



## Realidad Virtual Terapéutica. Nuevas formas de mejorar el cerebro

### Descripción

### Introducción

La realidad virtual (RV) ha iniciado su camino para pasar del entretenimiento a convertirse en una herramienta fundamental en neurociencia y rehabilitación neurológica.

A través de la inmersión en entornos controlados, la RV ofrece posibilidades sin precedentes para la estimulación y el análisis del cerebro.

La RV, combinada con técnicas como la estimulación audiovisual táctil (AVTT) e interfaces cerebro-computadora (BCI de *brain computer interface* en inglés), permite una manipulación detallada y personalizada de estímulos neurológicos que pueden promover la neuroplasticidad y mejorar funciones cognitivas.

Estudios recientes muestran que estos métodos pueden fortalecer los ritmos theta en el hipocampo, esenciales para la memoria y el aprendizaje, y facilitar la rehabilitación motriz en pacientes con lesiones medulares o cerebrales graves.

Este artículo examina cómo la integración de la RV con tecnologías avanzadas está revolucionando el tratamiento y la mejora de funciones cerebrales, con un enfoque especial en los ritmos neuronales y la recuperación post-ictus. Para ello presento 4 estudios realizados recientemente que ponen de manifiesto la aportación de la RV a las neurociencias aplicadas.

## Estudio y manipulación de los ritmos cerebrales

La realidad virtual ha mostrado efectos prometedores en la región del hipocampo del cerebro, conocida por su papel crítico en la memoria y el aprendizaje.

Un estudio realizado por investigadores de la Universidad de California en Los Ángeles (UCLA)<sup>1</sup> permite entender cómo los entornos virtuales pueden potenciar significativamente las funciones del cerebro, ofreciendo nuevas perspectivas para la rehabilitación cognitiva y la mejora del aprendizaje.

El uso de la RV no solo altera los ritmos theta sino que también ha llevado al descubrimiento de ritmos eta, que parecen ser potenciados en entornos virtuales inmersivos.

El estudio de UCLA se centró en el análisis del hipocampo, una región del cerebro crucial para la memoria y el aprendizaje, en ratas que realizaban tareas de navegación espacial.

Los investigadores descubrieron que cuando estas ratas se desplazaban en un entorno virtual, las neuronas en el hipocampo sincronizaban su actividad eléctrica a una velocidad más elevada, específicamente a 8 pulsos por segundo o 8 Hz, conocido como el «ritmo theta». Este ritmo se ha asociado tradicionalmente con la función de memoria y aprendizaje en múltiples especies, incluidos los humanos.

Además de los cambios observados en el ritmo theta, el estudio introdujo el descubrimiento del ritmo «eta», un fenómeno no observado previamente. Este ritmo también se vio potenciado en entornos de RV, sugiriendo que la RV no solo modifica los ritmos cerebrales conocidos, sino que también puede facilitar la aparición de nuevos patrones de actividad cerebral.

Este hallazgo es particularmente intrigante porque indica que la RV podría ser utilizada para inducir estados cerebrales específicos y potencialmente beneficiar a los usuarios en formas hasta ahora inexploradas.

La evidencia de que la RV puede fortalecer el ritmo theta y promover el nuevo ritmo eta abre emocionantes posibilidades para el tratamiento de trastornos del aprendizaje y la memoria.

Por ejemplo, podría desarrollarse terapias de RV personalizadas para pacientes con Alzheimer o demencia, donde estos ritmos modificados podrían ayudar a restablecer

ciertas capacidades cognitivas. Además, la RV podría ser útil en la rehabilitación de pacientes que han sufrido lesiones cerebrales, ayudando a acelerar el proceso de recuperación mediante la estimulación de áreas específicas del cerebro.

## **Enfoques Cuánticos para el Acondicionamiento Neural**

La fusión de la tecnología de realidad virtual (RV) con la neurociencia ha abierto nuevas posibilidades para entender y manipular los procesos neuronales. Un enfoque particularmente innovador es el uso de la estimulación audiovisual táctil (AVTT) combinada con métodos cuánticos para influir en los ritmos neuronales<sup>2</sup>, especialmente los ritmos theta del hipocampo.

