



TESINA

presentada para acceder al título de grado de la carrera de
LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA

Título:

“Realidad virtual como estrategia de intervención en
pacientes amputados con dolor de miembro fantasma”

Autor:

Paron, Sebastián IUGR-6709

Directora:

Lic.Gabriela Dell'Elce.

Lugar y Fecha de Presentación:

Rosario

27/04/2026

Firma de Autor:

A handwritten signature in black ink, appearing to be the name 'Sebastián Paron', is located below the 'Firma de Autor:' label. The signature is fluid and stylized, with a large initial 'S'.

ÍNDICE.

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
III. MARCO TEÓRICO.....	3
A. Definición, características clínicas y diferenciación del dolor de miembro fantasma.	3
B. Epidemiología y factores de riesgo.....	4
C. Fisiopatología del dolor de miembro fantasma.....	5
D. Evaluación del dolor y de la calidad de vida relacionada con la salud.....	9
E. Tratamientos convencionales para el dolor de miembro fantasma.....	11
F. Intervenciones quirúrgicas.....	13
G. Limitaciones generales.....	14
H. Realidad virtual en rehabilitación y en el tratamiento del dolor de miembro fantasma	14
IV. JUSTIFICACIÓN.....	16
V. MATERIAL Y MÉTODOS.....	17
VI. RESULTADOS.....	21
VII. DISCUSIÓN.....	55
VIII. CONCLUSIÓN.....	59
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

RESUMEN

Introducción: La amputación de un miembro constituye un evento clínico que genera importantes consecuencias funcionales, psicológicas y sociales. Entre las complicaciones más frecuentes se encuentra el dolor de miembro fantasma (phantom limb pain, PLP), definido como una sensación dolorosa percibida en el miembro amputado. Se estima que entre el 60% y el 80% de las personas amputadas experimentan este tipo de dolor, el cual puede volverse crónico y afectar significativamente la calidad de vida relacionada con la salud (CVRS). A pesar de la existencia de diversas estrategias terapéuticas, como tratamientos farmacológicos, fisioterapia, estimulación neuromoduladora o terapia espejo, los resultados continúan siendo variables y en muchos casos insuficientes. En este contexto, la realidad virtual ha surgido como una alternativa terapéutica innovadora, al permitir la creación de entornos virtuales interactivos capaces de proporcionar retroalimentación sensoriomotora y modificar la representación corporal implicada en la fisiopatología del dolor de miembro fantasma.

Objetivo: Analizar mediante una revisión bibliográfica el impacto de las intervenciones basadas en realidad virtual sobre la intensidad del dolor de miembro fantasma y la calidad de vida relacionada con la salud en personas amputadas.

Materiales y métodos: Se realizó una revisión bibliográfica mediante la búsqueda de artículos científicos en las bases de datos PubMed y Biblioteca Virtual en Salud (BVS), complementada con búsqueda manual en referencias y Google Scholar. Se incluyeron estudios publicados entre 2010 y 2025 que evaluaran intervenciones de realidad virtual en pacientes amputados con dolor de miembro fantasma.

Resultados: La mayoría de los estudios reporta una reducción de la intensidad del dolor tras intervenciones con realidad virtual, especialmente cuando existe interacción motora con el miembro virtual. Algunos trabajos también describen mejoras funcionales y psicosociales relacionadas con la calidad de vida.

Conclusión: La realidad virtual se presenta como una estrategia terapéutica prometedora para el manejo del dolor de miembro fantasma, aunque la evidencia disponible aún muestra heterogeneidad metodológica.

Palabras clave: *Phantom Limb Pain; Virtual Reality; Amputees; Rehabilitation; Quality of Life.*

I. INTRODUCCIÓN

La amputación de un miembro representa una alteración significativa de la integridad corporal y conlleva diversas consecuencias negativas, incluyendo discapacidad y dolor postamputación. Esta pérdida puede ser causada por problemas vasculares, traumatismos, cáncer o deficiencias congénitas y tiene un impacto profundo en la vida del individuo. Uno de los fenómenos más comunes asociados con la amputación es la experiencia del miembro fantasma, prácticamente todos los amputados informan de una conciencia continua de su miembro fantasma, y entre el 60% y el 80% experimenta dolor del miembro fantasma (PLP, por sus siglas en inglés). El PLP se caracteriza por una sensación dolorosa percibida en el miembro amputado, ubicada fuera de los límites físicos del cuerpo, y tiende a volverse crónico con una variabilidad significativa en intensidad, frecuencia y calidad. Este dolor, de origen neuropático, se refiere a la extremidad faltante con cualidades de sensación como palpitaciones, punzadas y ardor, y se acompaña de una variedad de efectos secundarios, incluyendo depresión, impedimentos en las actividades cotidianas y disminución de la calidad de vida. Es importante distinguirlo del dolor de muñón, que corresponde a la sensación dolorosa originada en el segmento residual de la amputación, causada por el procedimiento quirúrgico y se localiza directamente en el muñón. Asimismo, se debe diferenciar también de la sensación fantasma, que es la sensación no dolorosa del segmento del cuerpo ausente.⁽¹⁻⁵⁾

El PLP sigue siendo un enigma para los profesionales de la salud, y su etiología exacta continúa siendo objeto de debate. Las teorías actuales sugieren una combinación de mecanismos, incluyendo cambios en los nervios periféricos, alteraciones en la médula espinal, modificaciones cerebrales y factores de naturaleza psicogénica. Estos mecanismos no son mutuamente excluyentes y podrían interactuar de maneras complejas. Sin embargo, entre estos factores, los cambios centrales se destacan como determinantes principales del dolor del miembro fantasma, subrayando la importancia de comprender las complejidades de la percepción del dolor para abordar de manera efectiva el PLP.^(3,6,7)

La relación entre PLP y la calidad de vida relacionada con la salud ha sido objeto de estudios significativos. Estas investigaciones revelan de manera contundente que los amputados que sufren de PLP enfrentan una calidad de vida relacionada con la salud considerablemente más baja en comparación con aquellos que no experimentan este tipo de dolor. Esta disminución en la calidad de vida no se limita solo a la dimensión física,

sino que también tiene profundas implicaciones emocionales. Además, una mala calidad de vida relacionada con la salud debida a problemas emocionales puede contribuir, a su vez, al dolor de miembro fantasma.⁽⁸⁾

El manejo del PLP representa un desafío significativo para los profesionales de la salud. Aunque se han explorado varias intervenciones, no existe un método de tratamiento completamente efectivo para este dolor crónico y complejo. Las opciones de tratamiento farmacológico son favorecidas por su naturaleza no invasiva, pero a menudo sólo ofrecen alivio sintomático y pueden tener efectos sistémicos no deseados. Terapias como la electroestimulación y la terapia de espejo clásica (TE) han mostrado ciertos beneficios, pero tienen limitaciones en su efectividad debido a la falta de verosimilitud en la información sensorial proporcionada por la extremidad faltante en el caso de la TE. Además, la TE solo es aplicable a las amputaciones unilaterales y no permite acciones asimétricas.⁽⁹⁾

En este contexto, la realidad virtual (RV) ha surgido como una alternativa prometedora para aliviar el PLP. Esta tecnología permite a los individuos sumergirse en un entorno tridimensional multisensorial a través de un dispositivo montado en la cabeza ("head-mounted display"), ofreciendo una experiencia visual, auditiva y táctil inmersiva. La RV no sólo proporciona una experiencia envolvente, sino que también incorpora dispositivos de seguimiento de movimiento que permiten la interacción directa con el entorno virtual. Estos dispositivos aseguran que los movimientos del usuario en el mundo virtual sean congruentes con los movimientos en el mundo real, lo que facilita una inmersión corporal completa. Esta funcionalidad no solo permite la interacción directa con objetos virtuales, sino que también ofrece oportunidades para terapias específicas, especialmente en el tratamiento del dolor de miembro fantasma (PLP). La variabilidad de los entornos virtuales también ha demostrado impactar la experiencia del dolor de manera significativa, lo que subraya la importancia de diseñar entornos virtuales específicos para abordar diferentes tipos de dolor y necesidades individuales. Estos hallazgos subrayan el potencial de la RV como una herramienta versátil y efectiva para el tratamiento del dolor crónico, incluido el PLP, y enfatizan la importancia de explorar y aprovechar plenamente esta tecnología en el ámbito clínico. Se espera que la RV continúe desempeñando un papel crucial en la gestión del dolor, ofreciendo a los pacientes nuevas formas de alivio y mejora de la calidad de vida. A pesar de estar en sus inicios, el estudio de la realidad virtual en personas con PLP abre nuevas perspectivas para el tratamiento de esta

compleja condición, aunque se reconoce que la calidad de la evidencia para esta intervención es aún limitada y requiere una mayor investigación.^(3,9-13)

A raíz de lo expuesto anteriormente, esta investigación se centrará en indagar en la literatura científica sobre la realidad virtual como terapéutica en el tratamiento de dolor de miembro fantasma con respecto a la disminución del dolor y calidad de vida relacionada con la salud.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general:

Analizar a través de una revisión bibliográfica el impacto del tratamiento con realidad virtual en la disminución del dolor y en la calidad de vida relacionada con la salud en pacientes adultos amputados con dolor de miembro fantasma.

B. Objetivos específicos:

- Describir beneficios y limitaciones de la realidad virtual como intervención terapéutica para el dolor del miembro fantasma.
- Evaluar la relación entre el uso de la realidad virtual como terapia y los niveles de dolor experimentados por pacientes con miembro fantasma, identificando patrones, variaciones en la eficacia y factores subyacentes que pueden influir en los resultados.
- Conocer el impacto de las intervenciones de realidad virtual en la calidad de vida relacionada con la salud en personas con dolor de miembro fantasma, considerando aspectos físicos, emocionales y sociales.

III. MARCO TEÓRICO

A. **Definición, características clínicas y diferenciación del dolor de miembro fantasma**

El dolor de miembro fantasma (PLP, por sus siglas en inglés *phantom limb pain*) se define como una sensación dolorosa que se percibe en una parte del cuerpo que ha sido amputada total o parcialmente. Este dolor puede manifestarse como punzadas, ardor, calambres, sensación de descarga eléctrica o presión. A pesar de la ausencia física del segmento corporal, el paciente continúa experimentando dolor como si ese miembro aún estuviera presente, lo que lo convierte en una forma particular de dolor neuropático crónico.⁽²⁾

Es fundamental diferenciar el PLP de otros fenómenos postamputación como la sensación fantasma y el dolor residual del muñón. La sensación fantasma es una experiencia común tras la amputación, caracterizada por la percepción no dolorosa del miembro ausente, incluyendo sensaciones como forma, posición, movimiento o temperatura. Esta sensación no implica malestar, y en muchos casos desaparece con el tiempo. Por otro lado, el dolor residual del muñón se localiza en el extremo proximal de la amputación (el muñón) y puede deberse a causas musculoesqueléticas, neuromas, infecciones, inflamación o problemas con la prótesis.⁽¹⁴⁾

El PLP puede ser continuo o episódico, y su intensidad varía ampliamente entre pacientes. En algunos casos, puede desencadenarse por estímulos externos como el contacto con el muñón, cambios climáticos, el estrés o la actividad física. Clínicamente, su aparición suele estar asociada a alteraciones en el sistema nervioso central, especialmente a nivel cortical, que perpetúan la representación del miembro ausente en el esquema corporal.⁽³⁾

B. Epidemiología y factores de riesgo

La prevalencia del PLP varía entre el 60% y el 85% en personas amputadas, según los distintos reportes clínicos. Esta variabilidad puede atribuirse a diferencias metodológicas, criterios diagnósticos y poblaciones estudiadas. No obstante, existe consenso en que la mayor parte de los pacientes experimentarán algún tipo de dolor fantasma durante el primer año postamputación.

Diversos factores se han identificado como predisponentes para el desarrollo de PLP: presencia de dolor en la extremidad previa a la amputación, nivel y causa de la amputación (traumática o vasculopática), tiempo de evolución, estado emocional y antecedentes de trastornos del sueño o salud mental. Además, se ha observado una mayor incidencia de PLP en amputaciones de miembros superiores respecto a los inferiores, lo cual podría explicarse por la mayor representación cortical de estos últimos.

El impacto del PLP es significativo no solo por su prevalencia, sino también por sus efectos funcionales: disminución de la movilidad, dificultades para el uso de prótesis, alteraciones del sueño y del estado de ánimo. Esto hace que su detección temprana y tratamiento eficaz sean prioritarios en el contexto de la rehabilitación integral del paciente amputado.^(3, 15, 16)

C. Fisiopatología del dolor de miembro fantasma

El dolor de miembro fantasma (PLP) es un fenómeno complejo y multifactorial que resulta de la interacción entre mecanismos periféricos, centrales y psicosociales. Su fisiopatología ha sido objeto de extensas investigaciones en los últimos años, lo que ha permitido abandonar explicaciones simplistas y adoptar un modelo integrador. El consenso actual indica que el PLP no puede explicarse desde un único nivel del sistema nervioso, sino como el resultado de una red interdependiente de procesos que involucran desde la activación anómala de terminaciones nerviosas hasta la reorganización de áreas corticales y la interpretación subjetiva del dolor por parte del individuo. ⁽¹⁷⁾

Mecanismos periféricos

Luego de una amputación, los axones seccionados intentan regenerarse y pueden formar neuromas en el extremo proximal del nervio. Estas estructuras son susceptibles de desarrollar actividad ectópica espontánea, lo que genera señales aberrantes que llegan al sistema nervioso central. Este fenómeno se ha vinculado con una mayor expresión de canales de sodio voltaje-dependientes y una mayor sensibilidad de los nociceptores periféricos, contribuyendo a la generación del dolor. Además, los neuromas pueden presentar una respuesta aumentada a estímulos simpáticos e inflamatorios, lo que potencia la descarga espontánea y facilita la instauración de la sensibilización central. ^(10,18)

Mecanismos centrales

A nivel espinal, las descargas anómalas originadas en los neuromas del muñón y en aferencias sensitivas tras la amputación pueden inducir fenómenos de sensibilización central. Este proceso se caracteriza por un aumento sostenido de la excitabilidad neuronal en el asta dorsal de la médula espinal, generado por la activación de receptores N-metil-D-aspartato (NMDA) y α -amino-3-hidroxi-5-metil-4-isoxazol-propionato (AMPA), que favorecen fenómenos de potenciación a largo plazo (LTP) en las sinapsis nociceptivas. Como consecuencia, las neuronas espinales disminuyen su umbral de activación y responden de manera amplificada ante estímulos que previamente serían inocuos, lo que se traduce clínicamente en hiperalgesia y alodinia. A esto se suma una reducción de los mecanismos inhibitorios endógenos mediados por interneuronas GABAérgicas y glicinérgicas, lo que contribuye a mantener un estado de hiperexcitabilidad persistente. ^(20,21)

