

Análisis de la actividad cerebral de usuarios de realidad virtual a través de electroencefalograma (EEG)

Analysis of the Brain Activity of Virtual Reality users through Electroencephalogram (EEG)

Miguel Casas Arias. Universidad Complutense de Madrid (España)

Profesor Asociado en el Departamento de Ciencias de la Comunicación Aplicada. Miembro del grupo de investigación: “Nuevas tecnologías aplicadas a la creación y análisis de audiovisuales: inteligencia artificial, neurocinemática, realidad virtual y Big Data”. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5335-3242>

Víctor Cerdán Martínez. Universidad Complutense de Madrid (España)

Profesor Ayudante Doctor en el Departamento de Ciencias de la Comunicación Aplicada. Codirector del grupo de investigación: “Nuevas tecnologías aplicadas a la creación y análisis de audiovisuales: inteligencia artificial, neurocinemática, realidad virtual y Big Data”. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0069-5063>

Artículo recibido: 29/10/2023 – Aceptado: 04/12/2023

Resumen:

El electroencefalograma (EEG) es una herramienta muy útil para analizar las reacciones del cerebro a través del consumo de un contenido vinculado al uso de la tecnología de realidad virtual (RV). Nuestra propuesta consiste en una metodología basada en la neurociencia donde exploramos los efectos de la RV en la actividad cerebral de los usuarios. Esta metodología puede proporcionar un valioso método para comprender mejor el funcionamiento del cerebro y su relación con la percepción de estímulos provocados por el uso de RV. Al mismo tiempo, consideramos que la neurociencia puede inspirar y enriquecer el uso de la RV en la creación de nuevas formas artísticas, experiencias de entretenimiento y, en general, como medio de comunicación innovador explorando nuevas fronteras desconocidas hasta ahora por usuarios y audiencias. Estas investigaciones pueden tener también aplicación en campos como la psicología, la neurociencia, la psiquiatría, y los estudios de medios de comunicación y entretenimiento, además de suponer una valiosa herramienta para los creadores de contenidos, que de esta forma, obtienen información para descifrar los gustos del consumidor. De esta manera cada especialista en su disciplina será capaz de obtener datos que pueden aplicar de manera práctica para intervenir en sus respectivos campos de operación.

Palabras clave:

Electroencefalograma; Realidad Virtual; Inmersión; Presencia; Emociones; Neurociencia; Neurocinemática

Abstract:

The electroencephalogram (EEG) is a very useful tool to analyze the reactions of the brain through the consumption of content linked to the use of virtual reality (VR) technology. Our proposal consists of a neuroscience-based methodology where we explore the effects of VR on users' brain activity. This methodology can provide a valuable method to better understand the functioning of the brain and its relationship to the perception of stimuli elicited by the use of VR. At the same time, we believe that neuroscience can inspire and enrich the use of VR in the creation of new artistic forms, entertainment experiences and, in general, as an innovative communication medium exploring new frontiers unknown until now by users and audiences. This research can also have applications in fields such as psychology, neuroscience, psychiatry, and media and entertainment studies, as well as being a valuable tool for content creators, who thus obtain information to decipher consumer tastes. In this way, each specialist in his or her discipline will be able to obtain data that they can apply in a practical way to intervene in their respective fields of operation.

Keywords:

Electroencephalogram; Virtual reality; Immersion; Presence; Emotions; Neuroscience; Neurocinematics

1. Introducción

Los avances en la tecnología utilizada para la exploración fisiológica del cerebro, su mayor accesibilidad y la disminución de costos han ampliado las posibilidades de investigación en ámbitos y aplicaciones más allá de lo estrictamente médico. En este contexto surgió la neurocinemática como una novedosa área de estudio que fusiona dos disciplinas que, en su mayoría, no están directamente relacionadas pero que, al combinarse, ofrecen valiosas perspectivas: la neurociencia cognitiva y los estudios cinematográficos (Hasson *et al.*, 2008).

En los últimos años, gracias a la aparición y desarrollo de las nuevas tecnologías de la información, se ha abierto un panorama más amplio en la investigación de cómo la evolución tecnológica afecta a la experiencia del espectador. Entre estas tecnologías destacamos la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (RA) y la realidad mixta (RM) (Slobounov *et al.*, 2014; He *et al.*, 2018; Hofmann *et al.*, 2021). La realidad virtual sumerge a los usuarios en entornos completamente digitales y tridimensionales, mientras que la realidad aumentada superpone elementos digitales en el mundo real a través de dispositivos como teléfonos inteligentes o gafas especiales. Por otro lado, la realidad mixta combina elementos del mundo real con elementos digitales de una manera más integrada.

En este texto se presenta una metodología que se centra en la descripción detallada de los efectos fisiológicos en el cerebro como resultado del uso de RV, RA y RM a través

de una técnica muy utilizada en la neurociencia llamada electroencefalograma (EEG). El objetivo es comprender cómo la exposición a estas formas de tecnología influye en el funcionamiento cerebral.

