

REVISIÓN

Application of augmented reality in physical rehabilitation

Aplicación de la realidad aumentada en la rehabilitación física

Mario Pedro Rodríguez Vásquez¹  , Bertha Silvana Vera Barrios²  , Elizabeth del Carmen Ormaza Esmeraldas³  , César Carbache Mora³  , Aida Maygualida Rodríguez-Álvarez⁴  , Amarelys Román-Mireles⁵  , José Gregorio Mora-Barajas⁶  , Aaron Samuel Bracho Mosquera⁷  , Nancy Rosillo Suárez⁸  , Rafael Romero-Carazas⁹  , Juan Richar Villacorta Guzmán⁹  , Rita Liss Ramos Perez⁷  , Rene Isaac Bracho Rivera⁷  , Milagros Andrea Bracho Rivera⁷  , Cynthia Michel Olguín-Martínez¹⁰  , Denisse Viridiana Velarde-Osuna¹⁰  , Daniel Omar Nieves-Lizárraga¹⁰  , María Teresa De Jesús De La Paz Rosales¹⁰  , Rogelio Buelna-Sánchez¹⁰  

¹Universidad de Brasilia. Brasil.

²Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

³Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”. Ecuador.

⁴Universidad Católica Andrés Bello, Gerencia y Evaluación Educativa. Venezuela.

⁵Universidad de Carabobo. Venezuela

⁶Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Barquisimeto, Venezuela.

⁷Universidad de Panamá. Panamá.

⁸Universidad Técnica de Manabí. Ecuador.

⁹Escuela Militar de Ingeniería. Bolivia.

¹⁰Universidad Autónoma de Sinaloa. México.

Citar como: Rodríguez Vásquez MP, Vera Barrios BS, Ormaza Esmeraldas EdLC, Carbache Mora C, Rodríguez-Álvarez AM, Román-Mireles A, et al. Application of augmented reality in physical rehabilitation. AG Salud. 2024; 2:50. <https://doi.org/10.62486/agsalud202450>

Enviado: 10-12-2023

Revisado: 06-02-2023

Aceptado: 21-03-2024

Publicado: 22-03-2024

Editor: Prof. Dr. Javier González Argote 

ABSTRACT

Augmented reality (AR) has become a popular multidisciplinary research field in recent decades. Augmented reality adds to the subject's real-world sensory information through computer-generated sound, text, and graphics that are projected into the user's natural visual and auditory fields to provide a real-time interactive experience in a common environment. A bibliographic review was carried out with the objective of updating the current state of the use of augmented reality in physical rehabilitation. Augmented reality systems consist of a user interface that offers a motivational component to patients to perform exercises, distracting them from the potential pain they may feel during exercises. Additionally, they can be implemented in the patient's home and eliminate frequent visits to rehabilitation clinics. Among the most used systems are ARS, RehaBio, NeuroR, AR Fruit Ninja, MirrARbilitation, SleeveAR, ARIS and BRU. Its uses have been focused mainly on post-surgical orthopedic and neurological rehabilitation in patients with strokes. Augmented reality offers significant benefits over in-person rehabilitation and other technologies such as virtual reality, which can speed up the recovery process and improve patients' quality of life.

Keywords: Augmented Reality; Rehabilitation; Physiotherapy.

RESUMEN

La realidad aumentada (RA) se ha convertido en un campo de investigación multidisciplinario popular en las últimas décadas. La realidad aumentada se suma a la información sensorial del mundo real del sujeto a través de sonido, texto y gráficos generados por computadora que se proyectan en los campos visuales y auditivos naturales del usuario para brindar una experiencia interactiva en tiempo real en un entorno común.