En el contexto del dolor de miembro fantasma, estos cambios maladaptativos adquieren especial relevancia: la entrada repetitiva de impulsos nociceptivos aberrantes desde neuromas o fibras periféricas sensibilizadas mantiene activas las vías centrales aún en ausencia del miembro, reforzando la percepción dolorosa fantasma. Diversos estudios han demostrado que la actividad ectópica periférica y la sensibilización central coexisten en pacientes amputados, generando un circuito de retroalimentación que contribuye a explicar la intensidad y la cronicidad del PLP. ⁽¹⁹⁾

A nivel cerebral, uno de los hallazgos más relevantes es la reorganización cortical. Estudios de neuroimagen han demostrado que, tras una amputación, las áreas de la corteza somatosensorial primaria previamente asociadas al miembro perdido pueden ser ocupadas por representaciones vecinas. Esta reorganización se ha correlacionado positivamente con la intensidad del PLP, lo que sugiere que la magnitud del cambio somatotópico podría influir en la experiencia dolorosa. ^(22,23) En este marco, se ha propuesto que la alteración de la representación corporal genera una discordancia entre la intención motora y la retroalimentación sensorial disponible. Cuando el paciente intenta mover el miembro fantasma, se produce una señal eferente motora acompañada de una predicción sensorial; la ausencia de confirmación visual y propioceptiva congruente puede dar lugar a un conflicto sensoriomotor persistente. ⁽¹⁹⁾

La integración multisensorial adecuada es fundamental para la experiencia de pertenencia corporal (ownership) y para la sensación de control voluntario del movimiento (agency). En ausencia de retroalimentación coherente, estos procesos pueden verse alterados, contribuyendo a una representación corporal desorganizada y potencialmente al mantenimiento del dolor. De este modo, la reorganización cortical y el conflicto sensoriomotor se integran dentro de los mecanismos centrales implicados en la fisiopatología del dolor de miembro fantasma: ⁽²⁰⁾ ⁽¹⁹⁾

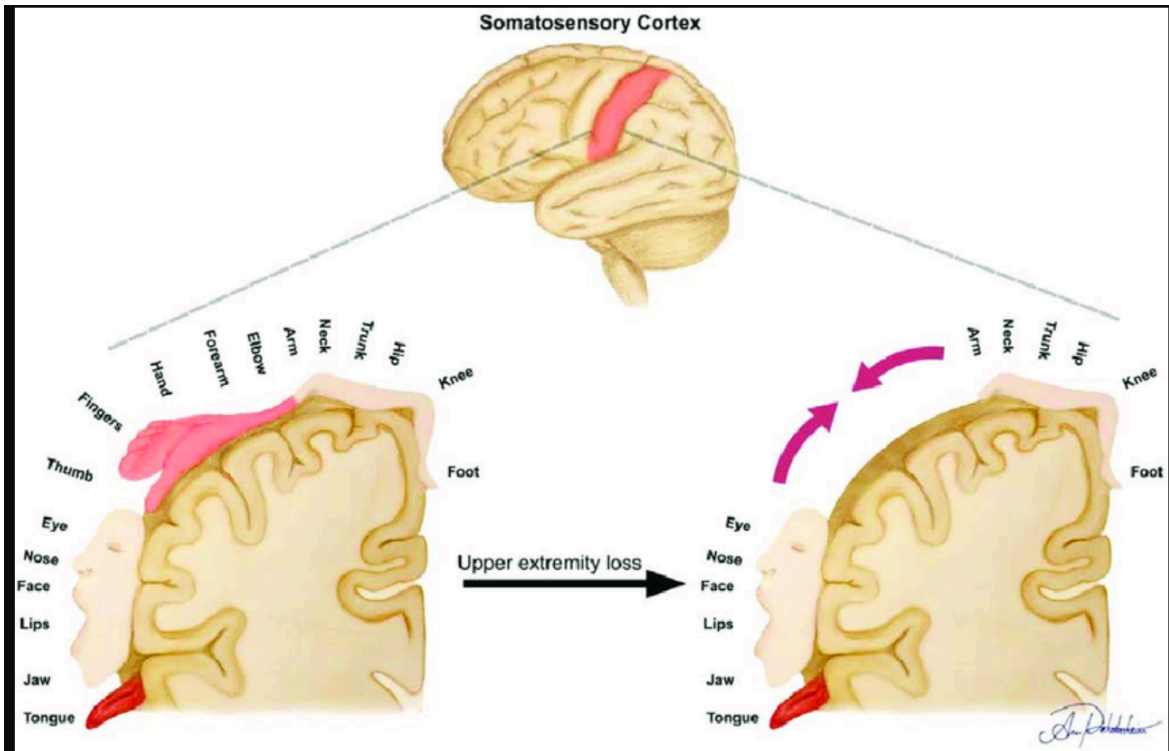


Figura 1. Diagrama de reorganización cortical somatotópica tras amputación, mostrando cómo áreas vecinas (ej.: cara) invaden la representación del miembro ausente.⁽²¹⁾

Teoría de la neuromatriz

La teoría de la neuromatriz del dolor, propuesta por Melzack, sostiene que el dolor es producido por una red neural distribuida en el sistema nervioso central, denominada “neuromatriz”. Esta red integra señales somatosensoriales, cognitivas, afectivas y motoras, generando la percepción consciente del cuerpo y del dolor. Lo más relevante de esta teoría es que explica cómo puede generarse dolor incluso en ausencia total de entradas periféricas, como sucede en el PLP. De hecho, se han documentado casos de PLP en personas con agenesia congénita, lo cual respalda la idea de que la representación del cuerpo es una construcción cortical preexistente.⁽²²⁾

Esta teoría es particularmente importante porque sustenta intervenciones terapéuticas orientadas a reconstruir la coherencia entre intención motora y retroalimentación sensorial. Ejemplos de ello son la terapia espejo, la imaginación motora y, más recientemente, la realidad virtual.

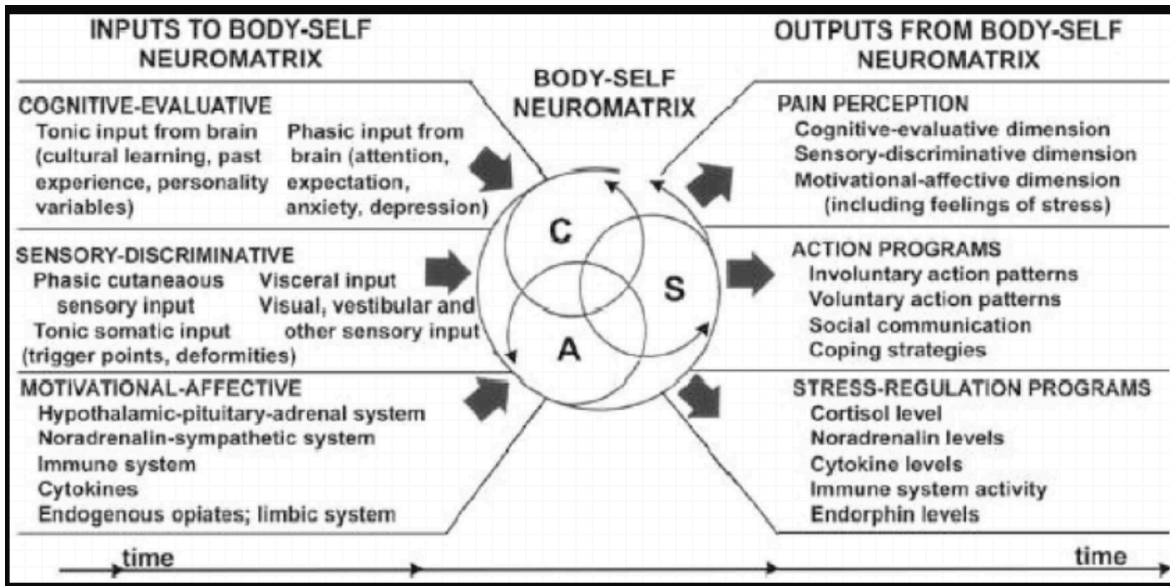


Figura 2. Modelo conceptual de la neuromatriz corporal (body-self neuromatrix) propuesto por Melzack, que integra inputs cognitivo-evaluativos, sensorial-discriminativos y motivacional-afectivos, generando la experiencia de dolor y las respuestas conductuales asociadas..⁽²²⁾

Neuroplasticidad y su desadaptación

La neuroplasticidad es la capacidad del sistema nervioso para reorganizar sus conexiones en respuesta a estímulos internos o externos. Luego de una amputación, esta plasticidad permite que el cerebro se adapte a la pérdida sensorial. Sin embargo, en ausencia de retroalimentación sensorial adecuada, estos cambios pueden ser desadaptativos, llevando a una reorganización cortical anómala y a una mayor percepción de dolor.^(17,22)

El conflicto entre la intención de movimiento y la falta de feedback sensorial activa estructuras como la corteza premotora, somatosensorial y el sistema límbico, perpetuando el dolor. Estudios con resonancia magnética funcional han demostrado que cuanto mayor es la reorganización somatotópica, mayor es la intensidad del PLP reportada.^(23,24)

Interacción multifactorial

La fisiopatología del PLP debe entenderse como el resultado de la convergencia entre mecanismos periféricos, centrales y psicológicos, más que como la consecuencia de un único factor aislado. Si bien elementos como la formación de neuromas, la reorganización cortical o el estado emocional pueden tener un peso variable en cada

paciente, está demostrado que ninguno de ellos explica por sí solo la totalidad del fenómeno. Por ejemplo, existen amputados con una marcada reorganización somatotópica sin desarrollar PLP, al igual que no todas las personas con antecedentes de dolor previo o con comorbilidad psicológica presentan dolor fantasma. Esto refuerza la idea de que es la interacción dinámica de múltiples mecanismos la que favorece la aparición y persistencia del PLP, y que en consecuencia los enfoques terapéuticos más efectivos deben ser integradores y multimodales. ^(17, 18, 22–24)

D. Evaluación del dolor y de la calidad de vida relacionada con la salud

Evaluación del dolor en personas con dolor de miembro fantasma (PLP)

El dolor de miembro fantasma (PLP) es una experiencia subjetiva y altamente variable, lo que plantea un desafío clínico y metodológico en su evaluación, ya que no existe una herramienta única que capture de forma integral sus dimensiones sensoriales, emocionales y funcionales. Sus manifestaciones incluyen desde punzadas, quemazón o calambres hasta sensaciones de descarga eléctrica, con una intensidad fluctuante que puede variar entre episodios breves y dolor continuo. ^(2, 3,25)

En la práctica clínica y en estudios de intervención, los instrumentos frecuentemente utilizados para evaluar PLP en personas amputadas incluyen tanto escalas unidimensionales como herramientas multidimensionales:

- Escala Visual Análoga (VAS): consiste en una línea continua de 10 cm donde el paciente marca la intensidad del dolor percibido. Es sencilla, sensible a los cambios clínicos y ampliamente utilizada en estudios clínicos.
- Escala Numérica del Dolor (NRS): permite al paciente calificar su dolor de 0 (sin dolor) a 10 (el peor dolor imaginable). Es de fácil comprensión y útil en contextos clínicos y domiciliarios.
- Cuestionario McGill del Dolor (MPQ): herramienta multidimensional que evalúa el dolor en términos sensoriales, afectivos y evaluativos. Incluye una lista de descriptores y una escala de intensidad, y ha sido validada en diferentes contextos de dolor crónico.

En estudios sobre dolor de miembro fantasma, la intensidad del dolor suele registrarse mediante escalas unidimensionales como la VAS o la NRS, debido a su

simplicidad, facilidad de aplicación y sensibilidad para detectar cambios clínicos a lo largo del tiempo. Asimismo, herramientas multidimensionales como el McGill Pain Questionnaire (MPQ) permiten caracterizar con mayor detalle las cualidades sensoriales y afectivas del dolor. Sin embargo, algunos estudios también emplean instrumentos que evalúan dimensiones más amplias del fenómeno doloroso, incluyendo su interferencia funcional y su impacto psicosocial. Entre ellos se encuentran el Brief Pain Inventory (BPI), que analiza tanto la intensidad del dolor como su interferencia en diferentes actividades de la vida diaria, y el Multidimensional Pain Inventory (MPI) y sus adaptaciones lingüísticas, como la versión alemana MPI-D, que permiten explorar el impacto del dolor crónico en distintos dominios conductuales y psicosociales. La utilización de estos instrumentos refleja la naturaleza multidimensional del dolor de miembro fantasma y la necesidad de abordarlo mediante herramientas que capten no sólo su intensidad, sino también sus repercusiones funcionales y clínicas.^(2,14)

Evaluación de la calidad de vida relacionada con la salud (CVRS)

La calidad de vida relacionada con la salud (CVRS) es un constructo multidimensional que hace referencia a la percepción subjetiva del bienestar físico, emocional, mental y social en relación con una condición de salud. En personas con amputaciones, la CVRS se ve afectada no solo por la pérdida funcional, sino también por la presencia de dolor crónico como el PLP, que puede limitar la movilidad, el uso de prótesis, la independencia y la participación social.^(14,15)

Entre los instrumentos más utilizados para evaluar la CVRS en pacientes amputados se destacan:

- SF-36 Health Survey: evalúa ocho dimensiones de la salud, entre ellas función física, rol físico, dolor corporal, salud general, energía, función social, salud mental y rol emocional. Es uno de los instrumentos más difundidos en estudios de rehabilitación y salud crónica.⁽¹⁵⁾
- EuroQol-5D (EQ-5D): cuestionario breve que analiza cinco dimensiones básicas (movilidad, cuidado personal, actividades cotidianas, dolor/malestar y ansiedad/depresión), además de una escala visual del estado general de la salud. Es muy utilizado en evaluaciones de impacto económico y terapéutico.⁽²⁶⁾

En personas con PLP, estudios han demostrado que la calidad de vida tiende a estar significativamente disminuida en comparación con amputados sin dolor fantasma.

