



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

Ingeniería de la Salud – Mención en Ingeniería Biomédica

TRABAJO FIN DE GRADO

Soluciones de realidad aumentada para el bienestar del paciente crónico:
revisión sistemática de la literatura

Autor:

Lucía Rodríguez Silva

Tutores:

María José Escalona Cuaresma

Julián Alberto García García

Primera convocatoria

Curso 2020/2021

Contenido

1.	Introducción	6
1.1.	Contexto y problemática	6
1.2.	Objetivos	8
1.3.	Justificación del proyecto.....	9
1.4.	Planificación.....	9
1.5.	Estimación de recursos	10
2.	Trabajos relacionados	12
3.	Proceso metodológico de revisión sistemática.....	15
4.	Planificación de la revisión sistemática	17
4.1.	Justificación para llevar a cabo la revisión sistemática.....	17
4.2.	Preguntas de investigación	17
4.3.	Definir el protocolo de revisión.....	18
4.3.1.	Definir palabras clave	18
4.3.2.	Proceso de selección de estudios primarios y definición de criterios de inclusión/exclusión.....	21
4.3.3.	Definir preguntas de calidad	22
4.3.4.	Esquema de caracterización.....	23
5.	Realización SLR	24
5.1.	Extracción de estudios primarios	24
6.	Reporte.....	27
7.	Conclusión	51
8.	Referencias.....	55

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de Gantt.....	10
Figura 2. Esquema SLR	16
Figura 3. Esquema del proceso de selección de estudios primarios	24
Figura 4. Estudios extraídos tras los distintos motores de búsqueda.....	25
Figura 5. Análisis de los estudios incluidos de cada librería digital	26
Figura 6. Distribución de los estudios primarios en función de la patología tratada	30

Índice de tablas

Tabla 1. Miembros del proyecto	10
Tabla 2. Sueldos por rol	11
Tabla 3. Preguntas de investigación.....	18
Tabla 4. Palabras clave.....	19
Tabla 5. Expresiones de búsqueda en librerías digitales.....	20
Tabla 6. Criterios de inclusión y exclusión.....	22
Tabla 7. Preguntas de calidad	23
Tabla 8. Esquema de caracterización.....	23
Tabla 9. Esquema de caracterización.....	24
Tabla 10. Estudios primarios y su puntuación respecto a las preguntas de calidad.....	28
Tabla 11. Distribución de los estudios primarios en función de la patología tratada	29
Tabla 12. Distribución de los estudios primarios en función del tipo de amputación tratada en él.....	31
Tabla 13. Distribución de los estudios primarios de PLP en función de la tecnología complementaria a la RA.....	36
Tabla 14. Distribución de los estudios primarios en función de los problemas encontrados ..	43
Tabla 15. Distribución de los estudios primarios en función de los métodos de validación del paciente aplicados/propuestos tras aplicar la solución de RA	46
Tabla 16. Distribución de los estudios primarios en función de si aplican/proponen cuestionarios y escalas consideradas relevantes	47

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis tutores, Julián García García y María José Escalona Cuaresma, por brindarme su apoyo y guiarme en la planificación y realización de este proyecto para alcanzar los resultados adecuados.

Agradezco también la confianza que me han aportado durante este período a los profesionales Antonio José Laguna Camino y José Manuel Navarro Pando, por proporcionarme vuestros conocimientos y ayudarme en todo lo necesario. Gracias también por la oportunidad de trabajar en colaboración con Inebir, haciéndome partícipe de la empresa y optando con ello a un trabajo de fin de grado empresarial.

Por último y no menos importante, me gustaría dar las gracias a mi familia, por acompañarme durante estos años, tanto en los buenos como en los malos momentos. A Placetes, mi gran descubrimiento, por nuestra amistad incondicional y por ser también familia. A Carlos, por confiar en mí desde que éramos muy pequeños; y a Jose, por apoyarme incondicionalmente desde el principio y convertirse en un pilar fundamental en mi vida. Gracias por alegraros de mis buenas noticias como si fuesen vuestras.

1. Introducción

1.1. Contexto y problemática

Las enfermedades crónicas son enfermedades de larga duración cuya evolución suele ser lenta, representando una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial. Según datos de la OMS *“las enfermedades cardíacas, los infartos, el cáncer, las enfermedades respiratorias y la diabetes, son las principales causas de mortalidad en el mundo, siendo responsables del 63% de las muertes.”* [7].

Para tratar estas patologías generalmente se requiere una formación especial por parte del paciente para la rehabilitación o se precisa de un largo período de supervisión, observación y atención.

Dichas enfermedades a menudo están asociadas con el dolor. El dolor crónico puede dificultar la vida del que lo padece, convirtiéndose en frecuente en su día a día durante años y considerándose una enfermedad en sí mismo [13]. El cáncer, la artritis, la diabetes o la fibromialgia son ejemplos de enfermedades crónicas que pueden derivar en dolor crónico.

Sin embargo, este tipo de dolor puede surgir también a raíz de una lesión, un accidente cerebrovascular o una infección, que pueden dar lugar a deficiencias motoras o a la amputación de un miembro y padecer con ello el dolor conocido como dolor del miembro fantasma o PLP (Phantom Limb Pain) [22], producido por la sensación de que el miembro que falta aún está presente.

Es fundamental que los pacientes que padecen enfermedad o dolor crónico tomen un papel activo en su propio cuidado. A menudo el desarrollo de la enfermedad y los problemas físicos que conlleva pueden derivar en factores psíquicos, por lo que también es imprescindible que los profesionales sanitarios, apoyados de los recursos y la experiencia suficiente, puedan ayudar a los pacientes a manejar su enfermedad de la manera más efectiva posible.

Es aquí donde introducimos la realidad aumentada (RA). A lo largo de los años la introducción de las tecnologías sanitarias digitales, y por ende la realidad aumentada en el cuidado y tratamiento del dolor crónico tiene como objetivo la motivación del paciente y el control de la realización de diversos ejercicios de forma correcta por parte del paciente con el fin de mejorar su bienestar y calidad de vida aliviando el dolor crónico [14].

Definimos la realidad aumentada como una vista directa o indirecta en tiempo real de un entorno físico del mundo real que ha sido modificado o aumentado añadiendo información generada por computadora u otro similar [15]. Esta tecnología puede mejorar la percepción e interacción del usuario con el mundo real.

Los orígenes de la realidad aumentada se remontan a 1950 [16], cuando Morton Heilig escribió sobre la idea de un cine en el que se pudiese aumentar la experiencia del espectador a través de todos los sentidos. En 1962, este cineasta e inventor construyó el Sensorama [17], un dispositivo para estimular los sentidos de un individuo para simular una experiencia de forma realista.

En 1968 [17] el científico Ivan Shuterland, con la ayuda de sus estudiantes graduados construyó el primer visor montado en la cabeza (HMD, Head Mounted Display), lo que se conoce como el primer sistema de realidad aumentada.

Fue en 1990 cuando Tom Caudell acuñó el término de realidad aumentada. En los años 90 la realidad aumentada se aplicaba en ámbitos muy diversos, como militares o de entretenimiento [18].

A pesar de los grandes avances que se fueron produciendo en los años posteriores a los acontecimientos nombrados hasta la actualidad, es cierto que la realidad aumentada sigue siendo hoy en día una tecnología emergente. En el ámbito sanitario supone un gran avance, debido a que puede ser empleada en diversos campos para el uso de herramientas de salud conductual para diferentes demografías, intervenciones sanitarias, terapias de exposición, mecanismo de formación del personal sanitario o evaluación y tratamiento de diversas afecciones, entre otros [19].

Junto con la realidad virtual (RV), puede ser una buena herramienta para la educación del paciente sobre su salud o tratamiento o para la administración del mismo, mejorando las vías de atención tradicionales [20] y aportando seguridad y métodos novedosos para la calidad de trabajo por parte del paciente y del profesional sanitario. Dichas tecnologías pueden ser capaces de proporcionar a los pacientes un alivio y control del dolor, propiciando la competencia entre estímulos y aumentando la capacidad de atención [21].

La realidad aumentada puede ser aplicada a los pacientes crónicos mediante diversas fuentes como instrucciones terapéuticas o diversas imágenes. El uso de esta tecnología por parte de los

pacientes crónicos puede dar lugar a grandes avances en su tratamiento con el objetivo de mejorar su bienestar y calidad de vida.

1.2. Objetivos

El objetivo del presente proyecto consiste en conocer y analizar técnicas o herramientas de realidad aumentada para mejorar el tratamiento de los pacientes crónicos, realizando una revisión sistemática de la literatura (SLR) siguiendo el proceso propuesto por Barbara Kitchenham [23], que se explicará en el Apartado 3 y se desarrollará en base a este proyecto en los apartados posteriores. De manera más concreta, se plantean los siguientes objetivos:

- Conocer y analizar técnicas o herramientas de realidad aumentada para mejorar el tratamiento de los pacientes crónicos.
- Evaluar el impacto actual del uso de la realidad aumentada para el bienestar del paciente.
- Estudiar los trabajos relacionados de este ámbito y comprender y valorar posibles problemas y sus antecedentes.
- Conocer los principios TIC y evaluar los distintos métodos encontrados para conocer cuáles favorezcan en mayor medida el tratamiento y el bienestar del enfermo crónico.

El proyecto se llevará a cabo con la colaboración de la clínica Inebir [24], contando con la ayuda de los expertos Jose Manuel Navarro Pando, ginecólogo de la entidad, y Antonio José Laguna Camino, fisioterapeuta. Además, para su desarrollo se han propuesto una serie de objetivos docentes, que a su vez han servido de motivación y desarrollo personal:

- Aprender a trabajar en equipo dentro del contexto tecnológico de una empresa.
- Tratar con usuarios finales (Jose Manuel Navarro y Antonio José Laguna), consultando con ellos distintos aspectos a tratar y desarrollar en el trabajo teniendo en cuenta su amplia experiencia y formación y validando nuevas propuestas.
- Profundizar en una tecnología novedosa y validar el gran impacto positivo que puede suponer su aplicación en el tratamiento de pacientes.

1.3. Justificación del proyecto

Debido al crecimiento constante de tecnologías como la realidad aumentada y la ayuda de Internet y los distintos dispositivos que mejoran sus cualidades día a día, la aplicación de ellas al ámbito sanitario ha ido en aumento en los últimos años, produciéndose grandes avances y dando lugar a nuevas ramas de investigación enfocadas tanto a proporcionar ayuda al personal sanitario como a prevenir enfermedades, mejorar el tratamiento de los pacientes o aportar bienestar en su día a día.

Los pacientes que sufren enfermedades crónicas deben ser controlados frecuentemente, necesitando asistencia sanitaria para su mejora y seguridad. Debido a la prolongada duración de la enfermedad, la educación de estos pacientes respecto a ella, el protocolo de un seguimiento adecuado y las pautas a seguir por los profesionales en relación a su cuidado son aspectos muy importantes en la vida del paciente y su respectivo tratamiento.

Sin embargo, es necesario seguir investigando y crear nuevas mejoras que satisfagan a un mayor número de pacientes, proporcionándoles confianza y bienestar y abarcando nuevos ámbitos y tareas.

La idea de este trabajo se basa en conocer las soluciones y las distintas técnicas de realidad aumentada para pacientes crónicos aplicadas en los últimos años y, a su vez, validarlas y proponer nuevas soluciones para la mejora del paciente.

Debido a la amplia variedad de enfermedades que abarca la enfermedad crónica en sí, resulta interesante conocer en qué áreas y patologías específicas se ha aplicado ya la tecnología de realidad aumentada, por lo que con la realización de este estudio conoceremos también qué patologías resultan más atractivas y prometedoras a la hora de aplicar nuevas tecnologías para innovar en ella y obtener nuevos y mejores resultados y en cuáles aún es necesario innovar o seguir investigando.

1.4. Planificación

La planificación temporal que se ha llevado a cabo en el presente trabajo se ve reflejada en el siguiente diagrama de Gantt. La duración del trabajo abarca desde mediados de febrero hasta mediados de junio. En el diagrama de Gantt se ha dividido la realización de las tareas por semanas, señalando en cada una de ellas el inicio y duración del plan inicial y real.

El diagrama de Gantt es el siguiente:

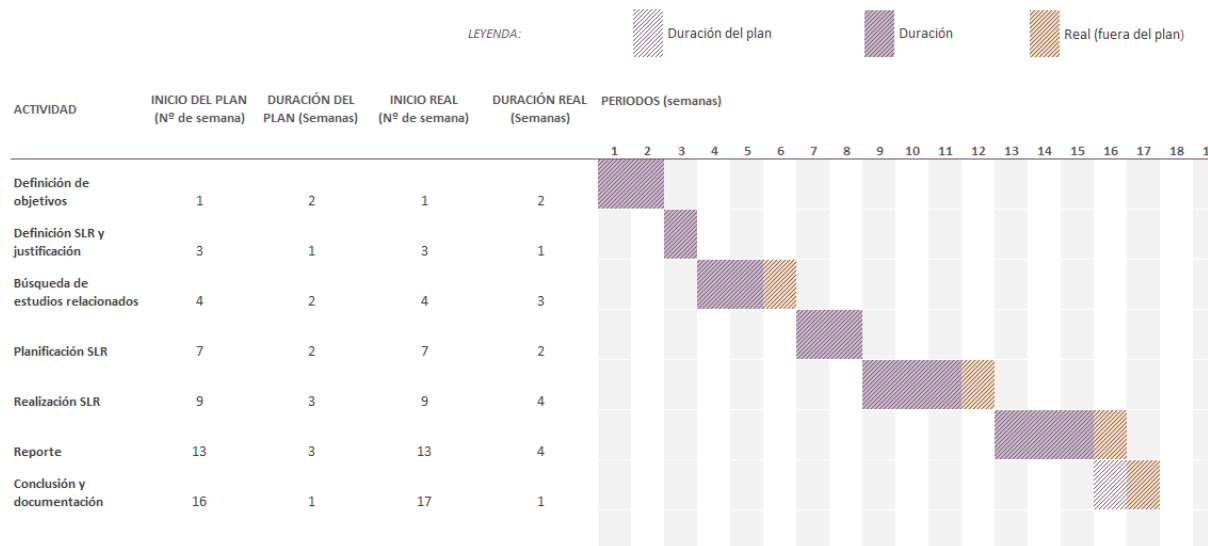


Figura 1. Diagrama de Gantt

1.5. Estimación de recursos

Dado que el Trabajo de Fin de Grado consta de 12 créditos, teniendo en cuenta la normativa vigente el tiempo aproximado de dedicación a este es de 300 horas. En el proyecto participarán cinco miembros dotados con los siguientes roles:

Miembro	Rol
Lucía Rodríguez Silva (alumna) ¹	Analista
María José Escalona Cuaresma (tutor) ²	Jefe de proyecto
Julián García García (tutor) ³	Jefe de proyecto
Antonio José Laguna Camino (fisioterapeuta) ⁴	Consultor
José Manuel Navarro Pando (ginecólogo) ⁵	Consultor

Tabla 1. Miembros del proyecto

En cuanto a las tarifas asignadas para cada uno de los roles, teniendo en cuenta las Tarifas Vigentes aplicadas de la Junta de Andalucía [9] son las siguientes:

¹ LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/lucia-rodriguez-silva>

² LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/mjescalona>

³ LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/juliangg>

⁴ LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/antonio-laguna-camino-510b9831>

⁵ LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/jos%C3%A9-manuel-navarro-pando-md-phd-a6062226>

Rol	Euros/hora
Analista	27,11
Jefe de proyecto	34,21
Consultor	35,21

Tabla 2. Sueldos por rol

El proyecto debe tener como mínimo 300 horas de duración, que llevará a cabo la persona Analista, rol asumido por la alumna. El resto de los participantes dedican un 10% adicional de las horas totales del proyecto. En base a ello, se calcula que la duración y presupuesto total del proyecto es el siguiente:

- 300 horas del proyecto para la persona Analista: $300h * 27,11€/h = 8.133 \text{ €}$ para Analista.
- 10% adicionales de la duración total para los Jefes de proyecto y Consultores:
10% de 300h: $30h * 34,21€/h = 1.026,3 \text{ €}$ para los Jefes de Proyecto.
10% de 300h: $30h * 35,21€/h = 1.056,3 \text{ €/h}$ para Consultores.

Se obtiene una duración total de 420 horas, y un presupuesto para la realización del proyecto completo de 12.298,2 €.

