

Terapia robótica en la rehabilitación de la extremidad superior: implicaciones médicas, científicas, sociales y económicas

Robotic therapy in upper limb rehabilitation: medical, scientific, social and economic implications

Terapia robótica na reabilitação de membros superiores: implicações médicas, científicas, sociais e econômicas

Dr. C. Marcia Sandra Hernández Zayas

<https://orcid.org/0000-0001-8651-9724>

Hospital General “Dr. Juan Bruno Zayas” Santiago de Cuba, Cuba

Ing. Jorge Bonzon Regalado

<https://orcid.org/0000-0002-4898-6505>

Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba

Dr. C. Roberto Sagaró Zamora

<https://orcid.org/0000-0001-5808-1999>

Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba

Dr. C. Mauricio Torres Quesada

<https://orcid.org/0000-0001-5567-5636>

MT Engineering SAS, Bogotá, D.C, Colombia

email: sagaro2001@gmail.com

Como citar este artículo: Hernández Zayas, M., Bonzon Regalado, J., Sagaró Zamora, R. y Torres Quesada, M. (2025). Terapia robótica en la rehabilitación de la extremidad superior: implicaciones médicas, científicas, sociales y económicas. *Arrancada*, 25(2), 11-28. <https://arrancada.cuaje.edu.cu>

RESUMEN

La aplicación de la terapia robótica con parámetros motrices controlados, condiciona variables biomecánicas y clínicas que permiten un mayor alcance en la rehabilitación de la extremidad superior. El objetivo. Analizar el estado actual del conocimiento sobre terapia robótica en la rehabilitación de la extremidad superior y sus implicaciones médicas, científicas, sociales y económicas. Se realizó una revisión sistemática de estudios clínicos aleatorizados y no aleatorizados, estudios piloto, tesis de terminación de estudios y libros de textos, revisiones y metaanálisis referidos a la rehabilitación robótica de la extremidad superior. La estrategia de búsqueda se desarrolló

accediendo a bibliotecas de revistas médicas indexadas en las bases de datos PubMed/Medline, Scopus, Cochrane Library, Scielo y Lilacs, EmCare, Physiotherapy Evidence Database (PEDro) mediante los motores de búsqueda de Scopus y del Science Citation Index o WoS y las herramientas Power Query y Scrapy Python; desde el año 2017 hasta el 2024, en idioma español e inglés. Se utilizaron y combinaron los términos: extremidad superior, exoesqueleto, terapia robótica, fisioterapia, rehabilitación. Para una búsqueda más precisa se activaron los filtros: tipo de trabajo (“article”), disciplina (“biomedic sciences” y “medicine”). Un total de 120 manuscritos cumplieron con esos criterios. Fueron elegibles 43, se descartaron estudios duplicados, reportes de casos. 60 no correspondían al tema. Se requieren estudios para continuar la validación de la terapia robótica e incrementar las evidencias que pongan de manifiesto la relevancia de sus potencialidades.

Palabras clave: extremidad superior; exoesqueleto; terapia robótica; fisioterapia; rehabilitación.

ABSTRACT

The application of the robotic therapy with controlled motor parameters, its conditions biomechanical and clinical variables that allow a greater scope in the rehabilitation of the upper limb. To analyze the current state of knowledge regarding robotic therapy in upper limb rehabilitation and its medical, scientific, social, and economic implications. A systematic review was conducted of randomized and non-randomized clinical studies, pilot studies, completion theses and textbooks, reviews and meta-analyses concerning the upper limb rehabilitation. The search strategy was developed by accessing libraries of medical journals indexed in the following databases PubMed/Medline, Scopus, Cochrane Library, Scielo y Lilacs, EmCare, Physiotherapy Evidence Database (PEDro) using Scopus and Science Citation Index o WoS search engines and the tools Power Query, Scrapy Python; from 2017 to 2024, in English and Spanish. The terms upper limb, exoskeleton, robotic therapy, physiotherapy, rehabilitation, were used and combined. For a more precise search, the filters type of work (“article”), discipline (“biomedic sciences” and “medicine”) were activated. A total of 120 manuscripts met these criteria. 43 were eligible and duplicate studies and case reports were discarded. 60 did not fit the topic. Studies are needed to further validate robotic therapy and increase evidence of its potential.