Se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de actualizar el estado actual del uso de la realidad aumentada en la rehabilitación física. Los sistemas de realidad aumentada constan de una interfaz de usuario que ofrece un componente motivador a los pacientes para realizar ejercicios, distrayéndolos del dolor potencial que pueden sentir durante los ejercicios. Además, pueden implementarse en el hogar del paciente y eliminar las visitas frecuentes a las clínicas de rehabilitación. Entre los sistemas más utilizados se encuentran ARS, RehaBio, NeuroR, AR Fruit Ninja, MirrARbilitation, SleeveAR, ARIS y BRU. Sus usos se han enfocado principalmente a la rehabilitación ortopédica posquirúrgica y neurológica, en pacientes con accidentes cerebrovasculares. La realidad aumentada ofrece beneficios significativos con respecto a la rehabilitación presencial y otras tecnologías como la realidad virtual, que pueden acelerar el proceso de recuperación y mejorar la calidad de vida de los pacientes.

Palabras clave: Realidad Aumentada; Rehabilitación; Fisioterapia.

INTRODUCCIÓN

La rehabilitación es una disciplina que permite recuperar una función perdida o disminuida de las capacidades motrices por medio de un conjunto de procesos para volver a realizar actividades rutinarias o autónomas. Las formas de rehabilitación pueden ser físicas, cognitivas, sensoriales, prácticas y muchas veces de formas virtuales, es decir experimentadas en un ambiente tecnológico; todas estas con el fin de estimular las funciones mentales necesarias para recuperar los movimientos motrices.⁽¹⁾ La rehabilitación física es el conjunto de medidas sociales, educativas y profesionales que concierne el tratamiento de la incapacidad encaminadas a facilitar, mantener o devolver el mayor grado de capacidad funcional y posible independencia.⁽²⁾

La rehabilitación motora restaura la salud funcional del paciente que está dañada debido a deficiencias del sistema musculoesquelético o nervioso. La rehabilitación consiste en repetir ejercicios de forma iterativa para fortalecer la zona del cuerpo afectada. Requiere realizar movimientos de una forma muy específica, de lo contrario los beneficios pueden no ser los adecuados y los resultados deseados serán menos notorios.⁽³⁾

Esta área de las ciencias médicas juega un papel clave en maximizar la recuperación y mejorar la función para aumentar el rendimiento y la autonomía en las actividades de la vida diaria (AVD) tanto para pacientes neurológicos como ortopédicos.⁽⁴⁾

Se pueden utilizar dos tecnologías digitales para los servicios de atención virtual: realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA). Estas pueden constituir herramientas de tratamiento complementaria para la rehabilitación y la fisioterapia. El uso de estas tecnologías facilita la realización de ejercicios repetitivos y proporciona un mecanismo para animar a los pacientes a través de la retroalimentación.⁽⁵⁾

La realidad aumentada se ha convertido en un campo de investigación multidisciplinario popular en las últimas décadas. Se ha utilizado en diferentes aplicaciones para mejorar la retroalimentación visual de los sistemas de información. Computadoras más rápidas, cámaras avanzadas y algoritmos novedosos motivan aún más a los investigadores a ampliar las áreas de aplicación de la RA.⁽⁶⁾

A diferencia de la realidad virtual, la realidad aumentada aumenta el entorno del mundo real en lugar de reemplazarlo. La realidad aumentada se suma a la información sensorial del mundo real del sujeto a través de sonido, texto y gráficos generados por computadora que se proyectan en los campos visuales y auditivos naturales del usuario para brindar una experiencia interactiva en tiempo real en un entorno común.^(1,7,8)

El entorno aumentado se puede experimentar a través de diferentes conjuntos de tecnología, incluidas pantallas móviles (tabletas y pantallas de teléfonos inteligentes), monitores de computadora, pantallas montadas en la cabeza (HMD) y sistemas de proyección que luego conducen al desarrollo de la realidad aumentada espacial (SAR). Los avances tecnológicos recientes aumentaron la popularidad de la RA entre el público. La RA permite una dinámica entre los usuarios y los entornos reales y, junto con el entretenimiento, adquirir información útil, por ejemplo, cómo cuidar mejor su salud.⁽⁶⁾

Las aplicaciones de realidad virtual y realidad aumentada están transformando la atención médica, la medicina, la rehabilitación y la educación del paciente al brindar soluciones nuevas e innovadoras a desafíos de larga data.⁽⁹⁾

Se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de actualizar el estado actual del uso de la realidad aumentada en la rehabilitación física.

METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda de información en febrero de 2024 en las bases de dato Redalyc, Elsevier Science Direct, PubMed/Medline, SciELO, así como en los servicios ClinicalKeys y el buscador Google Académico. Para recuperar la información se emplearon estrategias de búsqueda avanzada, mediante la estructuración de fórmulas de búsqueda con el empleo de los términos “realidad aumentada”, “rehabilitación”, “fisioterapia”,

etc. así como sus equivalentes en idioma inglés. De los documentos resultantes se seleccionaron aquellos que aportaran información teórica y empírica sobre la aplicación de la realidad aumentada en la rehabilitación, en idioma español o inglés.

DESARROLLO

La rehabilitación motora se produce mediante reuniones periódicas entre paciente y fisioterapeuta con una frecuencia que depende de la disponibilidad de ambos. El tiempo que los pacientes dedican a la terapia en las clínicas es muy corto en comparación con el tiempo potencial que pueden dedicarle fuera del entorno clínico (por ejemplo, en casa). Muchas veces, dado que debe realizarse durante un largo período de tiempo, es común que los pacientes se desinteresen y, en consecuencia, realicen los ejercicios de manera casual e incorrecta.^(3,8) Por ello, se vuelve crucial que el paciente realice ejercicios en casa para acelerar el proceso de rehabilitación. Sin embargo, en casa tanto las instrucciones terapéuticas como las correcciones por parte del fisioterapeuta no se proporcionan verbalmente al paciente, lo que potencialmente lleva al paciente a realizar los ejercicios incorrectamente.⁽³⁾

Los sistemas de rehabilitación deben incluir ejercicios repetitivos, desafiantes, motivadores e intensivos para mejorar la eficacia de la plasticidad neuronal de los pacientes. Los métodos de rehabilitación tradicionales a menudo se realizan con instrumentos externos, como la deambulación en cinta rodante utilizando suspensión de arnés y asistencia manual por parte de fisioterapeutas, y patinaje con brazos a bordo que apoya el movimiento de la mano para la rehabilitación de las extremidades superiores. La mayoría de los sistemas tradicionales se presentan para mejorar el desempeño de las actividades de la vida diaria y aumentar la independencia de los pacientes. Sin embargo, estos métodos son cada vez más caros porque requieren una actividad individual entre terapeuta y paciente.⁽⁸⁾

Las terapias de rehabilitación incluyen actualmente una variedad de técnicas y enfoques que han permitido desde la atención especializada de pacientes discapacitados hasta la terapia personalizada, que se está convirtiendo en una estrategia líder en salud pública. Entre ellos, ha surgido una nueva categoría de sistemas de rehabilitación y entornos virtuales para terapia, desde la telemedicina, las alteraciones de interfaces de usuario y controladores de videojuegos, hasta los “*serious games*”, la realidad virtual y la realidad aumentada.⁽¹⁰⁾

Los sistemas interactivos de RV y RA pueden ayudar en el proceso de rehabilitación. Estos sistemas constan de una interfaz de usuario que ofrece un componente motivador a los pacientes para realizar ejercicios, distrayéndolos del dolor potencial que pueden sentir durante los ejercicios. Además, pueden implementarse en el hogar del paciente y eliminar las visitas frecuentes a las clínicas de rehabilitación.⁽³⁾ La rehabilitación ortopédica a distancia supone una reducción de costos para los sistemas de salud; demostrado con la reducción de transportes, hospitalizaciones y reingresos.⁽¹¹⁾

En años más recientes, los sistemas de entrenamiento de RA y RV combinados con computadoras de escritorio y aplicaciones de teléfonos inteligentes se han utilizado como complemento de la rehabilitación convencional. Estas tecnologías brindan nuevas oportunidades para aumentar la sensación de inmersión en aplicaciones interactivas, que pueden combinarse con otras técnicas de desarrollo de juegos para aumentar la participación del usuario, lo que en última instancia resulta en una experiencia general mejorada.⁽¹²⁾