2. Trabajos relacionados

Antes de describir el proceso metodológico de revisión sistemática que se ha llevado a cabo en este trabajo, para conocer y evaluar la situación del tema abordado se ha realizado una búsqueda de artículos relacionados en los que se realizan revisiones sistemáticas que abarquen el uso de la realidad aumentada para tratar enfermedades crónicas o mejorar la experiencia del paciente en distintos ámbitos del mundo sanitario. Debido al limitado número de estudios enfocados únicamente en enfermedades crónicas, se han añadido también revisiones sistemáticas donde la solución propuesta podría aplicarse a pacientes crónicos y que, tras revisarlas con uno de los expertos, consideramos que pueden ser importantes para conocer la importancia de las tecnologías y los procesos médicos:

Da Gama *et Al.* (2015) [1] realizaron una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA e involucrando avances interactivos, evaluativos y técnicos relacionados con la rehabilitación motora para pacientes con diversas enfermedades. Se estudió el lanzamiento de Kinect de Microsoft, un sensor de movimiento que permite facilitar y complementar las aplicaciones clínicas. El sensor de Kinect permite a los pacientes trabajar desde casa con las ventajas que ofrece la realidad aumentada y virtual: mayor control de los ejercicios, adaptabilidad a todo tipo de limitaciones que pueda presentar cada paciente, entre otros. Obtuvieron un total de 109 artículos, de los cuales usaron 31 para la revisión. Los estudios encontraron mejoras en el equilibrio, la postura, la información sensorial y el rango de movimiento del paciente.

Gorman y Gustafsson (2020) [2] llevaron a cabo una revisión narrativa sobre el uso de la realidad aumentada para la rehabilitación en pacientes que hayan sufrido un accidente cerebrovascular para analizar y comprender la aplicación de la realidad aumentada en el mundo actual y buscar soluciones o posibles mejoras de cara al futuro. Obtuvieron 18 artículos en los cuales se aplicaba la realidad aumentada para la rehabilitación de miembros superiores o inferiores después de que el paciente sufriera un accidente del tipo mencionado. Aunque la experiencia de dicha rehabilitación por parte de los pacientes fuese positiva, el limitado número de artículos existentes hizo que se llegase a la conclusión de que dicha tecnología aún estaba en pleno desarrollo. Además, la información aportada en la mayoría de ellos no permitía la generalización del uso de RA para todo tipo de pacientes que hayan sufrido un accidente cerebrovascular. Es por ello que consideran necesario aumentar la investigación de esta

tecnología y establecer una definición y aplicación clara y coherente sobre la realidad aumentada para que pueda llegar al mayor número de pacientes posible.

Mubin *et Al.* (2019) [3] realizaron una búsqueda sistemática de la literatura para estudiar el uso de realidad aumentada, realidad virtual o gamificación aplicada a la terapia robótica de exoesqueletos de un total de 385 pacientes después de un accidente cerebrovascular, obteniendo una mejora en la función motora de los pacientes tras el uso de exoesqueletos y distintas tecnologías para la rehabilitación; resultando la fusión de la rehabilitación basada en hardware con las interfaces software que nos ofrecen la realidad aumentada y virtual un gran paso para la terapia de pacientes, especialmente la domiciliaria.

Hilty *et Al.* (2020) [4] estudiaron la aplicación de la realidad aumentada, realidad virtual y la telepresencia en cuidados clínicos. Para ello revisaron artículos publicados entre enero de 1990 y mayo de 2019 en varias bases de datos. Obtuvieron 5214 búsquedas, de las cuales 512 fueron revisadas, obteniendo 85 artículos verdaderamente relevantes y 13 recursos provenientes de artículos, libros y otras fuentes de información. Durante el estudio adquirieron información sobre la RV, RA y telepresencia aplicada a la medicina, la psicología experimental y la salud conductual. Llegaron a la conclusión de que estas tecnologías pueden aportar varios enfoques muy interesantes en la vida cotidiana, especialmente la RA debido a su bajo costo, eficiencia y flexibilidad. La fusión RV, RA y telepresencia pueden ayudar en la recuperación del paciente, mejorando la calidad de atención, creando un ambiente acogedor para él y dando paso a nuevos tratamientos y capacidades, siempre y cuando las cuestiones éticas y de coste sean previamente consideradas y aclaradas.

Dunn *et Al.* (2017) [6] realizaron una revisión sistemática de la literatura con el objetivo de evaluar el efecto que produce la RV y la RA sobre el tratamiento del dolor del miembro fantasma o PLP. Para el estudio utilizaron las bases de datos PubMed y Google Scholar. Obtuvieron 8 estudios, de los cuales 6 de ellos informaban sobre datos cuantitativos y el resto sobre cualitativos. Comprobaron que todos los pacientes que utilizaron estas tecnologías para el PLP tuvieron resultados positivos. Sin embargo, los artículos sólo hacen referencia a estudios de casos de pacientes en concreto, sin indagar y profundizar en el tema y sin estudiar los beneficios a largo plazo que el tratamiento haya podido generar. Concluyeron que, aunque la idea es interesante y puede derivar en muy buenos resultados, aún es necesario investigar y

mejorar sobre dichas tecnologías aplicadas al PLP para obtener el mayor beneficio posible de ellas.

Bertolo *et Al.* (2019) [8] obtuvieron 131 artículos, de los cuales estudiaron 20 para realizar una revisión sistemática sobre el impacto clínico de la realidad aumentada en intervenciones urológicas. Los estudios se extrajeron de las bases de datos Medline, Embase y Cochrane siguiendo el protocolo PRISMA. Se limitaron a realizar un estudio descriptivo, al igual que los artículos en los que se basaron. Bertolo *et Al.* concluyeron que existen escasas evidencias disponibles sobre el uso de la realidad aumentada para las intervenciones urológicas. Aunque los procedimientos realizados tuvieron resultados positivos, todos fueron muy limitados y no llegaron a tener evidencias de que la RA mejorase los resultados de la intervención urológica: el seguimiento preciso del tejido en tiempo real sigue siendo un desafío, por lo que aún es necesario estudiar y experimentar a fondo su aplicación y las oportunidades que proporciona.

Todas las revisiones sistemáticas mencionadas coinciden en que la aplicación de la RA en pacientes puede derivar en grandes resultados. A su vez, algunos estudios [3][4][6] comprueban que los beneficios aportados por la fusión entre RA, RV y telemedicina, entre otros, pueden resultar favorables para el tratamiento. Sin embargo, tras la búsqueda se comprobó el bajo número de revisiones sistemáticas existentes sobre el uso de la realidad aumentada para el bienestar del paciente crónico y la falta de aplicación e investigación en el ámbito propuesto, lo que demuestra que es una tecnología novedosa en la que aún no se ha profundizado lo suficiente pero que podría aportar grandes cambios y mejoras al ámbito sanitario.

3. Proceso metodológico de revisión sistemática

Para el presente proyecto se ha llevado a cabo una revisión sistemática de la literatura o SLR (Systematic Literature Review). Una SLR tiene como objetivo identificar y analizar de forma crítica la información contenida en múltiples estudios y trabajos de investigación, realizando para ello un proceso sistemático y previamente establecido con el fin de proporcionar un resumen exhaustivo de gran validez de un tema en concreto. A su vez, las revisiones sistemáticas son investigaciones científicas en sí mismas.

Barbara Kitchenham [23] publicó en 2004 un informe técnico sobre revisiones sistemáticas de literatura que fueron adaptadas para el ámbito de la ingeniería del software. A partir de ello, utilizar el método SLR para realizar estudios tecnológicos es una actividad en auge debido a su carácter estructurado y ordenado. La realización de la SLR para el presente trabajo podemos dividirla en tres fases:

1. **Planificación.** Para comenzar, cuando nos enfrentamos a un estudio de tal calibre es necesario identificar la necesidad de dicha revisión. Para ello, formulamos preguntas de investigación o, por sus siglas en inglés, RQ (research questions) y definimos un protocolo de revisión. Con las preguntas de investigación definimos la base del estudio a realizar, ya que posteriormente nos centramos en ellas para la búsqueda de los estudios relacionados. Por otro lado, la finalidad del protocolo de revisión es limitar una estrategia de búsqueda que se adapte a nuestras necesidades. Para realizar dicho protocolo de revisión seguimos los siguientes pasos:
 - Definir palabras claves.
 - Determinar el proceso de búsqueda llevado a cabo para la selección de los estudios primarios. Para ello, haremos uso de las palabras claves adecuadas previamente seleccionadas, con las cuales resulta más fácil y efectivo realizar las búsquedas de los estudios primarios en las distintas librerías digitales.
 - Definir preguntas de calidad. Las preguntas de calidad o, por sus siglas en inglés, QQ (quality questions) nos permiten establecer una serie de criterios objetivos a la hora de valorar cada estudio primario extraído.
 - Esquema de caracterización. Debido a que cada estudio revisado puede contener una gran variedad de información, se realiza un esquema de caracterización que

nos permite analizar y visualizar dicha información de la forma más sencilla posible.

2. **Realización.** Aplicando lo mencionado en la fase anterior, el trabajo principal consiste en la búsqueda y selección de documentos y extracción y síntesis de datos. Con esta última logramos responder a las RQ.
3. **Reporte.** En esta última fase realizamos el informe de revisión aplicando lo aprendido a lo largo de todo el proceso y relacionando las conclusiones obtenidas con las RQ.

En los siguientes apartados se aplicarán estas fases al presente trabajo. A continuación, en la figura 2 se muestra un esquema con el proceso seguido para la realización de la SLR y las correspondientes fases ya mencionadas:

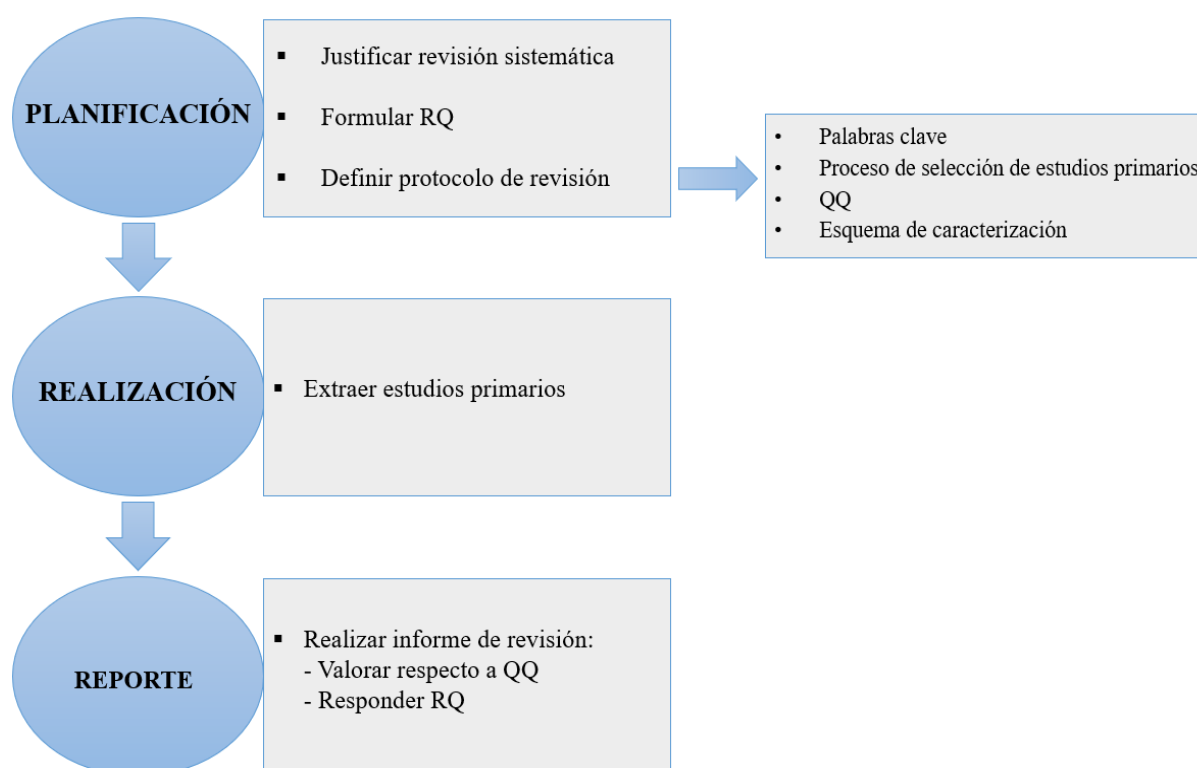


Figura 2. Esquema SLR

4. Planificación de la revisión sistemática

4.1. Justificación para llevar a cabo la revisión sistemática

Tras la búsqueda de estudios relacionados se obtuvo la siguiente información:

1. El número de revisiones sistemáticas obtenidas sobre el uso de la realidad aumentada para el tratamiento de pacientes crónicos es muy escaso.
2. Todos los estudios que aportan información sobre la aplicación de la realidad aumentada en pacientes o prototipos sobre ello fueron publicados entre los años 2014 y 2020.
3. Aquellos estudios en los que se ha valorado al paciente tras la aplicación de la realidad aumentada en su tratamiento o en su día a día obtuvieron resultados positivos, obteniendo por lo tanto una mejora por parte del paciente, ya sea con la disminución del dolor o el aumento de su bienestar y adaptabilidad.
4. Se comprobó que muchos autores coinciden tras su estudio en la necesidad de seguir investigando, mejorando y buscando nuevas formas de aplicar esta tecnología en el ámbito sanitario.

El intervalo de fechas (2014-2020) en el que se publicaron el resto de los trabajos relacionados mencionados en el Apartado 2 nos muestra que la aplicación de la realidad aumentada en pacientes crónicos (y en el ámbito sanitario, en general) es un hecho muy reciente. Además, el escaso número de revisiones sistemáticas halladas relacionadas con el tema propiciaron la necesidad de indagar en este ámbito, conocer más a fondo la aplicación de esta tecnología en la actualidad y mostrar y argumentar posibles mejoras y nuevas soluciones que ayuden al paciente crónico a seguir con un tratamiento que resulte lo más favorable y conveniente posible.

4.2. Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación propuestas en el método de Barbara Kitchenham son la base bajo la cual se estudia y clasifica los artículos primarios que debemos extraer posteriormente. En ellas se basará nuestra búsqueda y los resultados obtenidos tras el estudio. La principal pregunta de investigación de este estudio (RQ1) será la base para realizar el resto de ellas:

Preguntas de investigación (RQ)	Descripción
<i>RQ1.</i> ¿Qué soluciones de realidad aumentada aplicadas al tratamiento del paciente crónico existen? ¿Cuál es la patología tratada por la solución propuesta?	Con esta RQ pretendemos conocer la usabilidad actual de la realidad aumentada en el ámbito de las enfermedades crónicas para conocer cómo se aplican al tratamiento del paciente.
<i>RQ2.</i> ¿Qué problemas encontramos en la aplicación de la realidad aumentada en pacientes crónicos y cómo podríamos solucionarlos? ¿Qué grado de detalle del aspecto tecnológico encontramos en el estudio?	La finalidad de esta RQ es hallar aspectos negativos y posibles soluciones para ellos, con el fin de que la aplicación de esta tecnología en los pacientes sea lo más funcional posible.
<i>RQ3.</i> ¿Cuáles son las posibles mejoras o nuevas soluciones para aportar en este ámbito?	El objetivo de esta RQ es hallar distintos progresos y mejoras desarrolladas en los distintos estudios primarios.
<i>RQ4.</i> ¿Qué resultados se obtuvieron en cada estudio y cuáles han sido los métodos de validación usados para conocer el estado del paciente tras la aplicación del tratamiento?	Tras probar la solución tecnológica aportada en el estudio, se valora la satisfacción y experiencia de los pacientes. Con esta RQ se pretende conocer qué resultados se obtuvieron tras la aplicación del tratamiento y qué métodos y tipos de cuestionarios se han utilizado para ello, considerando los de mayor validez.

Tabla 3. Preguntas de investigación

4.3. Definir el protocolo de revisión

El objetivo de este apartado es definir una estrategia de búsqueda para seleccionar los estudios primarios y el criterio de selección de los mismos.

4.3.1. Definir palabras clave

Para la búsqueda de los estudios primarios se utilizarán artículos y publicaciones extraídas de diferentes librerías digitales. Para ello se usarán expresiones formadas por una serie de palabras claves que permite reducir favorablemente el rango de búsqueda de dichos estudios y nos permite mejorar la calidad de ellos. Tras definir las palabras claves que se usarán, se crean las expresiones para realizar la búsqueda en las distintas librerías digitales. La siguiente tabla muestra las palabras claves utilizadas para ello:

A	B
Augmented Reality	Chronic diseases Chronic Pain Central sensitization of pain Phantom limb pain

Tabla 4. Palabras clave

La palabra clave “Phantom limb pain” se ha añadido a la búsqueda debido a que tras consultarlo con uno de los investigadores se llegó a la conclusión de que realizar búsquedas que implicase este término podría beneficiar la extracción de estudios primarios, ya que el dolor del miembro fantasma se considera en muchas situaciones dolor crónico.