En una encuesta nacional realizada por Ephraim et al., los pacientes con PLP reportaron mayores dificultades en movilidad, sueño, desempeño ocupacional y salud mental, con puntuaciones más bajas en dominios del SF-36 relacionados con función física y salud emocional.⁽¹⁵⁾ Resultados similares fueron hallados por Sinha et al., quienes utilizaron el EQ-5D y encontraron un impacto negativo particularmente en movilidad y malestar emocional.⁽²⁶⁾

Sin embargo, la literatura evidencia cierta heterogeneidad en los instrumentos utilizados, lo cual puede dificultar la comparación directa de resultados entre estudios. Esta variabilidad metodológica debe ser considerada al interpretar la evidencia, ya que no todos los trabajos aplican las mismas escalas o validaciones culturales.⁽¹⁴⁾ A pesar de ello, incluir medidas de CVRS en investigaciones sobre intervenciones como la realidad virtual resulta clave para comprender el impacto integral del tratamiento sobre la vida del paciente, más allá de la disminución del dolor en términos estrictamente sensoriales.

E. Tratamientos convencionales para el dolor de miembro fantasma

El tratamiento del dolor de miembro fantasma (PLP) continúa siendo uno de los mayores desafíos en el abordaje clínico de las personas amputadas. A pesar de los avances en neurociencia del dolor, no existe actualmente una intervención única que garantice resultados consistentes y sostenidos en todos los pacientes. Por el contrario, la efectividad de los tratamientos convencionales es variable y, en muchos casos, limitada.^(2,18)

En el contexto de la rehabilitación postamputación, las estrategias terapéuticas clásicas incluyen abordajes farmacológicos, físicos, psicológicos y quirúrgicos, que pueden emplearse de manera individual o combinada según el perfil del paciente.^(2,18)

Tratamientos farmacológicos

Los fármacos representan el abordaje inicial más frecuente debido a su accesibilidad y aplicación no invasiva. Los principales grupos utilizados son:

- Antidepresivos tricíclicos (ATC) e inhibidores de la recaptación de serotonina-norepinefrina (IRSN), como la amitriptilina o la duloxetina, indicados para el dolor neuropático crónico.^(2,18)

- Anticonvulsivantes, como la gabapentina o la pregabalina, utilizados por su acción sobre los canales de calcio y su capacidad de reducir la excitabilidad neuronal.^(2,18)
- Opioides, como el tramadol o la morfina, empleados en casos refractarios o de dolor intenso, aunque con riesgo de tolerancia, dependencia y efectos adversos.^(2,18)
- Anestésicos locales, como la lidocaína en parches o infusiones intravenosas, utilizados ocasionalmente como coadyuvantes.^(2,18)

Si bien algunos pacientes experimentan alivio parcial, la respuesta es altamente individual y los efectos secundarios pueden limitar su uso prolongado. Además, el enfoque puramente sintomático no aborda los mecanismos neurocognitivos ni la reorganización cortical implicada en el PLP.^(3,17)

Tratamientos físicos y neuromoduladores

Dentro de las terapias físicas y tecnológicas convencionales se encuentran:

- Estimulación eléctrica transcutánea (TENS): busca inhibir la transmisión de señales nociceptivas a través de estimulación periférica no dolorosa. Aunque de bajo costo y riesgo, su efectividad en PLP es heterogénea.^(2,18)
- Estimulación magnética transcraneal (rTMS) y estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS): orientadas a modular la actividad cortical en áreas relacionadas con la percepción del miembro ausente. Requieren equipamiento especializado y protocolos estandarizados, por lo que su implementación clínica aún es limitada.^(3,17)
- Fisioterapia convencional: orientada al fortalecimiento del muñón, entrenamiento con prótesis y desensibilización. Aunque no específica para el PLP, mejora la funcionalidad y puede contribuir a reducir el dolor en combinación con otras estrategias.⁽²⁾
- Terapia en espejo: ampliamente difundida en la rehabilitación de amputados, busca generar retroalimentación visual congruente que reemplace la ausencia sensorial del miembro amputado. Diversos estudios han mostrado resultados favorables en la reducción del PLP, aunque la evidencia sobre su efectividad a largo plazo sigue siendo heterogénea.^(2,3,17,18)

Tratamientos psicológicos

La dimensión emocional y cognitiva del dolor es cada vez más reconocida. En este marco, la terapia cognitivo-conductual (TCC) ha sido empleada en amputados con PLP, con el objetivo de mejorar el afrontamiento del dolor, reducir pensamientos disfuncionales y aumentar la percepción de control. Si bien la evidencia específica en PLP aún es limitada, varios reportes señalan beneficios en la reducción de la catastrofización y en la mejora de la calidad de vida.^(2,3)

Otra estrategia psicológica utilizada es la imaginería motora, que consiste en la representación mental del movimiento del miembro amputado. Esta técnica busca estimular circuitos motores y sensoriales sin necesidad de movimiento real, y ha mostrado potencial en la modulación de la reorganización cortical asociada al PLP.^(3,23)

Asimismo, intervenciones como técnicas de relajación o programas de reducción de estrés se aplican como coadyuvantes, especialmente en pacientes con ansiedad o depresión concomitantes, factores que pueden intensificar la percepción dolorosa.⁽²⁾

Finalmente, la mayoría de los autores coinciden en que este tipo de intervenciones deben integrarse dentro de una estrategia multimodal, donde los abordajes psicológicos se complementen con farmacológicos, físicos o tecnológicos, potenciando los resultados a largo plazo.⁽¹⁷⁾

F. Intervenciones quirúrgicas

En casos refractarios, se han implementado abordajes quirúrgicos como la neurólisis, neuromectomía o resección de neuromas, dirigidos a eliminar focos de activación ectópica periférica. Estos procedimientos pueden aportar alivio parcial, aunque presentan una tasa de recurrencia considerable al no actuar sobre los mecanismos centrales de hiperexcitabilidad.⁽²⁷⁾

Otra alternativa es la estimulación eléctrica, ya sea mediante estimulación medular (SCS) o de ganglios dorsales, cuyo objetivo es modular las vías espinales involucradas en la transmisión nociceptiva. La evidencia disponible muestra resultados prometedores en la reducción del PLP, aunque los estudios son heterogéneos y aún no existe consenso sobre protocolos estandarizados.⁽²⁷⁾

Si bien estas estrategias pueden ser efectivas en determinados perfiles de pacientes, su aplicación clínica requiere una estricta evaluación del riesgo-beneficio y

deben considerarse como opciones de última línea, sin que exista garantía de resolución definitiva del PLP. ⁽²⁷⁾

G. Limitaciones generales

A pesar del abanico de posibilidades terapéuticas disponibles, la mayoría de los tratamientos convencionales presentan limitaciones significativas. Diversas revisiones han informado resultados modestos o inconsistentes entre pacientes, con beneficios terapéuticos que varían ampliamente según el tipo de intervención y las características individuales.⁽¹⁴⁾ Asimismo, se ha señalado una escasa evidencia de eficacia sostenida a largo plazo, especialmente en estudios clínicos controlados que evalúan farmacoterapia, TENS o intervenciones quirúrgicas.^(2,17)

Muchos de estos tratamientos se enfocan predominantemente en aliviar síntomas periféricos, sin intervenir sobre mecanismos centrales implicados en el mantenimiento del PLP, como la reorganización cortical o la alteración del esquema corporal.⁽¹⁷⁾ Este enfoque limitado contribuye a una menor efectividad en casos crónicos o refractarios. Frente a este escenario, han emergido enfoques alternativos como la terapia espejo, la estimulación cerebral no invasiva y más recientemente la realidad virtual, los cuales apuntan a modular los mecanismos centrales del dolor mediante la estimulación sensoriomotora coherente y la neuroplasticidad adaptativa.⁽¹⁴⁾

H. Realidad virtual en rehabilitación y en el tratamiento del dolor de miembro fantasma

La realidad virtual (RV) es una tecnología interactiva que permite la creación de entornos digitales tridimensionales en los cuales el usuario puede experimentar una sensación de presencia mediante dispositivos como visores montados en la cabeza (*head-mounted display*, HMD) y sistemas de seguimiento del movimiento. En el ámbito sanitario, estas tecnologías han comenzado a incorporarse en distintos campos de la rehabilitación y en el abordaje del dolor, donde se investigan como herramientas complementarias dentro de intervenciones no farmacológicas. Revisiones sistemáticas en dolor crónico han señalado que las intervenciones basadas en RV pueden asociarse con reducciones en la intensidad del dolor, fenómeno que se ha vinculado a mecanismos como la modulación atencional, la inmersión en entornos virtuales y la interacción con representaciones corporales digitales.^(28,29)

Desde una perspectiva tecnológica, pueden distinguirse diferentes modalidades dentro de las denominadas tecnologías de realidad extendida. La realidad virtual inmersiva implica la sustitución parcial del entorno físico por uno digital en primera persona, generalmente mediante visores montados en la cabeza (*head-mounted display*, HMD), favoreciendo una alta sensación de presencia corporal. La realidad aumentada, en cambio, superpone elementos virtuales sobre el entorno real, permitiendo integrar información digital dentro del espacio físico del usuario. Los sistemas de realidad mixta combinan ambos principios, posibilitando una interacción más compleja entre objetos reales y virtuales. Estas diferencias no son meramente técnicas, sino que condicionan el tipo de experiencia perceptiva generada durante la intervención y el grado de interacción con el entorno virtual.^(30,31) La Figura 3 ilustra de manera esquemática las principales modalidades de estas tecnologías.

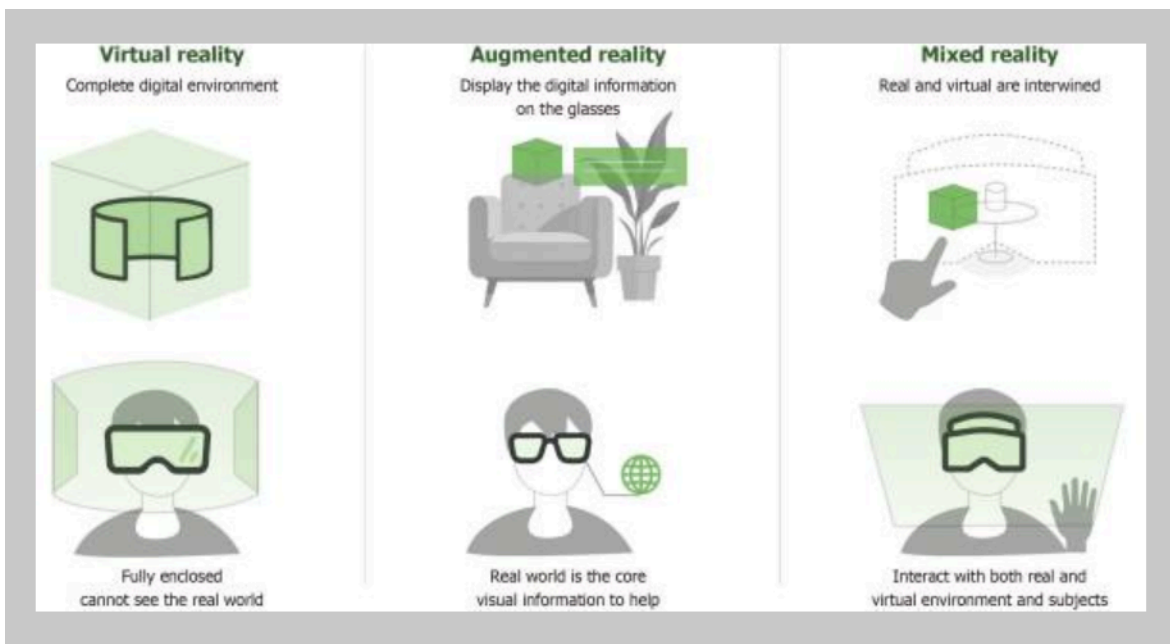


Figura 3. Comparación esquemática entre realidad virtual, realidad aumentada y realidad mixta, según el grado de integración entre el entorno real y el entorno digital. En la realidad virtual el usuario se encuentra inmerso en un entorno completamente digital, mientras que en la realidad aumentada y la realidad mixta se superponen elementos virtuales sobre el entorno físico.⁽³¹⁾

En relación con los mecanismos fisiopatológicos previamente descritos, algunas intervenciones basadas en realidad virtual han sido propuestas como estrategias orientadas a modificar la relación entre la representación corporal y la información

sensorial disponible tras la amputación. En este contexto, la visualización de un miembro virtual puede proporcionar señales visuales coherentes con la experiencia corporal del paciente, ya sea mediante ejecución motora, imaginación motora u observación de acciones. Este enfoque comparte bases conceptuales con la terapia de espejo, aunque la realidad virtual permite mayor flexibilidad en la representación del miembro y en la interacción con el entorno virtual. ^(19,32)

Las intervenciones desarrolladas en este campo presentan distintas modalidades de implementación. En algunos sistemas, el paciente interactúa activamente con un avatar que representa el miembro ausente utilizando el movimiento del muñón, del miembro sano o sistemas de captura de movimiento. Otros enfoques emplean paradigmas inspirados en la terapia de espejo, en los que el movimiento del miembro contralateral genera la representación visual del miembro amputado dentro del entorno virtual. Asimismo, se han descrito protocolos basados en observación de acciones o imaginación motora en entornos virtuales. Estas variaciones reflejan la diversidad de estrategias utilizadas para intervenir sobre la representación corporal tras la amputación. ^(32, 33)

IV. JUSTIFICACIÓN

La investigación del dolor de miembro fantasma y su intervención terapéutica especialmente con el uso de realidad virtual, es crucial por varias razones. En primer lugar, el dolor de miembro fantasma afecta a una gran proporción de personas amputadas, aproximadamente al 50-80%, limitando sus actividades diarias y generando malestar emocional, lo que resalta la necesidad de encontrar tratamientos efectivos. A pesar de los avances médicos, este tipo de dolor sigue siendo un desafío para los profesionales de la salud y muchos pacientes no encuentran alivio con los tratamientos convencionales, lo que hace útil explorar nuevas alternativas como la terapia con realidad virtual. Por su parte, esta tecnología ofrece una opción terapéutica no invasiva, generalmente bien tolerada, y su creciente disponibilidad y accesibilidad la convierten en una herramienta potencialmente útil. Al proponer dicha intervención para esta población, se podría mejorar significativamente la calidad de vida de los mismos, lo que no solo representa un avance científico en rehabilitación, sino también un beneficio tangible para la comunidad médica y los pacientes. En resumen, el estudio y aplicación de la realidad virtual en el tratamiento del dolor de miembro fantasma no sólo es relevante

científicamente, sino también fundamental para abordar un problema de salud significativo y mejorar la calidad de vida de quienes lo padecen.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología de este estudio consistió en una revisión bibliográfica orientada a analizar la evidencia científica disponible sobre el uso de la realidad virtual como estrategia de intervención en pacientes amputados con dolor de miembro fantasma.