La estimulación AVTT implica la sincronización de estímulos auditivos, visuales y táctiles para inducir o modificar estados específicos de actividad neuronal.

En el contexto de la RV, esta sincronización no solo mejora la inmersión, sino que también permite una manipulación precisa de los estímulos que afectan directamente las áreas cerebrales como el hipocampo, conocido por su papel en la formación de la memoria y la navegación espacial.

La aplicación de principios cuánticos, como la superposición y el entrelazamiento, a la neurociencia, ofrece un paradigma radicalmente nuevo.

En el acondicionamiento neural, estos principios pueden teóricamente permitir la manipulación de estados neuronales a un nivel mucho más fundamental. Las técnicas cuánticas podrían, por ejemplo, mejorar la eficacia de los ritmos theta inducidos, aumentando su coherencia y su capacidad para influir en otras funciones neuronales.

Los ritmos theta son cruciales para muchas funciones del cerebro, incluida la memoria y el aprendizaje. La investigación mostró que la RV, cuando se combina con la estimulación AVTT, puede fortalecer estos ritmos de manera significativa.

Utilizando enfoques cuánticos, podemos potencialmente amplificar este efecto, ajustando las frecuencias de manera precisa para optimizar los beneficios terapéuticos y cognitivos.

Al fortalecer y estabilizar los ritmos theta, los enfoques cuánticos podrían ser utilizados para mejorar las capacidades de aprendizaje y memoria en individuos sanos y en aquellos que sufren de trastornos cognitivos.

Por otro lado, trastornos como el Alzheimer y otros tipos de demencia podrían beneficiarse de terapias que apunten a restaurar o mejorar los ritmos neuronales mediante la tecnología cuántica y la RV.

Además, para pacientes recuperándose de eventos cerebrovasculares como derrames cerebrales, la RV y la estimulación AVTT cuántica pueden facilitar la rehabilitación al reentrenar áreas del cerebro responsables de funciones motoras y cognitivas.



## **Activación del movimiento gracias al uso de interfaces cerebro-computadora**

La tecnología de realidad virtual y las interfaces cerebro-computadora multimodales están emergiendo como herramientas revolucionarias en el campo de la rehabilitación neurológica.

Las BCI multimodales integran señales de múltiples fuentes, incluyendo electroencefalogramas (EEG), electromiogramas (EMG), y otros tipos de biofeedback, para

crear una interfaz que puede ser controlada directamente por el cerebro del usuario.

En el contexto de la RV, estas interfaces permiten que los pacientes interactúen con entornos virtuales de manera intuitiva y directa, potencialmente facilitando patrones de activación neurológica que son imposibles en el entorno físico debido a lesiones o discapacidades.

Un estudio realizado por Pais-Vieira et al.<sup>3</sup> publicado en MDPI en 2024, explora el uso de una interfaz cerebro-computadora (ICC) multimodal en combinación con realidad virtual (RV) para inducir patrones de movimiento en las extremidades inferiores de un paciente con una lesión medular completa.

Este estudio es significativo en el campo de la rehabilitación neurológica, ya que demuestra cómo las tecnologías avanzadas pueden contribuir a la neuroplasticidad y potencialmente mejorar la calidad de vida en pacientes severamente discapacitados.

El paciente del estudio sufría de una lesión medular completa, lo que le impedía cualquier movimiento voluntario por debajo del nivel de la lesión.

Mediante el uso de una BCI multimodal en un entorno de RV, los investigadores pudieron registrar y estimular la actividad cerebral relacionada con los movimientos de caminar, a pesar de la falta de respuesta motora física. Este proceso involucró la simulación de caminata en un entorno virtual que el paciente podía controlar mediante señales cerebrales.

El estudio logró inducir movimientos rítmicos en las extremidades inferiores del paciente, que eran no conscientes y ocurrieron durante las sesiones de realidad virtual. Estos movimientos comenzaron con la dorsiflexión del pie, seguidos por la flexión de la pierna y, en algunas sesiones, también de la cadera.

Se observaron cambios en la potencia de señal en múltiples bandas de frecuencia, incluidas las bandas delta, theta y alpha. Estos cambios sugieren una forma de neuroplasticidad inducida por el protocolo de rehabilitación neurofisiológica implementado.