Se formaron expresiones de búsqueda con las distintas palabras claves seleccionadas. Estas expresiones son matemáticamente formalizadas en la Ecuación 1:

$$E_1 = (\vee_{i=1}^1 A_i) \wedge (\vee_{j=1}^4 B_j)$$

Ecuación 1. Expresión de búsqueda con las palabras clave

Se realizaron búsquedas en las siguientes librerías digitales: IEEE Xplore, Science Direct, PubMed y Springer Link. En la siguiente tabla se muestran las búsquedas realizadas en cada librería digital:

Librería Digital	Búsqueda (Q)
IEEE Xplore	Q1. (((“Document Title”: Central sensitization of pain) OR (“Document Title”: Chronic Pain) OR (“Document Title”: Phantom limb pain) OR (“Document Title”: Phantom limb pain) OR (“Document Title”: Chronic diseases)) AND (“Document Title”: Augmented Reality))
	Q2. (((“Abstract”: Central sensitization of pain) OR (“Abstract”: Chronic Pain) OR (“Abstract”: Phantom limb pain) OR (“Abstract”: Chronic diseases)) AND (“Abstract”: Augmented Reality))
	Q3. (((“Author Keywords”: Central sensitization of pain) OR (“Author Keywords”: Chronic Pain) OR (“Author Keywords”: Phantom limb pain) OR (“Author Keywords”: Chronic Diseases)) AND (“Author Keywords”: Augmented Reality))

Science Direct	Q4.	Title, abstract, keywords: ("Central sensitization of pain" OR "Chronic Pain" OR "Phantom limb pain" OR "Chronic Diseases") AND ("Augmented Reality")
Pubmed	Q5.	((("Central sensitization of pain"[Title/Abstract]) OR ("Chronic Pain"[Title/Abstract]) OR ("Phantom limb pain"[Title/Abstract]) OR ("Chronic diseases"[Title/Abstract]))) AND ("Augmented Reality"[Title/Abstract]))
	Q6.	((("Central sensitization of pain"[MeSH Terms]) OR ("Chronic Pain"[MeSH Terms]) OR ("Phantom limb pain"[MeSH Terms]) OR ("Chronic diseases"[MeSH Terms]))) AND ("Augmented Reality"[MeSH Terms]))
	Q7.	((("Central sensitization of pain"[MeSH Terms]) OR ("Chronic Pain"[MeSH Terms]) OR ("Phantom limb pain"[MeSH Terms]) OR ("Chronic diseases"[MeSH Terms]))) AND ("Augmented Reality"[Title/Abstract]))
Springer Link	Q8.	("Central sensitization of pain" OR "Chronic Pain" OR "Phantom limb pain" OR "Chronic diseases") AND "Augmented Reality"

Tabla 5. Expresiones de búsqueda en librerías digitales

Cada expresión de búsqueda (formalizada en Ecuación 1) se aplicará a las librerías digitales mencionadas realizando las búsquedas a través de palabras clave/título/resumen de metadatos, expresado en la ecuación 2:

$$E_2 = title(E_1) \vee abstract(E_1) \vee keyword(E_1)$$

Ecuación 2. Expresión de búsqueda aplicada a cada librería digital

4.3.2. Proceso de selección de estudios primarios y definición de criterios de inclusión/exclusión

El proceso de selección permite definir los criterios de exclusión e inclusión aplicados para la selección de los estudios primarios. Para realizar dicho proceso se han propuesto 4 fases (P1, P2, P3 Y P4). En primer lugar, el objetivo de la primera fase (P1) es realizar búsquedas de estudios primarios en las librerías digitales seleccionadas utilizando las expresiones de búsqueda mencionadas en la Tabla 5. En la segunda fase (P2) se aplican los criterios nombrados en la siguiente tabla (Tabla 6) para los resultados de la búsqueda realizada en la fase anterior, con el objetivo de extraer aquellos que no se adapten a los criterios establecidos. Posteriormente, en la fase 3 (P3) los artículos obtenidos tras la fase 2 son estudiados detalladamente para determinar si son válidos para nuestro estudio, aplicando los nuevos criterios de exclusión pertenecientes a esta fase. Los artículos con dudas son incluidos. En la fase 4 (P4) se realiza una reunión con los investigadores donde los artículos con dudas son considerados y se define el alcance de estos. Además, nuevos artículos recomendados por los investigadores pueden ser incluidos en esta fase. Al finalizar estas cuatro fases se realiza la “técnica de la bola de nieve”. Este proceso pertenece a la quinta fase (P5) donde se extraerán nuevos estudios a raíz de los ya extraídos siguiendo los criterios de la segunda (P2). Además, se eliminarán los artículos duplicados y se tendrán en cuenta los artículos con dudas. Tras la quinta fase será necesario una segunda reunión (sexta fase; P6) con los investigadores para discutir la relevancia de los artículos con dudas y se obtendrá el número total de estudios finales incluidos en el estudio.

La siguiente tabla define los criterios aplicados en cada una de las fases:

Fase	Descripción de cada criterio de inclusión y exclusión
P1	Esta fase no incluye criterios de exclusión o inclusión. Al aplicar las expresiones de búsqueda (Tabla 5) todos los resultados obtenidos son considerados en la P1.
P2	En esta fase se aplican distintos criterios de inclusión: (i) artículos escritos en inglés; (ii) artículos con acceso completo a él; (iii) artículos que procedan de foros relevantes clasificados en CORE Ranking [11] o JCR (Journal Citation Reports) [12]. Por otro lado: son eliminados seminarios, revisiones sistemáticas, artículos de opinión y resúmenes de conferencias (short papers).

P3	Tras la fase P2 se aplican los siguientes criterios de exclusión: (i) artículos duplicados; (ii) artículos no enfocados en el paciente, centrándose en otro objetivo distinto como la aplicabilidad de la RA para el personal sanitario, de entretenimiento de la población en general u otras actividades no relacionadas; (iii) artículos que no aporten información relevante para el estudio. En esta fase los artículos con dudas son incluidos.
P4	Se debate la utilidad y relevancia de los artículos con dudas tras una reunión con los investigadores, y se incluyen aquellos recomendados que sean favorables para el estudio, por lo que no se aplican criterios de inclusión o exclusión.
P5	Se aplica la técnica de “la bola de nieve” siguiendo el criterio establecido en la fase P2. Se eliminan artículos duplicados y son incluidos artículos con dudas.
P6	En una segunda reunión con los investigadores se vuelve a debatir la relevancia de los artículos con dudas para definir cuáles son incluidos. No hay criterios de inclusión o exclusión.

Tabla 6. Criterios de inclusión y exclusión

4.3.3. Definir preguntas de calidad

Para la selección de los estudios primarios se definen una serie de preguntas de calidad (QQ) con el fin de determinar la calidad de estos. En la siguiente tabla se definen cada una de ellas, las cuales llevan asignadas una puntuación numérica para clasificar la relevancia de cada estudio de cara a futuras investigaciones.

#	Pregunta y puntuación
QQ1	¿Aporta el estudio una valoración del paciente tras la aplicación de la realidad aumentada y/o un seguimiento constante durante el período en el que se lleva a cabo el tratamiento? Posibles respuestas: Sí (+1); No (+0).
QQ2	En el caso de que el estudio valore la satisfacción del paciente, ¿se utilizan o hacen referencia a ello con escalas relevantes? Posibles respuestas: Sí (+1); No/no procede (+0).
QQ3	¿Pertenece el estudio a un foro relevante clasificado en CORE Ranking

	[11] o JCR (Journal Citation Reports) [12]? Posibles respuestas: A*, Q1 (+2); A, Q2 (+1,5); B, Q3 (+1); C, Q4 (+0,5); No procede (+0).
QQ4	¿Proponen los autores del estudio nuevas ideas, mejoras o aspectos relevantes a tener en cuenta para el tratamiento de RA que se aplica? Posibles respuestas: Sí (+1); No (+0).

Tabla 7. Preguntas de calidad

4.3.4. Esquema de caracterización

Analizar cada estudio primario puede llegar a ser una tarea muy pesada debido a la gran cantidad de información que hay en ellos. Es por ello por lo que en la siguiente tabla se realiza un esquema de caracterización con el que se pretende amenizar dicha tarea.

Característica	Descripción
Tipo de publicación	Esta característica muestra de qué carácter es la publicación: estudio de caso, póster, ensayo controlado, etc.
Tipo de patología tratada	Con el tipo de patología conocemos en qué tipo de enfermedad crónica se aplica la realidad aumentada en el paciente.
Objetivo	Comprendemos con esta característica la finalidad de lo descrito en el artículo: disminuir o evaluar el dolor del paciente, mejorar la terapia domiciliaria, aplicar un nuevo método basado en la RA, etc.
Método de validación	Con el método de validación conocemos de qué forma han sido evaluados los pacientes tras la aplicación del tratamiento con RA y, con la ayuda de uno de los expertos, consideramos cuáles de las escalas o cuestionarios clínicos son más relevantes.

Tabla 8. Esquema de caracterización

5. Realización SLR

5.1. Extracción de estudios primarios

Tras realizar la planificación de la revisión sistemática y siguiendo los criterios de búsqueda anteriormente indicados, se realiza la extracción de estudios primarios. En la Tabla 9 se muestra el número de estudios obtenidos tras cada una de las fases mencionadas en el apartado anterior una vez aplicados los criterios de inclusión y exclusión correspondientes (Tabla 6) para cada una de ellas. Podemos observar el número de estudios extraídos de cada librería digital y el número total:

Librería Digital	P1	P2	P3	P4	P5	P6
IEEE Xplore	12	3	1	1	-	-
Science Direct	9	4	1	0	-	-
PubMed	26	10	6	6	-	-
Springer Link	427	15	1	0	-	-
Técnica de la bola de nieve	0	0	0	0	7	5
Subtotal	474	32	9	7	7	5
TOTAL	12					

Tabla 9. Esquema de caracterización

En la siguiente figura se muestra el procedimiento completo que se ha realizado para la extracción, señalando cada fase con su abreviatura correspondiente:

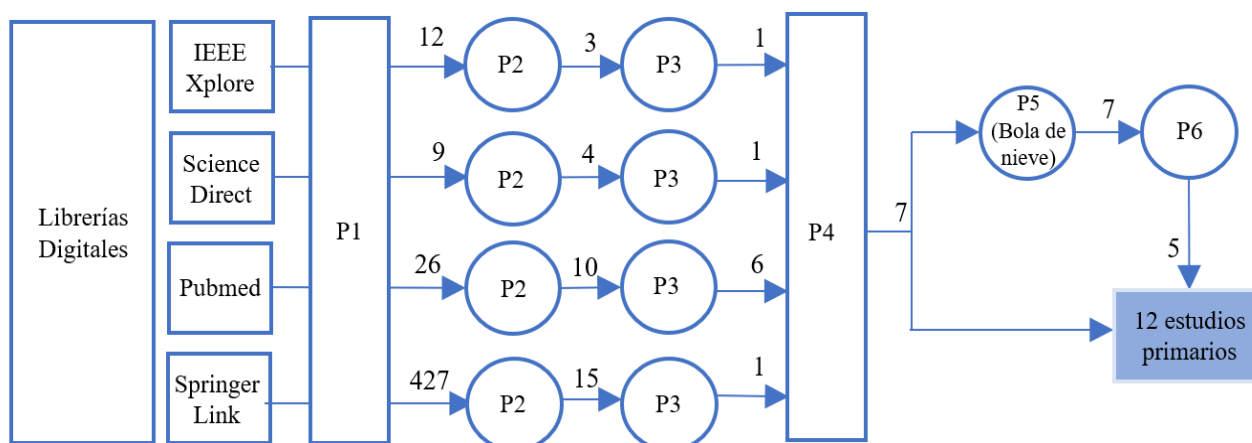


Figura 3. Esquema del proceso de selección de estudios primarios

A continuación, la Figura 4 muestra la evolución del protocolo de búsqueda a lo largo de tres hitos principales en cada una de las librerías digitales. En primer lugar, tras finalizar la primera fase (P1) de extracción de estudios primarios se obtuvieron 474 artículos candidatos (Tabla 9) al aplicar las expresiones de búsqueda a cada librería digital mencionadas en la Tabla 5. En la segunda fase (P2) se aplican los distintos criterios de inclusión asignados a dicha fase, reduciendo el número total de estudios a 32. Esta segunda fase corresponde al primer hito de la Figura 4. En esta fase, además, excluimos los seminarios, los artículos de opinión y las revisiones sistemáticas, entre otros. La siguiente fase (P3) devuelve 9 resultados, una vez estudiados cada uno de ellos en profundidad y tras haber aplicado los criterios de exclusión correspondientes (Tabla 6). Podemos visualizar dicho proceso en el segundo hito de la Figura 4. En esta fase, los artículos con dudas son incluidos para posteriormente discutir su relevancia con uno de los expertos. Finalmente, el tercer hito de la Figura 4 muestra el número total de estudios primarios extraídos tras realizarse la reunión de investigadores en la que se define el alcance de los artículos con dudas y se recomiendan nuevos artículos (P4). Tras esta fase se aplica la técnica de la bola de nieve a los artículos incluidos en el estudio, correspondiente a la fase 5 (P5). Tras obtener 7 artículos, se realiza una segunda reunión con los investigadores, dando como resultado un total de 5 artículos obtenidos mediante la aplicación de esta técnica.

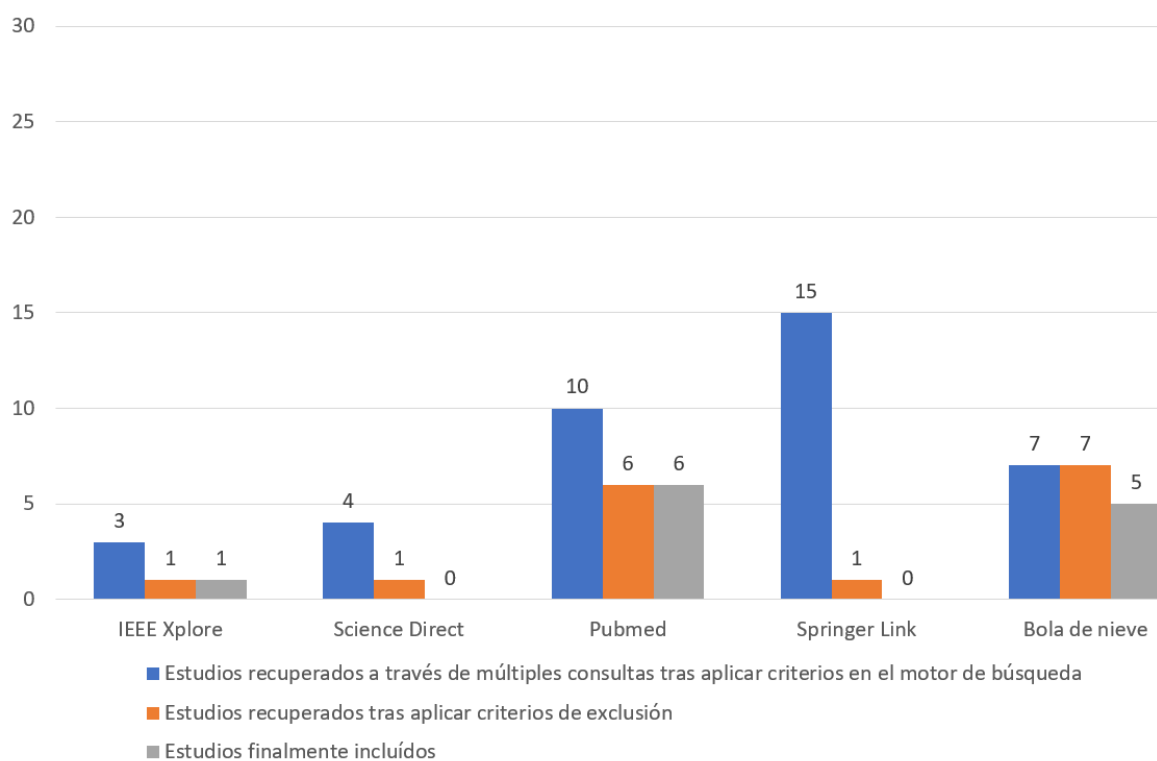


Figura 4. Estudios extraídos tras los distintos motores de búsqueda

Además, en el primer hito de la Figura 5 podemos observar la distribución de los estudios primarios incluidos pertenecientes a cada librería digital con respecto al total de estudios incluidos al finalizar la fase 4 (P4). Es interesante observar que tras finalizar las distintas fases y aplicar los criterios de inclusión y exclusión y estudiar cada uno de ellos profundamente, casi la totalidad de los estudios incluidos pertenecen a la librería PubMed, siendo solo 1 de los estudios los que pertenecen a otra de las librerías (IEEE Xplore). Con este dato podemos deducir que la mayoría de los artículos que estudian el caso del presente trabajo están orientados al ámbito biomédico, siendo el número de estudios con un enfoque tecnológico muy escaso. Este hecho demuestra que el uso de la realidad aumentada para el tratamiento crónico es una aplicación nueva en la que aún no se ha profundizado lo suficiente. Por otro lado, el segundo hito de la figura 5 muestra el porcentaje de estudios incluidos en la fase 3 que, tras aplicarles los correspondientes criterios (Tabla 6), fueron finalmente incluidos en el estudio. Se comprueba que el 100% de los estudios recuperados en la fase 3 de las librerías digitales IEEE Xplore y Pubmed fueron considerados como estudios primarios, mientras que ningún estudio del resto de librerías digitales se incluyeron como tales.

