al que consideras podrías experimentar  
en una situación así?**

**¿Hasta qué punto ese recuerdo es similar a otras experiencias relacionadas con  
“caerse” o “hundirse”? (Considera cosas tales como: las sensaciones físicas, el  
sobresalto, el grado en que el recuerdo es vívido o realista, el grado en que ese recuerdo  
es en color, o su localización en tu imaginación, etc.)**

1-Totalmente distinto, 7-Completamente igual.

**9. Piensa en el recuerdo que tienes de la experiencia “las paredes subían”,  
¿Hasta qué punto ese recuerdo es similar al que consideras podrías experimentar  
en una situación así?**

**¿Hasta qué punto ese recuerdo es similar a otras experiencias relacionadas con  
“quedarse encerrado” o “atrapado”? (Considera cosas tales como: las sensaciones  
físicas, el sobresalto, el grado en que el recuerdo es vívido o realista, el grado en que ese  
recuerdo es en color, o su localización en tu imaginación, etc.)**

1-Totalmente distinto, 7-Completamente igual.

**10. Mientras duró la experiencia, solías pensar que tú estabas realmente en una  
habitación.**

*Durante la experiencia, solía pensar que estaba en una habitación.*

1-Nunca, 7-Todo el rato.

## CUESTIONARIO DE SLATER “FOTO NAVEGABLE” EN CAVE

A continuación te vamos a hacer una serie de preguntas. El objetivo es saber hasta qué punto has considerado real o no las cosas que has visto, y hasta qué punto has sentido que “tú estabas ahí”, en esa situación. Queremos saber hasta qué punto la experiencia ha sido parecida a ver una imagen o una película de cine, o ha sido la realidad que estabas viviendo. Por favor, contesta a:

**1. Por favor, valora la sensación que has tenido de estar en una presa, en una escala de 1 a 7 (donde 7 representa tu experiencia normal de estar en un lugar).**

*Tuve la sensación de “estar ahí”, en una presa.*

1-Nada en absoluto, 7-Totalmente.

**2. Por favor, valora en una escala de 1 a 7 si hubo momentos durante la experiencia en los que creíste que la presa era real**

*Hubo momentos durante la experiencia en que la presa era real para mí.*

1-En ningún momento, siempre me pareció totalmente irreal, 7-Me pareció real todo el tiempo.

**3. Ahora, al reflexionar y pensar sobre la experiencia que has vivido, ¿cómo recuerdas la presa, como una imagen (una película, una foto) que has visto, o como un sitio en el que tú has estado?**

*Al pensar en la presa, la recuerdo más como...*

1-Imágenes que he visto, 7-Como un sitio en el que he estado.

**4. Mientras duraba esta experiencia, ¿lo que has sentido con más fuerza es que estabas “en una presa”, o has sentido que estabas en otro lugar?**

*Mi mayor sensación fue la de ...*

1-Estar en otro lugar, 7-Estar en una presa.

**5. Piensa en el recuerdo que tienes de estar en “una presa” ¿Hasta qué punto ese recuerdo es similar a otros recuerdos que tienes de haber estado en otros sitios?**

(Considera cosas tales como: el grado en que ese recuerdo es en color, es vívido o realista, su tamaño, su localización en tu imaginación, etc.)

1-Totalmente distinto, 7-Completamente igual.

**6. Mientras duró la experiencia, solías pensar que tú estabas realmente en una presa.**

*Durante la experiencia, solía pensar que estaba en una presa.*

1-Nunca, 7-Todo el rato.

**7. Por favor, escribe cualquier comentario que quieras sobre la experiencia. Especialmente todo aquello que te ayudó a sentir que estabas en una presa.**

### **III. Cuestionario de juicio de realidad (CPYJR)**

Este cuestionario está basado en el que diseñaron Baños et al. en el año 2000 [Baños00]. Se han adaptado las cuestiones para que sean adecuadas al contexto del estudio.

#### **CUESTIONARIO DE JUICIO DE REALIDAD ESTUDIO RA VS. RV**

Nos gustaría saber qué te ha parecido la experiencia que acabas de tener, para ello te pedimos que nos indiques con sinceridad tu grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones.

