

# Resumen

El uso de la realidad virtual (RV) se ha incrementado notablemente en la comunidad científica para la investigación del comportamiento humano. En particular, la RV inmersiva ha crecido debido a la democratización de las gafas de realidad virtual o *head mounted displays* (HMD), que ofrecen un alto rendimiento con una reducida inversión económica. Uno de los campos que ha emergido con fuerza en la última década es el *Affective Computing*, que combina psicofisiología, informática, ingeniería biomédica e inteligencia artificial, desarrollando sistemas que puedan reconocer emociones automáticamente. Su progreso es especialmente importante en el campo de la investigación del comportamiento humano, debido al papel fundamental que las emociones juegan en muchos procesos psicológicos como la percepción, la toma de decisiones, la creatividad, la memoria y la interacción social.

Muchos estudios se han centrado en intentar obtener una metodología fiable para evocar y automáticamente identificar estados emocionales, usando medidas fisiológicas objetivas y métodos de aprendizaje automático. Sin embargo, la mayoría de los estudios previos utilizan imágenes, audios o vídeos para generar los estados emocionales y, hasta donde llega nuestro conocimiento, ninguno de ellos ha desarrollado un sistema de reconocimiento emocional usando RV inmersiva. Aunque algunos trabajos anteriores sí analizan las respuestas fisiológicas en RV inmersivas, estos no presentan modelos de aprendizaje automático para procesamiento y clasificación automática de bioseñales.

Además, un concepto crucial cuando se usa la RV en investigación del comportamiento humano es la validez: la capacidad de evocar respuestas similares en un entorno virtual a las evocadas por el espacio físico. Aunque algunos estudios previos han usado dimensiones psicológicas y cognitivas para comparar respuestas entre entornos reales y virtuales, las investigaciones que analizan respuestas fisiológicas o comportamentales están mucho menos extendidas. Según nuestros conocimientos, este es el primer trabajo que compara entornos físicos con su réplica en RV, empleando respuestas fisiológicas y

algoritmos de aprendizaje automático y analizando la capacidad de la RV de transferir y extrapolar las conclusiones obtenidas al entorno real que se está simulando.

El objetivo principal de la tesis es validar el uso de la RV inmersiva como una herramienta de estimulación emocional usando respuestas psicofisiológicas y comportamentales en combinación con algoritmos de aprendizaje automático, así como realizar una comparación directa entre un entorno real y virtual. Para ello, se ha desarrollado un protocolo experimental que incluye entornos emocionales 360°, un museo real y una virtualización 3D altamente realista del mismo museo.

Con respecto al conjunto de entornos emocionales 360°, se diseñaron cuatro alternativas de una habitación virtual para generar las cuatro posibles combinaciones de *arousal-valencia* alto y bajo. Además, se obtuvieron un conjunto de variables de las señales de encefalograma (EEG) y electrocardiografía (ECG), que fueron procesadas junto con un clasificador *Support Vector Machine* para reconocer la percepción del sujeto en términos de *arousal* y *valencia*. Estos resultados validan el uso de los panoramas 360° inmersivos para generar y reconocer automáticamente diferentes estados emocionales utilizando las dinámicas cerebrales y cardíacas, y suponen el primer sistema de reconocimiento emocional utilizando un HMD.

En lo que concierne al análisis del museo, fueron estudiados los patrones psicofisiológicos evocados durante la exploración libre de una exhibición de arte real y durante la virtualización de la misma mediante un escenario de RV 3D inmersivo. La mayoría de los estímulos no presentaron diferencias estadísticas en términos de la autoevaluación emocional de los sujetos. Además, un sistema de reconocimiento emocional fue desarrollado usando un *Support Vector Machine* en combinación con las dinámicas cerebrales y cardiovasculares en el museo real y virtual. La precisión del clasificador de dos clases (alto/bajo) fue de 71.52% y 77.08% en las dimensiones de *arousal* y *valencia* respectivamente en el museo real, y de 75.00% y 71.08% en el museo virtual. Por otro lado, también se ha desarrollado un clasificador para discriminar entre los estímulos reales y los virtuales, que ha alcanzado una precisión del 95.27% utilizando solo variables de *mean phase coherency* del EEG, lo que demuestra la alta implicación de la sincronía cerebral en los procesos emocionales en RV. Estos resultados aportan una importante contribución a nivel metodológico y de conocimiento científico, guiando futuras estimulaciones emocionales y sistemas de reconociendo usando RV.

Asimismo, se han analizado los patrones de navegación tanto en el museo real y como en el virtual, ya que estos pueden condicionar radicalmente la percepción del entorno y, por ello, alterar las respuestas evocadas. Los patrones en ambos museos presentan una alta similitud, mostrando diferencias significativas al

principio de la exploración, en términos del área explorada y del tiempo dedicado a visitar la exposición. Los resultados muestran que estas existen durante los dos primeros minutos del recorrido y, a partir de ese momento, no hay diferencias entre el museo real y el virtual en términos de navegación. Estos resultados apoyan el uso de la RV inmersiva como herramienta de investigación del comportamiento humano a nivel de navegación.

La tesis presenta novedosas contribuciones del uso de la RV inmersiva en la investigación del comportamiento humano, en particular en lo relativo al estudio de las emociones. Esta ayudará a aplicar metodologías a estímulos más realistas para evaluar entornos y situaciones de la vida diaria, superando las actuales limitaciones de la estimulación emocional que clásicamente ha incluido imágenes, audios o vídeos. Además, en ella se analiza la validez de la RV realizando una comparación directa usando una simulación altamente realista. Creemos que la RV inmersiva va a revolucionar los métodos de estimulación emocional en entornos de laboratorio. Además, su sinergia junto a las medidas fisiológicas y las técnicas de aprendizaje automático, impactarán transversalmente en muchas áreas de investigación como la arquitectura, la salud, la evaluación psicológica, el entrenamiento, la educación, la conducción o el marketing, abriendo un nuevo horizonte de oportunidades para la comunidad científica. La presente tesis espera contribuir a caminar en esa senda.