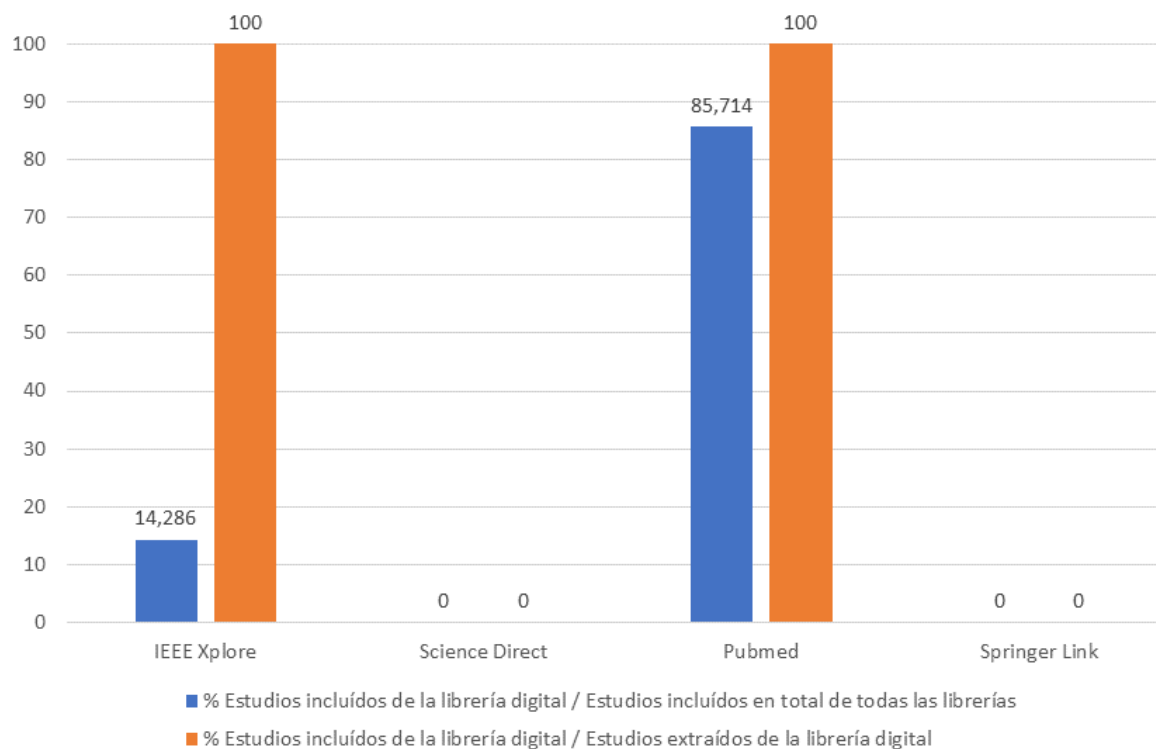


Figura 5. Análisis de los estudios incluidos de cada librería digital

6. Reporte

En este apartado se responderá a cada pregunta de investigación (Tabla 3) y se discutirá y analizará cada una de ellas para conocer en detalle cada estudio primario incluido en la SLR.

En primer lugar, en la siguiente tabla se muestran todos los estudios incluidos para esta revisión sistemática y se valora cada uno de ellos en función de las preguntas de calidad (QQ) definidas (Tabla 7) con el objetivo de identificar los más importantes para futuras investigaciones.

Estudio primario	Autores y título	Puntuación (máx. 5)	Referencia
[P1]	Andreas Rothgangel; Susy Braun; Bjorn Winkens; Anna Beurskens; Rob Smeets: Traditional and augmented reality mirror therapy for patients with chronic phantom limb pain (PACT study): results of a three-group, multicentre single-blind randomized controlled trial.	4	[25]
[P2]	Max Ortiz-Catalan; Rannveig A Guðmundsdóttir Morten B Kristoffersen; Alejandra Zepeda-Echavarria; Kerstin Caine-Winterberger; Katarzyna Kulbacka-Ortiz; Cathrine Widehammar; Karin Eriksson; Anita Stockselius; Christina Ragnö; Zdenka Pihlar; Helena Burger; Liselotte Hermansson: 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.	5	[26]
[P3]	Andreas Rothgangel; Susy Braun; Rob Smeets; Anna Beurskens: Feasibility of a traditional and teletreatment approach to mirror therapy in patients with phantom limb pain: a process evaluation performed alongside a randomized controlled trial.	4	[27]
[P4]	Max Ortiz-Catalan; Nichlas Sander; Morten B. Kristoffersen; Bo Håkansson; Rickard Brånemark: 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.	4,5	[28]
[P5]	Eva Lendaro; Liselotte Hermansson; Helena Burger; Corry K Van der Sluis; Brian E McGuire; Monika Pilch; Lina Bunketorp-Käll; Katarzyna Kulbacka-Ortiz; Ingrid Rignér; Anita Stockselius; Lena Gudmundson; Cathrine	1,5	[29]

	Widehammar; Wendy Hill; Sybille Geers; Max Ortiz-Catalan: Phantom motor execution as a treatment for phantom limb pain: protocol of an international, double-blind, randomised controlled clinical trial.		
[P6]	Jörg Trojan; Martin Diers; Xaver Fuchs; Felix Bach; Robin Bekrater-Bodmann; Jens Foell; Sandra Kamping; Mariela Rance; Heiko Maaß; Herta Flor: An augmented reality home-training system based on the mirror training and imagery approach.	3,5	[30]
[P7]	S. Alqithami: Modeling an AR Serious Game to Increase Attention of ADHD Patients.	1	[31]
[P8]	Andreas Rothgangel; Susy Braunn; Rob Smeets; Anna Beurskens: Design and Development of a Telerehabilitation Platform for Patients With Phantom Limb Pain: A User-Centered Approach.	3	[32]
[P9]	Desmond, Deirdre M.; O'Neill, Kieran; De Paor, Annraoi; McDarby, Gary; MacLachlan, Malcolm: Augmenting the Reality of a Phantom Limbs: Three Case Studies Using an Augmented Mirror Box Procedure.	3	[33]
[P10]	Andreas Stefan Rothgangel; Susy Braunn; Ralf Joachim Schulz; Matthias Kraemer; Luc de Witte; Anna Berskens; Rob Johannes Smeets: The PACT trial: PATient Centered Telerehabilitation: Effectiveness of software-supported and traditional mirror therapy in patients with phantom limb pain following lower limb amputation: protocol of a multicentre randomised controlled trial.	3	[34]
[P11]	S. Alqithami, M. Alzahrani, A. Alzahrani; A. Mustafa: Ar-therapist: Design and simulation of an ar-game environment as a CBT for patients with ADHD.	1	[35]
[P12]	S. Alqithami; M. Alzahrani; A. Alzahrani; A. Mostafa; Modeling an augmented reality game environment to enhance behavior of adhd patients.	0,5	[36]

Tabla 10. Estudios primarios y su puntuación respecto a las preguntas de calidad

A continuación, se responderán cada una de las preguntas de investigación propuestas (Tabla 3) en base a los estudios primarios extraídos.

RQ1. ¿Qué soluciones de realidad aumentada aplicadas al tratamiento del paciente crónico existen y qué nos ofrecen? ¿Cuál es la patología tratada por la solución propuesta?

En la siguiente tabla (Tabla 11) se puede observar de forma visual la patología tratada en cada uno de los estudios incluidos. En función de cada patología, se llevará a cabo posteriormente una explicación de las soluciones de realidad aumentada halladas para cada una de ellas.

Estudios primarios	Tipo de patología tratada	
	T1	T2
[P1]	⊗	
[P2]	⊗	
[P3]	⊗	
[P4]	⊗	
[P5]	⊗	
[P6]	⊗	
[P7]		⊗
[P8]	⊗	
[P9]	⊗	
[P10]	⊗	
[P11]		⊗
[P12]		⊗

Acrónimos y abreviaciones - T1: amputación, dolor del miembro fantasma (PLP); T2: trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH).

Tabla 11. Distribución de los estudios primarios en función de la patología tratada

A su vez, el siguiente gráfico circular (Figura 6) representa el porcentaje de estudios extraídos en función de la patología tratada. Como se puede comprobar, casi la totalidad de los estudios centran la aplicación de la realidad aumentada en pacientes con amputaciones que sufren dolor del miembro fantasma: el 75% de ellos se centran en el dolor crónico del miembro fantasma. Solo tres de los estudios [P7] [P11] [P12] abordan una patología diferente: el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH). El resultado de este gráfico resulta bastante sorprendente debido a que, aplicando las expresiones de búsqueda (Tabla 5) y los distintos criterios (Tabla 6) solo se han obtenido estudios que tratan dos patologías crónicas, frente a la gran cantidad de enfermedades de este tipo que existen. Esto demuestra que la realidad

aumentada aplicada a tratamientos crónicos es una tecnología aún emergente en la que no se ha profundizado lo suficiente y en la que es necesario emplear tiempo y recursos para poder conocer y evaluar su aplicabilidad frente a los diversos tipos de enfermedad crónica.

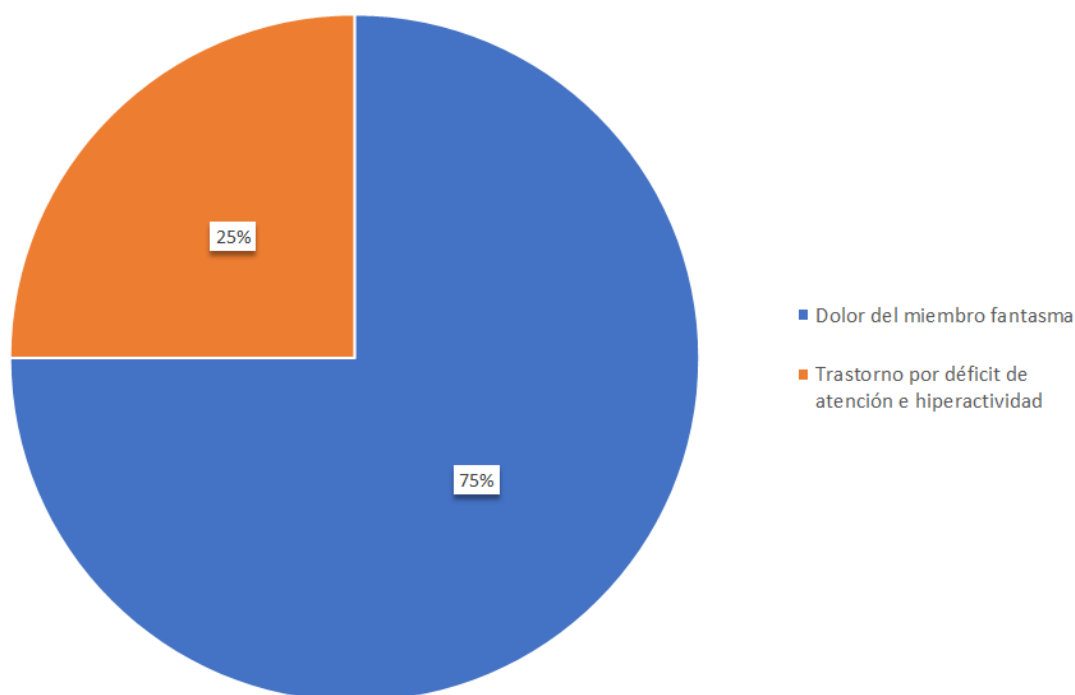


Figura 6. Distribución de los estudios primarios en función de la patología tratada

La mayor parte de la información que obtenemos de esta revisión sistemática es, por tanto, enfocada a pacientes con amputaciones. A continuación, dividiremos la respuesta de esta primera pregunta de investigación en dos subapartados: RQ1-A, dedicada a las soluciones de realidad aumentada para pacientes con PLP; y RQ1-B, dedicada a las soluciones propuestas para pacientes con TDAH.

RQ1-A. Soluciones para pacientes con PLP.

El dolor del miembro fantasma es un dolor neuropático que surge normalmente a raíz de una amputación [22], donde el paciente siente que el miembro amputado aún está presente. Con el dolor neuropático las personas sufren un dolor crónico intenso que influye en las actividades diarias de la persona que lo sufre y afecta tanto física como mentalmente. Para este subapartado, se ha creado una nueva tabla (Tabla 12), donde se muestra el tipo de amputación a la que va dirigida la solución propuesta en cada estudio:

Tipo de amputación	Estudios Primarios	Total	%
Miembro superior	[P2] [P4] [P6] [P9]	4	33,33
Miembro inferior	[P1] [P3] [P8] [P10]	4	33,33
Miembro superior e inferior	[P5]	1	8,34
No indica el tipo de miembro	[P7] [P11] [P12]	3	25,00

Tabla 12. Distribución de los estudios primarios en función del tipo de amputación tratada en él

Rothgangel et Al. [P1] tenían como objetivo comparar los efectos de la terapia tradicional de espejo, los ejercicios sensoriomotores sin espejo sobre el dolor del miembro fantasma y el teletratamiento utilizando terapia de espejo con realidad aumentada mediante tres grupos de pacientes [25]. Es importante para esta pregunta de investigación poner en contexto qué es la terapia de espejo, ya que en la mayoría de las soluciones de realidad aumentada encontradas en los estudios extraídos están basadas en esta técnica tradicional. La terapia de espejo (TE) hace uso de los estímulos visuales para que se produzca una respuesta deseada en el miembro fantasma o afectado [46]. Consiste en introducir la extremidad amputada o afectada en una caja de espejo, de forma que el paciente sólo pueda visualizar su extremidad intacta y el reflejo de ésta [47], percibiendo visualmente que ambas extremidades permanecen intactas y realizando ejercicios que se reflejarán en el espejo y podrán ser terapéuticos para el dolor del paciente. Esto es debido a las denominadas neuronas “espejo” (NE), que se activan cuando una persona observa o realiza una acción que otra persona está realizando. Se postula que la activación de las NE en el hemisferio cerebral contralateral al miembro amputado disminuye la acción de los sistemas que perciben el dolor somático [47]. Diversos estudios afirman por tanto que, durante la evocación mental de un movimiento, se activan las áreas cerebrales que se activarían si el movimiento se llevase a cabo realmente. La terapia de espejo (retroalimentación visual) trata los cambios neuroplásticos desadaptativos en el sistema nervioso central [32]. Algunos autores definen la neuroplasticidad como “toda respuesta cerebral que se origina frente a cambios internos o externos”, representando los cambios que el sistema nervioso pueda realizar por diversas activaciones [52].

En el estudio [P1], tras cuatro semanas de terapia de espejo tradicional los integrantes de uno de los grupos recibieron una tablet y materiales para el teletratamiento. Centrándonos en la parte de realidad aumentada, principalmente debían realizar terapia de espejo aplicando la

realidad aumentada utilizando el dispositivo proporcionado: los pacientes se grababan los movimientos de su extremidad intacta con la ayuda de la cámara convencional de la tablet, y en la pantalla verían reflejadas sus dos extremidades intactas. Este ejercicio puede variar con múltiples alternativas, como por ejemplo añadiendo nuevos objetos a la pantalla. Los pacientes verificaron que obtuvieron una disminución de su dolor de miembro fantasma con el simple hecho de percibir visualmente su extremidad aparentemente intacta. Para la realización de este ejercicio y sus múltiples versiones, se desarrolló una aplicación en la tablet con un sistema cerrado con la intención de que el paciente pudiese trabajar desde casa y en la que tanto el paciente como el terapeuta podían ver su progreso, sus cambios en la intensidad del dolor, sus logros y anotaciones médicas, entre otros. Además, la aplicación incorporaba un chat en el que pudiesen estar en contacto ambas partes para posibles dudas o indicaciones. En el estudio [P3] se evalúa la aceptación y viabilidad de la solución propuesta en [P1].