Para la identificación de los estudios se utilizaron las bases de datos PubMed y Biblioteca Virtual en Salud (BVS).

Se establecieron como criterios de inclusión:

- Aquellos estudios que analizaran intervenciones terapéuticas basadas en realidad virtual.
- Aplicadas a personas adultas amputadas.
- Que presenten dolor de miembro fantasma.
- Que evalúen la intensidad del dolor de miembro fantasma.
- Calidad de vida relacionada con la salud.

Se excluyeron los siguientes estudios:

- Aquellos que no abordaran específicamente el dolor de miembro fantasma.
- Aquellos que no utilizaran intervenciones basadas en realidad virtual.
- Tratamientos en niños.
- Estudios que no evalúen las variables anteriormente mencionadas.

Se incluyeron estudios con diferentes diseños metodológicos:

- Ensayos clínicos aleatorizados
- Estudios cuasi-experimentales
- Estudios piloto
- Reportes de caso

Para la búsqueda e identificación de los estudios se utilizaron las bases de datos PubMed y Biblioteca Virtual en Salud (BVS), a través de ellas y mediante estrategias estructuradas de combinación de términos, complementadas con la aplicación de filtros correspondientes al período de publicación 2010–2025. Los resultados obtenidos a partir de estas combinaciones de búsqueda fueron integrados en un único registro, sobre el cual se realizó la eliminación de duplicados previa al proceso de selección de los estudios. La selección de los mismos se llevó a cabo mediante la lectura de títulos y resúmenes, seguida de la revisión a texto completo de aquellos considerados pertinentes.

Además, se incorporaron algunos estudios identificados mediante búsqueda manual en listas de referencias de artículos relevantes y mediante buscadores académicos como Google Scholar, los cuales fueron incluidos en función de su pertinencia con los objetivos de la revisión.

Las palabras clave utilizadas para la estrategia de búsqueda se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Palabras claves para la búsqueda bibliográfica.

Palabra clave	DeCS	MeSH	Término libre
Dolor de miembro fantasma	Dolor del miembro fantasma	Phantom Limb Pain	Dolor de miembro fantasma - phantom limb pain
Amputados	Amputados	Amputees	amputee
Realidad virtual	Realidad virtual	Virtual Reality	virtual reality
Rehabilitación	Rehabilitación	Rehabilitation	Rehabilitation
Calidad de vida	Calidad de vida	Quality of Life	Quality of Life

Combinaciones realizadas en Pubmed:

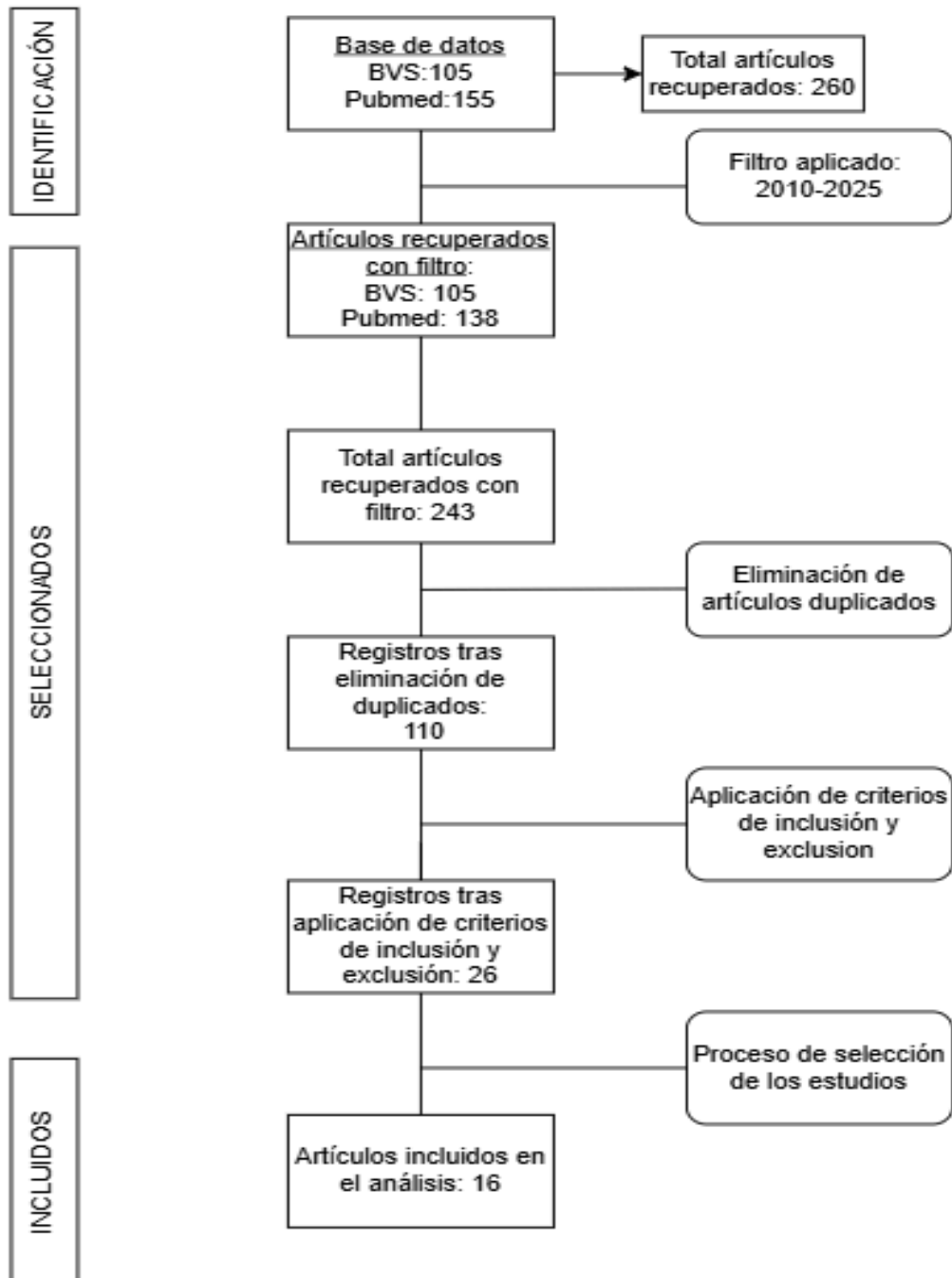
- (amputees) AND (virtual reality) AND (phantom limb pain)

- (("amputees"[MeSH] OR amputee) AND ("virtual reality"[MeSH] OR "virtual reality") AND (phantom limb pain)
- ("phantom limb pain"[MeSH] OR "phantom limb pain") AND ("virtual reality"[MeSH] OR "virtual reality") AND ("amputees"[MeSH] OR amputee)
- ("phantom limb pain"[MeSH] OR "phantom limb pain") AND ("virtual reality"[MeSH] OR "virtual reality") AND ("rehabilitation"[MeSH] OR rehabilitation)
- ("phantom limb pain"[MeSH] OR "phantom limb pain") AND ("virtual reality"[MeSH] OR "virtual reality") AND ("quality of life"[MeSH] OR "quality of life")

Combinaciones BVS:

- (amputados) AND (realidad virtual)
- (dolor de miembro fantasma) AND (realidad virtual)
- (dolor de miembro fantasma) AND (realidad virtual) AND (amputados)
- (dolor de miembro fantasma) AND (realidad virtual) AND (rehabilitación)
- (dolor de miembro fantasma) AND (realidad virtual) AND (calidad de vida)

A. Diagrama de flujo



VI. RESULTADOS

Autor, año y diseño de estudio	Título del estudio	Población	Intervención	Variables	Resultados
<p>Steckel et al. (2024).⁽³⁴⁾ Ensayo clínico aleatorizado (RCT), estudio de factibilidad.</p>	<p>Immersive virtual reality applied to the rehabilitation of patients with lower limb amputation: a small randomized controlled trial for feasibility study.</p>	<p>Adultos con amputación de miembro inferior y PLP (n = 41 reclutados; 21 completaron el estudio).</p>	<p>Realidad virtual inmersiva basada en observación de acciones (AO) en primera persona mediante visor (HMD), con visualización de un avatar que ejecuta ejercicios de miembros inferiores (sentadilla, step-up, estocadas y extensión de rodilla), sin participación</p>	<p>Intensidad del PLP (MPQ) Dolor del miembro residual (RLP) Telescopaje del miembro fantasma (PLT) Balance / confianza en el equilibrio (ABC Scale) Intensidad del dolor pre y post</p>	<p>No se observaron reducciones significativas del PLP ni del RLP al comparar el grupo intervención con el grupo control ni en el análisis pre-post. Se evidenciaron tendencias a la mejora en el balance y reducción del telescopaje del miembro</p>

			<p>motora ni control activo del usuario; 16 sesiones de 15 minutos durante 8 semanas, añadidas al tratamiento convencional.</p> <p>Grupo control: tratamiento convencional del centro de rehabilitación (≈40 min por sesión), que incluye ejercicios físicos y manejo terapéutico del miembro, con períodos de descanso.</p>	<p>sesión (NAS)</p> <p>Inmersión en el entorno virtual</p> <p>Cibercinetosis</p>	<p>fantasma, sin alcanzar significación estadística.</p>
Perry et al. (2018). ⁽³⁵⁾	Clinical Trial of the Virtual Integration	Adultos con amputación de	Entrenamiento con entorno virtual	Intensidad del PLP (VAS,; SF-MPQ)	Disminución significativa del

<p>Estudio piloto, diseño pre–post de un solo grupo (sin grupo control).</p>	<p>Environment to Treat Phantom Limb Pain in Upper Extremity Amputation</p>	<p>miembro superior y PLP (n = 9 reclutados; 8 completaron el estudio).</p>	<p>interactivo (Virtual Integration Environment, VIE) en el que los participantes debían seguir los movimientos de un avatar de miembro superior durante las sesiones. Al finalizar cada sesión, realizaban un período de “free-play” en el que controlaban activamente el avatar mediante señales EMG del miembro residual, generadas a partir de la contracción muscular asociada al movimiento del miembro</p>	<p>Dolor del miembro residual (RLP) (VAS; SF-MPQ)</p> <p>Activación muscular del miembro residual – EMG de superficie</p> <p>Control del avatar virtual mediante señales EMG</p>	<p>PLP en la mayoría de los participantes.</p> <p>Cuatro de cinco participantes con RLP mostraron disminución del dolor residual.</p> <p>Los registros EMG confirmaron activación muscular específica y control activo del avatar.</p>
--	---	---	---	--	--

			fantasma, con retroalimentación visual en tiempo real; sesiones de 30 minutos (promedio de 17,9 ± 4 sesiones).		
Elgendy MH, Helal MM, Habib AA (2024). ⁽³⁶⁾ Ensayo clínico aleatorizado controlado (RCT), diseño pre–post.	The influence of virtual reality approach on phantom pain in trans-tibial amputation.	Adultos con amputación transtibial unilateral traumática y PLP crónico (>3 meses) (n = 60).	Grupo experimental: Tratamiento convencional (mirror therapy, phantom exercises y TENS) asociado a realidad virtual no inmersiva interactiva mediante Xbox 360® + Kinect®, con captura de movimiento corporal completo	Intensidad del PLP (MPQ) Función del miembro inferior. (LEFS)	Ambos grupos presentaron disminución significativa del dolor y mejora funcional postintervención. El grupo que recibió realidad virtual mostró una disminución del dolor significativamente mayor y una mejora funcional superior en

			<p>sin sensores en el muñón, que permite el control de un avatar en tiempo real.</p> <p>El paciente realiza tareas motoras globales (desplazamientos, equilibrio, coordinación y alcance) en videojuegos terapéuticos, con retroalimentación visual inmediata.</p> <p>30 min/sesión, 3 veces/semana, durante 4 semanas.</p> <p>Grupo control: Tratamiento convencional, sin</p>		<p>comparación con el grupo control.</p>
--	--	--	---	--	--

			realidad virtual (parámetros no especificados).		
Thøgersen et al. (2020). ⁽³⁷⁾ Estudio experimental pre–post (proof of concept, sin control).	Individualized Augmented Reality Training Reduces Phantom Pain and Cortical Reorganization in Amputees	Adultos con amputación unilateral de miembro superior y PLP con telescopaje (n = 7).	Realidad aumentada activa e individualizada a través de visor, implementada mediante avatar del miembro fantasma superpuesto al muñón y controlado por EMG. Intervención realizada a través de tres tareas visuo-motoras: (1) agarre y manipulación de	Intensidad del PLP (SF-MPQ) Diario de dolor (NRS) Dimensiones psicosociales asociadas al dolor (MPI-D) Telescopaje del miembro fantasma (VAS) Desplazamiento propioceptivo	Reducción significativa del dolor de miembro fantasma No se observaron mejoras significativas en las dimensiones del MPI-D. Se observaron mejoras significativas en la longitud percibida del miembro fantasma.

			<p>objetos (<i>pick and place</i>), (2)</p> <p>imitación de posturas del miembro virtual y (3) clasificación de objetos en movimiento (<i>sorting task</i>).</p> <p>8 sesiones supervisadas de 45 minutos durante 2 semanas.</p>	<p>percibido (proprioceptive drift)</p> <p>Embodiment y sentido de agencia del miembro virtual</p> <p>Cambios en la actividad cortical</p>	<p>(telescopaje)</p> <p>Se registraron disminuciones en la activación de la corteza somatosensorial primaria (S1), compatibles con reorganización cortical.</p>
<p>Snow PW et al.(2017)⁽³⁸⁾</p> <p>Ensayo clínico piloto multicéntrico en curso; reporte de tres estudios de caso.</p>	<p>Robotic Therapy for Phantom Limb Pain in Upper Limb Amputees</p>	<p>Adultos con amputación de miembro superior y PLP (n = 3).</p>	<p>Sistema sensoriomotor inmersivo basado en realidad virtual con visualización en primera persona (HMD), control mioeléctrico</p>	<p>Intensidad del PLP (SF-MPQ)</p> <p>Embodiment del miembro virtual</p> <p>Desplazamiento propioceptivo percibido</p>	<p>Incremento del embodiment asociado a reducción del PLP, más evidente en realidad virtual más retroalimentación háptica (resultados</p>

			<p>(EMG) del miembro residual para apertura/cierre de la mano virtual y robot háptico (seguimiento del movimiento del miembro residual y provisión de retroalimentación de fuerza) para interacción con objetos virtuales. El sistema integra señales motoras, visuales y somatosensoriales en tareas funcionales tipo AVD (alcance, agarre y manipulación). Protocolo de 9</p>	<p>(proprioceptive drift)</p> <p>Diario de dolor</p>	<p>preliminares).</p>
--	--	--	---	--	-----------------------

			sesiones de 1 h durante 3 semanas. Se reportan tres casos: dos con VR + retroalimentación háptica y uno con VR solo visual.		
Ambron et al. (2018). ⁽³⁹⁾ Serie de casos (estudio exploratorio).	Immersive Low-Cost Virtual Reality Treatment for Phantom Limb Pain: Evidence from Two Cases	Amputados unilaterales transtibiales con PLP crónico (n = 2).	Realidad virtual inmersiva mediante visor (HMD) con avatar bilateral de miembros inferiores, en la que los participantes realizaban tareas interactivas (navegación, desplazamiento y manipulación/sele	Intensidad del PLP (VAS) Usabilidad del sistema	Reducción marcada del dolor inmediatamente post-sesión y una disminución progresiva del dolor basal entre sesiones. La usabilidad del sistema fue aceptable a buena.