Keywords: upper limb; exoskeleton; robotic therapy; physiotherapy; rehabilitation.

RESUMO

A aplicação da terapia robótica com parâmetros motores controlados determina variáveis biomecânicas e clínicas que permitem maior abrangência na reabilitação dos membros superiores. O objetivo. Analisar o estado atual do conhecimento sobre terapia robótica na reabilitação de membros superiores e suas implicações médicas, científicas, sociais e econômicas. Foi conduzida uma revisão sistemática de ensaios clínicos randomizados e não randomizados, estudos piloto, teses de graduação e livros didáticos, revisões e meta-análises relacionadas à reabilitação robótica de membros superiores. A estratégia de busca foi desenvolvida acessando bibliotecas de periódicos médicos indexados nas bases de dados PubMed/Medline, Scopus, Cochrane Library, Scielo e Lilacs, EmCare, Physiotherapy Evidence Database (PEDro) utilizando os buscadores Scopus e Science Citation Index ou WoS e as ferramentas Power Query e Scrapy Python; de 2017 a 2024, em espanhol e inglês. Os termos extremidade superior, exoesqueleto, terapia robótica, fisioterapia e reabilitação foram usados e combinados. Para uma busca mais precisa, foram ativados os filtros: tipo de trabalho (“artigo”), disciplina (“ciências biomédicas” e “medicina”). Um total de 120 manuscritos atenderam a esses critérios. 43 eram elegíveis, estudos duplicados e relatos de casos foram descartados. 60 não correspondia ao tema. Estudos são necessários para continuar validando a terapia robótica e aumentar as evidências que demonstram a relevância do seu potencial.

Palavras-chave: extremidade superior; exoesqueleto; terapia robótica; fisioterapia, reabilitação.

Recibido: Enero/25

Aceptado: Abril/25

INTRODUCCIÓN

El aprendizaje motor (AM) es el proceso interno de adquirir o fortalecer una habilidad motora, generalmente se logra a través de la práctica motora repetitiva junto con la retroalimentación sobre el desempeño de la tarea; y se basa en la capacidad de adaptación del sistema nervioso central (SNC) a los cambios en el entorno o a consecuencia de lesiones. Adquirir habilidades motoras habitualmente se obtiene mediante el entrenamiento (García Tapia, 2020; Oña *et al.*, 2019).

La rehabilitación es un proceso de reaprendizaje motor que mejora el desempeño en términos de adquisición de nuevas habilidades, adaptación o refinamiento de habilidades previamente aprendidas. En el miembro superior, la asistencia pasiva y activa a los movimientos, parece mejorar su recuperación debido a su efecto somato sensorial, a la planificación motora, las propiedades sobre el tejido laxo, y la espasticidad (Hamaya *et al.*, 2017; Lauretti *et al.*, 2018; Serrezuela *et al.*, 2020; Veerbeek *et al.*, 2017). (C. He *et al.*, 2021) han considerado que el método tradicional de rehabilitación no solo es laborioso, sino que requiere de mucho tiempo, y no reproduce con exactitud las características del movimiento natural humano.

En adición a las estrategias de tratamiento para el miembro superior basadas en el aprendizaje motor, cada vez son mayores los enfoques apoyados en las tecnologías, como: el entrenamiento robótico, la estimulación eléctrica funcional (FES), la realidad virtual y las terapias restrictivas, que involucran la participación de los individuos y han producido resultados positivos (Hamaya *et al.*, 2017; Lauretti *et al.*, 2018; Serrezuela *et al.*, 2020; Veerbeek *et al.*, 2017).