Por otro lado, la solución al PLP de Ortiz-Catalan et Al. [P2] se basan en varios estudios [48] [49] para desarrollar su solución al dolor del miembro fantasma, llegando a la conclusión de que la plasticidad cerebral es la responsable de que el PLP se mantenga. A partir de ello, Ortiz Catalan et Al. desarrollaron una propuesta tecnológica en la que mediante la señal mioeléctrica del muñón se determinaba la volición motora (el movimiento del miembro fantasma), la cual era posteriormente decodificada a través de algoritmos de aprendizaje automático; mientras que con la realidad virtual y diferentes entornos de la realidad aumentada se formaba una representación del miembro fantasma con el objetivo de que el paciente pudiese visualizarse a sí mismo con un brazo virtual superpuesto en su muñón en tiempo real, con la ayuda de un monitor y cámara web con la idea de activar las áreas cerebrales relacionadas con la ejecución del miembro fantasma. Los datos de la contracción del músculo son captados, amplificados y enviados al sistema software instalado en el PC. Así, la extremidad virtual responde directamente a la actividad mioeléctrica en el muñón gracias a la ayuda de un marcador de referencia en el propio muñón, proporcionándole al paciente la oportunidad de estimularlo y visualizarlo en la pantalla, realizando movimientos como abrir o cerrar la extremidad amputada mientras simultáneamente la ilusión de la extremidad restaurada se produce con la realidad aumentada. Además, mediante esta propuesta tecnológica se pueden implantar juegos virtuales [26], por lo que los pacientes también llevaron a cabo movimientos del miembro fantasma para el control de videojuegos, con el objetivo de realizar de forma más dinámica la rehabilitación y, con ello, la reducción del dolor. El estudio [P2] fue publicado casi tres años después que el estudio [P4], aunque los tratamientos que presentan poseen las mismas características.

Ortiz-Catalan et Al. [P4] llamaron a la configuración para el entorno de realidad aumentada configurado mioeléctricamente MCARE (myoelectrically controlled augmented reality environment). En esta solución, realizaron ejercicios para pacientes con PLP con las mismas características anteriormente mencionadas para el estudio [P2]. Utilizaron *BioPatRec* para la predicción del movimiento del miembro fantasma. *BioPatRec* es un software de código abierto implementado en Matlab [38] que permite la implementación de algoritmos en los campos de procesamiento de señal, selección y extracción de características, reconocimiento de patrones y control en tiempo real [39]. En dicho estudio se desarrolló un entorno de realidad aumentada en el que el paciente podía visualizarse a sí mismo a través de la pantalla en tiempo real con su extremidad intacta, en lugar del muñón, tal y como se explicó en la propuesta del estudio [P2]. Con respecto a las señales mioeléctricas, se utilizaron ocho electrodos bipolares y un marcador alrededor del muñón. Como método adicional tras la sesión de realidad aumentada, Ortiz-Catalan et Al. [P4] proporcionaron a sus pacientes la oportunidad de controlar un juego virtual mediante su extremidad: la muñeca del paciente se usaba para controlar y girar el coche de carreras, mientras que con la flexión del codo se realizaba la aceleración o deceleración, al igual que en [P2]. Por último, se realizó también una nueva conocida como TAC (target achievement control) [28] en la que los pacientes deben completar movimientos del brazo virtual con el objetivo de alcanzar una postura determinada mediante el reconocimiento de los patrones mioeléctricos usando un clasificador de múltiples grados de libertad [37] con el fin de rehabilitar y entrenar el miembro fantasma.

Una solución idéntica a los estudios [P2] y [P4] propusieron Lendaro et Al. [P5] con el fin de evaluar la eficacia de la ejecución motora fantasma (PME, por sus siglas en inglés Phantom Motor Execution) sobre la reducción del PLP. Para ello, se emplea un patrón mioeléctrico de reconocimiento que predice la volición motora fantasma. En este estudio, también se aplica esta técnica para juegos virtuales y para realizar la prueba TAC, anteriormente mencionada.

Es muy usual desarrollar juegos o diversas actividades de entretenimiento para que el paciente se sienta cómodo a la hora de realizar el tratamiento o los ejercicios terapéuticos y motivado para su práctica diaria. Es lo que hicieron Trojan et Al. [P6] creando una serie de juegos aptos para el hogar en el que los pacientes realizan el tratamiento mediante un PC y HMD (Head-Mounted Display) [30], un dispositivo de visualización situado muy próximo a los ojos parecido a un casco y con cámaras integradas, que permite al usuario visualizar imágenes

creadas por ordenador. Su objetivo es mostrar la extremidad (en este estudio en concreto, la mano) restaurada en tiempo real y mejorar el rendimiento del paciente al realizar los ejercicios. Para ello, lo visualizado en las cámaras del HMD se transfiere al PC a través de un USB. El software permite la separación de determinada parte del cuerpo (que se encuentre sobre un fondo unicolor), reflejandola inversamente para imitar la mano amputada o afectada y reflejándose el resultado en el dispositivo HMD. Así, el paciente podrá ver su extremidad en perfecto estado en tiempo real a través del HMD. El software se inicia una vez que se enciende el PC, y antes de comenzar con el entrenamiento realiza una serie de preguntas para contextualizar la situación, como el nivel de dolor del paciente. Además, también realiza una medición del campo de visualización o FOV (por sus siglas en inglés, field of view) para asegurar que el paciente se encuentra en una posición en la que las cámaras puedan captar el fondo unicolor. En este caso, el paciente visualiza su extremidad en movimiento mediante el HMD. En el estudio se realizan una serie de ejercicios:

- Apertura y cierre de cada uno de los dedos de la mano (ejercicio mejorado de una terapia tradicional, donde se realiza la apertura o cierre de la mano completa). En esta actividad, el sistema notifica al paciente de los casos de éxito y aumenta o disminuye el rango de dificultad de la siguiente prueba en función de los resultados obtenidos. Se aplica mediante la realización de este ejercicio imaginaria motora.
- Adaptar la mano a una postura en concreto. El paciente cuenta con un tiempo específico para ajustar su mano a una silueta elegida al azar. El software cuenta con 41 siluetas con distintos niveles de dificultad.
- El paciente juega al tradicional juego llamado Snake [51]. Para ello debe mantener el dedo índice extendido y guiar a la serpiente con el movimiento del brazo. La velocidad se controla en función de la distancia de la mano a la serpiente. Se realizan distintas pruebas hasta que el paciente supere los 180 segundos de juego.
- Agarrar una pelota. En este ejercicio los pacientes deben agarrar una pelota virtual con el brazo en forma de C y desplazarla hasta una zona determinada, moviendo para ello hombro, codo, pulgar e índice. La pelota puede rodar, ser empujada, caerse de la mano e incluso el programa manda una señal de advertencia cuando se aprieta demasiado.

Por otro lado, Rothgangel et Al. [P8] realizaron el diseño y desarrollo de un prototipo de telerehabilitación centrado en el usuario mediante el que, entre otras actividades no relacionadas con la RA, los pacientes podían utilizar una tablet para aplicar la realidad aumentada a la terapia de espejo. Para ello, iniciaron el proceso en tres fases;

- Fase 1: localizar las preferencias y requisitos de los usuarios finales (pacientes y terapeutas) mediante distintos cuestionarios.
- Fase 2: diseñar la interfaz de la plataforma para ajustarse a los requisitos obtenidos en la fase 1.
- Fase 3: evaluar la usabilidad del prototipo con la ayuda de los pacientes y sus terapeutas, con el objetivo de rediseñar la plataforma de rehabilitación para un prototipo de alta fidelidad.

La plataforma de telerehabilitación debía contener ejercicios autoadministrados, entrenamientos con terapia de espejo o imagería motora, información útil para la patología del paciente, comunicación adecuada entre pacientes y terapeutas y control de la patología (frecuencia, tipo, duración e intensidad de dolor). Tras finalizar la mejora de la aplicación de rehabilitación con las distintas mejoras propuestas por los usuarios, se llevó a cabo un ensayo multicéntrico: [P10].

Rothgangel et Al. [P10] evaluaron la terapia de espejo unida con la telerehabilitación después de la amputación de un miembro inferior en tres grupos de pacientes. Al tercero de los grupos se le aplicó la terapia de espejo con RA y se les introdujo la telerehabilitación [32] en las últimas semanas de tratamiento. Los otros dos grupos restantes recibieron tratamientos tradicionales (ejercicios sensoriomotores, ejercicios de estimulación sensorial, terapia tradicional de espejo). El tercer grupo en concreto recibió monitoreo del PLP (intensidad, frecuencia del dolor), ejercicios autoadministrados de RA con la cámara de la tablet (tal y como se ha explicado en soluciones anteriores) y comunicación con el terapeuta y otros pacientes.

Por último, Desmond et Al. [P9] realizaron tres casos de estudios. Uno de ellos consistía en una “caja de espejo aumentado” (augmented mirror box). Gracias a ello, se crea una imagen ilusoria de la extremidad perdida. Consistía en la representación gráfica en 3D del brazo amputado en una pantalla controlada por un guante de datos inalámbrico (5DT Data Guante 5W [53]), con el objetivo de promover la ejecución del miembro fantasma e intentar disminuir el dolor crónico. En este caso, existe una diferencia con respecto al resto de soluciones de retroalimentación visual presentadas en los distintos estudios, y es que existe la posibilidad de que el movimiento de la extremidad artificial se produzca remotamente: es independiente al movimiento de la extremidad intacta. De forma alternativa, si la actividad sí es dependiente del brazo intacto la información recibida del guante (usado en el brazo intacto) es compartida en la computadora para que se refleje en la pantalla en el brazo virtual. La creación de la imagen

se realiza con el software 3D Studio Max [54] y un motor gráfico. En este estudio, los pacientes debían realizar movimientos especialmente con los dedos, tanto con la mano intacta como con la amputada o dañada. Los que poseían prótesis, eligieron realizar el tratamiento con ella.

Las soluciones comentadas en esta RQ poseen mayor o menor detalle en función del estudio. Como se ha podido comprobar, en la gran mayoría de estudios se llevan a cabo tratamientos relacionados con la plasticidad cerebral, aplicando la realidad aumentada para mejorar la terapia de espejo (a veces unida con la realidad virtual y/u otros tipos de tecnología), donde el paciente es capaz de visualizar su extremidad dañada o amputada en perfecto estado y realizar diversos ejercicios en base a ello. A continuación, en la siguiente tabla (Tabla 13) se muestra los distintos tipos de tecnología o accesorios que cada investigador utiliza junto a la RA para aplicar su solución al PLP:

Estudios primarios	Tecnología complementaria para la RA			
	TC1	TC2	TC3	TC4
[P1]	⊗			
[P2]		⊗		
[P3]	⊗			
[P4]		⊗		
[P5]		⊗		
[P6]			⊗	
[P8]	⊗			
[P9]				⊗
[P10]	⊗			

Acrónimos y abreviaciones – TC1: Tablet (App incorporada); TC2 Electrodo, marcador de referencia, monitor y cámara web; TC3: HMD y PC; TC4: Guante de datos inalámbrico y PC.

Tabla 13. Distribución de los estudios primarios de PLP en función de la tecnología complementaria a la RA

RQ1-B. Soluciones para pacientes con TDAH.

El trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) es una afección crónica que se detecta principalmente en menores con gran hiperactividad y dificultad para controlar sus impulsos [31]. Esto deriva en problemas de atención que intervienen en sus hábitos diarios, llegando a proporcionar limitaciones en la concentración, organización y atención, entre muchos otros factores. Debido a ello, las personas que padecen TDAH pueden sufrir adicionalmente problemas de autoestima y dificultad al establecer relaciones interpersonales.

Alqithami [P7] y Alqithami et Al. [P11] [P12] proponen un método enfocado en el trastorno por déficit de atención e hiperactividad. Los 3 estudios extraídos en esta revisión sistemática para soluciones de TDAH están enfocados en la misma solución: el juego de RA llamado *AR-Therapist*. En [P7] se desarrolla un modelo teórico de referencia para *AR-Therapist*, mientras que en [P11] se centran en el diseño y una simulación de prueba y [P12] en el modelado de diversos juegos en el entorno de RA desarrollado. En muchos casos, los pacientes que necesitan terapia psicológica hacen uso de la terapia cognitiva conductual (TCC) [35]. Esta terapia psicológica se aplica también en pacientes que sufren ansiedad o depresión. Con la TCC (o CBT, por sus siglas en inglés Cognitive behavioral therapy) el profesional debe ayudar al paciente a tomar conciencia de sus conductas disfuncionales e identificarlas. Posteriormente, debe guiarlo para aplicar diversas técnicas psicológicas, que deben ser constantes, con el objetivo de mejorar su patología. Entre los objetivos de la TCC, se encuentra el cambio sintomático [55]. Para aplicar la TCC, existen varias limitaciones como la experiencia y disponibilidad que poseen los terapeutas [35].

Alqithami et Al. [P11] proponen el diseño y simulación de un modelo genérico que se utilice como alternativa a la terapia cognitiva conductual tradicional. Los autores desarrollaron un juego principalmente enfocado para niños, nombrado como “*AR-Therapist*”. En él hacen uso de un entorno de realidad aumentada para que los pacientes centren su atención en los objetivos de cada juego, contribuyendo positivamente a su índice de rendimiento. Para el diseño del juego se utilizó Unity, una plataforma para crear contenido interactivo en tiempo real [56]; y para las pruebas de implementación Microsoft HoloLens, un par de lentes inteligentes para realidad mixta desarrolladas y creadas por Microsoft [57]. La implementación se basó en la simulación de dos bolas 3D, donde el paciente debía seguir las instrucciones y golpear la bola objetivo en un tiempo determinado. Actualmente, el juego solo tiene un nivel y está compuesto por 10 pruebas. Debido a que el juego se desarrolla en línea, ayuda a la disminución de recursos

(tiempo y dinero, fundamentalmente) debido a que ya no es necesario asignar un solo terapeuta para cada paciente. En el diseño genérico, existe la posibilidad de que el terapeuta elija el tipo de juego y su dificultad en función del paciente y sus preferencias.

Alqithami [P7] desarrolla el modelo teórico de referencia para el *AR-Therapist*. La intención del juego es que el paciente centre su atención en la novedosa actividad, y a la vez se involucre en un entorno real. Las medidas y datos obtenidos de cada paciente resultan de gran utilidad para el diagnóstico, cuidado y tratamiento del TDAH. La actividad realizada por el paciente se mide y guarda en la base de datos para que el terapeuta pueda revirla. Durante el juego, se miden muchos parámetros como el tiempo de respuesta y el tiempo de juego o la puntuación y los errores. En base a ello, se determina el nivel de la siguiente partida. Además, gracias a estos datos también es posible realizar una prueba continua de rendimiento (CPT) mediante la que se determina el diagnóstico y tratamiento del TDAH [35].

La información contenida en [P12] no es distinta a la de los otros dos estudios. Los estudios [P11] [P12] fueron publicados en noviembre de 2019, por lo que se intuye que fueron realizados simultáneamente. Posteriormente, en 2020 se publicó [P7] con el modelo teórico de referencia. Con la información contenida en estos tres estudios extraídos es posible desarrollar una idea de cómo la RA se puede aplicar al diagnóstico y tratamiento de TDAH, especialmente para pacientes jóvenes.

RQ2. ¿Qué problemas encontramos en la aplicación de la realidad aumentada en pacientes crónicos y cómo podríamos solucionarlos? ¿Qué grado de detalle del aspecto tecnológico encontramos en el estudio?

RQ2-A. Problemas en la aplicación de la realidad aumentada.

En el estudio realizado por Rothgangel et Al. [P1] relacionan la ausencia de efectos significativos en la aplicación del tratamiento al hecho de no alcanzar el tamaño de muestra de pacientes necesario. Centrándonos en el teletratamiento y la aplicación de la RA, no se obtuvieron resultados significativos tras 4 semanas de tratamiento. Las personas con PLP pueden poseer mucha heterogeneidad en la intensidad, percepción, frecuencia y tiempo de PLP [25]. Además, en su estudio se incluyeron pacientes con episodios infrecuentes de PLP, lo que pudo imposibilitar la revelación de efectos entre los grupos. Es por ello que debemos tener en

cuenta a la hora de aplicar y conocer los efectos de un tratamiento el grupo de pacientes con el que tratamos y las características de sus patologías. La mayoría de los investigadores centran su estudio en la disminución del dolor de miembro fantasma. El uso de aplicaciones en móviles o tablets para realizar teletratamiento es un fenómeno en pleno desarrollo. Comprobamos con los estudios extraídos que su aplicación presenta pros y contras.