En RA, los gráficos generados por computadora se superponen a la visión del mundo real del usuario, brindándole más información sobre los objetos que está viendo. La RA generalmente se proporciona a través de gafas de uso específico, llamadas gafas inteligentes (por ejemplo, Microsoft HoloLens, Epson MOVERIO), o cualquier dispositivo con una pantalla y una cámara, como una tableta o un teléfono inteligente.⁽¹²⁾

Las tecnologías RV/RA tienen un gran potencial, ya que pueden cambiar completamente la percepción de las funciones motoras del propio usuario, potencialmente reestructurando la propiocepción corporal, vital para aplicaciones de neurorrehabilitación, neuroplasticidad y rehabilitación motora en general.⁽¹⁰⁾

La RA se puede utilizar como guía visual para realizar una actividad, o para sumergirse en un entorno diferente, pero también se pueden controlar mediante una variedad de sensores o bioseñales donde un movimiento natural del cuerpo genera una respuesta en el entorno mostrado como movimiento o control de un avatar. Un ejemplo sencillo sería adaptar el entorno para que cuando los sujetos caminen, éste también se mueva y puedan explorarlo. De estas interacciones pueden surgir varias estrategias de rehabilitación.⁽¹⁰⁾

Durante la intervención, los pacientes son guiados y corregidos mediante retroalimentación confiable y precisa de los objetos virtuales que la RA acomoda para mejorar el aprendizaje motor y la motivación. Los objetos virtuales interactivos creados por RA en el mundo real inducen más encarnación hacia los usuarios que los creados por RV en el mundo virtual.⁽⁸⁾

La RA crea un entorno seguro que permite a los usuarios interactuar con objetos reales en circunstancias del mundo real. La realidad virtual y la realidad real se superponen y el paciente es consciente de los peligros potenciales.⁽¹¹⁾ Se modifica fácilmente para adaptarse a la discapacidad o preferencias personales del individuo. A medida que la tecnología de RA se vuelve más accesible y asequible, las intervenciones de RA podrían

utilizarse ampliamente en entornos de rehabilitación clínica.^(8,11)

La terapia personalizada también está al alcance de la mano mediante RA, ya que estas interfaces pueden adaptar el nivel de complejidad al desempeño del paciente y actualizarse a medida que el paciente mejora su control sobre la extremidad afectada.¹⁰

Los sistemas de RA utilizados son muy variados: proyectores conectados a ordenadores con cámaras web donde se mostraban imágenes, extremidades superiores virtuales, vídeos de entrenamiento, teletratamiento mediante RA con tabletas, proyecciones con RA en cintas de correr o en el suelo, un dispositivo de RA montado en la cabeza utilizado para visualización holográfica de señales visuales y un sistema más nuevo como el sistema 3D-RA, en el que se rastrea el movimiento del cuerpo del participante, creando un entorno de RA que generaba imágenes reales capturadas en vídeos con imágenes virtuales.⁽¹³⁾ Entre los sistemas de realidad aumentada más utilizados figuran:

ARS, también para la rehabilitación después de un accidente cerebrovascular. Proporcionar un entorno motivador, basado en un juego de “atrapar mariposas”, para realizar tareas de alcance. Los autores presentaron dos versiones: una modalidad básica basada en un juego de computadora y una versión más avanzada que incorpora una herramienta de control para aumentar el esfuerzo físico asociado con las tareas de alcance. Además, incluye una puntuación del juego.⁽⁴⁾

RehaBio se puede utilizar para restaurar las funciones perdidas de las extremidades superiores de pacientes con hemiparesia por accidente cerebrovascular, lesión cerebral traumática o lesión de la médula espinal. El sistema incluye tres módulos: una base de datos para almacenar el perfil del paciente e información de entrenamiento, un módulo para rehabilitación basada en RA que comprende cuatro ejercicios (rehabilitación de pin pong, rehabilitación de recolección de globos, rehabilitación de transferencia de objetos y rehabilitación de alimentación de animales) y un módulo de simulación de biorretroalimentación para monitorear y visualizar el rendimiento de los músculos entrenados. El sistema incluye la evaluación del desempeño del usuario.^(4,14)