En nuestra metodología utilizamos usuarios de estas tecnologías para obtener a través del EEG una información de la activación cerebral como resultado del intercambio de señales eléctricas en el cerebro. Estas señales reflejan las modificaciones neurofisiológicas que tienen lugar durante los procesos cognitivos y brindan una base sólida y confiable para la investigación detallada de cómo se lleva a cabo el procesamiento de la información en el cerebro humano (Cha *et al.*, 2015).

Dichas señales las encontramos presentes en diferentes situaciones, como la atención, la percepción sensorial, las respuestas emocionales, el movimiento, la toma de decisiones y el juicio (Tian *et al.*, 2022). Todos estos, son procesos que subyacen nuestra relación con el consumo de contenidos en dispositivos de realidad virtual. Tras el registro y el análisis de estas señales e identificar las áreas del cerebro donde se reconoce una mayor actividad cerebral en cada usuario, los científicos pueden desentrañar los misterios de cómo el cerebro humano opera en diversas situaciones y contextos cognitivos (Dmochowski *et al.*, 2012). Este enfoque multidisciplinar, entre la neurociencia, la ingeniería y la comunicación audiovisual, permite una comprensión más profunda de la mente humana y cómo se relaciona con el mundo que nos rodea. Además, proporciona una base sólida para el desarrollo de investigaciones médicas, en campos como la psicología, la neurociencia y la psiquiatría, para tratamiento de trastornos mentales, y de mejora cognitiva (Gallese & Guerra, 2022). Mediante las terapias se puede mejorar la calidad de vida de las personas y avanzar en la comprensión de cuestiones complejas relacionadas con la cognición y el funcionamiento cerebral (García López *et al.*, 2022). Igualmente, estas investigaciones pueden tener un impacto significativo en los estudios de medios de comunicación, entretenimiento, y en estudios con objetivos industriales, aplicando la experiencia de los participantes al neuromarketing (Golnar-Nik *et al.*, 2019).

Para llevar a cabo esta metodología, se emplearán variables de los conceptos de "inmersión" y "presencia". Nos referimos con inmersión al resultado del uso de los elementos tecnológicos utilizados para estar absorbidos en un entorno digital. El grado de inmersión vendrá determinado por la cantidad y características de estos. Los más comunes actualmente son cascos de RV, gafas o visores de RV, altavoces y controladores de movimiento (Diemer *et al.*, 2015). El uso de la inmersión es determinante para producir mayor presencia. La presencia se relaciona con la sensación del usuario de que realmente está presente en ese entorno digital artificial. Esta sensación de presencia provoca estados cognitivos muy parecidos a la realidad, y se asocia con reacciones conductuales más fuertes (Slobounov *et al.*, 2014), favoreciendo así las respuestas cognitivas de los sujetos y por lo tanto proporcionando una mayor calidad de los estudios a través de esta metodología.

Inmersión y presencia son conceptos fundamentales para entender cómo las tecnologías RV, RA y RM pueden influir en la percepción y la respuesta del cerebro a través de acciones y emociones, y supone un punto de partida de gran interés para entender estos nuevos medios de comunicación a través de la reacción fisiológica del cerebro.

2. Estado de la cuestión

2.1. Antecedentes

En nuestra búsqueda, hemos identificado varias publicaciones que han logrado resultados significativos al utilizar el electroencefalograma (EEG) como vía de investigación (Andreu-Sánchez & Martín-Pascual, 2021; Christoforou *et al.*, 2015; Dmochowski *et al.*, 2012; Smith, 2022). La electroencefalografía, ampliamente utilizada en el ámbito de la neurocinemática, lo es todavía en mucha menor medida en estudios vinculados al uso de RV.

2.2. Justificación de la investigación

Aunque la realidad virtual aplicada se ha utilizado en la investigación de diferentes áreas desde la década de 1990, se ha experimentado en los últimos años un aumento de popularidad en contextos científicos y comerciales, aparte de continuar con sus aplicaciones más generales hasta ahora que incluyen juegos, formación, salud, marketing y comunicaciones. Este aumento se basa en gran parte en el desarrollo de una nueva generación de auriculares head-mounted displays o gafas de realidad virtual (Marín-Morales *et al.*, 2020). Este desarrollo de la tecnología ha ayudado mucho a que se extienda el uso de estos dispositivos, mejorando tanto su calidad como su comodidad y reduciendo los precios de venta.

Hasta hace algunos años, la mayoría de los estudios que evalúan las experiencias de las personas con la realidad virtual se basan principalmente en informes subjetivos proporcionados por los propios participantes (Jalal & Murrioni, 2020). Sin embargo, se ha reconocido que estos informes subjetivos podrían enriquecerse si se complementaran con investigaciones neurocientíficas que analicen los efectos de la RV a nivel cognitivo (Smith, 2022). Esto permitiría comparar los nuevos hallazgos con las conclusiones obtenidas a través de investigaciones psicológicas y estudios culturales (Moreno-Sánchez & Segura, 2020). Esta integración de enfoques podrá contribuir a fortalecer las conclusiones y elevar el nivel de evidencia.