La incapacidad de la extremidad superior en la vida cotidiana conlleva a una menor calidad de vida relacionada con la salud y a una menor participación social (Z. Chen *et al.*, 2020). La robótica se ha propuesto como un enfoque viable para rehabilitar la extremidad superior (Aprile *et al.*, 2020; Palazzi *et al.*, 2022), basada en el ejercicio proporciona un entrenamiento físico intensivo, adaptativo, cuantificable, de alta repetitividad (Lin *et al.*, 2021) que puede beneficiar a pacientes que precisen un tiempo prolongado de terapia (incrementando su efectividad) (Palazzi *et al.*, 2022), aumenta la calidad de la asistencia con una mejor prescripción de las sesiones terapéuticas, permite medir la evolución diaria, es de fácil despliegue y aplicabilidad en un amplio rango de déficits motores, siendo fiable en la toma de medidas, lo que aumenta la posibilidad de su uso en entornos clínicos (Keeling *et al.*, 2021). Gracias a su tecnología incorporada en términos de sensores y actuadores, los dispositivos pueden proporcionar una medida cuantitativa de la destreza del usuario (Aprile *et al.*, 2020). Con este trabajo pretendemos ofrecer información fiable de los sistemas robóticos para la rehabilitación de miembros superiores que sirva de soporte para el desarrollo de futuros estudios.

MUESTRA Y METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistemática de estudios clínicos aleatorizados y no aleatorizados, estudios piloto, tesis de terminación de estudios y libros de textos, revisiones y metaanálisis referidos a la rehabilitación robótica de la extremidad superior. La estrategia de búsqueda se desarrolló accediendo a bibliotecas de revistas médicas indexadas en las bases de datos PubMed/Medline, Scopus, Cochrane Library, Scielo y Lilacs, EmCare, Phisiotherapy Evidence Database (PEDro) mediante los motores de búsqueda de Scopus y del Science Citation Index o WoS y las herramientas Power Query y Scrapy Python; desde el año 2017 hasta el 2024, en idioma español e inglés. Se utilizaron y combinaron los términos: extremidad superior, exoesqueleto, terapia robótica, fisioterapia, rehabilitación. Para una búsqueda más precisa se activaron los filtros: tipo de trabajo (“article”), disciplina (“biomedic sciences” y “medicine”). Un total de 120 manuscritos cumplieron con esos criterios. Fueron elegibles 43, se descartaron estudios duplicados, reportes de casos. 60 no correspondían al tema.

RESULTADOS

Terapia robótica en la extremidad superior. Principales características

Los dispositivos robóticos se pueden diferenciar por las características técnicas, el tipo de asistencia, la forma de dirigir las trayectorias, la manera de movilizar la extremidad y otras particularidades, por lo que muchas clasificaciones han sido propuestas en la literatura

(Qassim & Wan Hasan, 2020). Otros (Zhang *et al.*, 2022) se enfocan en las estrategias de control (pasivo, activo, o modos de resistencia) y en las señales biomédicas (electromiografía EMG o electroencefalograma EEG) aplicadas a la interacción humana - ordenador. La interfaz humano robot con un entorno de realidad virtual, diferentes juegos y ejercicios funcionales aumentan la intensidad del entrenamiento, incrementando la eficiencia de los dispositivos (Aibek Niyetkaliyev, 2024).

En cuanto a la manera de movilizar las extremidades, pueden ser organizados bajo dos categorías básicas, arquitecturas o tipos (Aibek Niyetkaliyev, 2024; Keeling *et al.*, 2021):

- Exoesqueletos o sistemas ortóticos: Este sistema corresponde a una estructura mecánica fijada al miembro del usuario donde las articulaciones y los segmentos del robot coinciden con las articulaciones del cuerpo humano.

- Efecto final: Es equivalente al efecto natural de la extremidad humana, usualmente la mano, se limita el contacto del paciente con el robot a un punto en el antebrazo o la mano. Su desventaja es que no permite ejercitar las restantes articulaciones del miembro superior.

Se han definido tres bloques principales para la interacción física humano - robot (PHRI) relacionados con las modalidades de terapia convencional realizadas en la práctica clínica y se refieren al estado de los sujetos durante la interacción (Lauretti *et al.*, 2018; Oña *et al.*, 2019; Terranova *et al.*, 2021); incluyen la combinación de los movimientos funcionales del brazo: pasivos, activos asistidos y activos resistidos.