NeuroR, para rehabilitación post-ictus. Este sistema proporciona imágenes motoras (que pueden definirse como “la ejecución mental de un movimiento sin ningún movimiento manifiesto o sin ninguna activación periférica”) por medio de un brazo virtual 3D que reemplaza el brazo paralizado en un avatar virtual del paciente. Se puede utilizar tanto en centros de rehabilitación como en casa.^(4,15)

AR Fruit Ninja es una versión RA del popular juego comercial “Fruit Ninja” para pacientes con accidente cerebrovascular crónico. La actividad del juego se muestra sobre una mesa mediante un proyector. Al cortar las frutas virtuales, los pacientes pueden observar directamente el movimiento real de la mano sobre la mesa. El sistema puede proporcionar retroalimentación a medida que el juego puntúa para motivar a los pacientes durante la rehabilitación.^(4,8)

MirrARbilitation es un sistema con reconocimiento de gestos basado en tecnología de seguimiento corporal sin marcadores, como el dispositivo de entrada de detección de movimiento Kinect™ de Microsoft®. El sistema guía y motiva al usuario durante la ejecución de una tarea de alcance, permitiendo al fisioterapeuta establecer el ángulo del objeto diana. Además, proporciona puntos e instrucciones para evitar la ejecución incorrecta de movimientos. Está diseñado específicamente para adaptarse a un entorno doméstico.⁽⁴⁾

SleeveAR es un sistema que integra retroalimentación multimodal (visual-audio-háptica) para guiar al paciente a través de ejercicios terapéuticos de rehabilitación (abducción-aducción, elevación-depresión, flexión-extensión) prescritos por un fisioterapeuta. El sistema proporciona al paciente una guía de movimientos junto con un informe sobre el progreso del ejercicio mediante proyecciones en su brazo y en el suelo. Específicamente, la tecnología de captura de movimiento, como Optitrack, se utiliza para rastrear el movimiento de los brazos de las personas. Sleeve está diseñado para entornos domésticos; sin embargo, por su complejidad y alto costo, en este momento puede ser utilizado en gimnasios de rehabilitación con sesiones terapéuticas múltiples y concurrentes.^(4,16)

ARIS (Sistema de ilusión basado en realidad aumentada) fue diseñado para la rehabilitación clínica después de un accidente cerebrovascular. El sistema utiliza tecnología de visión por computadora para crear el entorno ilusorio y procesamiento de señales para monitorear el desempeño de los músculos entrenados a través de una señal EMG (señal de electromiografía), visual y auditiva. El juego consiste en un ejercicio de movimientos circulares enfocados en la articulación del hombro.⁽¹⁾

La Unidad de Rehabilitación del Equilibrio (BRU™) es un dispositivo que utiliza la transmisión de imágenes virtuales vistas a través de gafas 3D para recrear situaciones que provocan mareos. Se compone de un ordenador con el software, una estructura metálica de seguridad, un soporte de seguridad con asas y cinturón, una plataforma de fuerza, gafas de realidad virtual, un acelerómetro y un cojín de espuma. Incluye tres módulos: posturografía, rehabilitación del equilibrio corporal y juegos de entrenamiento postural. Este sistema permite entrenar diferentes movimientos y reflejos oculomotores implicados en el mantenimiento del equilibrio corporal de forma controlada, mediante el uso de una variedad de estímulos visuales modificados en función de la frecuencia, la percepción de profundidad, la dirección y la velocidad del movimiento.⁽¹⁹⁾

La combinación de realidad aumentada y ejercicio puede generar algunos beneficios psicológicos, así como

un aumento de la sensación de energía y placer, y una reducción de los niveles de cansancio percibido.⁽¹⁹⁾