( 0 = nada de acuerdo y 10 = completamente de acuerdo)

1. He podido percibir (con la vista) con claridad el ambiente visualmente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2. Lo que percibía con la vista me parecía similar a la realidad	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3. He oído con claridad los sonidos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4. Lo que he percibido con el oído me ha parecido similar a la realidad	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5. He sentido/notado sensaciones corporales (calor, frío, etc.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6. Me he sentido/notado a mí mismo físicamente en el ambiente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7. Las distintas percepciones que he tenido (visuales, auditivas, somáticas, etc.) han sido congruentes/coherentes entre sí	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8. Las imágenes virtuales tenían calidad	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9. Me han pasado cosas en esta experiencia que no esperaba que me pasaran	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10. Las cosas que he percibido han sido impactantes para mí	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11. Lo que he vivido se ajusta a lo que esperaba que ocurriese en esta experiencia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12. Creo que lo que he vivido ha sido una ficción	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13. He sentido que estaba dentro del ambiente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14. La experiencia me ha parecido real	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15. Me he sentido como un espectador externo y pasivo de la experiencia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16. El ambiente respondía a las acciones que yo hacía	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17. Creo que otras personas parecidas a mí habrían tenido una experiencia similar a la mía en el mundo virtual	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



18. La experiencia me ha parecido un sitio que he visitado, en el que he estado	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
19. La experiencia me ha parecido un sitio que sólo he visto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20. Creo que la experiencia que he tenido es capaz de inducir emociones	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21. Lo que he vivido me ha producido alguna emoción (ansiedad, alegría, tristeza, etc.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22. Me he implicado emocionalmente en la experiencia que he tenido	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23. He querido/deseado “dejarme llevar” por la experiencia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24. Me he metido en la experiencia hasta casi olvidarme del mundo exterior	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25. Los mecanismos de control (ratón, guante o cualquier otro) han sido fáciles de manipular	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
26. La interacción con el ambiente me ha parecido natural, como las interacciones en el mundo real	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
27. Los objetos virtuales estaban presentes en el ambiente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
28. Podía interactuar con el ambiente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
29. Los objetos virtuales me han parecido reales	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30. Lo que he vivido es consistente/coherente con otras experiencias mías en el mundo real	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31. Lo que he vivido es diferente de otras experiencias mías en el mundo real	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
32. Me he podido desplazar por el ambiente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
33. Mis movimientos me han parecido naturales, no forzados	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
34. Había retraso entre mis acciones y sus efectos en el ambiente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
35. Me ha sido fácil acostumbrarme al ambiente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
36. Me ha costado “meterme” en la experiencia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
37. La experiencia me ha supuesto un esfuerzo mental	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
38. He sentido que tenía que estar atento a lo que pasaba y no despistarme	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
39. La experiencia me hizo aprender algo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
40. Las acciones y cosas que pasaban tenían continuidad, es decir, no había cambios bruscos entre ellas, era como si fuera una película	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
41. He sentido que era yo quien controlaba la experiencia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
42. He asumido un rol, un papel durante la experiencia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
43. He podido estimar correctamente el tiempo que he estado dentro del ambiente	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

44. He sentido que era necesario poner los cinco sentidos en lo que estaba haciendo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
45. Me he sentido satisfecho de mí mismo en la experiencia que he vivido	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
46. Me he aburrido durante la experiencia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
47. La experiencia me ha decepcionado	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
48. Me gustaría repetir la experiencia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
49. Pienso que a esta experiencia le faltaban sensaciones	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50. Pienso que a esta experiencia le faltaban emociones	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
51. Me he llegado a olvidar de que estaba en una habitación con un casco puesto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
52. Todo esto no me parece más que un juego de ordenador, un entretenimiento	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
53. La calidad de las imágenes ha influido en lo real que me parecía la experiencia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
54. Lo que oía y la calidad de los sonidos ha influido en lo real que me parecía la experiencia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
55. Las sensaciones corporales que he tenido me han ayudado a sentirme más dentro de la experiencia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
56. El sonido me ha ayudado a sentirme más dentro de la experiencia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
57. La visión me ha ayudado a sentirme más dentro de la experiencia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

#### ***IV. Cuestiones sobre la experiencia***

Estos dos cuestionarios se diseñaron y utilizaron únicamente en el estudio Habitación con agujero, RV vs. RA.