2.3. Aportaciones de la investigación

El análisis del comportamiento del cerebro a través del EEG se ha demostrado como un enfoque de estudio muy eficaz para asociar percepción, estímulo, atención y emoción en notable correspondencia con un contenido excitante (Dmochowski *et al.*, 2012; Gautham Krishna *et al.*, 2017). En nuestra metodología las tecnologías de realidad virtual inmersiva, como la realidad aumentada y la realidad mixta, permiten a los participantes del experimento sumergirse en entornos dinámicos e interactivos que hayan sido diseñados específicamente para un propósito de investigación concreto, con una intencionalidad singular y precisa de la que luego se puedan establecer conclusiones tras evaluar el mapa cerebral elaborado por el electroencefalograma. Esto brinda a los investigadores un valioso recurso para explorar y estudiar las emociones humanas en condiciones de laboratorio controladas (Hofmann *et al.*, 2021). Y, además, estos

estímulos interactivos permiten que los sujetos intervengan activamente en la escena, lo que abre la posibilidad de reconocer estados emocionales durante tareas interactivas.

En el enfoque neurocinemático los experimentos se basan únicamente en la experiencia cinematográfica y sólo intervienen las pantallas de dos dimensiones. Estas pantallas no se consideran dispositivos inmersivos y no provocan tan alto nivel de inmersión y presencia en los sujetos en comparación con la RV. Por lo tanto, no es un enfoque tan efectivo como la RV para analizar las emociones de los espectadores (Marín-Morales *et al.*, 2020). Cuando el cerebro es estimulado con RV es lógico pensar que trata de otorgar significado y coherencia a ese entorno empleando los mismos procesos cognitivos y mecanismos perceptuales que se utilizan al interactuar con el mundo real. Esta suposición se fundamenta en la noción de que los procesos cognitivos y perceptuales que guían la comprensión y la interacción con el entorno son fundamentales y compartidos en la experiencia humana en general (Seth *et al.*, 2012; Diemer *et al.*, 2015). No encontramos por esta razón especial riesgo de sesgo en los experimentos en este sentido.

Creemos que, dentro del ámbito académico, el estudio de cómo las personas aplican estos procesos cognitivos en el contexto de la realidad virtual es de gran relevancia. Las aportaciones basadas en el entendimiento de cómo se efectúa el proceso entre la percepción de la realidad virtual y la interacción con ella, puede proporcionar enfoques valiosos acerca del funcionamiento de los procesos cognitivos y cómo se adaptan a nuevos contextos tecnológicos (Seth *et al.*, 2012).

2.4. Objetivos

El objetivo de esta metodología consiste en clasificar los resultados de los mapas anatómicos del cerebro en función de las señales eléctricas de la actividad cerebral. A continuación, extraer de este análisis el nivel de presencia y de excitación emocional para circunstancias concretas. Para acercarnos a nuestros objetivos, la metodología propuesta se aplicará a un estudio del comportamiento del cerebro a diferentes niveles de inmersión virtual (García López *et al.*, 2022; Lucia *et al.*, 2020).

3. Metodología

Durante el proceso se registran y almacenan datos en forma de registros informáticos, eléctricos y neuroimágenes, que podrán ser utilizados con otros fines de investigación. El objetivo de esta prueba es valorar la actividad neurofuncional mediante potenciales evocados mediante EEG a través de la aplicación de estímulos visuales, auditivos y táctiles pasivos en un chaleco. La prueba consistirá en un registro durante varias pruebas, en la que el sujeto tendrá que estar atento al conjunto de estímulos.

Los participantes del experimento forman parte de un reclutamiento voluntario entre los alumnos de Comunicación Audiovisual y Medicina de la Universidad Complutense de Madrid, y sin incluir ninguna orientación en la selección. En un estado inicial no daremos prioridad a hacer una selección de participación específica ya que el cerebro de una persona de hoy día es muy similar al del Homo sapiens del Paleolítico (Moreno-Sánchez & Segura, 2020). A partir de este punto hemos decidido trasladar la

información del estudio a nuestros alumnos para que ellos mismos se propongan voluntarios.

El experimento se lleva a cabo en una sala que está completamente aislada de cualquier estímulo externo, como ruidos o luces. De esta manera limitamos al máximo cualquier variable que pueda inducir una señal de ruido en los resultados del electroencefalograma debido a una estimulación involuntaria externa al experimento. Dentro de esta sala, encontramos solamente un sofá, un televisor, gafas de realidad virtual modelo Oculus Quest 2 y altavoces. Esta sala ha sido diseñada específicamente para la realización de experimentos con electroencefalograma (EEG) y se encuentra ubicada en el interior de un laboratorio en la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid.

Previo el correspondiente consentimiento, los corresponsables tratarán los datos personales para la elaboración del estudio y ejecución del Proyecto de Investigación. Se recabarán: nombre, apellidos, sexo, edad, DNI/CIF/Documento identificativo, datos académicos (nivel de escolaridad), datos personales de los titulares de la patria potestad o tutela, así como información de contacto con los mismos (teléfonos, correos electrónicos). Así mismo los participantes declaran que no tienen fobias, trastornos mentales y/o alimenticios ni patologías psiquiátricas y/o neurológicas, y que no acuden al estudio bajo los efectos de sustancias psicotrópicas.