Rothgangel et Al. [P1] [P3] obtuvieron una serie de problemas puntuales a la hora de aplicar el teletratamiento a los pacientes: en primer lugar, es importante tener en cuenta que hay pacientes que pueden no tener conexión a Internet o pueden tener baja conexión, lo que impediría el correcto funcionamiento de la aplicación. Esto fue lo que ocurrió en el estudio [P3] debido a que al principio de la prueba la aplicación no estaba disponible sin conexión. En segundo lugar, es importante que los terapeutas o personas cualificadas para llevar el seguimiento de los pacientes se encuentren familiarizados con el entorno tecnológico y sean capaces de aportar una formación adecuada y previa al inicio del tratamiento. La inexperiencia de ciertas personas que reciben el tratamiento con dicha tecnología es un factor importante. Hubo un paciente (77 años) que tuvo que recibir ayuda adicional de un familiar para poder llevar a cabo el tratamiento [27]. Además, en el estudio de Rothgangel et Al. [P3] los terapeutas solo trataron a algunos de los pacientes, lo que pudo propiciar la falta de motivación y formación necesaria en el resto de los usuarios implicados en el estudio, influyendo en el resultado final. Tras el estudio comprobaron que resulta fundamental el apoyo a los usuarios antes, durante y tras el tratamiento, aportándole al paciente los recursos necesarios para poder comunicarse con el terapeuta siempre que sea necesario. Aun así, durante el estudio se realizó un cuestionario para conocer la experiencia y la aceptación de la tecnología por parte del paciente y se obtuvo un grado de satisfacción con la tecnología moderado/alto.

Para la implementación de la aplicación desarrollada por Rothgangel et Al. [P8] se realizaron tres prototipos a los cuales futuros usuarios tenían acceso para comprobar si satisfacían sus necesidades. La mayoría de los fallos o limitaciones ocasionados durante el desarrollo de la plataforma estaban relacionados con problemas de usabilidad notificados por los mismos usuarios. En los dos primeros prototipos surgieron una serie de factores a mejorar tras conocer la opinión de los pacientes y terapeutas. El primero de ellos derivó en problemas de usabilidad relacionados con aspectos básicos de usabilidad de la aplicación (botones, formas de acceso a las funciones...), la creación de comentarios y avisos de ayuda al paciente o la posibilidad de omitir vídeos introductorios. Tras la solución de los problemas de usabilidad más graves, se

obtuvo un segundo prototipo donde los usuarios reportaron problemas con la conexión a Internet, el sistema de mensajería, la gestión de datos y del paciente y el diseño de la interfaz. Tras corregir de nuevo los errores principales, se realizaron una serie de cambios para una mejor experiencia del usuario, como un botón de “acción inmediata” para que el paciente pudiese acceder rápidamente a la terapia de espejo móvil en caso de ataque agudo de dolor en las extremidades fantasma o nuevos tutoriales para pacientes y terapeutas [32]. Aunque los problemas de mayor gravedad notificados por los usuarios fueron solventados, debido a la limitación de tiempo y presupuesto no fue posible abordar todos los errores notificados, por lo que los autores notifican en su estudio que pueden seguir existiendo fallos en la aplicación. Una de las limitaciones que consideraron los investigadores al realizar el estudio fue que durante las pruebas de usabilidad de desarrollo de la plataforma utilizaron la misma muestra de pacientes y terapeutas, lo que implicó que no se abordase de manera adecuada la opinión de nuevos usuarios. Decidieron incluir nuevos pacientes en las pruebas de rutina realizadas tras el prototipo dos, con la finalidad de conocer nuevas perspectivas y opiniones sobre la plataforma.

Con respecto a la aplicación de la RA basándonos en la actividad mioeléctrica del muñón propuesta por Ortiz-Catalan et Al. [P2], llamada ejecución motora fantasma (o volición motora), se dedujo que debía ser aplicada a pacientes con control volicional de la musculatura del muñón. Tecnológicamente es factible el registro de contracciones musculares débiles en el tratamiento, pero el grado de compatibilidad con el paciente debería estudiarse individualmente. De este modo, los pacientes con desarticulación del hombro podrían no llegar a tener la suficiente musculatura para ello, por lo que sería necesario investigar más profundamente y conocer la viabilidad de la volición motora de la mano fantasma con una desarticulación del hombro en este tratamiento. Sí existe posibilidad de aplicar el tratamiento a pacientes que sean receptores de reinervación muscular dirigida, que permite a los pacientes un nuevo control de la prótesis de su extremidad superior. Con ella, los nervios residuales (aquellos que pertenecían a la extremidad amputada) se transfieren a otro grupo muscular que ya no tiene función debido a la amputación de la extremidad. Así, los músculos seleccionados son denervados y reinervados de nuevo y sirven como amplificadores biológicos de los nervios amputados [58].

Por otro lado, uno de los pacientes en el estudio de [P2] obtuvo resultados negativos alegando que durante el estudio sufría de estrés, lo que podría haber interferido en el resultado del

tratamiento. Se deduce con ello que es importante controlar el estrés y las distintas situaciones psicológicas que pueda tener el paciente en el momento del tratamiento y tras su finalización. Trojan et Al. [P6] obtuvieron una limitación a la hora de realizar la tarea de flexión de dedos (apertura y cierre de cada uno de ellos), promovida por la memoria a corto plazo que pudiese tener el paciente. Así mismo, para el sistema la correcta flexión de cada uno de los dedos se realizaba en función de la posición base registrada al principio de la tarea. Si dicha posición resultaba incómoda y presentaba cierta dificultad para los pacientes a la hora de finalizar la tarea, era más complicado que el ejercicio se realizara con éxito. La solución a ello sería tener la posibilidad de realizar recalibraciones del software. Se comentará igualmente esta mejora en la RQ3. Estas pruebas se realizaron sobre pacientes sanos, por lo que no demuestran los problemas que realmente podrían surgir. La solución sería probar la propuesta de RA en pacientes con una mano amputada.

Los resultados tras la aplicación de la caja de espejos aumentada en los 3 pacientes que realizaron Desmond et Al. [P9] fueron satisfactorios. Sin embargo, un problema que presenta esta solución de RA es que no podría ser aplicada a personas con amputaciones bilaterales. Al hacer uso del guante de datos inalámbrico, es necesario tener una extremidad intacta: la extremidad izquierda, ya que el guante utilizado en el estudio está diseñado para ajustarse a esa extremidad en concreto. Se comprobó tras conocer la opinión de los pacientes que los resultados de este estudio y el dolor del miembro fantasma también pudieron verse influenciados por el estrés emocional.

Ortiz-Catalan et Al. [P4] aplicó la solución de RA para un solo paciente con PLP. En un principio, el tratamiento tendría un tiempo determinado previamente fijado. Sin embargo, al obtener tan buenos resultados por parte del paciente, no se terminaron las sesiones y le proporcionaron un sistema para que pudiese trabajar él mismo desde casa en su dolor crónico. Decidieron realizar el seguimiento del dolor del paciente cada dos meses durante un año y, después, cada año durante cinco años. El estudio [P4] se publicó en 2014, y durante la búsqueda de estudios primarios no se obtuvo ningún estudio que informara sobre los efectos que obtuvo el paciente a largo plazo, por lo que en el estudio no se presentan problemas durante el tiempo que se realizó un seguimiento del tratamiento.

A modo de resumen tras lo desarrollado en esta pregunta de investigación, con los estudios extraídos en los que se aplica teletratamiento desarrollando distintas propuestas tecnológicas y

observando las distintas limitaciones que tuvieron los investigadores a la hora de aplicar el tratamiento, llegamos a la conclusión de que una gran parte de los problemas a la hora de aplicar las propuestas se basan en la usabilidad y formación. Es importante tener en cuenta siempre la opinión de los pacientes a los que va dirigida la solución, usando para ello un grupo heterogéneo que, aunque con la misma patología, tengan distintas necesidades y presenten variedad de limitaciones: edad, limitación de conocimientos tecnológicos, dependencia, etc. Con respecto a la formación, los terapeutas y pacientes deben sentirse familiarizados con el tratamiento, especialmente con la parte tecnológica, y para ello es necesario realizar una formación previa e implementar un sistema de comunicación en el que tanto paciente como terapeuta estén en contacto siempre que sea necesario. Para finalizar, los investigadores del estudio [P10] no presentan problemas a la hora de aplicar el tratamiento debido a que no se discuten los resultados en dicho estudio, y en [P5] solo se propuso la solución de RA, sin llegar a aplicarlo en pacientes. A sí mismo, no es posible comentar los problemas que pueden surgir de la aplicación de la RA en pacientes con TDAH debido a que los estudios extraídos relacionados [P7] [P12] solo se basan en realizar el diseño y modelado de la aplicación, por lo que no se prueba en pacientes y no aporta datos sobre su efectividad en una situación real, y [P11] realiza una simulación hipotética del juego para su estudio, por lo que no mencionan ningún problema en la experimentación del caso de prueba [35].

A continuación, a modo de resumen la Tabla 14 muestra los problemas o limitaciones principales obtenidos en cada estudio:

Estudios primarios	Problemas obtenidos						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
[P1]		⊗					
[P2]					⊗	⊗	
[P3]	⊗	⊗	⊗				
[P4]							⊗
[P5]							⊗
[P6]				⊗	⊗		
[P7]							⊗
[P8]				⊗			

[P9]	⊗
[P10]	⊗
[P11]	⊗
[P12]	⊗

Acrónimos y abreviaciones - L1: problemas de conectividad; L2: pacientes no familiarizados con el entorno tecnológico; L3: falta de apoyo de los terapeutas; L4: problemas de usabilidad; L5: grado de incompatibilidad insuficiente para determinados pacientes; L6: estrés; L7: no notificaron problemas.

Tabla 14. Distribución de los estudios primarios en función de los problemas encontrados

RQ2-B. Grado de detalle del aspecto tecnológico.

Revisando la Figura 5 podemos comprobar de qué librería digital se extrajo cada artículo incluido. Exceptuando los obtenidos tras aplicar la técnica de la bola de nieve, 6 de los 7 estudios restantes pertenecen a la librería PubMed, y solo 1 a IEEE Xplore. La librería digital PubMed permite acceso directo a Medline, una base de datos de bibliografía médica bastante amplia. Es por ello que muchos de los estudios extraídos, aunque desarrollan la parte tecnológica, están más enfocados a la parte sanitaria. El estudio obtenido de IEEE Xplore [P7] sí enfoca su desarrollo en la parte tecnológica, mostrando un diseño genérico del sistema, diagramas de secuencia y descripción de los distintos elementos que componen la aplicación. El contenido de este estudio fue desarrollado en la RQ1-B, donde se explicaba el modelo teórico del sistema para pacientes con TDAH. El resto de los estudios extraídos de PubMed [1][2][3][4][5][6] dedican gran parte del artículo a desarrollar las propuestas tecnológicas y explicar la funcionalidad de las mismas y las distintas tecnologías aplicadas. Aunque en general la información obtenida en cada estudio es suficiente, en algunos de los casos de estudios extraídos el desarrollo tecnológico es muy general y no profundiza lo suficiente en los distintos aspectos que puede conllevar la solución tecnológica, centrándose más en la patología crónica y en cómo aplicar la solución propuesta.

RQ3. ¿Cuáles son las posibles mejoras o nuevas soluciones para aportar en este ámbito?

Rothgangel et Al. llegaron a la conclusión de que en una futura investigación los pacientes deben recibir un tratamiento personalizado, con una variedad de ejercicios seleccionada en función de sus preferencias y características, ya que presentan un grupo muy heterogéneo donde no todos tienen por qué beneficiarse de igual forma. De esta manera, los pacientes podrán ser tratados con tratamientos con distinto nivel de dificultad y esfuerzo, adaptándose a

la necesidad y patología de cada persona.

En el estudio [P3], Rothgangel et Al. añaden como mejora, además de lo mencionado anteriormente, llevar a cabo sesiones online y presenciales con el usuario para desarrollar el tratamiento personalizado con atención combinada. Así mismo, se debe investigar sobre qué aplicaciones benefician a cada tipo de paciente y cómo optimizar las características tecnológicas para desarrollar las estrategias de implementación a medida [27]. Además, tras el tratamiento tanto pacientes como terapeutas realizaron sugerencias para mejorar su usabilidad y funcionamiento. Por un lado, los pacientes propusieron más variación en los ejercicios, la personalización de instrucciones (poder variar la cantidad de repeticiones en cada ejercicio, ya que cada persona puede tener preferencia por una cantidad en cuestión) o el sistema operativo (solo está disponible en la versión iOS). Por otro lado, los terapeutas sugieren la mejora de los ejercicios añadiendo diferentes niveles, puntuaciones y ejercicios funcionales, el apoyo entre compañeros para ayudar a aquellos pacientes con las limitaciones tecnológicas e incorporar un moderador en línea para los pacientes, para que puedan resolver las dudas a través del chat. Además, tanto pacientes como terapeutas coinciden en la necesidad de una buena formación y apoyo constante sobre la solución tecnológica.

Ortiz-Catalan et Al. [P4] tras el estudio comprobaron que los pacientes prefieren realizar el tratamiento con la experiencia de una extremidad virtual antes que cualquier otra retroalimentación visual, por lo que decidieron desarrollar nuevos juegos de rehabilitación basados en RA con el objetivo de ejercer con ellos movimientos del miembro amputado de forma controlada donde el paciente pudiese visualizarse a sí mismo con su extremidad intacta.

Trojan et Al. [P6] consideran que la mejora ideal en su tratamiento es el cambio a un hardware menos extenso, con una implementación en tablets para futuras versiones. Además, aunque no hubo ningún problema para la implantación del sistema con una sola cámara, los investigadores notifican que en versiones futuras se llevará a cabo la manipulación de ambas cámaras del HMD (derecha e izquierda) por separado para proporcionar una versión en 3D. Esta es una función que el software permite pero que no llevaron a cabo los investigadores en su estudio.

Desmond et Al. [P9] pensaban que era necesario realizar nuevas investigaciones para aplicar cambios en los que se realice una representación del miembro fantasma más auténtica, que incluya nuevas posturas y estructuras que no puedan ser reproducidas con espejos

convencionales [33]. A sí mismo, sería necesario un segundo guante que proporcionarse la oportunidad de realizar el tratamiento a personas con el brazo izquierdo amputado, teniendo en cuenta el problema presentado en RQ2-A para este estudio.

Los estudios [P2] [P7] [P10] [P11] [P12] no proponen mejoras relevantes o nuevas soluciones para el tratamiento de RA en pacientes crónicos. En la mayoría de los estudios consideran que toda la información y resultados de los ensayos pueden resultar de interés para futuros proyectos relacionados, aportando datos útiles de posibles efectos del tratamiento y la aceptación de los usuarios. Cuando se publicó el estudio [P5] aún se encontraban en la fase de recopilación de pacientes para el estudio, por lo que no propusieron mejoras. A su vez, el estudio [P8] nos propone una gran variedad de requisitos y sugerencias para la viabilidad de la aplicación propuesta por Rothgangel et Al., las cuales llevaron a cabo dentro de sus posibilidades para poder realizar el ensayo multicéntrico [P10].

En general, los estudios enfocan sus mejoras en base a las necesidades de los pacientes, lo que demuestra que el progreso de la efectividad del tratamiento y la usabilidad de las aplicaciones viene determinado por la opinión de los usuarios. Por otro lado, en determinados estudios la tecnología aplicada puede necesitar un hardware muy extenso [P6], lo que demuestra que a la hora de tratar nuevas mejoras de soluciones de RA es importante contemplar la posibilidad de mejorar el sistema para que resulte lo más cómodo y liviano posible para el paciente. Además, para conocer la efectividad que considera el usuario que tienen las soluciones propuestas se utilizan una serie de métodos, los cuales pueden resultar bastante útiles a la hora de detectar si el tratamiento aplicado resulta favorable para el paciente. El uso de los distintos métodos en cada estudio se desarrollará en la siguiente y última pregunta de investigación.

RQ4. ¿Qué resultados se obtuvieron en cada estudio y cuáles han sido los métodos de validación usados para conocer el estado del paciente tras la aplicación del tratamiento?

En determinados estudios al aplicar la solución propuesta se lleva a cabo un seguimiento y valoración del paciente para conocer si se ha producido mejora en su dolor crónico y calidad de vida. A continuación, en la siguiente tabla (Tabla 15) se muestra la distribución de los estudios primarios en función de los métodos de validación propuestos para conocer los resultados desde el punto de vista del paciente tras aplicar la solución de RA de cada estudio.

