

# Índice general

Índice general.....	15
Índice de figuras .....	19
Índice de tablas.....	23
Capítulo 1. Introducción .....	25
1.1. Realidad virtual.....	27
1.1.1. Definición.....	27
1.2. Presencia.....	30
1.2.1. Definición.....	30
1.2.2. Facilitación .....	32
1.2.2.1 Inmersión .....	33
1.2.3. Medidas .....	37
1.2.3.1 Medidas subjetivas .....	38
1.2.3.2 Medidas objetivas .....	39
1.2.4. Estudios previos sobre presencia .....	43
1.2.4.1 Facilitación de la presencia .....	43
1.2.4.2 Uso de medidas subjetivas.....	45
1.2.4.3 Uso de medidas objetivas .....	46
1.3. Corporización.....	50
1.3.1. Definición.....	50
1.3.2. Facilitación .....	56
1.3.2.1 Ilusión de la mano de goma.....	57
1.3.3. Medidas .....	59
1.3.3.1 Medidas subjetivas .....	59
1.3.3.2 Medidas objetivas .....	59
1.3.4. Estudios previos sobre corporización.....	65
1.3.4.1 Facilitación de la corporización .....	65
1.3.4.2 Uso de medidas subjetivas.....	71
1.3.4.3 Uso de medidas objetivas .....	71
1.4. Ictus.....	81
1.4.1. Definición.....	81
1.4.2. Consecuencias .....	83

1.4.3.	Estudios previos sobre realidad virtual .....	88
1.4.4.	Estudios previos sobre presencia .....	90
1.4.5.	Estudios previos sobre corporización.....	91
1.5.	Limitaciones de la literatura existente .....	93
1.5.1.	Presencia.....	93
1.5.2.	Corporización.....	93
1.5.3.	Presencia y corporización .....	94
1.5.4.	Sistemas de estimulación visual y de registro corporal .....	95
1.6.	Hipótesis .....	96
1.6.1.	Hipótesis principal.....	96
1.6.2.	Hipótesis secundarias.....	96
1.7.	Objetivos .....	97
1.7.1.	Objetivo principal.....	97
1.7.2.	Objetivos secundarios .....	97
1.8.	Estructura de la tesis.....	98
Capítulo 2.	Caracterización de los sistemas de estimulación y registro .....	99
2.1.	Sistemas de estimulación visual.....	101
2.1.1.	Oculus Rift .....	102
2.1.2.	HTC Vive .....	104
2.1.3.	Características de los sistemas estimulación visual .....	105
2.1.4.	Estudio comparativo de sistemas de estimulación visual .....	107
2.1.4.1	Hipótesis y objetivos.....	107
2.1.4.2	Procedimiento.....	107
2.1.4.3	Análisis de los datos .....	109
2.1.4.4	Resultados .....	109
2.1.4.5	Discusión .....	111
2.2.	Sistemas de registro corporal.....	114
2.2.1.	Microsoft Kinect v1 .....	116
2.2.2.	Microsoft Kinect v2 .....	117
2.2.1.	Características de los sistemas de registro corporal .....	119
2.2.2.	Fuentes de error .....	121
2.2.3.	Estudio comparativo de sistemas de registro corporal .....	122
2.2.3.1	Hipótesis y objetivos.....	122
2.2.3.2	Procedimiento.....	122