Colocamos el dispositivo de electroencefalografía (EEG) en la cabeza de cada participante y las gafas de realidad virtual. Luego, establecemos conexión con dos ordenadores portátiles ubicados fuera de la cabina.

Utilizamos el primer portátil para sincronizar mediante un software propio y con una red wifi interna, las gafas de realidad virtual con los vídeos lanzados desde el ordenador y así iniciar el contenido. El segundo portátil se emplea para registrar la actividad cerebral de cada espectador a partir de los sensores del dispositivo EEG, utilizando el software ATI Pentatek.

Luego de completar el registro de EEG, llevamos a cabo un cuestionario con cada espectador para indagar sobre las emociones que experimentaron. Este cuestionario se basa en las preguntas del test SAM (Lang, 1985; Barrett *et al.*, 2007; Geethanjali *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2018). Cada participante proporciona una evaluación individual de su experiencia emocional durante la visualización de cada secuencia en una escala de 5 puntos. Evalúan la valencia (donde 5 representa una experiencia agradable y 1 desagradable), la relajación (donde 5 indica una experiencia muy estresante y 1 muy relajante), y la sensación de presencia (donde 5 sugiere una sensación sin fuerza y 1 muy fuerte). El total de respuestas se analiza a través de Google Forms para sustraer las estadísticas y medias del total de los encuestados.

El experimento actualmente toma alrededor de 60 minutos por participante, incluyendo la configuración del equipo EEG, la reproducción y registro de las secuencias de Realidad Virtual y la administración de los cuestionarios. No se proporciona ningún tipo de compensación financiera a los participantes por su participación en el estudio.

En el proceso actual de registro EEG, utilizamos un casco de Neuroscan con 64 canales y el software ATI Pentatek. Antes de iniciar el registro EEG, verificamos que las impedancias de los electrodos estén por debajo de 5 K Ω . Esta verificación nos permite asegurarnos de que no haya ninguna interferencia de ruido atmosférico en los registros de EEG.

Después de completar los registros de todos los participantes, procedemos a realizar una depuración de los datos recopilados. También eliminamos cualquier interferencia electromagnética ocasional, como los picos de electricidad, para asegurar la calidad de los datos.

En este punto procederemos al análisis de datos. Para identificar las áreas del cerebro donde se registra una mayor actividad cerebral en cada espectador, empleamos la técnica conocida como LORETA (Tomografía Electromagnética de Baja Resolución) (Pascual-Marqui *et al.*, 1994). Seleccionamos una ventana de tiempo de 200 milisegundos (ms) para cada marcador registrado en cada participante y en cada condición (secuencia positiva y secuencia negativa). En otras palabras, cada vez que el director de contenido indicaba un marcador, tomamos los primeros 200 ms para su análisis, ya que investigaciones previas (Ortiz-Alonso *et al.*, 2015; Lucia *et al.*, 2020) han demostrado que este intervalo es adecuado para estudiar procesos emocionales durante la visualización de contenido audiovisual.

Utilizando los datos de LORETA, realizamos un promedio global de todos los participantes mediante el software IS Media. Calculamos un promedio global tanto para los datos de una secuencia positiva como para los de la secuencia relacionada con contenido que provocan miedo o suspense. De esta manera, obtuvimos dos representaciones. Una de ellas muestra el promedio de la actividad cerebral de los espectadores durante la visualización de la secuencia con contenido emocional positivo, y la otra durante la secuencia con contenido emocional negativo (Pascual-Marqui *et al.*, 1994).

Luego, empleamos los mapas anatómicos del cerebro del Instituto Neurológico de Montreal (MNI) (Evans *et al.*, 1993) para identificar las áreas del cerebro donde se registró la mayor actividad cerebral. Como resultado de este proceso, obtuvimos coordenadas tridimensionales (X, Y, Z) que representan las ubicaciones en el cerebro donde se concentró la actividad cerebral promedio de los espectadores. Este procedimiento se realizó tanto para los resultados de la secuencia con contenido emocional positivo como para la secuencia con contenido emocional negativo.

Finalmente, llevamos a cabo un análisis estadístico para evaluar las diferencias significativas entre las dos condiciones. Utilizamos la prueba T2 de Hotelling para grupos relacionados (Carbonell *et al.*, 2004). Una vez obtenidos los resultados de la prueba T2 de Hotelling, nuevamente utilizamos el software Neuronix para visualizar estos datos. En este caso, generamos una representación que nos permite identificar las áreas del cerebro donde se observaron las mayores diferencias entre los espectadores durante la visualización de la secuencia con contenido emocional positivo y la secuencia con contenido emocional negativo.