##### **CUESTIONES SOBRE TU EXPERIENCIA (1)**

- 1. ¿Podrías decir cuántas mesas había en la habitación?**
- 2. ¿De qué color era la moqueta del suelo?**
- 3. ¿De qué color era la pared cuando se produjo la experiencia “el suelo se hundía”?**
- 4. ¿En este momento tienes o has tenido alguna vez miedo a las alturas?**
- 5. ¿En este momento tienes o has tenido alguna vez miedo a los espacios cerrados?**

## **CUESTIONES SOBRE TU EXPERIENCIA (2)**

- 1. ¿Cuántas sillas había en la habitación?**
- 2 ¿De qué color eran las paredes de la habitación?**
- 3. ¿De qué color era la pared cuando se produjo la experiencia “las paredes subían”?**
- 4. ¿En este momento tienes o has tenido alguna vez miedo a las alturas?**
- 5. ¿En este momento tienes o has tenido alguna vez miedo a los espacios cerrados?**
- 6. Añade cualquier comentario que desees.**

## ***V. Preguntas de opinión abierta***

Este cuestionario se diseñó para el estudio Habitación con agujero, RV vs. RA. Sin embargo, también se utilizó en el estudio Habitación con agujero, HMD vs. CAVE.

NOMBRE:..... GRUPO  
EDAD  
.....ESTUDIO.....FECHA.....

### NOS GUSTARÍA SABER TU OPINIÓN (final)

1. ¿Qué es lo que más te ha hecho “meterte dentro” del ambiente virtual?
2. ¿Qué es lo que más te ha impedido “meterte dentro” del ambiente virtual?
3. ¿Qué cambiarías/eliminarías del ambiente virtual?
4. ¿Qué añadirías al ambiente virtual?
5. ¿Qué es lo que más te ha gustado?
6. ¿Qué es lo que menos te ha gustado?
7. ¿Te gustaría repetir la experiencia?
8. ¿Habías tenido antes algún contacto con la realidad virtual 3D? ¿En qué consistió?
9. En comparación con tu experiencia anterior, ¿cómo valorarías la experiencia de hoy? (Por favor, valórala de 0 a 10, donde 0-muchísimo peor la experiencia actual, 5-similares, y 10-muchísimo mejor la experiencia actual)
10. ¿Has tenido las mismas sensaciones, sensación de que se cae el suelo, suben las paredes, con los dos sistemas?
11. Si la respuesta es NO. Por favor, indica cuál de ellos te ha producido mayores sensaciones y valora dicha diferencia de 1 a 10 (1-Prácticamente iguales, 10-Muchísimo mejor). Indica qué ha sido diferente.
12. ¿Crees que es importante que puedas verte los pies al lado del agujero cuando se cae el suelo?
13. Si la respuesta es SÍ. Por favor, valora dicha importancia de 1 a 10 (1-Poco importante, 10-Muy importante). Añade el comentario al respecto que consideres.
- 14.- Haznos el comentario que quieras:

## VI. Cuestionario de personalidad

Este cuestionario fue diseñado por Costa et al. en 1992 [Costa92]

### CUESTIONARIO NEO FIVE FACTORS INVENTORY (NEO-FFI)

NOMBRE: \_\_\_\_\_  
EDAD \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
SEXO \_\_\_\_\_ NIVEL EDUCATIVO \_\_\_\_\_

Por favor, responde a cada una de las siguientes preguntas indicando si estás totalmente de acuerdo, de acuerdo, neutral, en desacuerdo o totalmente en desacuerdo.

0	1	2	3	4
Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo

#### NEO FIVE FACTORS INVENTORY (NEO-FFI)

1	A menudo me siento inferior a los demás	
2	Soy una persona alegre y animosa	
3	A veces, cuando leo poesía o contemplo una obra de arte, siento una profunda emoción o excitación	
4	Tiendo a pensar lo mejor de la gente	
5	Parece que nunca soy capaz de organizarme	
6	Rara vez me siento con miedo o ansioso	
7	Disfruto mucho hablando con la gente	
8	La poesía tiene poco o ningún efecto sobre mí	
9	A veces intimidado o adulo a la gente para que haga lo que yo quiero	
10	Tengo unos objetivos claros y me esfuerzo por alcanzarlos de forma ordenada	
11	A veces me vienen a la mente pensamientos aterradoros	
12	Disfruto en las fiestas en las que hay mucha gente	
13	Tengo una gran variedad de intereses intelectuales	
14	A veces consigo con artimañas que la gente haga lo que yo quiero	
15	Trabajo mucho para conseguir mis metas	
16	A veces me parece que no valgo absolutamente nada	
17	No me considero especialmente alegre	
18	Me despiertan la curiosidad las formas que encuentro en el arte y en la naturaleza	