2.2.3.3	Análisis de los datos .....	124
2.2.3.4	Resultados .....	124
2.2.3.5	Discusión .....	125
2.3.	Sistemas de registro fisiológico .....	128
2.3.1.	Actividad electrodérmica .....	128
2.3.2.	Temperatura de la piel .....	130
2.3.3.	Actividad electromiográfica .....	130
Capítulo 3.	Estudios .....	133
3.1.	Presencia e inmersión en individuos sanos .....	135
3.1.1.	Hipótesis y objetivos .....	135
3.1.2.	Participantes .....	135
3.1.3.	Materiales .....	135
3.1.4.	Procedimiento .....	137
3.1.4.1	Medidas .....	137
3.1.5.	Análisis de los datos .....	138
3.1.5.1	Análisis estadístico .....	138
3.1.6.	Resultados .....	138
3.1.7.	Discusión .....	139
3.2.	Corporización en individuos sanos de distintas edades .....	140
3.2.1.	Hipótesis y objetivos .....	140
3.2.2.	Participantes .....	140
3.2.3.	Materiales .....	141
3.2.4.	Procedimiento .....	141
3.2.4.1	Medidas .....	143
3.2.5.	Análisis de los datos .....	143
3.2.5.1	Análisis de la señal .....	143
3.2.5.2	Análisis estadístico .....	144
3.2.6.	Resultados .....	145
3.2.6.1	Diferencias entre grupos de edad .....	145
3.2.6.2	Relación entre la edad y la corporización .....	147
3.2.7.	Discusión .....	147
3.3.	Corporización en individuos con ictus .....	151
3.3.1.	Hipótesis y objetivos .....	151

3.3.2.	Participantes.....	151
3.3.3.	Materiales .....	153
3.3.4.	Procedimiento.....	153
3.3.4.1	Medidas .....	154
3.3.5.	Análisis de los datos .....	154
3.3.5.1	Análisis de señal .....	154
3.3.5.2	Análisis estadístico .....	155
3.3.6.	Resultados .....	155
3.3.6.1	Medidas subjetivas .....	155
3.3.6.2	Medidas fisiológicas .....	157
3.3.6.3	Interacción entre las respuestas subjetivas y fisiológicas.....	160
3.3.7.	Discusión .....	161
3.4.	Presencia y corporización en individuos sanos y con ictus.....	169
3.4.1.	Hipótesis y objetivos.....	169
3.4.2.	Participantes.....	169
3.4.3.	Materiales .....	170
3.4.4.	Procedimiento.....	172
3.4.4.1	Medidas .....	172
3.4.5.	Análisis de los datos .....	172
3.4.5.1	Análisis estadístico .....	172
3.4.6.	Resultados .....	173
3.4.7.	Discusión .....	175
Capítulo 4.	Conclusiones .....	179
4.1.	Objetivo principal.....	181
4.2.	Objetivos secundarios.....	182
Anexos	.....	183
Anexo I.	Cuestionario Embodiment of Rubber Hand Questionnaire.....	185
Anexo II.	Cuestionario Slater-Usoh-Steed .....	189
Bibliografía	.....	191
Méritos	.....	215
	Artículos en revista.....	217
	Artículos en congreso internacional.....	218
	Artículos en congreso nacional .....	220

# Índice de figuras

Figura 1. Componentes de la presencia.....	33
Figura 2. Sistema <i>VideoWall</i> .....	35
Figura 3. Sistema CAVE. Montaje experimental del sistema CAVE donde se observan <i>a)</i> unas gafas 3D, <i>b)</i> el dispositivo de interacción y <i>c)</i> las cámaras de seguimiento infrarrojas. ....	35
Figura 4. Sistema HMD Samsung Odyssey.....	36
Figura 5. Sistema de electroencefalografía. <i>a)</i> Sistema comercial StartStim y <i>b)</i> ejemplo de una señal obtenida con el sistema. ....	41
Figura 6. Sistema de resonancia magnética funcional. <i>a)</i> Sistema comercial Vintage Titan T3 y <i>b)</i> ejemplo de imagen tomada con el sistema.....	42
Figura 7. Capturas de un participante del estudio de Wagenmakers <i>et al.</i> Representación del estudio de <i>embodied cognition</i> , donde un usuario coge <i>a)</i> un lápiz entre sus dientes y <i>b)</i> entre sus labios. ....	51
Figura 8. Captura del experimento de Kalckert y Ehrsson. Método utilizado para realizar la estimulación visotáctil.....	55
Figura 9. Representaciones gráfica de distintas ilusiones corporales. Entre ellas se pueden encontrar: <i>a)</i> una ilusión de distorsión corporal, <i>b)</i> una experiencia extracorpórea y <i>c)</i> una ilusión de propiedad. ....	57
Figura 10. Montaje experimental del <i>Rubber Hand Illusion</i> . ....	58
Figura 11. Protocolo experimental para calcular la deriva propioceptiva durante el experimento del <i>Rubber Hand Illusion</i> .....	60
Figura 12. Esquema de la ilusión de distorsión corporal realizada por el grupo de Lackner <i>et al.</i> ....	66
Figura 13. Representación de la ilusión de la nariz fantasma llevada a cabo por el experimento de Hirsten <i>et al.</i> .....	67
Figura 14. Experimento llevado a cabo por Ehrsson <i>et al.</i> donde se inducía una experiencia extracorpórea en uno de los participantes de su estudio .....	69