Existen algunos obstáculos que limitan el uso generalizado de la RA, como las limitaciones tecnológicas y de interfaz de usuario. Otros aspectos negativos como la fatiga ocular o factores humanos relacionados con los efectos del uso prolongado, como la latencia y la adaptación del usuario al equipo, también podrían reducir el rendimiento de la tarea. Además, la percepción de profundidad puede hacer que los objetos parezcan más lejanos de lo que realmente están.⁽¹³⁾

También parece que no se ha utilizado la RA porque, para el mismo objetivo, se pueden utilizar otras tecnologías con enfoques más sencillos, como la RV. Sin embargo, la realidad aumentada tiene ventajas que la realidad virtual no tiene.⁽¹³⁾

La elección de desarrollar un sistema RA para la rehabilitación física se basa en el hecho de que la visualización automática durante la ejecución del movimiento puede mejorar la conciencia corporal del paciente, lo que puede conducir a una terapia más efectiva, permitiendo activar una red visuoespacial adicional de la corteza.⁽³⁾

Otro beneficio de la RA para las aplicaciones de rehabilitación es la precisión del ejercicio durante las tareas interactivas. Los estudios comparativos arrojan que las tareas realizadas con RV/RA para actividades de alcance mostraron rutas más precisas cuando se usa RA con un ejercicio más eficiente.⁽³⁾

Las ventajas de la realidad virtual, la realidad aumentada, la gamificación y la telerehabilitación ya han sido demostradas en varios campos de la medicina, pero los estudios centrados en la rehabilitación ortopédica son aún escasos.⁽¹¹⁾ Para superar los inconvenientes actuales con la RA y generalizarla en el campo de la rehabilitación, algunas perspectivas para los futuros sistemas de rehabilitación de deberían integrarse junto con muchas tecnologías y dispositivos modernos, como la inteligencia artificial, la Internet de las cosas, porque estas altas tecnologías pueden adaptar inteligentemente los ejercicios en función del progreso y la retroalimentación de los usuarios. Además, pueden proporcionar varias interfaces, diversos programas de capacitación, un seguimiento de mayor precisión y una mayor calidad de presencia y encarnación para los usuarios. Para aumentar la motivación de los usuarios durante el tratamiento, se requiere diseñar contenido atractivo para el sistema RA, pero también es necesario diseñar un sistema fácil de usar, portátil y de bajo costo.^(1,8,13)

La gestión y el seguimiento de la salud y el progreso de los usuarios deben aplicarse en los sistemas de rehabilitación de RA. Esto es necesario para establecer una telerehabilitación que pueda monitorear el cambio en las actividades y el comportamiento personal en tiempo real durante o después del tratamiento y luego se comunicará con los profesionales de la salud.⁽⁸⁾

CONCLUSIONES

La realidad aumentada ha revolucionado el campo de la rehabilitación física al ofrecer una forma innovadora y efectiva de mejorar la recuperación de los pacientes. Los profesionales de la salud pueden ahora diseñar programas de rehabilitación personalizados y adaptados a las necesidades específicas de cada individuo. La realidad aumentada permite a los pacientes realizar ejercicios de manera interactiva y motivadora, lo que aumenta su compromiso y persistencia en el proceso de recuperación. Además, proporciona retroalimentación en tiempo real, para corregir la técnica y mejorar los resultados. De forma general, ofrece beneficios significativos con respecto a la rehabilitación presencial y otras tecnologías como la realidad virtual, que pueden acelerar el proceso de recuperación y mejorar la calidad de vida de los pacientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sanchez Taco LF. Sistema de rehabilitación para personas con deficiencia del control motor de miembro superior en un entorno de realidad aumentada. Universidad Técnica del Norte, 2022.
2. Moreno F, Ojeda J, Mena C, Rodríguez O, Rangel J, Álvarez S. Un Framework para la Rehabilitación Física en Miembros Superiores con Realidad Virtual 2013.
3. Da Gama AEF, Chaves TM, Figueiredo LS, Baltar A, Meng M, Navab N, et al. MirrARbilitation: A clinically-related gesture recognition interactive tool for an AR rehabilitation system. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 2016;135:105-14. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2016.07.014>.
4. Vigliani RM, Condino S, Turini G, Carbone M, Ferrari V, Gesi M. Review of the Augmented Reality Systems for Shoulder Rehabilitation. *Information* 2019;10:154. <https://doi.org/10.3390/info10050154>.
5. Kiani S, Rezaei I, Abasi S, Zakerbasali S, Yazdani A. Technical aspects of virtual augmented reality-based rehabilitation systems for musculoskeletal disorders of the lower limbs: a systematic review. *BMC Musculoskeletal Disord* 2023;24:4. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06062-6>.