			<p>cción de objetos) mediante movimientos activos del miembro sano y del segmento residual, registrados por sensores de movimiento colocados en los miembros, que permitían controlar en tiempo real el movimiento del avatar. Sesiones de aproximadamente 1 hora, con un total de 2 a 4 sesiones por participante.</p>		
--	--	--	---	--	--

<p>Ambron et al. (2021).⁽⁴⁰⁾ Ensayo clínico piloto no aleatorizado de brazo único, con diseño intra-sujeto y línea base múltiple (comparación secuencial entre dos condiciones de RV).</p>	<p>Virtual Reality Treatment Displaying the Missing Leg Improves Phantom Limb Pain: A Small Clinical Trial</p>	<p>Adultos con amputación transtibial unilateral y PLP $\geq 4/10$ (n = 7).</p>	<p>Realidad virtual inmersiva mediante visor durante 9 semanas (2 sesiones/semana, ~55 min por sesión) en dos fases: RV distractora (5–7 sesiones, entorno relajante sin representación corporal ni uso de miembros inferiores) y RV activa de miembro inferior (10–12 sesiones), con avatar bilateral controlado mediante sensores de movimiento en el muñón y</p>	<p>Intensidad del PLP(VAS – SF-MPQ) Interferencia del dolor en actividades de la vida diaria (BPI – Pain Interference) Calidad de vida relacionada con la salud (SF-12) Ansiedad y depresión (HADS) Catastrofización del dolor (Pain Catastrophizing Scale) Presencia, usabilidad y tolerancia al</p>	<p>Reducción significativa del PLP y de la interferencia del dolor tras ambas fases de RV, siendo mayor durante la fase activa con movimiento del miembro virtual. Mejoras en variables emocionales y de calidad de vida, sin alcanzar significación estadística.</p>
--	---	--	---	--	---

			miembro sano, realizando tareas interactivas tipo juego (desplazamiento, empuje y manipulación de objetos) con feedback visual y auditivo.	sistema de realidad virtual	
Kulkarni et al. (2019) ⁽⁴¹⁾ Estudio piloto prospectivo pre–post	An investigation into the effects of a virtual reality system on phantom limb pain: a pilot study	Adultos con amputación unilateral de miembro superior y dolor de miembro fantasma presente en el último mes (n = 11; 9 completaron).	Realidad virtual inmersiva mediante visor con avatar del miembro amputado controlado por el movimiento del miembro sano (feedback visual tipo espejo); interacción con	Intensidad del PLP (NRS) Frecuencia y duración de episodios de PLP Percepción subjetiva de cambio Experiencia	Descenso del dolor, sin significación estadística. Sin cambios significativos en la frecuencia ni duración de los episodios. La mayoría

			entorno 3D tipo "juego de pelota" (golpeo de objetos con el miembro virtual); 3 sesiones totales (1 por mes durante 3 meses), cada sesión con 3 bloques de 10 min de VR.	cualitativa de la intervención.	reportó reducción subjetiva del dolor.
Lendaro et al. (2020). ⁽⁴²⁾ Serie de casos.	Out of the Clinic, into the Home: The in-Home Use of Phantom Motor Execution Aided by Machine Learning and Augmented Reality for the Treatment of Phantom Limb Pain	Adultos amputados con PLP crónico (n = 4; 2 miembro superior, 2 miembro inferior).	Ejecución motora del miembro fantasma (PME) asistida por EMG, en la que el paciente realiza movimientos detectados desde el muñón y representados en tiempo real en un miembro virtual, mediante realidad	Intensidad del PLP (SF-MPQ) Adherencia al tratamiento. Duración y frecuencia de las sesiones de entrenamiento Número de movimientos	El dolor del miembro fantasma se mantuvo bajo y estable durante el período de uso domiciliario. Alta variabilidad en adherencia y patrones de uso, influenciados por el nivel de dolor y el contexto

			<p>aumentada (superposición sobre el cuerpo) y realidad virtual no inmersiva (visualización en pantalla), con tareas dirigidas de alcance y control de posiciones del miembro virtual y serious gaming; intervención domiciliaria autoadministrada, sin protocolo rígido (≈ 2 sesiones/semana, ~ 90 min) durante hasta 12 meses.</p>	<p>ejecutados</p> <p>Preferencias de uso del sistema</p>	<p>personal.</p>
<p>Lendaro E. et al (2025)⁽⁴³⁾ Ensayo clínico</p>	<p>Extended reality used in the treatment of</p>	<p>Adultos con amputación de miembro superior</p>	<p>Grupo intervención: Phantom Motor</p>	<p>Intensidad del PLP (SF-MPQ ; NRS) Impresión global</p>	<p>Ambos grupos mostraron reducción</p>

<p>aleatorizado, multicéntrico, doble ciego, con grupo control activo (RCT).</p>	<p>phantom limb pain: a multicenter, double-blind, randomized controlled trial.</p>	<p>o inferior y PLP crónico (>6 meses) (n = 80; PME = 52, PMI = 28).</p>	<p>Execution (PME): entrenamiento de realidad extendida con predominio de realidad aumentada en pantalla, mediante visualización del propio cuerpo con superposición de un avatar del miembro amputado. El paciente ejecuta movimientos del miembro fantasma (por ejemplo, flexión/extensión de articulaciones o apertura/cierre según nivel de amputación), que controlan en tiempo real el</p>	<p>de cambio (PGIC)</p> <p>Variables exploratorias:</p> <p>Discapacidad por dolor (PDI)</p> <p>Calidad de vida relacionada con la salud (EQ-5D-5L)</p> <p>Catastrofización (PCS-SF)</p> <p>Autoeficacia frente al dolor (PSEQ-2)</p> <p>Estado de ánimo (PHQ-2)</p> <p>Interferencia del dolor en sueño, AVD y trabajo</p>	<p>significativa del dolor del miembro fantasma, sin diferencias estadísticamente significativas entre PME y PMI.</p> <p>Más del 65% de los participantes en ambos grupos alcanzó una reducción clínicamente significativa del dolor (>50%).</p> <p>Las variables exploratorias mostraron mejoras concomitantes en discapacidad, calidad de vida, estado emocional y catastrofización.</p>
--	---	---	--	--	---

			<p>avatar mediante señales mioeléctricas (EMG) del muñón, orientados a cumplir objetivos visuales en pantalla.</p> <p>Grupo control: Phantom Motor Imagery (PMI): entrenamiento en el mismo entorno de realidad extendida, en el que el paciente imagina los mismos movimientos del miembro fantasma mientras observa el avatar ejecutarlos automáticamente</p>		
--	--	--	---	--	--

			<p>en pantalla. Las señales EMG se registran únicamente para asegurar la ausencia de contracción muscular. Las tareas y objetivos visuales son equivalentes al grupo intervención.</p> <p>15 sesiones de aproximadamente 2 horas cada una, con frecuencia variable (1–5 veces/semana), duración total aproximada de 28–40 semanas.</p>		
Ortiz-Catalan et al.	Treatment of	Paciente con	Realidad	Intensidad de PLP	Reducción

<p>(2014).⁽⁴⁴⁾ Estudio de caso único, diseño pre–post longitudinal, sin randomización.</p>	<p>phantom limb pain (PLP) based on augmented reality and gaming controlled by myoelectric pattern recognition: a case study of a chronic PLP patient</p>	<p>amputación de miembro superior y dolor de miembro fantasma crónico refractario (n = 1).</p>	<p>aumentada en pantalla con miembro virtual superpuesto al muñón, controlado mediante EMG y reconocimiento de patrones; ejecución de movimientos del miembro fantasma (mano, muñeca y codo) en entorno AR, seguida de control de videojuego y tareas dirigidas (TAC/Motion Test) para entrenamiento sensoriomotor. Las sesiones se estructuraron en bloques sucesivos</p>	<p>(SF-MPQ ; VAS) Distribución temporal del dolor Control motor del miembro fantasma Efecto telescópico y postura del miembro fantasma Rendimiento mioeléctrico (clasificación EMG)</p>	<p>progresiva del dolor del miembro fantasma Aparición de períodos completamente libres de dolor Disminución de la intensidad mínima sostenida del dolor Mejora del control voluntario del miembro fantasma Relajación de la postura del miembro fantasma Reversión parcial del efecto telescópico</p>
--	---	--	--	---	---

			(~10 min en AR y ~10 min de videojuego, más tareas dirigidas). Intervención de 18 semanas (1 sesión/semana, últimas 5 semanas 2/semana).		
Ortiz-Catalan M. et al. (2016). ⁽³³⁾ Ensayo clínico de un solo grupo (pre–post), multicéntrico.	Phantom motor execution facilitated by machine learning and augmented reality as treatment for phantom limb pain	Adultos con amputación de miembro superior y dolor de miembro fantasma crónico e intratable (n = 14).	Phantom motor execution (PME) basado en registro de EMG superficial del muñón y decodificación de patrones para control en tiempo real de un miembro virtual; incluye tareas de ejecución motora del miembro	Intensidad del PLP (SF-MPQ) Interferencia en AVD y sueño (NRS) Cambios en medicación analgésica.	Reducción significativa y clínicamente relevante del dolor fantasma en todas las métricas. Reducción de la interferencia del dolor en AVD y sueño. Los efectos se mantuvieron hasta

			<p>fantasma con retroalimentación visual mediante realidad aumentada (superposición del miembro virtual) y entornos virtuales no inmersivos, combinadas con ejercicios de igualación de posturas y serious gaming (p. ej., control de un vehículo mediante movimientos fantasma); 12 sesiones de ~2 h, realizadas generalmente 2 veces por semana (con una excepción de</p>	<p>6 meses de seguimiento.</p> <p>Reducción del consumo de medicación en algunos pacientes.</p>
--	--	--	---	---

			frecuencia diaria en un participante).		
Abbas RL et al. (2024) ⁽⁴⁵⁾ Ensayo clínico aleatorizado, prospectivo, multicéntrico, simple ciego (RCT)	Effect of Adding Virtual Reality Training to Traditional Exercise Program on Pain, Mental Status and Psychological Status in Unilateral Traumatic Lower Limb Amputees: A Randomized Controlled Trial	Amputados traumáticos unilaterales de miembro inferior (transfemoral o transtibial), ≥6 meses post adaptación protésica, con dolor de miembro fantasma (VAS ≥4) (n = 32; 16 intervención / 16 control).	Intervención: Rehabilitación convencional (ejercicios de equilibrio, marcha, fortalecimiento y estiramientos) asociada a realidad virtual no inmersiva interactiva, basada en un sistema con captura de movimiento (Kinect) que permite la representación en tiempo real de un avatar de	Intensidad del PLP (VAS) Depresión (BDI) Salud mental / componente mental de CVRS (SF-12 – MHS) Salud física / componente físico de CVRS (SF-12 – PHS)	Disminución significativa del dolor solo en grupo experimental. Disminución significativa BDI en ambos grupos, pero superior en grupo experimental. Mejora salud mental (MHS) significativa en ambos, superior en grupo de realidad virtual.

			<p>miembros inferiores controlado activamente por los movimientos del miembro inferior residual y contralateral, proporcionando retroalimentación visual. La intervención incluyó cinco videojuegos terapéuticos (<i>football, tennis, stepping over obstacles, avoidance exercise y multidirectional movement</i>), con una duración de 25 minutos por</p>	<p>Mejora salud física (PHS) significativa en ambos grupos, sin diferencias intergrupo.</p>
--	--	--	---	---

			<p>sesión, 3 veces por semana durante 6 semanas, con progresión de la dificultad cada 2 semanas.</p> <p>Grupo control: Rehabilitación convencional exclusivamente, con la misma frecuencia y duración (3 sesiones semanales durante 6 semanas).</p>		
De Nunzio et al. (2018). ⁽⁴⁶⁾ Estudio experimental piloto	Relieving Phantom Limb Pain with Multimodal Sensory-Motor	Amputados unilaterales de miembro superior con dolor de	Realidad virtual no inmersiva en pantalla, basada en la visualización	Intensidad del PLP (VAS) Caracterización	Reducción intensidad del PLP a las 6 semanas (clínicamente

<p>pre–post intra-sujeto (sin grupo control).</p>	<p>Training.</p>	<p>miembro fantasma crónico (>2 años post amputación) (n = 10).</p>	<p>de una mano virtual controlada por la actividad muscular del muñón (EMG). El tratamiento se llevó a cabo durante 16 días, con 12 días de entrenamiento y dos sesiones diarias de aproximadamente 60 minutos (≈24 sesiones en total). En cada sesión, el paciente realizaba movimientos voluntarios del miembro fantasma (mano, muñeca y dedos), observando su ejecución en la</p>	<p>afectiva y sensorial del dolor (SES)</p> <p>Sensibilidad térmica y mecánica</p> <p>Discriminación táctil</p> <p>Control motor residual</p> <p>Expectativa del tratamiento</p> <p>Activación cortical (fMRI)</p> <p>Variables descriptivas: Funcionamiento relacionado con el dolor (MPI-D),</p>	<p>significativo).</p> <p>Disminución PLP inmediata post intervención.</p> <p>Disminución subescala afectiva del SES</p> <p>Aumento discriminación táctil en muñón.</p> <p>Cambios en umbrales térmicos al dolor.</p> <p>No se encontraron cambios significativos en fMRI.</p>
---	------------------	--	--	--	--