Estudios primarios	Método de validación			
	V1	V2	V3	V4
[P1]	⊗			
[P2]	⊗	⊗		
[P3]	⊗	⊗	⊗	
[P4]	⊗			
[P5]	⊗	⊗		
[P6]	⊗*			
[P7]			⊗	
[P8]				⊗
[P9]	⊗			
[P10]	⊗			
[P11]			⊗	
[P12]			⊗	

*Acrónimos y abreviaciones – V1: Cuestionarios y escalas para la práctica clínica; V2: Entrevistas de seguimiento; V3: Registro de datos obtenidos mediante la aplicación propuesta; V4: No aplica método de validación; Símbolos - *: método de validación aplicado en pacientes sanos.*

Tabla 15. Distribución de los estudios primarios en función de los métodos de validación del paciente aplicados/propuestos tras aplicar la solución de RA

Comprobamos que en los estudios [P7] [P11] y [P12], enfocados en el tratamiento de pacientes con TDAH, se pretende valorar la patología del paciente con la aplicación desarrollada. Esto se realiza en función de distintos parámetros como los tiempos de respuesta, el compromiso, la impulsividad, los errores o el rendimiento del paciente en el juego, y no se le brinda la posibilidad de medir su enfermedad crónica o evolución mediante métodos de validación como los anteriormente mencionados. No se puede mencionar si el modelo propuesto en los estudios [P7][P11][P12] es efectivo debido a que no se probó en pacientes. En el diseño de Rothgangel et Al. [P8] no se aplican métodos de validación del paciente. Para conocer la influencia de la solución de RA en el PLP de los pacientes, se realiza un ensayo multicéntrico aleatorio de la solución, cuyo procedimiento viene definido en el estudio [P10]. El resto de estudios (66,7%) aplican cuestionarios y escalas para la práctica clínica. La calidad y fiabilidad de este tipo de método de validación puede resultar subjetiva debido a la amplia variedad de escalas que existen [40] y pueden usarse para valorar la satisfacción o el dolor del paciente tras el

tratamiento. Es por ello que para considerar las escalas más relevantes para el presente estudio se llevó a cabo una reunión con uno de los investigadores en la que se discutió y valoró qué tipo de escalas resultan más favorables. Con la ayuda del experto, y en función de la población a la que va dirigida y teniendo en cuenta sus rasgos psicométricos, se determinó cuáles de ellas resultan más válidas para las soluciones propuestas. En la Tabla 16 se observa la distribución de los estudios en función de si aplican o proponen métodos de validación considerados relevantes tras la reunión con el experto.

Cuestionario/escala validada por experto	Estudios Primarios	Total	%
Sí	[P1] [P2] [P4] [P5]* [P9] [P10]*	6	50
No	[P3] [P6] [P7] [P8] [P11] [P12]	6	50

*Símbolos - *: no aplicada en pacientes*

Tabla 16. Distribución de los estudios primarios en función de si aplican/proponen cuestionarios y escalas consideradas relevantes

Tras la reunión se considera que el 50% de los estudios proponen en su solución distintos cuestionarios o escalas clínicas que se ajustan a la patología tratada. No debe confundirse este dato con la calificación dada para la QQ2 (Tabla 7) ya que esta pregunta de calidad solo es válida si los investigadores aplicaron realmente la escala de validez a los pacientes de su estudio. En este caso, son los estudios [P5][P10] los que proponen un método de validación adecuado, pero no lo aplica en los pacientes debido a que solo aportan la propuesta, sin aplicarla en pacientes.

Consideramos la validez de las escalas en base a lo que aportan en el ámbito del dolor del paciente y la enfermedad crónica. Dada la opinión del investigador se tuvieron en cuenta escalas de variables psicológicas relacionadas con la ansiedad y la calidad de vida como la escala McGill, que además pueden incluir una escala visual analógica VAS (visual analogue scale) [41][42]. Se decidió que además se considerasen válidas para la puntuación de los estudios extraídos todas aquellas que pertenezcan a las denominadas escalas Gold Standard, que son aquellas que poseen la máxima fiabilidad a la hora de comparar la validez de distintas pruebas de diagnóstico [43]. Los distintos cuestionarios y escalas mencionadas se han aplicado

antes, durante y/o después del tratamiento, en función de cada método de investigación y la opinión de los investigadores que lo han llevado a cabo. Debido a las diversas formas de conocer el estado del paciente tras el tratamiento que se presentan en los 12 estudios extraídos, a continuación se mencionan aquellos cuestionarios y escalas aplicados en cada estudio que se consideran adecuados para la evaluación del paciente y los distintos resultados obtenidos:

Rothgangel et Al. [P1] realizaron un ensayo controlado aleatorio (ECA) y utilizaron distintos cuestionarios para llevar a cabo el seguimiento del paciente con el objetivo de conocer la frecuencia e intensidad del PLP y su calidad de vida. Entre ellas se encuentran cuestionarios del dolor y estado físico: la escala visual analógica, el índice de discapacidad por dolor o PDI (por sus siglas en inglés, The Pain Disability Index) o el cuestionario de autoeficacia del dolor conocido como “The Pain Self-Efficacy Questionnaire” (PSEQ) [40]. En general, se produjo una mejora del dolor del miembro fantasma en los 3 grupos del estudio. Aun así, no encontraron efectos significativos comparando los resultados de los 3 grupos de pacientes con sus respectivos tratamientos (MT tradicional, teletratamiento con RA y ejercicios sensoriomotores). Uno de los motivos por los que los investigadores creen que el estudio no proporcionó resultados más relevantes fue por las características y tamaño de la población utilizada, tal y como se explica en la RQ2-A correspondiente a este estudio.

Los pacientes del estudio de Ortiz-Catalan et Al. [P2] trataron su PLP anteriormente con al menos un método clínico, sin obtener ninguno de ellos buenos resultados. Tras realizar un ECA y aplicar la solución propuesta, los 14 pacientes obtuvieron una disminución en la intensidad, calidad, frecuencia y duración del dolor crónico. En el estudio los investigadores llevaron a cabo evaluaciones del estudio antes, durante y tras las sesiones haciendo uso de una amplia variedad de escalas. Entre las más destacadas se encuentran la escala “Short-Form McGill pain questionnaire” (SF-MPQ), que es una versión corta del cuestionario de McGill, mencionado al inicio de esta pregunta de investigación. Además, utilizan otras para medir el índice de discapacidad por dolor u una versión corta del PSEQ: PSEQ-2 [26] y entrevistas de seguimiento a los pacientes.

De nuevo, en [P4] Ortiz-Catalan et Al. utilizan para su estudio de caso la versión corta de McGill, SF-MPQ [28] con el objetivo de controlar la percepción del dolor del paciente después de cada sesión del tratamiento. Además, miden la intensidad del dolor incluyendo la escala analógica visual. La aplicación de la RA en este estudio mejoró la calidad de vida del

paciente. Ortiz-Catalan aplicaron la RA en un estudio de caso de un solo paciente al que los tratamientos convencionales no le surgieron efecto en su dolor crónico.

Lendaro et Al. [P5] propusieron medir los resultados en cada sesión del tratamiento. La medida principal es el cambio en la intensidad del PLP, medida con la versión corta de McGill, SF-MPQ. A su vez, se incluye entrevistas a los pacientes y una gran variedad de cuestionarios distintos, entre ellos uno denominado Q-PLP, que combina el SF-MPQ con preguntas específicas sobre el PLP. En este estudio, también ensayo controlado no se aplicó la solución en pacientes. Los investigadores utilizaron como método de investigación el ECA, al igual que los estudios anteriormente mencionados.

En el ECA realizado por Rothgangel et Al. [P10] se midió la intensidad del PLP tras la última sesión del tratamiento mediante una escala de calificación numérica (NRS). Adicionalmente, se realizaron otras medidas secundarias como las dimensiones del PLP o la influencia y limitaciones del dolor en las actividades diarias usando para ello escalas adicionales como la escala EQ-5D-5L para conocer cómo afecta la enfermedad a la calidad de vida [59]. Los resultados obtenidos no se describen en este estudio.

Desmond et Al. [P9] hicieron uso de la versión corta del cuestionario de McGill para conocer la calidad de la experiencia de los encuestados. Antes del caso de estudio, se realizaron entrevistas para conocer a los tres pacientes en el estudio de casos realizado. Se obtuvo una gran variabilidad en los resultados reportados por cada uno de los tres pacientes. Lo único que los investigadores concluyeron tras el estudio es que el movimiento incongruente del miembro fantasma puede disminuir el dolor crónico.

Por otro lado, el estudio de Rothgangel et Al. [P3] los pacientes se involucraron y participaron en la terapia de RA con más frecuencia que los que recibieron el tratamiento de terapia de espejo tradicional. El uso del teletratamiento fue considerado de calidad e innovación y resultó beneficioso para la disminución del dolor crónico. En general se obtuvo una aceptación moderada de la aceptación del teletratamiento por parte de los pacientes, utilizando para su medida la escala de Likert [27]. En la reunión con el investigador, consideramos que esta escala no proporciona un resultado clínico a priori, ya que es muy eficaz en temas socioeconómicos y de mercado, pero no es la más adecuada para un enfoque de dolor y discapacidad por enfermedades que cursan con dolor crónico. Adicionalmente, en este estudio también se

realizaron entrevistas a los pacientes y se utilizaron los datos obtenidos en el tratamiento para evaluar el seguimiento del paciente. Rothgangel et Al. realizaron un ensayo controlado aleatorio para este estudio.

Por último, en el estudio [P6] Trojan et Al. [30] utilizaron la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon, una prueba no paramétrica para comparar el rango medio de dos muestras relacionadas y determinar si existen diferencias entre ellas [44], comparando los resultados de la primera y última prueba. El estudio fue probado por pacientes sanos.

7. Conclusión

La realidad aumentada aplicada en el tratamiento del paciente crónico ha resultado ser una tecnología novedosa que puede aportar grandes cambios y resultados beneficiosos al mundo sanitario, no solo a los pacientes sino también a los distintos profesionales. Durante la realización de esta revisión sistemática, aplicando los criterios definidos para la extracción de estudios primarios solo se obtuvieron dos tipos de patologías tratadas: el dolor del miembro fantasma y el trastorno por déficit de atención e hiperactividad. El número de enfermedades consideradas crónicas es bastante amplio, y los resultados obtenidos nos demuestran que la RA es una tecnología que aún no ha sido probada en un gran número de enfermedades. Partiendo de esta base, y teniendo en cuenta los resultados alcanzados para las patologías que sí han sido tratadas, se llega a la conclusión de que la RA se encuentra en pleno crecimiento, siendo esencial investigar y probar nuevas formas de aplicarla a pacientes crónicos para la mejora de su calidad de vida. Adicionalmente, otro dato que demuestra que esta tecnología resulta prácticamente nueva en el mundo sanitario es que los estudios primarios extraídos para esta revisión sistemática fueron publicados entre los años 2013 y 2020, a excepción de [P9] que fue publicado en 2006, lo que demuestra que su investigación y aplicación es actual. Para que la realidad aumentada se adentre de lleno en el mundo de las enfermedades crónicas será necesario estudiar a la población, su patología, sus necesidades y la forma más apropiada de aplicar dicha tecnología en su tratamiento.

Centrándonos en los resultados obtenidos en este estudio, aplicando el método de Barbara Kitchenham se obtuvieron 12 estudios primarios. En primer lugar, se comentará lo aprendido para la RA en pacientes con PLP. Esta patología abarca el 75% de los estudios obtenidos, y se centran mayoritariamente en soluciones de RA aplicando la terapia de espejo. Como se ha explicado en este trabajo, la terapia de espejo consiste en que el paciente sitúe su extremidad intacta frente a un espejo y realice movimientos de forma que perciba con el reflejo de ella que ambas extremidades están intactas. La terapia de espejo es una forma de rehabilitación funcional que puede promover la ejecución de actividades diarias en pacientes con amputaciones o falta de movimiento total de una extremidad. Sin embargo, puede presentar diversas limitaciones, debido a que refleja la imagen de la extremidad intacta, por lo que el tratamiento depende únicamente de ella y puede llegar a limitar el realismo de la representación de la mano amputada. Además, puede resultar una tarea tediosa para el terapeuta, presentando dificultades para valorar el trabajo y esfuerzo del paciente durante el ejercicio. La aplicación

de la RA a la terapia de espejo puede llegar a solventar estas limitaciones, consiguiendo una solución para pacientes con PLP con muchas más facilidades.

En primer lugar, cabe destacar que, aunque todos los estudios extraídos de PLP para esta revisión sistemática presentan muchas similitudes, existen varias diferencias entre ellos. En concreto, los estudios [P1][P3][P8][P10] utilizan la cámara convencional de la Tablet para reflejar el miembro amputado, por lo que se pueden dar igualmente problemas a la hora de alcanzar un máximo realismo en la representación de la extremidad. Además, esta tarea sería imposible de realizar para una persona que tuviese una amputación bilateral. No obstante, en estos cuatro estudios también se presenta una aplicación de telerehabilitación que aporta una gran variedad de beneficios, ya que este tipo de sistemas pueden ser capaces de evaluar de forma automática al paciente para conocer exactamente el tiempo de entrenamiento del paciente, la efectividad y el cumplimiento de tareas previstas. Debido a la telerehabilitación, el paciente además puede realizar la terapia desde casa, sin necesidad de desplazarse. Para poder implementar esta solución, resulta fundamental involucrar a los pacientes y profesionales sanitarios en la plataforma, especialmente en el desarrollo de esta, ya que son los propios usuarios los que deben sentirse cómodos con la aplicación, siendo ellos mismos los que conocen cuáles son las necesidades más importantes para esta solución. Por otro lado, en los estudios [P6][P9] se aplica también la terapia de espejo con RA pero esta vez sin usar una cámara convencional, como se explica en la RQ-1. El uso de las tecnologías aplicadas en los estudios [P6][P9] están enfocados para la extremidad superior, al contrario que los anteriores mencionados. En este caso, aunque no se obtuvieron resultados negativos y se afirma que la TE con RA puede disminuir el dolor crónico, la información aportada por estos dos estudios no resulta lo bastante completa, por lo que se concluye que es necesario realizar más pruebas y aplicar la solución en distintos tipos de pacientes para conocer qué tipos de limitaciones presenta. Por último, la solución propuesta en los estudios [P2][P4][P5] capta la volición motora fantasma mediante patrones mioeléctricos. Esta solución aporta grandes beneficios ya que el paciente puede verse a sí mismo con la extremidad restaurada, y además puede controlar él mismo la extremidad virtual, sin necesidad de utilizar para ello la extremidad intacta.

En cada una de las soluciones propuestas mencionadas es necesario conocer al paciente y estudiar si es posible aplicarla en su patología. Es fundamental tener en cuenta que algunos pacientes no tienen conocimientos básicos tecnológicos y pueden tener limitaciones al usar una plataforma de telerehabilitación, por lo que en cada caso el paciente deberá recibir una

formación y una terapia concreta acorde con sus necesidades. En la RQ-2 (y en la Tabla 14, de forma más visual) ya se mencionan los distintos problemas encontrados para las distintas soluciones. Por último, es importante mencionar que muchos investigadores coinciden en tratar la patología del PLP llevando a cabo varias terapias en el mismo paciente, aplicando tanto métodos tradicionales como métodos con la tecnología que aporta la realidad aumentada. Aun así, con los estudios extraídos durante esta revisión sistemática no se han encontrado las suficientes evidencias significativas como para demostrar que este hecho sea más efectivo. No obstante, cada paciente puede sufrir distintas patologías y distintos niveles de enfermedad y dolor crónico, por lo que cada solución debe ser personalizada para cada paciente.

Con respecto al TDAH, las soluciones propuestas en los estudios [P7][P11][P12] hacen uso de la terapia cognitiva aplicando la RA. Mediante la aplicación desarrollada, los investigadores crearon distintos juegos con la finalidad de medir el grado de concentración y efectividad del paciente. Con la ayuda de la realidad aumentada y el par de lentes inteligentes mencionadas en la RQ1-B, el paciente puede adentrarse en un entorno de realidad aumentado que no resulte muy invasivo, y mediante la constancia y la realización frecuente de los diversos ejercicios el paciente puede mejorar su atención e impulsos. Al mismo tiempo, los terapeutas pueden controlar los síntomas del paciente mediante los datos obtenidos de la aplicación, algo fundamental para la evolución de los pacientes, ya que gracias a ello la solución de cada uno de ellos podrá variar y evolucionar en función de los datos obtenidos para obtener los mejores resultados posibles.

Tras un breve resumen de las soluciones halladas en esta revisión sistemática, comprobamos que tanto para el PLP como para el TDAH las soluciones de RA están basadas en otros métodos tradicionales, con la idea de mejorar la solución, disminuir las limitaciones y aumentar los beneficios. Tras los resultados obtenidos, se observa también que cada solución debe ser tratada y estudiada para proporcionarle al paciente la más correcta y adecuada para su patología. No obstante, el número de estudios primarios extraídos ha sido muy escaso, lo que demuestra la necesidad de incentivar la aplicación de la realidad aumentada en pacientes crónicos en un rango mayor de enfermedades, con el objetivo de poder proporcionarle al paciente un entorno agradable y adecuado, con el beneficio de que pueda tratar su patología desde casa, siempre con la supervisión de su profesional sanitario y con un número mayor de aplicaciones y facilidades que un método de terapia tradicional.