6. Makhataeva Z, Varol H. Augmented Reality for Robotics: A Review. *Robotics* 2020;9:21. <https://doi.org/10.3390/robotics9020021>.
7. Heffernan A, Abdelmalek M, Nunez DA. Virtual and augmented reality in the vestibular rehabilitation of peripheral vestibular disorders: systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 2021;11:17843. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97370-9>.
8. Phan HL, Le TH, Lim JM, Hwang CH, Koo K. Effectiveness of Augmented Reality in Stroke Rehabilitation: A Meta-Analysis. *Applied Sciences* 2022;12:1848. <https://doi.org/10.3390/app12041848>.
9. Denche-Zamorano A, Rodriguez-Redondo Y, Barrios-Fernandez S, Mendoza-Muñoz M, Castillo-Paredes A, Rojo-Ramos J, et al. Rehabilitation Is the Main Topic in Virtual and Augmented Reality and Physical Activity Research: A Bibliometric Analysis. *Sensors* 2023;23:2987. <https://doi.org/10.3390/s23062987>.
10. Toledo-Peral CL, Vega-Martínez G, Mercado-Gutiérrez JA, Rodríguez-Reyes G, Vera-Hernández A, Leija-Salas L, et al. Virtual/Augmented Reality for Rehabilitation Applications Using Electromyography as Control/Biofeedback: Systematic Literature Review. *Electronics* 2022;11:2271. <https://doi.org/10.3390/electronics11142271>.
11. Berton A, Longo UG, Candela V, Fioravanti S, Giannone L, Arcangeli V, et al. Virtual Reality, Augmented Reality, Gamification, and Telerehabilitation: Psychological Impact on Orthopedic Patients' Rehabilitation. *JCM* 2020;9:2567. <https://doi.org/10.3390/jcm9082567>.
12. Pereira MF, Prahm C, Kolbenshlag J, Oliveira E, Rodrigues NF. Application of AR and VR in hand rehabilitation: A systematic review. *Journal of Biomedical Informatics* 2020;111:103584. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2020.103584>.
13. Vinolo Gil MJ, Gonzalez-Medina G, Lucena-Anton D, Perez-Cabezas V, Ruiz-Molinero MDC, Martín-Valero R. Augmented Reality in Physical Therapy: Systematic Review and Meta-analysis. *JMIR Serious Games* 2021;9:e30985. <https://doi.org/10.2196/30985>.
14. Aung YM, Jumaily AA. Augmented reality-based RehaBio system for shoulder rehabilitation. *IJMA* 2014;4:52. <https://doi.org/10.1504/IJMA.2014.059774>.
15. Assis GAD, Brandão AF, Correa AGD, Castellano G. Characterization of Functional Connectivity in Chronic Stroke Subjects after Augmented Reality Training. *Virtual Worlds* 2023;2:1-15. <https://doi.org/10.3390/virtualworlds2010001>.
16. Farooq MS, Zahid Z, Omer U, Tehseen R, Alvi A, Farooq U, et al. Applications of Augmented Reality in Neurology: Architectural Model and Guidelines. *IEEE Access* 2022;10:102804-30. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3206600>.
17. Kotcherlakota S, Pelish P, Hoffman K, Kupzyk K, Rejda P. Augmented Reality Technology as a Teaching Strategy for Learning Pediatric Asthma Management: Mixed Methods Study. *JMIR Nursing* 2020;3:e23963. <https://doi.org/10.2196/23963>.
18. Parmaxi A, Demetriou AA. Augmented reality in language learning: A state-of-the-art review of 2014-2019. *Computer Assisted Learning* 2020;36:861-75. <https://doi.org/10.1111/jcal.12486>.
19. Crocetta TB, Oliveira SRD, Liz CMD, Andrade A. Virtual and augmented reality technologies in Human Performance: a review. *Fisioter Mov* 2015;28:823-35. <https://doi.org/10.1590/0103-5150.028.004.AR01>.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Mario Pedro Rodríguez Vásquez, Bertha Silvana Vera Barrios, Elizabeth del Carmen Ormaza Esmeraldas, César Carbache Mora, Aida Maygualida Rodríguez-Álvarez, Amarelys Román-Mireles, José Gregorio Mora-Barajas, Aaron Samuel Bracho Mosquera, Nancy Rosillo Suárez, Rafael Romero-Carazas, Juan Richar Villacorta Guzmán, Rita Liss Ramos Perez, Rene Isaac Bracho Rivera, Milagros Andrea Bracho Rivera, Cynthia Michel Olguín-Martínez, Denisse Viridiana Velarde-Osuna, Daniel Omar Nieves-Lizárraga, María Teresa De Jesús De La Paz Rosales, Rogelio Buelna-Sánchez.