			<p>pantalla y recibiendo simultáneamente estimulación vibratoria en el muñón proporcional a la activación muscular. Las tareas eran progresivas y requerían ajustar el movimiento para mejorar su control y precisión.</p>	<p>calidad de vida (SF-36), catastrofización (PCS), depresión-ansiedad-estrés (DASS-21), componente neuropático (PainDETECT).</p>	<p>Sin análisis pre-post de variables descriptivas. (SF-36 y demás variables psicosociales solo basales).</p>
<p>Rutledge et al. (2019) ⁽⁴⁷⁾ Estudio piloto de factibilidad, diseño pre-post intra-sujeto (sin grupo control)</p>	<p>A Virtual Reality Intervention for the Treatment of Phantom Limb Pain: Development and Feasibility Results</p>	<p>Veteranos con amputación de miembro superior o inferior y dolor de miembro fantasma ≥6 meses (n = 14).</p>	<p>Realidad virtual inmersiva activa basada en terapia espejo, implementada mediante casco de realidad virtual , pedaleador tipo</p>	<p>Dolor de miembro fantasma y sensaciones fantasma desagradables (PLPQ) Aceptabilidad del tratamiento</p>	<p>Reducción significativa en intensidad de PLP post intervención. Reducción significativa en número de</p>

			<p>bicicleta y sensor de movimiento acoplado a la prótesis. El paciente realizaba movimiento cíclico voluntario (pedaleo), el cual era captado en tiempo real y transferido a un avatar corporal completo en primera persona, permitiendo la visualización del miembro amputado en movimiento.</p> <p>Todos los participantes realizaron una sesión inicial supervisada,</p>	<p>Variables descriptivas:</p> <p>Funcionamiento relacionado con la amputación (TAPES)</p> <p>Calidad de vida relacionada con la salud (SF-12, basal)</p> <p>Depresión (PHQ-9, basal)</p> <p>Síntomas de PTSD (PCL-M, basal)</p>	<p>sensaciones fantasma desagradables</p> <p>Alta aceptación del tratamiento.</p>
--	--	--	--	--	---

			seguida de sesiones adicionales en laboratorio o domicilio en un subgrupo. El número de sesiones fue variable (5–28 sesiones totales), al igual que su duración, que osciló aproximadamente entre 4 y 65 minutos por sesión, sin protocolo estandarizado.		
Prahm et al. (2025). ⁽⁴⁸⁾ Estudio piloto de factibilidad, diseño	PhantomAR: gamified mixed reality system for alleviating	Amputados unilaterales transradiales con PLP (n = 8).	Sistema de realidad mixta en primera persona, con visor que	Intensidad del PLP (NRS; SF-MPQ) Temperatura cutánea del	Reducción significativa del PLP post intervención.

<p>pre–post, sin grupo control</p>	<p>phantom limb pain in upper limb amputees—design, implementation, and clinical usability evaluation</p>	<p>Controles sanos para evaluación de usabilidad (n = 10).</p>	<p>superpone miembro virtual sobre el muñón (representación antropomórfica o no antropomórfica), controlado mediante señales mioeléctricas residuales (EMG) y sensores inerciales (IMU). Los participantes interactuaron de forma bimanual en entornos gamificados, realizando tareas motoras funcionales como alcance, prensión, manipulación de objetos y</p>	<p>muñón</p> <p>Usabilidad del sistema</p> <p>Experiencia de juego e inmersión</p> <p>Embodiment del miembro virtual: ownership, agency y plausibilidad anatómica</p>	<p>Alta usabilidad</p> <p>Agency elevada; mayor preferencia por representación antropomórfica.</p>
------------------------------------	---	--	---	---	--

			<p>coordinación bimanual. La intervención se llevó a cabo en una única sesión de aproximadamente 60 minutos, dividida en dos bloques consecutivos de exposición a distintos escenarios virtuales.</p>		
--	--	--	---	--	--

Intensidad del dolor de miembro fantasma

En los ensayos clínicos aleatorizados se observaron resultados heterogéneos en función del tipo de intervención. En un estudio multicéntrico con comparación intergrupala (43), tanto la ejecución como la imaginación motora en entornos de realidad extendida lograron reducciones significativas del dolor, con descensos del Pain Rating Index del SF-MPQ de aproximadamente 64,5% y 68,2%, respectivamente, sin diferencias intergrupales ($p \approx 0,75$). De manera consistente, otros ensayos mostraron una mayor eficacia de la realidad virtual activa asociada al tratamiento convencional, evidenciada por un descenso del PRI de 4,33 puntos frente a 2,66 en el grupo control ($p < 0,001$) (36), así como en la intensidad del dolor medida por VAS en Abbas et al. (45), con una reducción en el grupo experimental (6,56 a 2,25; $p = 0,003$) y diferencias intergrupales a favor de la intervención ($p = 0,02$). En contraste, un ensayo basado en observación pasiva sin control motor del avatar no evidenció cambios significativos en la intensidad del dolor, manteniéndose valores similares en el análisis pre-post ($1,19 \pm 1,76$ vs. $1,54 \pm 2,30$; $p = 0,271$), sin diferencias intergrupales a favor de la intervención (34).

En estudios pre-post sin grupo control también se documentaron reducciones de la intensidad del dolor de magnitud variable, particularmente en intervenciones con participación motora activa. En protocolos de realidad aumentada con control mioeléctrico, Ortiz-Catalan et al. (2016)(33) reportaron reducciones del 32% en la intensidad del dolor (NRS; $p = 0,007$), que corresponden a descensos moderados en términos absolutos, en contraste con reducciones más pronunciadas en las dimensiones cualitativas evaluadas mediante el Pain Rating Index del SF-MPQ (51%; $p = 0,0001$), Mientras que Thøgersen et al. (37) observaron descensos aproximados del 52% en el PRI del SF-MPQ ($p = 0,032$), los registros diarios de dolor evidenciaron una reducción en la muestra total, alcanzando el 41% en pacientes considerados respondedores ($p = 0,022$; 6 de 7 pacientes). En modalidades inmersivas con representación corporal activa, se reportaron disminuciones del dolor de aproximadamente 39,6% medidas mediante VAS del SF-MPQ ($p = 0,015$) (40) y reducciones agudas cercanas al 58% en la NRS y del 45% en el Pain Rating Index (SF-MPQ), ambas significativas ($p < 0,001$), tras una única sesión de intervención (48). Asimismo, intervenciones basadas en entrenamiento sensoriomotor multimodal con biofeedback mostraron reducciones del dolor tanto inmediatas ($\approx 21,6\%$) como a 6 semanas ($\approx 32,1\%$), evidenciadas en una disminución de la intensidad del PLP medida por

VAS de $5,08 \pm 1,79$ a $4,02 \pm 1,70$ post intervención y a $3,55 \pm 1,80$ en el seguimiento ($p < 0,01$).⁽⁴⁶⁾

En muestras reducidas y estudios exploratorios, también se describieron también se describieron respuestas analgésicas heterogéneas en magnitud y consistencia. En una serie de casos con realidad virtual inmersiva ($n=2$), ambos participantes presentaron reducciones inmediatas del dolor post-sesión según VAS, con valores cercanos a 0/10 en la mayoría de las sesiones⁽³⁹⁾. En un estudio piloto con tres sesiones distribuidas en el tiempo, se registró un descenso del dolor medio de 6,11 a 3,56 en NRS, sin alcanzar significación estadística ($p=0,07$) y sin cambios en la frecuencia ni duración de los episodios⁽⁴¹⁾. En un diseño comparativo exploratorio, se describió una mayor reducción del dolor en condiciones con retroalimentación háptica en comparación con estimulación exclusivamente visual⁽³⁸⁾. En un estudio de caso único basado en realidad aumentada con control mioeléctrico, se observó una disminución progresiva del dolor reportada mediante SF-MPQ, con cambios en la distribución temporal del dolor, aparición de períodos libres de dolor y reversión parcial del telescopaje⁽⁴⁴⁾. Asimismo, en intervenciones domiciliarias asistidas por ejecución motora con soporte tecnológico, el dolor se mantuvo en niveles bajos y estables durante el período de uso, con variabilidad en la adherencia entre participantes⁽⁴²⁾.

Calidad de vida relacionada con la salud

La evaluación del impacto de las intervenciones basadas en realidad virtual sobre la calidad de vida relacionada con la salud (CVRS) fue heterogénea entre los estudios incluidos, tanto en los instrumentos utilizados como en el rol asignado a esta variable dentro de los desenlaces.

Entre los ensayos clínicos aleatorizados que incorporaron medidas específicas de CVRS, se registraron mejoras posteriores a la intervención. En el estudio de Lendaro et al.⁽⁴³⁾, se observaron mejoras en discapacidad asociada al dolor (PDI) y calidad de vida general (EQ-5D-5L), así como en variables relacionadas con catastrofización, autoeficacia y estado de ánimo, en ambos grupos de intervención, sin diferencias intergrupales. Estas variables fueron reportadas como desenlaces exploratorios. De manera similar, Abbas et al.⁽⁴⁵⁾ evidenciaron un incremento significativo en el componente mental del SF-12, con

diferencias intergrupales a favor del grupo experimental ($p = 0,03$), mientras que ambos grupos mostraron mejoras intragrupo en el componente físico, sin diferencias intergrupales significativas ($p = 0,06$). Asimismo, Elgendy et al. ⁽³⁶⁾ informaron una mejora del desempeño funcional del miembro inferior evaluado mediante la Lower Extremity Functional Scale (LEFS) ($p < 0,001$), junto con reducciones del dolor postintervención. El grupo que incorporó realidad virtual presentó mayores incrementos funcionales, con aumentos de aproximadamente 23,06 puntos frente a 12,80 puntos en el grupo control ($p < 0,001$).

En estudios sin grupo control, la aproximación a la CVRS se realizó principalmente a través de indicadores de interferencia funcional y desempeño cotidiano. Ortiz-Catalan et al. (2016)⁽³³⁾ reportaron reducciones aproximadas del 43% en la interferencia en actividades de la vida diaria y del 61% en el sueño, evaluadas mediante autorreporte. Ambron et al. (2021)⁽⁴⁰⁾ describieron disminuciones en la interferencia funcional medida mediante el Brief Pain Inventory (BPI), junto con variaciones en ansiedad y depresión, sin cuantificación uniforme entre participantes.

Otros estudios incorporaron dimensiones emocionales o psicosociales dentro de instrumentos multidimensionales del dolor, sin utilizar medidas globales de CVRS o sin realizar análisis longitudinal posterior. En el estudio de Thøgersen et al.⁽³⁷⁾, no se observaron cambios estadísticamente significativos en las dimensiones evaluadas mediante el Multidimensional Pain Inventory (MPI-D), aunque la interferencia del dolor evidenció una tendencia a la disminución (8.26 a 5.37; $p = 0.063$), mientras que en los estudios de De Nunzio et al. ⁽⁴⁶⁾ y Rutledge et al. ⁽⁴⁷⁾ estas variables fueron registradas únicamente como caracterización basal.

Variables complementarias y hallazgos neurofisiológicos asociados

Además de la intensidad del dolor y las dimensiones vinculadas a la calidad de vida, varios estudios incorporaron variables complementarias relacionadas con la representación corporal, el telescopaje, la activación muscular residual y marcadores neurofisiológicos.

Respecto al telescopaje del miembro fantasma, Steckel et al. ⁽³⁴⁾ observaron una tendencia a su reducción en algunos participantes del grupo intervención, sin cambios significativos en la intensidad del PLP. De manera similar, Ortiz-Catalan et al. (2014)⁽⁴⁴⁾ describieron una

reversión parcial del fenómeno en un estudio de caso, acompañada de mejora en el control voluntario del miembro fantasma.

Las dimensiones de embodiment y agencia fueron evaluadas mediante cuestionarios específicos y medidas de drift propioceptivo. Thøgersen et al. ⁽³⁷⁾ evaluaron agency, ownership y localización del miembro fantasma durante la intervención con realidad aumentada individualizada, observándose variaciones a lo largo de las sesiones, sin alcanzar significación estadística. Snow et al. ⁽³⁸⁾ describieron, a partir de estudios de caso, mayores niveles de embodiment en participantes expuestos a retroalimentación háptica en comparación con el caso con estimulación exclusivamente visual. Prahm et al. ⁽⁴⁸⁾ reportaron altos niveles de agency, con mayor variabilidad en el embodiment, y una preferencia por representaciones antropomórficas.

En el plano neurofisiológico central, Thøgersen et al. ⁽³⁷⁾ documentaron cambios en la activación de la corteza somatosensorial primaria (S1) mediante fMRI tras la intervención, en paralelo con una disminución del dolor de miembro fantasma. En contraste, De Nunzio et al. ⁽⁴⁶⁾, también mediante fMRI, no evidenciaron cambios significativos en la activación cortical pre-post, a pesar de registrar reducción clínica del PLP.

En relación con variables periféricas, Prahm et al. ⁽⁴⁸⁾ registraron un aumento significativo de la temperatura cutánea del muñón posterior a la sesión (≈ 1 °C), sin correlación con la intensidad del dolor. De Nunzio et al. ⁽⁴⁶⁾ informaron modificaciones en umbrales térmicos y mecánicos, aumento de la discriminación táctil y mejoras en parámetros de control mioeléctrico. Asimismo, algunos estudios evaluaron el dolor del miembro residual: Perry et al. ⁽³⁵⁾ reportaron disminución del RLP en la mayoría de los participantes, mientras que Steckel et al. ⁽³⁴⁾ no observaron cambios significativos.

Variabilidad interindividual

Diversos estudios reportaron variabilidad interindividual en la magnitud de la respuesta analgésica en intervenciones basadas en realidad virtual. En el ensayo de Lendaro et al. ⁽⁴³⁾, más del 65% de los participantes alcanzó una reducción clínicamente significativa del dolor superior al 50% del valor basal, mientras que el resto presentó cambios de menor magnitud. De manera similar, en el estudio pre-post de Ortiz-Catalan et al. (2016)⁽³³⁾ se observaron descensos del dolor con magnitudes variables entre los participantes tras el entrenamiento basado en ejecución motora del miembro fantasma, evidenciándose que 8

de los 14 sujetos alcanzaron reducciones clínicamente relevantes (≥ 2 puntos en NRS), mientras que el resto presentó respuestas de menor magnitud.