Figura 15. Experimento llevado a cabo por Cebolla <i>et al.</i> donde se utilizaba <i>The Machine To Be Another</i> para promover una experiencia extracorpórea.....	70
Figura 16. Clasificación del ictus.....	81
Figura 17. Tipos de paresia.....	84
Figura 18. Ejemplos de espasticidad en un usuario con ictus.....	85
Figura 19. Comparación de estudios de realidad virtual y terapia convencional. Efecto en las funciones del miembro superior tras una intervención.....	89
Figura 20. Ejemplos de los primeros dispositivos de realidad virtual. <i>a)</i> Simulador Sensorama y <i>b)</i> dispositivo “espada de Damocles”.....	101
Figura 21. Versiones para desarrolladores del sistema Oculus Rift presentadas en <i>a)</i> 2013 y <i>b)</i> 2014 correspondientemente.....	102
Figura 22. Sistema Oculus Rift CV1 formado por <i>a)</i> el casco de visualización y por el <i>b)</i> módulo de seguimiento Constellation.....	103
Figura 23. Sistema HTC Vive formado por <i>a)</i> el casco de visualización y <i>b)</i> por diversos módulos de seguimiento.....	104
Figura 24. Posicionamiento de los dispositivos de seguimiento para el sistema <i>a)</i> Oculus Rift y <i>b)</i> HTC Vive.....	108
Figura 25. Comparación del área de trabajo recomendada y real registrada para el sistema <i>a)</i> Oculus Rift y <i>b)</i> HTC Vive.....	110
Figura 26. Versiones del dispositivo Kinect. A la izquierda la <i>a)</i> Kinect v1 y a la derecha la <i>b)</i> Kinect v2.....	115
Figura 27. Patrón de haces de luz infrarroja emitidos por la Kinect v1 y capturados mediante una cámara de visión nocturna.....	116
Figura 28. Esquema del funcionamiento de una cámara Time-of-Flight.....	118
Figura 29. Localización de las articulaciones obtenidas por los dispositivos <i>a)</i> Kinect v1 y <i>b)</i> Kinect v2.....	120
Figura 30. Rejilla diseñada para el estudio de comparación de sistemas de registro corporal.....	123