Investigación: Mario Pedro Rodríguez Vásquez, Bertha Silvana Vera Barrios, Elizabeth del Carmen Ormaza Esmeraldas, César Carbache Mora, Aida Maygualida Rodríguez-Álvarez, Amarelys Román-Mireles, José Gregorio Mora-Barajas, Aaron Samuel Bracho Mosquera, Nancy Rosillo Suárez, Rafael Romero-Carazas, Juan Richar Villacorta Guzmán, Rita Liss Ramos Perez, Rene Isaac Bracho Rivera, Milagros Andrea Bracho Rivera, Cynthia Michel Olguín-Martínez, Denisse Viridiana Velarde-Osuna, Daniel Omar Nieves-Lizárraga, María Teresa De Jesús De La Paz Rosales, Rogelio Buelna-Sánchez.

Redacción - borrador original: Mario Pedro Rodríguez Vásquez, Bertha Silvana Vera Barrios, Elizabeth del Carmen Ormaza Esmeraldas, César Carbache Mora, Aida Maygualida Rodríguez-Álvarez, Amarelys Román-Mireles, José Gregorio Mora-Barajas, Aaron Samuel Bracho Mosquera, Nancy Rosillo Suárez, Rafael Romero-Carazas, Juan Richar Villacorta Guzmán, Rita Liss Ramos Perez, Rene Isaac Bracho Rivera, Milagros Andrea Bracho Rivera, Cynthia Michel Olguín-Martínez, Denisse Viridiana Velarde-Osuna, Daniel Omar Nieves-Lizárraga, María Teresa De Jesús De La Paz Rosales, Rogelio Buelna-Sánchez.

Redacción - revisión y edición: Mario Pedro Rodríguez Vásquez, Bertha Silvana Vera Barrios, Elizabeth del Carmen Ormaza Esmeraldas, César Carbache Mora, Aida Maygualida Rodríguez-Álvarez, Amarelys Román-Mireles, José Gregorio Mora-Barajas, Aaron Samuel Bracho Mosquera, Nancy Rosillo Suárez, Rafael Romero-Carazas, Juan Richar Villacorta Guzmán, Rita Liss Ramos Perez, Rene Isaac Bracho Rivera, Milagros Andrea Bracho Rivera, Cynthia Michel Olguín-Martínez, Denisse Viridiana Velarde-Osuna, Daniel Omar Nieves-Lizárraga, María Teresa De Jesús De La Paz Rosales, Rogelio Buelna-Sánchez.