En Perry et al. ⁽³⁵⁾, 7 de 8 participantes que completaron el protocolo reportaron reducción del PLP, mientras que un sujeto presentó aumento del dolor durante el período de intervención. En el estudio de Kulkarni et al. ⁽⁴¹⁾, el descenso del dolor medio no alcanzó significación estadística a nivel grupal ($p=0,07$), aunque 6 de 9 participantes mostraron mejoría individual en la intensidad del PLP.

En el estudio exploratorio de Snow et al. ⁽³⁸⁾ se observaron respuestas divergentes entre los casos analizados, incluyendo desaparición del dolor en un participante y reducciones de menor magnitud en otros.

Persistencia del efecto analgésico y seguimiento

La evaluación de la persistencia del efecto analgésico fue variable entre los estudios incluidos. Entre los ensayos clínicos controlados, el estudio de Lendaro et al. (2025)⁽⁴³⁾ reportó una persistencia parcial de la reducción del dolor del miembro fantasma durante el seguimiento, con descensos que, aunque menores que los observados al finalizar la intervención, se mantuvieron por debajo del valor basal en las evaluaciones a 1, 3 y 6 meses. En otros ensayos aleatorizados, el análisis se limitó al período inmediato postintervención, sin evaluación longitudinal más allá del cierre del programa ^(36,45), mientras que en el protocolo basado en observación pasiva no se registraron cambios en la intensidad del dolor durante el período evaluado, manteniéndose valores similares en el análisis pre–post ⁽³⁴⁾.

Entre los estudios pre–post y pilotos, algunos incorporaron evaluaciones de seguimiento a corto y mediano plazo. Thøgersen et al. ⁽³⁷⁾ evidenciaron un mantenimiento parcial de la reducción del dolor en el seguimiento a las 4 semanas posteriores a la intervención (semana 8), según los registros diarios (NRS), en una muestra que presentaba baja intensidad basal de dolor, mientras que Ambron et al. (2021)⁽⁴⁰⁾ reportaron la persistencia de la mejoría en evaluaciones posteriores (1, 4 y 8 semanas), con una tendencia al mantenimiento del efecto analgésico en el tiempo, mientras que De Nunzio et al. ⁽⁴⁶⁾ describieron persistencia del efecto analgésico hasta aproximadamente 6 semanas. En intervenciones basadas en ejecución motora mediante control mioeléctrico, Ortiz-Catalan et al. (2016)⁽³³⁾ informaron mantenimiento del efecto hasta 6 meses, mientras que en el

estudio de caso de 2014⁽⁴⁴⁾ se describió persistencia del beneficio durante el período de intervención. Asimismo, en un protocolo domiciliario asistido por tecnología, Lendaro et al. (2020)⁽⁴²⁾ reportaron mantenimiento de niveles bajos de dolor durante el uso prolongado del sistema.

En contraste, algunas intervenciones basadas en sesión única o exposiciones breves no incluyeron seguimiento más allá de la evaluación inmediata posterior a la sesión (35,38,39,41,47,48).

VII. DISCUSIÓN

La evidencia analizada sugiere que las intervenciones basadas en realidad virtual se asocian con una reducción del dolor de miembro fantasma (PLP), aunque en un contexto de marcada heterogeneidad metodológica y terapéutica. Esta heterogeneidad no solo responde a diferencias en el diseño de los estudios, sino también a la arquitectura de las intervenciones, que abarcan desde paradigmas de observación pasiva hasta sistemas complejos con control mioeléctrico, retroalimentación multisensorial y entrenamiento prolongado. En este sentido, la comparación directa de la magnitud del efecto entre estudios resulta limitada, ya que bajo la misma categoría de “realidad virtual” se incluyen intervenciones con mecanismos potencialmente distintos.

En los ensayos con grupo comparador, la reducción del dolor fue consistente en términos de dirección, aunque con diferencias relevantes en su interpretación. En el ensayo multicéntrico de Lendaro et al. ⁽⁴³⁾, tanto la ejecución como la imaginación motora lograron reducciones sustanciales del dolor sin diferencias intergrupales, lo que sugiere que la activación del sistema sensoriomotor —incluso sin ejecución muscular— podría ser suficiente para generar efecto analgésico. Por su parte, estudios como Elgendy et al. ⁽³⁶⁾ y Abbas et al. ⁽⁴⁵⁾ mostraron mayores reducciones en los grupos que incorporaron realidad virtual en comparación con el tratamiento convencional, aunque en ambos casos la intervención fue combinada y con diferencias en la dosis terapéutica total, lo que dificulta atribuir el efecto exclusivamente a la realidad virtual. En contraste, el estudio de Steckel et al. ⁽³⁴⁾, basado en observación de acciones sin control motor del avatar, no evidenció cambios significativos en el PLP, en un contexto además de alta tasa de abandono y baja potencia estadística. En conjunto, estos resultados sugieren que la eficacia no depende

únicamente del uso de entornos inmersivos, sino de cómo se estructuran las tareas dentro de dichos entornos.

En los estudios sin grupo control, la tendencia hacia la reducción del dolor fue consistente, aunque con limitaciones claras para establecer causalidad. Intervenciones con control activo del miembro virtual o ejecución motora fantasma, como en Ortiz-Catalan et al.(2016)⁽³³⁾, Thøgersen et al.⁽³⁷⁾ y Lendaro et al. (2020)⁽⁴²⁾, mostraron descensos sostenidos del dolor en distintas medidas, incluyendo registros longitudinales y cuestionarios multidimensionales. En el caso de Ortiz-Catalan et al. (2014)⁽⁴⁴⁾, este efecto también fue observado en un diseño de caso único, lo que aporta información exploratoria sobre la posible eficacia de la intervención, aunque con una capacidad de generalización muy limitada. Sin embargo, estos estudios presentan tamaños muestrales reducidos, ausencia de aleatorización y, en algunos casos, intervenciones no estandarizadas o autoadministradas, lo que introduce variabilidad en la exposición y limita la reproducibilidad. En estudios piloto como Kulkarni et al. ⁽⁴¹⁾, donde no se alcanzó significación estadística, esta ausencia de efecto podría estar vinculada a la baja dosis de intervención y al reducido tamaño muestral. Por su parte, en diseños de caso o muestras muy pequeñas, como Ambron et al. (2018)⁽³⁹⁾, la mejoría observada debe interpretarse con cautela debido a la imposibilidad de diferenciar el efecto específico de la intervención de factores no específicos como la expectativa o la variabilidad natural del dolor. De manera similar, en estudios exploratorios como Snow et al. ⁽³⁸⁾, los hallazgos se limitan a descripciones de casos sin análisis comparativo robusto, lo que restringe su interpretación en términos de eficacia.

Más allá de la magnitud del efecto, los resultados permiten identificar un patrón relevante vinculado a las características de la intervención. Los protocolos que incorporan mayor participación del sistema sensoriomotor —como aquellos que incluyen control mioeléctrico, tareas dirigidas o interacción activa con el entorno— tienden a mostrar respuestas analgésicas más consistentes ^(33,37,42,43), mientras que intervenciones con menor implicación motora, como la observación pasiva ⁽³⁴⁾ o las fases distractoras sin representación corporal específica ⁽⁴⁰⁾, presentan efectos más variables o menos sostenidos. No obstante, esta relación no es absoluta, ya que estudios como Lendaro et al.⁽⁴³⁾ muestran que la imaginación motora puede generar efectos comparables a la ejecución, y otros como Ambron et al. (2021)⁽⁴⁰⁾ evidencian reducción del dolor incluso en

condiciones sin control directo del miembro virtual, lo que sugiere la participación de mecanismos adicionales.

Desde una perspectiva fisiopatológica, estos hallazgos pueden interpretarse principalmente en el marco de los modelos de incongruencia sensoriomotora, donde el dolor de miembro fantasma se vincula a la discordancia entre la intención motora y la retroalimentación sensorial. En este sentido, las intervenciones que permiten restablecer la coherencia entre estas señales —mediante control activo del miembro virtual o integración multisensorial— podrían contribuir a reducir el conflicto central implicado en el PLP. Este mecanismo puede integrarse con otros marcos teóricos ampliamente descritos, como la neuromatriz del dolor y los procesos de plasticidad cortical maladaptativa, que permiten comprender cómo estas experiencias se reorganizan y mantienen en el tiempo. Sin embargo, la evidencia no es uniforme. Mientras que estudios como Thøgersen et al.⁽³⁷⁾ sugieren modificaciones en la activación cortical asociadas a la intervención, otros como De Nunzio et al.⁽⁴⁶⁾ no evidenciaron cambios significativos en fMRI a pesar de la reducción del dolor, lo que indica que la relación entre reorganización cortical y analgesia no es necesariamente directa. Asimismo, variables como el embodiment y la agencia, exploradas en estudios como Snow et al.⁽³⁸⁾ o Prahm et al.⁽⁴⁸⁾, podrían modular la representación corporal y contribuir indirectamente al efecto analgésico. En conjunto, estos hallazgos sugieren que la realidad virtual podría actuar sobre múltiples dimensiones de la experiencia dolorosa, aunque el conflicto sensoriomotor se presenta como uno de los mecanismos más consistentes.

En relación con la calidad de vida relacionada con la salud (CVRS), la evidencia es más limitada y metodológicamente heterogénea. Algunos ensayos controlados reportaron mejoras en variables funcionales y psicosociales, como en Elgendy et al.⁽³⁶⁾, donde se observaron incrementos significativos en la función del miembro inferior (LEFS), o en Abbas et al.⁽⁴⁵⁾, con mejoras en el componente mental del SF-12. En el estudio de Lendaro et al.⁽⁴³⁾, se registraron mejoras en múltiples dimensiones, incluyendo discapacidad, estado de ánimo y catastrofización, aunque como desenlaces exploratorios sin poder estadístico específico. En estudios sin grupo control, como Ortiz-Catalan et al.⁽³³⁾ o Ambron et al.⁽⁴⁰⁾, se describieron reducciones en la interferencia del dolor en actividades de la vida diaria y en el sueño, aunque evaluadas mediante instrumentos no estandarizados o autorreporte. Sin embargo, en varios estudios estas variables no fueron evaluadas como desenlaces principales ni analizadas longitudinalmente. En Thøgersen et

al. ⁽³⁷⁾, las dimensiones funcionales y psicosociales se exploraron mediante el MPI-D sin evidenciar cambios significativos, mientras que en De Nunzio et al. ⁽⁴⁶⁾ y Rutledge et al. ⁽⁴⁷⁾ las variables relacionadas con calidad de vida y estado psicosocial fueron registradas únicamente como caracterización basal, sin análisis pre–post. En conjunto, estos hallazgos sugieren un posible impacto funcional, aunque no permiten establecer conclusiones firmes sobre la CVRS como constructo global.

Las limitaciones del cuerpo de evidencia son relevantes y atraviesan la mayoría de los estudios incluidos. Existe una alta proporción de diseños sin grupo control, tamaños muestrales reducidos y ausencia de cegamiento, como en Perry et al. ⁽³⁵⁾, Thøgersen et al. ⁽³⁷⁾, Kulkarni et al. ⁽⁴¹⁾ o Ambron et al. ⁽⁴⁰⁾, lo que incrementa el riesgo de sesgos y limita la validez interna. Incluso en ensayos controlados, se observan limitaciones como intervenciones no equivalentes en dosis ⁽⁴⁵⁾, falta de estandarización del tratamiento convencional ⁽³⁶⁾ o alta tasa de abandono ⁽³⁴⁾, que afectan la interpretación de los resultados. Asimismo, la heterogeneidad en la duración, frecuencia y modalidad de las intervenciones —desde sesiones únicas hasta tratamientos domiciliarios prolongados— dificulta establecer relaciones dosis–respuesta y limita la comparación entre estudios. En cuanto al seguimiento, la evidencia es variable y aporta información limitada sobre la persistencia del efecto analgésico. Algunos estudios incorporaron evaluaciones longitudinales que sugieren un mantenimiento parcial del beneficio, como Ortiz-Catalan et al. ⁽³³⁾, con seguimiento hasta 6 meses, o Thøgersen et al. ⁽³⁷⁾ y Ambron et al. ⁽⁴⁰⁾, que reportaron persistencia del efecto a corto plazo (hasta 4 semanas), con seguimiento extendido hasta 8 semanas en el caso de Ambron et al. De manera similar, Lendaro et al. ⁽⁴³⁾ evidenciaron que la reducción del dolor se mantenía por debajo del valor basal en evaluaciones a 1, 3 y 6 meses, aunque con menor magnitud que al finalizar la intervención. En contraste, otros estudios se limitaron al análisis inmediato post intervención, como Perry et al. ⁽³⁵⁾, Snow et al. ⁽³⁸⁾ o Kulkarni et al. ⁽⁴¹⁾, lo que impide establecer conclusiones sobre la durabilidad del efecto. Esta variabilidad en la presencia, duración y metodología del seguimiento limita la interpretación del impacto clínico sostenido de estas intervenciones.

Por otra parte, la variabilidad interindividual en la respuesta al tratamiento constituye un hallazgo recurrente. Estudios como Lendaro et al. ⁽⁴³⁾, Ortiz-Catalan et al. ⁽³³⁾ y Kulkarni et al. ⁽⁴¹⁾ muestran la coexistencia de respondedores y no respondedores dentro de un mismo protocolo, lo que sugiere la influencia de factores clínicos no controlados, como el

tiempo desde la amputación, la presencia de dolor residual o las características del miembro fantasma . Sin embargo, estos factores no han sido analizados de manera sistemática como predictores de respuesta, lo que limita la posibilidad de individualizar las intervenciones.

En conjunto, la evidencia disponible respalda el potencial de la realidad virtual como herramienta terapéutica en el manejo del dolor de miembro fantasma, particularmente cuando las intervenciones logran integrar componentes sensoriomotores relevantes. No obstante, la magnitud del efecto, su persistencia en el tiempo y los mecanismos subyacentes deben interpretarse con cautela, en función de la heterogeneidad metodológica y de las limitaciones presentes en el cuerpo de evidencia actual. De manera complementaria, aunque algunos estudios sugieren mejoras en variables funcionales y psicosociales, la evidencia sobre calidad de vida relacionada con la salud continúa siendo limitada y metodológicamente heterogénea.

VIII. CONCLUSIÓN

La evidencia analizada sugiere que las intervenciones basadas en realidad virtual se asocian con reducciones clínicamente relevantes en la intensidad del dolor de miembro fantasma en personas amputadas. En los estudios revisados, los protocolos que incorporan mayor participación motora del paciente o tareas orientadas a la activación sensoriomotora mostraron una asociación más consistente con la disminución del dolor, lo que respalda su potencial utilidad dentro de estrategias terapéuticas orientadas a la modulación del síntoma.