A lo largo de la intervención, el paciente informó una disminución en los niveles de dolor, lo que indica un beneficio adicional de esta terapia.

Curiosamente, el paciente reportó experimentar sensaciones térmicas y táctiles inesperadas en sus extremidades inferiores durante las sesiones. Estas sensaciones fueron

nuevas y se describieron predominantemente durante los escenarios donde el avatar caminaba en agua.

La activación repetida y controlada de estas áreas mediante el uso de BCI y RV mostró potencial para ayudar en la reorganización y adaptación neurológica, un proceso conocido como neuroplasticidad.

El estudio sugiere que la RV y las BCI multimodales pueden desempeñar un papel crucial en la rehabilitación de pacientes con lesiones graves como las medulares completas. Los patrones de activación cerebral inducidos pueden no solo mejorar la percepción del paciente sobre sus capacidades motoras sino también fomentar la plasticidad cerebral de maneras que apoyen la recuperación funcional.

## **Integración de señales cerebrales y de seguimiento ocular en RV**

La realidad virtual se está convirtiendo en una herramienta valiosa en el ámbito de la rehabilitación neuropsicológica, especialmente para pacientes que han sufrido un ictus.

La RV permite crear entornos controlados y altamente inmersivos que pueden ser adaptados para entrenamiento terapéutico.

El seguimiento ocular, cuando se integra con la RV, proporciona una interfaz interactiva que permite a los usuarios controlar el entorno virtual mediante movimientos oculares. Esto es particularmente útil para pacientes con limitaciones físicas severas, como aquellos que han experimentado un ictus.

Un estudio realizado por Souza R.H.C.<sup>4</sup> centró en un paciente que sufrió un ictus y como resultado tenía movilidad reducida. Los investigadores utilizaron un sistema de RV combinado con seguimiento ocular para medir y estimular la actividad cerebral del paciente mientras participaba en juegos y tareas diseñadas para la rehabilitación.

El principal objetivo del estudio fue evaluar la eficacia de integrar el seguimiento ocular y las señales cerebrales en tiempo real durante sesiones de exergames, con el fin de mejorar las capacidades cognitivas y motoras del paciente. Souza busca determinar si esta tecnología puede proporcionar una plataforma efectiva para la rehabilitación post-ictus, aprovechando la capacidad del cerebro para adaptarse y aprender nuevas habilidades a través de la neuroplasticidad.

El estudio utilizó una combinación de EEG (electroencefalograma) para monitorear la actividad cerebral y dispositivos de seguimiento ocular para registrar los movimientos oculares del paciente mientras interactuaba con un exergame diseñado específicamente para la rehabilitación. Los datos recogidos de estas dos fuentes se analizaron para ver cómo las señales cerebrales y los movimientos oculares se correlacionaban y complementaban durante la actividad.

Las señales cerebrales y los datos de seguimiento ocular fueron analizados para evaluar la respuesta del paciente y ajustar las sesiones de rehabilitación de acuerdo a sus necesidades específicas.

Se observó un incremento significativo en la potencia de la banda de frecuencia theta durante las sesiones de RV, lo que indica una mayor actividad cerebral relacionada con el aprendizaje y la memoria.

La integración de señales cerebrales y de seguimiento ocular demostró ser efectiva en la promoción de la interacción cognitiva-motora, esencial para la rehabilitación neuropsicológica.

Este enfoque muestra cómo la RV y el seguimiento ocular pueden ser herramientas poderosas para facilitar la rehabilitación cognitiva y motora en pacientes post-ictus. Al proporcionar retroalimentación en tiempo real y permitir la personalización de las intervenciones, estos métodos pueden mejorar significativamente la calidad de la rehabilitación.



## **Conclusiones**

La realidad virtual (RV) está revolucionando el campo de la neurociencia y la rehabilitación neurológica, ofreciendo herramientas avanzadas que permiten manipular y estudiar el cerebro con una precisión sin precedentes.

Este análisis exhaustivo ha destacado múltiples estudios que subrayan el potencial transformador de la RV en diversos aspectos del tratamiento y la mejora de las funciones cerebrales, incluyendo la memoria, el aprendizaje y la recuperación motriz.