4. Discusión

4.1 Interpretación de resultados

A pesar de conseguir un alto grado de presencia en la RV, los resultados sobre el análisis de las emociones son más difíciles de interpretar. Hay que tener en cuenta que la implicación de la atención y la emoción de un espectador vienen condicionadas a que el procesamiento cortical de los estímulos externos sea modulado por estados cognitivos, es decir, que depende del estado emocional (Im *et al.*, 2015). Además, la actividad neuronal de un espectador menos atento tendrá menos respuesta extrínseca y mayor respuesta intrínseca (o ruido), que también se reflejará en el EEG (Dmochowski *et al.*, 2012). Nos planteamos por tanto esta cuestión como futuro camino de la investigación: si será éste el caso también en el usuario de realidad virtual, o se compensará en cambio por su mayor grado de inmersión. Para resolver esta cuestión, en los estudios futuros, debería diferenciarse con la mayor precisión posible, por un lado, la presencia cognitiva (presencia como juicio subjetivo y personal) y la presencia emocional (vinculada al contenido más o menos afín hacia el usuario). Por otro lado, evaluar el papel de la inmersión. Esto nos servirá para averiguar qué grado de la sensación de presencia se debe a la inmersión o al contenido que se esté utilizando. Y ya dentro del análisis de las emociones que se han provocado en el usuario, definir la excitación (como una dimensión de la emoción), y aislar las emociones específicas (igualmente a lo largo de las dimensiones de excitación y valencia). De esta manera podremos identificar en qué momento concreto se produce una mayor activación cerebral (Tian *et al.*, 2022).

4.2. Conclusiones

Los resultados de varias investigaciones realizadas a través del EEG demuestran que la realidad virtual totalmente inmersiva indujo una mayor sensación de presencia, lo que implica mayor compromiso de la actividad cerebral con el contenido (Tian *et al.*, 2022). Y junto con esto, una mayor tasa de éxito de la navegación espacial en comparación con las imágenes en 2D. (Slobounov *et al.*, 2014; Tian *et al.*, 2022; Cheng *et al.*, 2023).

El mayor o menor éxito de las aplicaciones y experiencias con la realidad virtual depende en gran medida de la sensación de presencia experimentada por los individuos (Jäncke *et al.*, 2009). En términos generales, desde un principio, existen pruebas sólidas que indican que un mayor nivel de inmersión proporcionado por un sistema de realidad virtual tiene un efecto positivo en la sensación de presencia experimentada por el usuario (Ijsselsteijn *et al.*, 2001; Freeman *et al.*, 2005). Pero además se debe tener en cuenta que este efecto positivo sobre la presencia se pierde cuando los contenidos a los que se somete el usuario de RV no son emocionalmente excitantes. En este sentido concluimos que, en nuestra metodología, es muy importante trabajar en colaboración las ciencias de la comunicación aplicada con la neurociencia, para poder generar y transmitir diferentes estados de conciencia y entornos de interés para el usuario.

Mediante esta metodología, se demuestra que los contenidos en formato RV generan además de mayor presencia, una señal de electroencefalograma (EEG) notablemente más intensa en comparación con las películas en dos dimensiones. Esta diferencia se

refleja principalmente en las bandas de frecuencia alfa y beta, lo que indica una mayor actividad en la superficie cortical del cerebro. Esta observación es crucial, ya que una mayor excitación cerebral contribuye a obtener datos más consistentes en los experimentos (Tian *et al.*, 2022). Estas variaciones de excitación emocional y de la actividad en la banda alfa pueden influir en la atención y la formación de la memoria (Hofmann *et al.*, 2021), así como en la mejora de la atención espacial específica (Cheng *et al.*, 2023). Se ha comprobado también que las respuestas de los usuarios ante las situaciones planteadas en entornos de realidad virtual requieren una asignación de recursos cerebrales más extensa en comparación con las representaciones en dos dimensiones (Slobounov *et al.*, 2014). Y como ya hemos comentado, donde se han observado respuestas más diversas dentro de los procesos sensoriales y cognitivos en entornos de RV es en términos de emociones (He *et al.*, 2018). Adicionalmente, en nuestro grupo de investigación, se han logrado avances en la comprensión de cómo las diferentes áreas cerebrales colaboran y se coordinan durante estos procesos (García López *et al.*, 2022).

Es tan grande el espectro de posibilidades a analizar que hay pocos experimentos complementarios. El objetivo común futuro es que los fundamentos neuronales puedan llegar a comprenderse bien (Slobounov *et al.*, 2014), y así que estas averiguaciones puedan resultar de utilidad para aplicarse en diferentes disciplinas.

Entre la escasa literatura existente, hemos encontrado algunas conclusiones ambiguas: aún no está claro en qué grado la inmersión puede incrementar directamente la excitación emocional y la atención, o si realmente son la presencia y el contenido los principales condicionantes, y en qué ocasiones los únicos. Esto destaca la importancia de proseguir con la investigación sobre el mecanismo del procesamiento neuronal del cerebro durante la exposición de nuestros sentidos a la realidad virtual (Tian *et al.*, 2022).

Cuando se analizan los posibles efectos de la inmersión en las emociones, el cuadro se vuelve complicado, y si bien algunos autores reportan un aumento en las respuestas emocionales en sistemas de realidad virtual inmersivos, otros no encontraron efectos de la inmersión sobre la emoción en contenidos emocionalmente neutros (Diemer *et al.*, 2015).