Figura 31. Montaje del sistema de seguimiento para el estudio de comparación de sistemas de registro corporal.....	123
Figura 32. Dispositivo portátil utilizado para medir la actividad electrodérmica Q Sensor.....	128
Figura 33. Amplificador utilizado para medir la actividad electrodérmica <i>a)</i> Refa y <i>b)</i> sensores conectados a la mano. ....	129
Figura 34. Sensores del dispositivo Q Sensor. ....	130
Figura 35. Sensorización de la electromiografía de superficie.....	131
Figura 36. Entorno virtual mostrado en el estudio de presencia e inmersión. El entorno se observaba desde la perspectiva de tercera persona. ....	136
Figura 37. Sensación de presencia promovida por el <i>head mounted display</i> y la pantalla de televisión. ....	138
Figura 38. Herramientas utilizadas para reproducir el <i>Rubber Hand Illussion</i> . <i>a)</i> Pinceles, martillo y <i>b)</i> brazos de goma utilizados durante la experimentación. ....	141
Figura 39. Montaje del experimento del <i>Rubber Hand Illusion</i> con usuarios sanos. ....	142
Figura 40. Resultados de <i>a)</i> porcentaje de participantes que sintieron propiedad, localización y agencia en los tres grupos de edad y <i>b)</i> la distribución de cajas y bigotes de cada subcomponente en cada grupo en el experimento del corporización con usuarios sanos. ....	145
Figura 41. Resultados de <i>a)</i> de la deriva propioceptiva y <i>b)</i> la distribución de cajas y bigotes de la actividad electrodérmica y de la temperatura en los tres grupos de edad.....	146
Figura 42. Montaje experimental del <i>Rubber Hand Illusion</i> con usuarios con ictus. ....	154
Figura 43. Diferencias significativas entre grupos en las variables de la corporización del experimento del corporización en usuarios con ictus. ....	157

Figura 44. Diferencias significativas entre grupos en las respuestas fisiológicas del experimento del corporización en usuarios con ictus. ....	159
Figura 45. Captura de un participante con ictus realizando la tarea del estudio de presencia y corporización <i>a)</i> en primera persona y <i>b)</i> en tercera persona. En ambas condiciones, el participante está pisando una esfera localizada en el suelo cerca de su pie izquierdo. ....	171
Figura 46. Resultado de <i>a)</i> propiedad, <i>b)</i> localización, <i>c)</i> agencia y <i>d)</i> presencia experimentada por los sujetos sanos y los individuos con ictus en ambas condiciones en el experimento de presencia y corporización. ....	175



# Índice de tablas

Tabla 1. Diferentes condiciones en el estudio de Mosley <i>et al.</i> ....	74
Tabla 2. Resumen del estudio Rohde <i>et al.</i> .....	78
Tabla 3. Comparativa de las especificaciones de los sistemas Oculus Rift y HTC Vive.....	105
Tabla 4. Valores medios de la precisión y el <i>jitter</i> de los sistemas de estimulación visual a diferentes alturas, tanto dentro como fuera del área de trabajo. Los datos están expresados en términos de media y desviación estándar. ....	111
Tabla 5. Características de los sistemas de seguimiento y de estimación de la pose Kinect v1 y Kinect v2.....	119
Tabla 6. Precisión y <i>jitter</i> registrados en los puntos de intersección de la rejilla para los dispositivos Kinect v1 y v2. Números menores indican un menor error y una mayor precisión.....	124
Tabla 7. Respuestas subjetivas, comportamentales y fisiológicas del experimento del <i>Rubber Hand Illusion</i> en sujetos sanos. ....	147
Tabla 8. Criterios de inclusión y exclusión del estudio de corporización en individuos con ictus. ....	152
Tabla 9. Resultados del cuestionario de corporización en usuarios sanos y con ictus. ....	155
Tabla 10. Resultados del cuestionario de corporización en usuarios sanos y con ictus, en aquellos usuarios que sintieron propiedad. ....	156
Tabla 11. Resultados de los datos fisiológicos en el estudio de corporización con individuos con ictus. ....	158
Tabla 12. Resultados de los datos fisiológicos en el estudio de corporización con individuos con ictus, en aquellos usuarios que sintieron propiedad. ....	159
Tabla 13. Interacciones entre la corporización y los registros fisiológicos en el estudio con individuos con ictus. ....	160

Tabla 14. Criterios de inclusión y exclusión del estudio de presencia y corporización.....	170
Tabla 15. Resultados de presencia y corporización en los usuarios sanos.....	173
Tabla 16. Resultados de presencia y corporización en los usuarios con ictus. ....	174