Como aportación personal, añado que la realización de esta revisión sistemática ha resultado ser bastante interesante y constructiva, pudiendo conocer la gran cantidad de soluciones que puede aportar la tecnología al tratamiento de enfermedades. Adicionalmente, durante el desarrollo de este trabajo he podido conocer la opinión de diferentes expertos, teniendo la oportunidad de trabajar con ellos y abarca el tema desde el punto de vista tanto tecnológico como sanitario. Por último, gracias a llevar a cabo en este trabajo la metodología de revisión sistemática propuesta por Barbara Kitchenham he conseguido identificar y evaluar de forma correcta las distintas soluciones de realidad aumentada para pacientes crónicos que han sido estudiadas y, en algunos casos, aplicadas hasta ahora, y me ha permitido conocer la necesidad de investigar este ámbito e invertir en nuevas soluciones para mejorar el tratamiento de los pacientes.

8. Referencias

- [1] Da Gama, A., Fallavollita, P., Teichrieb, V., & Navab, N. (2015). Motor Rehabilitation Using Kinect: A Systematic Review. *Games for health journal*, 4(2), 123–135. <https://doi.org/10.1089/g4h.2014.0047>
- [2] Gorman, C., & Gustafsson, L. (2020). The use of augmented reality for rehabilitation after stroke: a narrative review. *Disability and rehabilitation. Assistive technology*, 1-9. DOI: [10.1080/17483107.2020.1791264](https://doi.org/10.1080/17483107.2020.1791264)
- [3] Mubin, O., Alnajjar, F., Jishtu, N., Alsinglawi, B., & Al Mahmud, A. (2019). Exoskeletons With Virtual Reality, Augmented Reality, and Gamification for Stroke Patients' Rehabilitation: Systematic Review. *JMIR rehabilitation and assistive technologies*, 6(2), e12010. <https://doi.org/10.2196/12010>
- [4] Hilty, D.M., Randhawa, K., Maheu, M.M. *et al.* A Review of Telepresence, Virtual Reality, and Augmented Reality Applied to Clinical Care. *J. technol. behav. sci.* 5, 178–205 (2020). <https://doi.org/10.1007/s41347-020-00126-x>
- [5] Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M. *et al.* Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimed Tools Appl* 51, 341–377 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>
- [6] Dunn, J., Yeo, E., Moghaddampour, P., Chau, B., & Humbert, S. (2017). Virtual and augmented reality in the treatment of phantom limb pain: A literature review. *NeuroRehabilitation*, 40(4), 595–601. <https://doi.org/10.3233/NRE-171447>
- [7] Organización Mundial de la Salud. Enfermedades crónicas. Disponible en: http://www.who.int/topics/chronic_diseases/es/. (Último acceso: 25 febrero 2021).
- [8] Bertolo, R., Hung, A., Porpiglia, F., Bove, P., Schleicher, M., & Dasgupta, P. (2020). Systematic review of augmented reality in urological interventions: the evidences of an

impact on surgical outcomes are yet to come. *World journal of urology*, 38(9), 2167–2176. <https://doi.org/10.1007/s00345-019-02711-z>

- [9] Junta de Andalucía. Tarifas vigentes. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/servicios/contratacion/Tarifas_amaya/tarifas_amaya_v1.pdf. (Último acceso: 2 de marzo de 2021).
- [10] Ortiz-Catalan, M., Sander, N., Kristoffersen, M. B., Håkansson, B., & Brånemark, R. (2014). 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. *Frontiers in neuroscience*, 8, 24. <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00024>
- [11] CORE, Computing Research & Education. Disponible en: <https://www.core.edu.au/home>. (Último acceso: abril 2021).
- [12] JCR, Journal Citations Report. Disponible en: [InCites \(clarivate.com\)](https://clarivate.com/in-cites/). (Último acceso: abril 2021).
- [13] Nephila Health Partnership, S.L. Plataforma de Organizaciones de Pacientes. El dolor en la enfermedad crónica desde la perspectiva de los pacientes. Disponible en: <https://www.plataformadepacientes.org/sites/default/files/informe-dolor.pdf>
- [14] Logan DE, Simons LE, Caruso T, Gold JI, Greenleaf W, Griffin A, King C, Menendez M, Olbrecht V, Rodriguez S, Silvia M, Stinson J, Wang E, Williams S. Leveraging VR/AR to combat chronic pain in youth: Position paper from the Interdisciplinary Network on Virtual and Augmented (AR/VR) Technologies for Pain (INOVATE-Pain) Management. *Journal of Medical Internet Research*, 2021 Mar. doi: [10.2196/25916](https://doi.org/10.2196/25916)
- [15] Carmigniani J., Furht B. Augmented Reality: An Overview,. Furht B. (eds) Handbook of Augmented Reality. Springer, New York, NY .(2011). doi: [10.1007/978-1-4614-0064-6_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0064-6_1)
- [16] Sutherland, J., Belec, J., Sheikh, A., Chepelev, L., Althobaity, W., Chow, B., Mitsouras, D., Christensen, A., Rybicki, F. J., & La Russa, D. J. (2019). Applying

Modern Virtual and Augmented Reality Technologies to Medical Images and Models. *Journal of digital imaging*, 32(1), 38–53. <https://doi.org/10.1007/s10278-018-0122-7>

- [17] Donna R. Berryman (2012) Augmented Reality: A Review, *Medical Reference Services Quarterly*, 31:2, 212-218, DOI: [10.1080/02763869.2012.670604](https://doi.org/10.1080/02763869.2012.670604)
- [18] Pope, H. (2018). Introduction to virtual and augmented reality. *Library Technology Reports*, 54(6), 5-7.
- [19] Liao, T., Chang, P. F., & Lee, S. (2020). Augmented reality in health and medicine: a review of augmented reality application for health professionals, procedures, and behavioral interventions. *Technology and Health*, 109-128.
- [20] Sutherland, J., Belec, J., Sheikh, A., Chepelev, L., Althobaity, W., Chow, B., Mitsouras, D., Christensen, A., Rybicki, F. J., & La Russa, D. J. (2019). Applying Modern Virtual and Augmented Reality Technologies to Medical Images and Models. *Journal of digital imaging*, 32(1), 38–53. <https://doi.org/10.1007/s10278-018-0122-7>
- [21] Campus Sanofi. *Los beneficios de aplicar realidad virtual y aumentada para el dolor crónico*. Disponible en: <https://campussanofi.es/smart-care/noticias/los-beneficios-de-aplicar-realidad-virtual-y-aumentada-para-el-dolor-cronico/>. (Último acceso: marzo 2021).
- [22] Kuffler DP, “Origins of Phantom Limb Pain,” *Mol Neurobiol*. 2018 Jan;55(1):60-69. doi: [10.1007/s12035-017-0717-x](https://doi.org/10.1007/s12035-017-0717-x)
- [23] Isina, L., Becker, P., Peppino, D., & Tebes, G. (2019), Specifying the Process Model for Systematic Reviews: An Augmented Proposal. *Journal of Software Engineering Research and Development*, 7, 7:1 – 7:23. doi: [10.5753/jserd.2019.460](https://doi.org/10.5753/jserd.2019.460)
- [24] Inebir. Disponible en: <https://inebir.com>. (Último acceso: febrero de 2021).
- [25] Rothgangel, A., Braun, S., Winkens, B., Beurskens, A., & Smeets, R. (2018). Traditional and augmented reality mirror therapy for patients with chronic phantom limb pain (PACT study): results of a three-group, multicentre single-blind randomized controlled trial. *Clinical rehabilitation*, 32(12), 1591–1608. <https://doi.org/10.1177/0269215518785948>

- [26] Ortiz-Catalan, M., Guðmundsdóttir, R. A., Kristoffersen, M. B., Zepeda-Echavarria, A., Caine-Winterberger, K., Kulbacka-Ortiz, K., Widehammar, C., Eriksson, K., Stocksélius, A., Ragnö, C., Pihlar, Z., Burger, H., & Hermansson, L. (2016). 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. *Lancet (London, England)*, 388(10062), 2885–2894. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31598-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31598-7)
- [27] Rothgangel, A., Braun, S., Smeets, R., & Beurskens, A. (2019). Feasibility of a traditional and teletreatment approach to mirror therapy in patients with phantom limb pain: a process evaluation performed alongside a randomized controlled trial. *Clinical rehabilitation*, 33(10), 1649–1660. <https://doi.org/10.1177/0269215519846539>
- [28] Ortiz-Catalan, M., Sander, N., Kristoffersen, M. B., Håkansson, B., & Brånemark, R. (2014). 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. *Frontiers in neuroscience*, 8, 24. <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00024>
- [29] Lendaro, E., Hermansson, L., Burger, H., Van der Sluis, C. K., McGuire, B. E., Pilch, M., Bunketorp-Käll, L., Kulbacka-Ortiz, K., Rignér, I., Stocksélius, A., Gudmundson, L., Widehammar, C., Hill, W., Geers, S., & Ortiz-Catalan, M. (2018). Phantom motor execution as a treatment for phantom limb pain: protocol of an international, double-blind, randomised controlled clinical trial. *BMJ open*, 8(7), e021039. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-021039>
- [30] Trojan, J., Diers, M., Fuchs, X., Bach, F., Bekrater-Bodmann, R., Foell, J., Kamping, S., Rance, M., Maaß, H., & Flor, H. (2014). An augmented reality home-training system based on the mirror training and imagery approach. *Behavior research methods*, 46(3), 634–640. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0412-4>
- [31] Alqithami S. (2020). Modeling an AR Serious Game to Increase Attention of ADHD Patients, *2020 IEEE 44th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)*, Madrid, Spain, 2020, pp. 1379-1384, doi: [10.1109/COMPSAC48688.2020.00-63](https://doi.org/10.1109/COMPSAC48688.2020.00-63)

- [32] Rothgangel, A., Braun, S., Smeets, R., & Beurskens, A. (2017). Design and Development of a Telerehabilitation Platform for Patients With Phantom Limb Pain: A User-Centered Approach. *JMIR rehabilitation and assistive technologies*, 4(1), e2. <https://doi.org/10.2196/rehab.6761>
- [33] Desmond, Deirdre and O'Neill, Kieran and de Paor, Annraoi and McDarby, Gary and MacLachlan, Malcolm. (2006). Augmenting the Reality of Phantom Limbs: Three Case Studies Using an Augmented Mirror Box Procedure. *Journal of Prosthetics and Orthotics*, 18 (3). pp. 74-79.
- [34] Rothgangel, A. S., Braun, S., Schulz, R. J., Kraemer, M., de Witte, L., Beurskens, A., & Smeets, R. J. (2015). The PACT trial: PATient Centered Telerehabilitation: effectiveness of software-supported and traditional mirror therapy in patients with phantom limb pain following lower limb amputation: protocol of a multicentre randomised controlled trial. *Journal of physiotherapy*, 61(1), 42. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2014.08.006>
- [35] Alqithami, S., Alzahrani, M., Alzahrani, A., & Mustafa, A. (2019). AR-Therapist: Design and Simulation of an AR-Game Environment as a CBT for Patients with ADHD. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 7(4), 146. <https://doi.org/10.3390/healthcare7040146>
- [36] S. Alqithami, M. Alzahrani, A. Alzahrani, A. Mostafa. (2019). Modeling an AR Serious Game to Increase Attention of ADHD patients. *International Conference on Brain Informatics*. doi: [10.1007/978-3-030-37078-7_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37078-7_18)
- [37] Simon, A. M., Hargrove, L. J., Lock, B. A., & Kuiken, T. A. (2011). Target Achievement Control Test: evaluating real-time myoelectric pattern-recognition control of multifunctional upper-limb prostheses. *Journal of rehabilitation research and development*, 48(6), 619–627. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2010.08.0149>
- [38] MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico. Recuperado de: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>. (Último acceso: mayo de 2021).
- [39] Ortiz-Catalán, M., Brånemark, R., & Håkansson, B. (2013). BioPatRec: Una plataforma de investigación modular para el control de extremidades artificiales basada

en algoritmos de reconocimiento de patrones. *Código fuente de biología y medicina*, 8(1), 11. doi: [10.1186/1751-0473-8-11](https://doi.org/10.1186/1751-0473-8-11)

- [40] Recursos para la práctica clínica. Cuestionarios para la Práctica Clínica en español/inglés. Disponible en: <https://ginvestigaciontmo.com/recursos/>. (Último acceso: mayo de 2021).
- [41] Cuestionario de Dolor Español -CDE-. Disponible en: <https://ginvestigaciontmo.files.wordpress.com/2018/07/mc-gill-cuestionario-de-dolor-espanol.pdf>. (Último acceso: mayo de 2021).
- [42] Melzack R. (1975). The McGill Pain Questionnaire: major properties and scoring methods. *Pain*, 1(3), 277–299. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(75\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0304-3959(75)90044-5)
- [43] (2020). Gold standard (test). Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Gold_standard_\(test\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Gold_standard_(test)). (Último acceso: 11/05/2021).
- [44] Amat Rodrigo, J. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon. Disponible en: https://www.cienciadedatos.net/documentos/18_prueba_de_los_rangos_con_signo_de_wilcoxon. (Último acceso: 11/05/2021).
- [45] Nielsen J, Molich R. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. Proc ACM CHI'90 Conf; Seattle, WA. doi: [10.1145/97243.97281](https://doi.org/10.1145/97243.97281)
- [46] Gandhi, D. B., Sterba, A., Khatter, H., & Pandian, J. D. (2020). Mirror Therapy in Stroke Rehabilitation: Current Perspectives. *Therapeutics and clinical risk management*, 16, 75–85. doi: [10.2147/TCRM.S206883](https://doi.org/10.2147/TCRM.S206883)
- [47] Ramírez UP, Reyes TS, Carrasco RS, Franco VM, Rojano MD, Martínez VJ. (2016). Mirror therapy in the management of phantom limb chronic pain in amputee patients. *Rev Mex Med Fis Rehab*. 28(3-4):49-53.
- [48] Flor, H., Elbert, T., Knecht, S., Wienbruch, C., Pantev, C., Birbaumer, N., Larbig, W., & Taub, E. (1995). Phantom-limb pain as a perceptual correlate of cortical

- reorganization following arm amputation. *Nature*, 375(6531), 482–484. doi: [10.1038/375482a0](https://doi.org/10.1038/375482a0)
- [49] Flor, H., Elbert, T., Knecht, S., Wienbruch, C., Pantev, C., Birbaumer, N., Larbig, W., & Taub, E. (1995). Phantom-limb pain as a perceptual correlate of cortical reorganization following arm amputation. *Nature*, 375(6531), 482–484. doi: [10.1038/375482a0](https://doi.org/10.1038/375482a0)
- [50] Silva, S., Borges, L. R., Santiago, L., Lucena, L., Lindquist, A. R., & Ribeiro, T. (2020). Motor imagery for gait rehabilitation after stroke. *The Cochrane database of systematic reviews*, 9(9), doi: [10.1002/14651858.CD013019.pub2](https://doi.org/10.1002/14651858.CD013019.pub2)
- [51] La serpiente (videojuego). Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=La_serpiente_\(videojuego\)&oldid=135686159](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=La_serpiente_(videojuego)&oldid=135686159). (Último acceso: 06/06/2021).
- [52] Garcés-Vieira, M. V., & Suárez-Escudero, J. C. (2014). Neuroplasticidad: aspectos bioquímicos y neurofisiológicos. *Ces Medicina*, 28(1).
- [53] 5DT Data Glove 5. 5DT Data Glove 5-W. *User's Manual*. (2000). Recuperado de: <http://www.5dt.com/downloads/dataglove/old/5DTDataGlove5Manual.pdf>
- [54] 3DS MAX - Software de modelado y renderización en 3D para la visualización de diseños, juegos y animación. Recuperado de: <https://www.autodesk.es/products/3ds>. (Último acceso: junio de 2021).
- [55] Fullana, M. A., de-la-Cruz, L. F., Bulbena, A., & Toro, J. (2012). Eficacia de la terapia cognitivo-conductual para los trastornos mentales. *Medicina Clínica*, 138(5), 215-219.
- [56] Unity - La plataforma líder para crear contenido interactivo en tiempo real. Recuperado de: <https://unity.com/es>. (Último acceso: junio de 2021).

- [57] Microsoft HoloLens. Tecnología de realidad mixta para empresas. Recuperado de: <https://www.microsoft.com/es-es/hololens>. (Último acceso: junio de 2021).
- [58] Navarro, I. S. (2018). Prótesis biónicas, biología y tecnología. *Panorama Actual del Medicamento*, 42(411), 256-259.
- [59] Encuesta nacional de salud España 2011/12. Las enfermedades crónicas y el instrumento EQ-5D-5. Recuperado de: [CVRS adultos EQ 5D 5L.pdf \(mscbs.gob.es\)](#). (Último acceso 13 de junio de 2021).