Tras las últimas investigaciones se ha demostrado que las ondas alfa del cerebro se pueden utilizar para predecir la excitación emocional (Hofmann *et al.*, 2021). Esto anima a seguir en la dirección que marca esta metodología, donde se sugiere que la realidad virtual inmersiva es una herramienta útil para estudiar las emociones humanas en circunstancias que se parecen más a la vida cotidiana. Generando un contenido adecuado y planteando al usuario situaciones que le produzcan determinadas emociones podremos investigar las reacciones fisiológicas cerebrales inconscientes y compararlas entre sujetos. Este artículo defiende en conclusión un experimento neurocientífico aplicado a psicología cognitiva y el estudio de medios para analizar los efectos sobre la excitación emocional mediante el análisis de señales de electroencefalograma. Creemos que esta metodología a través de la decodificación de las emociones subjetivas mediante esta técnica neurocientífica tiene un gran potencial para generar nuevas y valiosas conclusiones, particularmente mediante el empleo de estos enfoques implícitos.

5. Desafíos futuros y limitaciones

Proponemos un experimento utilizando contenidos enfocados en generar sensación de miedo (en un nivel muy por debajo del terror) o suspense. Escogemos que estas sean las emociones predominantes ya que se ha demostrado que gracias a su potencia emocional son una fórmula efectiva dentro de los estudios de la neurocinemática para evaluar la relación entre estímulo y percepción. Esta mayor atención y activación emocional, permite obtener mayores potenciales de acción entre neuronas y por lo tanto da como resultado una mejor calidad de los estudios con EEG. Aunque no sería imprescindible un contenido con esta temática estrictamente, se ha demostrado que las emociones negativas tienen un mayor impacto en las áreas cognitivas superiores del cerebro donde el EEG es especialmente sensible (Khosravi Khorashad & Khosrowabadi, 2022; Tian *et al.*, 2022; Wang & Wang, 2020).

El tamaño ideal de la muestra para un experimento científico que involucra electroencefalografía (EEG) y realidad virtual puede variar según diversos factores, como la naturaleza específica de la investigación, los objetivos del estudio, la variabilidad esperada en los datos y la potencia estadística deseada. Sin embargo, proporcionar un tamaño de muestra específico sin conocer detalles más precisos sobre el diseño experimental y los objetivos de la investigación sería especulativo.

Encontramos varios caminos de mejora en nuestra metodología que esperamos vayan superándose a medida que el avance de la tecnología y nuestra accesibilidad lo permitan. Para aprovechar la realidad virtual en diseños de investigación más naturalistas se precisa la creación de contenido de realidad virtual de alta calidad, configuraciones técnicas más complejas y resolver la incomodidad causada por los dispositivos de inmersión (Hofmann *et al.*, 2021). Para fomentar el grado de presencia y mejorar la experiencia con RV, la futura inclusión de avatares realistas y receptivos ayudará a aumentar la comprensión de las emociones evocadas durante las interacciones sociales y las respuestas fisiológicas asociadas (Marín-Morales *et al.*, 2020).

Otra propuesta de mejora consiste en incorporar en el mismo experimento tecnologías como la resonancia magnética funcional para tener unos resultados equivalentes de calidad en cuanto a la respuesta cerebral tanto temporal como espacial (Cha *et al.*, 2015). También es común el uso de eye tracking junto con otras tecnologías de neurociencia cognitiva, como la conductancia eléctrica de la piel, para que todo esto unido corrobore los estudios teóricos.

Hasta el año 2023, muy pocos de los estudios utilizaron algoritmos de aprendizaje automático para clasificar las emociones analizadas. En experimentos con muchos sujetos esta tecnología creemos que facilitará la clasificación de los resultados como ya se ha demostrado en alguna investigación pionera usando un algoritmo de aprendizaje automático para reconocer estados emocionales (Marín-Morales *et al.*, 2020). Igualmente sería interesante abrir una vía de investigación en donde contemplar cómo influye en los resultados tanto el efecto de la novedad como de un usuario entrenado en estas tecnologías y su evolución.

Los desafíos de las investigaciones futuras contarán con el progreso continuo de la tecnología, dando lugar a un escenario hipotético donde la inteligencia artificial puede desempeñar un papel revolucionario. Esta posibilidad sugiere que la inteligencia artificial podrá captar y reconocer nuestros pensamientos, e interpretar nuestras emociones y sentimientos. Este avance tendría implicaciones significativas para el campo de la Interfaz cerebro-computadora (BCI), estableciendo una comunicación directa entre nuestro cerebro y una computadora, para mejorar enormemente la capacidad de las personas para controlar dispositivos y participar en entornos virtuales utilizando señales cerebrales como medio de comunicación.

Una de las proyecciones más fascinantes de esta evolución tecnológica es la posibilidad de hacer realidad la telepatía tecnológicamente mediada. En este escenario, la capacidad de la inteligencia artificial para comprender y transmitir pensamientos y emociones podría allanar el camino para la comunicación directa entre individuos, o incluso con otras inteligencias artificiales. Este paradigma emergente no solo representa un avance técnico, sino que también plantea desafíos éticos y filosóficos. La consideración de la privacidad, la seguridad y las implicaciones sociales de tal nivel de conexión mente-máquina será crucial a medida que esta tecnología evolucione.