En relación con la calidad de vida relacionada con la salud, algunos trabajos reportaron mejoras en dimensiones funcionales, en la interferencia del dolor sobre las actividades cotidianas y en variables emocionales vinculadas al dolor. Sin embargo, estas dimensiones fueron evaluadas con menor frecuencia y mediante instrumentos heterogéneos, generalmente como desenlaces secundarios, lo que limita la posibilidad de establecer conclusiones firmes sobre el impacto global de estas intervenciones sobre la calidad de vida.

Asimismo, la variabilidad observada entre estudios y entre participantes sugiere que la respuesta a este tipo de intervenciones podría estar influida por características

clínicas del paciente, como el tiempo transcurrido desde la amputación, la presencia de dolor del miembro residual u otros factores asociados a la experiencia del dolor, aunque estos aspectos no fueron analizados de manera sistemática en la mayoría de los trabajos.

En conjunto, los hallazgos permiten considerar a la realidad virtual como una estrategia terapéutica prometedora en el abordaje rehabilitador del dolor de miembro fantasma, con potencial impacto tanto en la intensidad del dolor como en algunas dimensiones funcionales vinculadas a la calidad de vida. No obstante, la heterogeneidad de los diseños, la diversidad de protocolos de intervención y la limitada evaluación del seguimiento longitudinal del dolor señalan la necesidad de estudios futuros con metodologías más robustas, muestras mayores y evaluaciones más sistemáticas de los resultados clínicos y funcionales.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Schley MT, Wilms P, Toepfner S, Schaller HP, Schmelz M, Konrad CJ, et al. Painful and nonpainful phantom and stump sensations in acute traumatic amputees. *J Trauma*. 2008;65(4):858-64. doi:10.1097/TA.0b013e31812eed9e
2. Subedi B, Grossberg GT. Phantom limb pain: mechanisms and treatment approaches. *Pain Res Treat*. 2011;2011:864605. doi:10.1155/2011/864605
3. Flor H. Phantom-limb pain: characteristics, causes, and treatment. *Lancet Neurol*. 2002;1(3):182-9. doi:10.1016/S1474-4422(02)00074-1.
4. Fuchs X, Flor H, Bekrater-Bodmann R. Psychological Factors Associated with Phantom Limb Pain: A Review of Recent Findings. *Pain Res Manag*. 2018;2018:5080123. doi:10.1155/2018/5080123.
5. Limakatso K, Parker R. Treatment Recommendations for Phantom Limb Pain in People with Amputations: An Expert Consensus Delphi Study. *PM R*. 2021;13(11):1216-26. doi:10.1002/pmrj.12556.
6. Hanyu-Deutmeyer AA, Cascella M, Varacallo MA. Phantom Limb Pain. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [citado 23 de febrero de 2026]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK448188/> PubMed PMID: 28846343.
7. Culp CJ, Abdi S. Current Understanding of Phantom Pain and its Treatment. *Pain Physician*. 2022;25(7):E941-57. PubMed PMID: 36288580. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36288580/>
8. Schans CP van der, Geertzen JHB, Schoppen T, Dijkstra PU. Phantom Pain and Health-Related Quality of Life in Lower Limb Amputees. *J Pain Symptom Manage*. 2002;24(4):429-36. doi:10.1016/S0885-3924(02)00511-0.
9. Sano Y, Wake N, Ichinose A, Osumi M, Oya R, Sumitani M, et al. Tactile feedback for

relief of deafferentation pain using virtual reality system: a pilot study. *J NeuroEngineering Rehabil.* 2016;13(1):61. doi:10.1186/s12984-016-0161-6.

10. Wittkopf PG, Lloyd DM, Johnson MI. Managing limb pain using virtual reality: a systematic review of clinical and experimental studies. *Disabil Rehabil.* 2019;41(26):3103-17. doi:10.1080/09638288.2018.1485183.

11. Lucena-Anton D, Fernandez-Lopez JC, Pacheco-Serrano AI, Garcia-Munoz C, Moral-Munoz JA. Virtual and Augmented Reality versus Traditional Methods for Teaching Physiotherapy: A Systematic Review. *Eur J Investig Health Psychol Educ.* 2022;12(12):1780-92. doi:10.3390/ejihpe12120125.

12. Dunn J, Yeo E, Moghaddampour P, Chau B, Humbert S. Virtual and augmented reality in the treatment of phantom limb pain: A literature review. *NeuroRehabilitation.* 2017;40(4):595-601. doi:10.3233/NRE-171447.

13. Ichinose A, Sano Y, Osumi M, Sumitani M, Kumagaya S ichiro, Kuniyoshi Y. Somatosensory Feedback to the Cheek During Virtual Visual Feedback Therapy Enhances Pain Alleviation for Phantom Arms. *Neurorehabil Neural Repair.* 2017;31(8):717-25. doi:10.1177/1545968317718268.

14. Cheung JCW, Cheung DSK, Ni M, Chen KW, Mao YJ, Feng L, et al. X-reality for phantom limb management for amputees: A systematic review and meta-analysis. *Eng Regen.* 2023;4(2):134-51. doi:10.1016/j.engreg.2023.02.002.

15. Ephraim PL, Wegener ST, MacKenzie EJ, Dillingham TR, Pezzin LE. Phantom pain, residual limb pain, and back pain in amputees: results of a national survey. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86(10):1910-9. doi:10.1016/j.apmr.2005.03.031.

16. Dijkstra PU, Geertzen JHB, Stewart R, van der Schans CP. Phantom pain and risk factors: a multivariate analysis. *J Pain Symptom Manage.* 2002;24(6):578-85. doi:10.1016/s0885-3924(02)00538-9.

17. Flor H, Nikolajsen L, Staehelin Jensen T. Phantom limb pain: a case of maladaptive

CNS plasticity? *Nat Rev Neurosci.* 2006;7(11):873-81. doi:10.1038/nrn1991.

18. Nikolajsen L, Staehelin Jensen T. Phantom limb pain. *Curr Rev Pain.* 2000;4(2):166-70. doi:10.1007/s11916-000-0052-0.

19. Makin TR, Flor H. Brain (re)organisation following amputation: Implications for phantom limb pain. *NeuroImage.* 2020;218:116943. doi:10.1016/j.neuroimage.2020.116943.

20. Imaizumi S, Asai T, Koyama S. Agency over Phantom Limb Enhanced by Short-Term Mirror Therapy. *Front Hum Neurosci.* 2017;11. doi:10.3389/fnhum.2017.00483.

21. Issa CJ, Svientek SR, Dehdashtian A, Cederna PS, Kemp SWP. Pathophysiological and Neuroplastic Changes in Postamputation and Neuropathic Pain: Review of the Literature. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2022;10(9):e4549. doi:10.1097/GOX.0000000000004549.

22. Melzack R. Pain and the neuromatrix in the brain. *J Dent Educ.* 2001;65(12):1378-82. PubMed PMID: 11780656. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11780656/>.

23. Flor H, Elbert T, Knecht S, Wienbruch C, Pantev C, Birbaumer N, et al. Phantom-limb pain as a perceptual correlate of cortical reorganization following arm amputation. *Nature.* 1995;375(6531):482-4. doi:10.1038/375482a0.

24. Lotze M, Flor H, Grodd W, Larbig W, Birbaumer N. Phantom movements and pain. An fMRI study in upper limb amputees. *Brain J Neurol.* 2001;124(Pt 11):2268-77. doi:10.1093/brain/124.11.2268.

25. Cliff Richardson, Jai Kulkarni. A review of the management of phantom limb pain: challenges and solutions. *J Pain Res.* 2017;10:1861-70. doi:10.2147/JPR.S124664.

26. Sinha R, Van Den Heuvel WJA. A systematic literature review of quality of life in lower limb amputees. *Disabil Rehabil.* 2011;33(11):883-99. doi:10.3109/09638288.2010.514646.

27. Harke H, Gretenkort P, Ladleif HU, Rahman S. Spinal cord stimulation in sympathetically maintained complex regional pain syndrome type I with severe disability. A prospective clinical study. *Eur J Pain*. 2005;9(4):363-73. doi:10.1016/j.ejpain.2004.09.003.
28. Mallari B, Spaeth EK, Goh H, Boyd BS. Virtual reality as an analgesic for acute and chronic pain in adults: a systematic review and meta-analysis. *J Pain Res*. 2019;12:2053-85. doi:10.2147/JPR.S200498.
29. Garrett B, Taverner T, McDade P. Virtual Reality as an Adjunct Home Therapy in Chronic Pain Management: An Exploratory Study. *JMIR Med Inform*. 2017;5(2):e11. doi:10.2196/medinform.7271.
30. Milgram P, Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans Inf Syst*. 1994;E77-D(12):1321-9.
31. Gan D, Wang SY, Liu K, Zhang SY, Huang H, Xing JH, et al. Innovative exploration of phantom limb pain treatment based on extended reality technology. *World J Orthop*. 2025;16(6):107422. doi:10.5312/wjo.v16.i6.107422.
32. Murray CD, Pettifer S, Howard T, Patchick EL, Caillette F, Kulkarni J, et al. The treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality: three case studies. *Disabil Rehabil*. 2007;29(18):1465-9. doi:10.1080/09638280601107385.
33. Ortiz-Catalan M, Guðmundsdóttir RA, Kristoffersen MB, Zepeda-Echavarria A, Caine-Winterberger K, Kulbacka-Ortiz K, et al. Phantom motor execution facilitated by machine learning and augmented reality as treatment for phantom limb pain: a single group, clinical trial in patients with chronic intractable phantom limb pain. *The Lancet*. 2016;388(10062):2885-94. doi:10.1016/S0140-6736(16)31598-7.
34. Steckel BM, Schwertner R, Bücken J, Nazareth ACDP, Bizarro L, Oliveira AAD. Immersive virtual reality applied to the rehabilitation of patients with lower limb amputation: a small randomized controlled trial for feasibility study. *Virtual Real*. 2024;28(2):115. doi:10.1007/s10055-024-01015-x.

35. Perry BN, Armiger RS, Wolde M, McFarland KA, Alphonso AL, Monson BT, et al. Clinical Trial of the Virtual Integration Environment to Treat Phantom Limb Pain With Upper Extremity Amputation. *Front Neurol.* 2018;9:770. doi:10.3389/fneur.2018.00770.
36. Elgendy MH, Helal MM, Habib AA. The influence of virtual reality approach on phantom pain in trans-tibial amputation: A randomized control trail. *Int J Health Sci.* 2024;8(S1):436-57. doi:10.53730/ijhs.v8nS1.14796.
37. Thøgersen M, Andoh J, Milde C, Graven-Nielsen T, Flor H, Petrini L. Individualized Augmented Reality Training Reduces Phantom Pain and Cortical Reorganization in Amputees: A Proof of Concept Study. *J Pain.* 2020;21(11-12):1257-69. doi:10.1016/j.jpain.2020.06.002.
38. Snow PW, Sedki I, Sinisi M, Comley R, Loureiro RCV. Robotic therapy for phantom limb pain in upper limb amputees. En: 2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR) [Internet]. London: IEEE; 2017. p. 1019-24. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8009383/> doi:10.1109/ICORR.2017.8009383.
39. Ambron E, Miller A, Kuchenbecker KJ, Buxbaum LJ, Coslett HB. Immersive Low-Cost Virtual Reality Treatment for Phantom Limb Pain: Evidence from Two Cases. *Front Neurol.* 2018;9. doi:10.3389/fneur.2018.00067.
40. Ambron E, Buxbaum LJ, Miller A, Stoll H, Kuchenbecker KJ, Coslett HB. Virtual Reality Treatment Displaying the Missing Leg Improves Phantom Limb Pain: A Small Clinical Trial. *Neurorehabil Neural Repair.* 2021;35(12):1100-11. doi:10.1177/15459683211054164.
41. Kulkarni J, Pettifer S, Turner S, Richardson C. An investigation into the effects of a virtual reality system on phantom limb pain: a pilot study. *Br J Pain.* 2020;14(2):92-7. doi:10.1177/2049463719859913.
42. Lendaro E, Middleton A, Brown S, Ortiz-Catalan M. Out of the Clinic, into the Home: The in-Home Use of Phantom Motor Execution Aided by Machine Learning and Augmented Reality for the Treatment of Phantom Limb Pain. *J Pain Res.* 2020;13:195-209. doi:10.2147/JPR.S220160.

43. Lendaro E, Van Der Sluis CK, Hermansson L, Bunketorp-Käll L, Burger H, Keesom E, et al. Extended reality used in the treatment of phantom limb pain: a multicenter, double-blind, randomized controlled trial. *Pain*. 2025;166(3):571-86. doi:10.1097/j.pain.0000000000003384.
44. Ortiz-Catalan M, Sander N, Kristoffersen MB, Håkansson B, Brånemark R. Treatment of phantom limb pain (PLP) based on augmented reality and gaming controlled by myoelectric pattern recognition: a case study of a chronic PLP patient. *Front Neurosci*. 2014;8(24). doi:10.3389/fnins.2014.00024.
45. Abbas RL, Cooreman D, Sultan HA, Nayal ME, Saab IM, Khatib AE, et al. Effect of Adding Virtual Reality Training to Traditional Exercise Program on Pain, Mental Status and Psychological Status in Unilateral Traumatic Lower Limb Amputees: A Randomized Controlled Trial. *Games Health J*. 2024;13(4):245-51. doi:10.1089/g4h.2023.0164
46. De Nunzio AM, Schweisfurth MA, Ge N, Falla D, Hahne J, Gödecke K, et al. Relieving phantom limb pain with multimodal sensory-motor training. *J Neural Eng*. 2018;15(6):066022. doi:10.1088/1741-2552/aae271.
47. Rutledge T, Velez D, Depp C, McQuaid JR, Wong G, Jones RCW, et al. A Virtual Reality Intervention for the Treatment of Phantom Limb Pain: Development and Feasibility Results. *Pain Med*. 2019;20(10):2051-9. doi:10.1093/pm/pnz121
48. Prahm C, Eckstein K, Bressler M, Wang Z, Li X, Suzuki T, et al. PhantomAR: gamified mixed reality system for alleviating phantom limb pain in upper limb amputees—design, implementation, and clinical usability evaluation. *J NeuroEngineering Rehabil*. 2025;22(1):21. doi:10.1186/s12984-025-01554-7