La investigación en la UCLA ha demostrado que la RV puede modificar significativamente los ritmos neuronales, como los ritmos theta y eta en el hipocampo, que son esenciales para la memoria y el aprendizaje. Estos cambios sugieren que la RV no solo modifica los ritmos cerebrales conocidos, sino que también puede inducir nuevos patrones de actividad cerebral que ofrecen nuevas vías para la rehabilitación cognitiva.

La integración de la estimulación audiovisual táctil (AVTT) y técnicas cuánticas en entornos de RV promete un nivel de influencia en los ritmos cerebrales que podría ser decisivo para tratar afecciones como el Alzheimer y mejorar la capacidad cognitiva general. Estos enfoques ofrecen una manipulación más profunda y precisa de los estados neuronales, potenciando significativamente los efectos beneficiosos de la RV en el cerebro.

Estudios como el realizado por Pais-Vieira et al. han explorado el uso de interfaces cerebro-computadora (BCI) multimodales para activar patrones de movimiento en pacientes con lesiones medulares completas. Esto ilustra cómo la RV y las BCI pueden ser herramientas cruciales para rehabilitar pacientes con graves discapacidades motoras, mejorando su percepción de las capacidades motoras y fomentando la neuroplasticidad.

La combinación de señales cerebrales y de seguimiento ocular ha mostrado ser efectiva en mejorar la interacción cognitivo-motora en pacientes post-ictus, según el estudio de Souza R.H.C. Esta metodología puede mejorar significativamente la rehabilitación, ofreciendo un enfoque más interactivo y adaptado a las necesidades específicas del paciente.

En conjunto, estos estudios confirman que la RV es una herramienta formidable que trasciende el ámbito del entretenimiento para convertirse en un pilar fundamental en la neurociencia moderna.

El potencial de la RV para inducir y manipular específicamente los ritmos neuronales abre nuevas posibilidades para el desarrollo de terapias personalizadas que podrían restaurar funciones perdidas y mejorar significativamente la calidad de vida de los pacientes con trastornos neurológicos.

A medida que esta tecnología continúa evolucionando, es imperativo seguir explorando sus aplicaciones terapéuticas y éticas para maximizar sus beneficios mientras se minimizan los riesgos potenciales.

A pesar de estos hallazgos prometedores, quedan desafíos significativos. La principal preocupación es cómo estos resultados en modelos animales se traducirán en terapias humanas efectivas.

Además, la personalización de las intervenciones de RV para tratar condiciones neurológicas específicas requerirá una comprensión más profunda de los mecanismos subyacentes. También es crucial considerar las implicaciones éticas de manipular tan

profundamente la función cerebral a través de tecnologías inmersivas.

En cualquier caso, la RV ha dado un salto cualitativo importante para abordar soluciones en campos de la neurociencia y de la rehabilitación, pasando a ser una tecnología más que prometedora más allá de la tradicional visión de la RV en el entretenimiento.

1. Safaryan, K., Mehta, M.R. Enhanced hippocampal theta rhythmicity and emergence of theta oscillation in virtual reality. *Nat Neurosci* 24, 1065–1070 (2021).

<https://doi.org/10.1038/s41593-021-00871-z>

2. Termanini, R.W. (2023). «Quantum Approaches to Neural Entrainment Through Audio-Visual-Tactile Stimulation of Hippocampal Theta Rhythms: Expanding the Frontiers of Cognitive Research». *psyarxiv*. <https://psyarxiv.com/xyjgc/download/?format=pdf>.

3. Pais-Vieira, C.; Figueiredo, J.G.; Perrotta, A.; Matos, D.; Aguiar, M.; Ramos, J.; Gato, M.; Poleri, T.; Pais-Vieira, M. Activation of a Rhythmic Lower Limb Movement Pattern during the Use of a Multimodal Brain-Computer Interface: A Case Study of a Clinically Complete Spinal Cord Injury. *Life* 2024, 14, 396. <https://doi.org/10.3390/life14030396>

4. Souza, R.H.C. (2023). Examining brain and eye-tracking signals integration during exergame session: a case study with a post-stroke patient.

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/39058/1/ExaminingBrainEye.pdf>