6. Referencias bibliográficas

- Andreu-Sánchez, C., & Martín-Pascual, M. Á. (2021). Perception of cuts in different editing styles. *Profesional de La Informacion*, 30(2).
<https://doi.org/10.3145/EPI.2021.MAR.06>
- Seth, A. K., Suzuki, K., & Critchley, H. D. (2012). An Interoceptive Predictive Coding Model of Conscious Presence. *Nombre de la Revista*, Volumen(Número),
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00395>
- Barrett, L. F., Mesquita, B., Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2007). The experience of emotion. *Annual Review of Psychology*, 58, 373–403.
<https://doi.org/10.1146/ANNUREV.PSYCH.58.110405.085709>
- Carbonell, F., Galán, L., Valdés, P., Worsley, K., Biscay, R. J., Díaz-Comas, L., Bobes, M. A., & Parra, M. (2004). Random Field–Union Intersection tests for EEG/MEG imaging. *NeuroImage*, 22(1), 268–276. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2004.01.020>
- Cha, H. S., Chang, W. Du, Shin, Y. S., Jang, D. P., & Im, C. H. (2015). EEG-based neurocinematics: challenges and prospects. *Brain-Computer Interfaces*, 2(4), 186–192. <https://doi.org/10.1080/2326263X.2015.1099091>
- Cheng, W., Wang, X., Zou, J., Li, M., & Tian, F. (2023). A High-Density EEG Study Investigating the Neural Correlates of Continuity Editing Theory in VR Films. *Sensors*, 23(13), 5886. <https://doi.org/10.3390/s23135886>
- Christoforou, C., Christou-Champi, S., Constantinidou, F., & Theodorou, M. (2015). 14-From the eyes and the heart: A novel eye-gaze metric that predicts video preferences of a large audience. *Frontiers in Psychology*, 6(MAY).
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00579>

- Diemer, J., Alpers, G. W., Peperkorn, H. M., Shiban, Y., & Mühlberger, A. (2015). The impact of perception and presence on emotional reactions: a review of research in virtual reality. *Frontiers in Psychology*, 6(JAN), 26–26. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2015.00026>
- Dmochowski, J. P., Sajda, P., Dias, J., & Parra, L. C. (2012). Correlated components of ongoing EEG point to emotionally laden attention - a possible marker of engagement? *Frontiers in Human Neuroscience*, MAY 2012. <https://doi.org/10.3389/FNHUM.2012.00112/FULL>
- Evans, A. C., Collins, D. L., Mills, S. R., Brown, E. D., Kelly, R. L., & Peters, T. M. (1993). 3D statistical neuroanatomical models from 305 MRI volumes. *1993 IEEE Conference Record Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, pt 3*, 1813–1817. <https://doi.org/10.1109/NSSMIC.1993.373602>
- Freeman, D., Garety, P. A., Bebbington, P. E., Smith, B., Rollinson, R., Fowler, D., Kuipers, E., Ray, K., & Dunn, G. (2005). Psychological investigation of the structure of paranoia in a non-clinical population. *The British Journal of Psychiatry*, 186(5), 427–435. <https://doi.org/10.1192/BJP.186.5.427>
- Gallese, V., & Guerra, M. (2022). The Neuroscience of Film (Journal). *Projections (New York)*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.3167/PROJ.2022.160101>
- López, Á. G., Martínez, V. C., Alonso, T. O., Sánchez-Pena, J. M., & Vergaz, R. (2022a). Emotion elicitation through vibrotactile stimulation as an alternative for deaf and hard of hearing people: an EEG study. *Electronics*, 11(14), 2196. <https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS11142196>
- Gautham Krishna, G., Krishna, G., & Bhalaji, N. (2017). 24-Electroencephalography Based Analysis of Emotions Among Indian Film Viewers. *Communications in Computer and Information Science*, 712, 145–155. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5780-9_13
- Geethanjali, B., Adalarasu, K., Hemapraba, A., Kumar, S. P., & Rajasekeran, R. (2017). Emotion analysis using SAM (Self-Assessment Manikin) scale. *Biomedical Research-Tokyo*.
- Golnar-Nik, P., Farashi, S., & Safari, M. S. (2019). The application of EEG power for the prediction and interpretation of consumer decision-making: A neuromarketing study. *Physiology and Behavior*, 207, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.04.025>
- Hasson, U., Landesman, O., Knappmeyer, B., Vallines, I., Rubin, N., & Heeger, D. J. (2008). 18b-Neurocinematics: The Neuroscience of Film. *Projections*, 2(1), 1–26. <https://doi.org/10.3167/PROJ.2008.020102>
- He, L., Li, H., Xue, T., Sun, D., Zhu, S., & Ding, G. (2018). *Am I in the theater? Usability Study of Live Performance Based Virtual Reality*. 10. <https://doi.org/10.1145/3281505.3281508>
- Hofmann, S. M., Klotzsche, F., Mariola, A., Nikulin, V. V., Villringer, A., & Gaebler, M. (2021). Decoding subjective emotional arousal from eeg during an immersive virtual reality experience. *ELife*, 10. <https://doi.org/10.7554/ELIFE.64812>