19	Si alguien empieza a pelearse conmigo, yo también estoy dispuesto a pelear	
20	Tengo mucha auto-disciplina	
21	A veces las cosas me parecen demasiado sombrías y sin esperanza	
22	Me gusta tener mucha gente alrededor	
23	Encuentro aburridas las discusiones filosóficas	
24	Cuando me han ofendido, lo que intento es perdonar y olvidar	
25	Antes de emprender una acción, siempre considero sus consecuencias	
26	Cuando estoy bajo un fuerte estrés, a veces siento que me voy a desmoronar	
27	No soy tan vivo ni tan animado como otras personas	
28	Tengo mucha fantasía	
29	Mi primera reacción es confiar en la gente	
30	Trato de hacer mis tareas con cuidado, para que no haya que hacerlas otra vez	
31	A menudo me siento tenso e inquieto	
32	Soy una persona muy activa	
33	Me gusta concentrarme en un ensueño o fantasía y, dejándolo crecer y desarrollarse, explorar todas sus posibilidades	
34	Algunas personas piensan de mí que soy frío y calculador	
35	Me esfuerzo por llegar a la perfección en todo lo que hago	
36	A veces me he sentido amargado y resentido	
37	En reuniones, por lo general espero que hablen otros	
38	Tengo poco interés en andar pensando sobre la naturaleza del universo o de la condición humana	
39	Tengo mucha fe en la naturaleza humana	
40	Soy eficiente y eficaz en mi trabajo	
41	Soy bastante estable emocionalmente	
42	Huyo de las multitudes	
43	A veces pierdo el interés cuando la gente habla de cuestiones muy abstractas y teóricas	
44	Trato de ser humilde	
45	Soy una persona productiva, que siempre termina su trabajo	
46	Rara vez estoy triste o deprimido	
47	A veces reboso felicidad	
48	Experimento una gran variedad de emociones y sentimientos	
49	Creo que la mayoría de la gente con la trato es honrada y fidedigna	
50	En ocasiones primero actúo y luego pienso	
51	A veces hago las cosas impulsivamente y luego me arrepiento	
52	Me gusta estar donde está la acción	
53	Con frecuencia pruebo comidas nuevas o de otros países	

54	Puedo ser sarcástico y mordaz si es necesario	
55	Hay tantas pequeñas cosas que hacer que a veces lo que hago es no atender a ninguna	
56	Es difícil que yo pierda los estribos	
57	No me gusta mucho charlar con la gente	
58	Rara vez experimento emociones fuertes	
59	Los mendigos no me inspiran simpatía	
60	Muchas veces no preparo de antemano lo que tengo que hacer	

### **LIFE ORIENTATION TEST-REVISED (LOT-R)**

1	En tiempos difíciles, suelo esperar lo mejor	
2	Me resulta fácil relajarme	
3	Si algo malo me tiene que pasar, estoy seguro(a) de que me pasará	
4	Siempre soy optimista en cuanto al futuro	
5	Disfruto un montón de mis amistades	
6	Para mí es importante estar siempre ocupado(a)	
7	Rara vez espero que las cosas salgan a mi manera	
8	No me disgusto fácilmente	
9	Casi nunca cuento con que me sucedan cosas buenas	
10	En general, espero que me ocurran más cosas buenas que malas	



## VII. Cuestionario de absorción

Este cuestionario fue diseñado por Tellegen et al. en 1974 [Tellegen74].

### CUESTIONARIO TELLEGEN-ATKINSON

Lee atentamente las siguientes afirmaciones e indica, en cada una de ellas, en qué grado la experiencia descrita es aplicable marcando la respuesta apropiada con una cruz.

1	2	3	4	5
en absoluto, nunca	poco, raramente	algo, a veces	bastante, muchas veces	totalmente, siempre

1. El sonido de una voz puede ser para mí tan fascinante que simplemente me quedo escuchándola.	1	2	3	4	5
2. Al interpretar una obra, a veces he sentido realmente las emociones del personaje y “he llegado” a ser él (ella) durante ese momento, olvidándome tanto de mí mismo, como del público.	1	2	3	4	5
3. A veces recuerdo determinadas experiencias de mi vida con tal claridad y viveza como si las viviera de nuevo o casi.	1	2	3	4	5
4. Si quisiera, podría imaginar (o soñar despierto) algunas cosas tan vívidamente que capturarían mi atención del mismo modo que lo haría una buena película o una buena historia.	1	2	3	4	5
5. Sé contar una historia con tanto detalle para que suene bien que la historia me termina pareciendo tan real como el hecho real, o casi.	1	2	3	4	5
6. A veces soy capaz de olvidarme de mí mismo y meterme en la fantasía de que soy otra persona.	1	2	3	4	5