- Ijsselsteijn, W., De Ridder, H., Freeman, J., Avons, S. E., & Bouwhuis, D. (2001). Effects of stereoscopic presentation, image motion, and screen size on subjective and objective corroborative measures of presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10(3), 298–311. <https://doi.org/10.1162/105474601300343621>
- Im, C.-H., Lee, J.-H., & Lim, J.-H. (2015). 16-Neurocinematics based on passive BCI: Decoding temporal change of emotional arousal during video watching from multi-channel EEG. *2015 10th Asian Control Conference: Emerging Control Techniques for a Sustainable World, ASCC 2015*. <https://doi.org/10.1109/ASCC.2015.7244792>
- Jalal, L., & Murrioni, M. (2020). On the impact of single and multiple effects on quality of experience for multisensorial TV in smart home. *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, BMSB, 2020-October*. <https://doi.org/10.1109/BMSB49480.2020.9379734>
- Jäncke, L. (2009). The plastic human brain. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 27(5), 521–538. <https://doi.org/10.3233/RNN-2009-0519>
- Khosravi Khorashad, S., & Khosrowabadi, R. (2022). 48-The Impact of the Hitchcockian Suspense Model and Its Associated Directing Style on the Horror Genre: A Neurocinematics Study. *Quarterly Review of Film and Video*. <https://doi.org/10.1080/10509208.2022.2156251>
- Al Lang, P. J. (1985). The cognitive psychophysiology of emotion: Fear and anxiety. In A. H. Tuma & J. D. Maser (Eds.), *Anxiety and the anxiety disorders* (pp. 131–170). Lawrence Erlbaum Associates, Inc. <https://psycnet.apa.org/record/1985-97708-007>
- Lucia, M. J., Revuelta, P., García, Á., Ruiz, B., Vergaz, R., Cerdán, V., & Ortiz, T. (2020). Vibrotactile Captioning of Musical Effects in Audio-Visual Media as an Alternative for Deaf and Hard of Hearing People: An EEG Study. *IEEE Access*, 8, 190873–190881. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3032229>
- Marín-Morales, J., Llinares, C., Guixeres, J., & Alcañíz, M. (2020). Emotion recognition in immersive virtual reality: From statistics to affective computing. *Sensors*, 20(18), 5163. <https://doi.org/10.3390/s20185163>
- Sánchez, I. M., & Segura, J. (2018). Una perspectiva neurobiológica y comunicacional de la imagen y de la realidad aumentada. *La Revista Icono* 14, 16(1), 1-21. <https://doi.org/10.7195/RI14.V16I1.1102>
- Ortiz Alonso, T., Matías Santos, J., Ortiz Terán, L., Borrego Hernández, M., Poch Broto, J., Alejandro de Erausquin, G., (2015). Differences in Early Stages of Tactile ERP Temporal Sequence (P100) in Cortical Organization during Passive Tactile Stimulation in Children with Blindness and Controls. *PLoS ONE*, 10(7), 124527. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124527>
- Pascual-Marqui, R. D., Michel, C. M., & Lehmann, D. (1994). Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *International Journal of Psychophysiology*, 18(1), 49–65. [https://doi.org/10.1016/0167-8760\(84\)90014-X](https://doi.org/10.1016/0167-8760(84)90014-X)
- Slobounov, S. M., Ray, W., Johnson, B., Slobounov, E., & Newell, K. M. (2015). Modulation of cortical activity in 2D versus 3D virtual reality environments: An EEG

- study. *International Journal of Psychophysiology*, 95(3), 254-260.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.11.003>
- Smith, M. (2022). 65J-Triangulation Revisited. *Projections*, 16(1), 11–24.
<https://doi.org/10.3167/PROJ.2022.160102>
- Tian, F., Wang, X., Cheng, W., Lee, M., & Jin, Y. (2022). A Comparative Study on the Temporal Effects of 2D and VR Emotional Arousal. *Sensors*, 22(21), 8491–8491.
<https://doi.org/10.3390/S22218491>
- Wang, Y., & Wang, Y. (2020). A Neurocinematic Study of the Suspense Effects in Hitchcock's Psycho. *Frontiers in Communication*, 5.
<https://doi.org/10.3389/FCOMM.2020.576840>
- Zhao, G., Zhang, Y., Ge, Y., & Gasbarri, A. (2018). *Frontal EEG Asymmetry and Middle Line Power Difference in Discrete Emotions*.
<https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00225>

Conflicto de intereses: los autores declaran que no existen.

Financiación: el artículo no recibe financiación.

Traducción al inglés: aportada por los autores.

HOW TO CITE (APA 7ª)

Casas-Arias, M. & Cerdán-Martínez, V. (2023). Análisis de la reacción fisiológica cerebral del usuario de realidad virtual a través de la encefalografía (EEG). *Comunicación & Métodos – Communication & Methods*, 5(2), 19-32. <https://doi.org/10.35951/v5i2.196>