Los robots con estimulación eléctrica funcional (FES) maximizan las ventajas de cada tratamiento. La háptica es importante porque permite comunicarse al robot y al paciente en ambas direcciones, y acceder al cerebro a la relación causal entre esfuerzos y errores lo cual es esencial para el aprendizaje motor (Chinmay & Pratik, 2022).

Los exoesqueletos accionados por electromiografía (EMG) usan un controlador; el paciente inicia voluntariamente el movimiento y el robot repetirá la acción por un periodo de tiempo. La señal electromiográfica puede procesarse en el dominio del tiempo o en el de la frecuencia (Qassim & Wan Hasan, 2020) y es extraída de dos formas:

- Invasiva: Electromiografía intramuscular (iEMG) los electrodos son colocados en la unidad motora del músculo. Es más precisa.

- No Invasiva: Electromiografía de superficie (sEMG), los electrodos son colocados en el vientre muscular que proporciona una máxima contracción, pero es menos aceptada por el paciente.

En el examen documental, aparecen frecuentemente artículos que solo exponen nuevos prototipos, diseños, detalles técnicos y operatividad de la tecnología (Aibek Niyetkaliyev, 2024; Buccelli *et al.*, 2022; Chinmay & Pratik, 2022; Hussein Mohammed Al-Almoodi *et al.*, 2021; Lin *et al.*, 2021; Palazzi *et al.*, 2022); solo pocos han sido probados en ambientes clínicos, un pequeño número tiene resultados clínicos reconocidos; y su efectividad no está debidamente certificada (Serrezuela *et al.*, 2020).

Adicionalmente, la alta adaptabilidad de la terapia a las necesidades del paciente que puede provenir desde el nivel mecánico (hardware) relacionado a los “grados de libertad” o desde el nivel software (control) podría beneficiar la efectividad del tratamiento. Se ha propuesto la necesidad de inversión en el mejor uso de la actuación basada en los datos pues tratamientos más eficientes podrían ser obtenidos vía autoadaptación de los parámetros del robot acorde a las necesidades de rehabilitación (Oña *et al.*, 2019).

La tabla 1 resume artículos de revisión y presentación de prototipos publicados en los últimos cinco años.

Autor	Año
-------	-----

(Z. Chen et al., 2020)	2020	Revisión / metaanálisis. 35 ensayos incluidos / 2241 participantes post-ictus. Compararon entrenamiento robótico versus entrenamiento mediado por terapeuta.
(Palazzi et al., 2022)	2022	Introduce prototipo con equilibrio gravitatorio.
(Lin et al., 2021)	2021	Presentan estrategia de control de movimiento para neurorrehabilitación por robot personalizado.
(Qassim & Wan Hasan, 2020)	2020	Revisión de tipos de tratamiento rehabilitador, clasificación de robots y manejo del electromiograma (EMG) post-ictus en términos de eficiencia y mecanismos de control.
(Zhang et al., 2022)	2022	Análisis Bibliométrico sobre rehabilitación robótica (3527 artículos).
(Aibek Niyetkaliyev, 2024)	2022	Presenta prototipo para hombro con movimientos fisiológicamente correctos.
(Chinmay & Pratik, 2022)	2022	Describen sistemas robóticos para hombro, enfatizan en indicadores y tecnologías emergentes utilizadas con robots. Propone modelo con red de sensores inalámbricos para identificar movimientos fisiológicos.
(Dalla Gasperina et al., 2021)	2021	Revisión con visión multidisciplinaria de estrategias de control del paciente-cooperativo.
(Buccelli et al., 2022)	2022	Presentan prototipo para recuperación motora y funcional postraumática y posquirúrgica del hombro.
(NguiaDEM et al., 2020)	2020	Revisión de 67 artículos relacionados con métodos de planificación de trayectorias para el control en exoesqueletos.
(Hussein Mohammed Al-Almoodi et al., 2021)	2021	Presentan prototipo de máquina pasiva continua (CPM) con Interfaz gráfica de usuario, 2 grados de libertad con ROM para flexo - extensión de codo (0°-135°) y pronosupinación de antebrazo (0°-90°).

Indagaciones recientes han expuesto que la robótica permite establecer un plan eficiente del proceso rehabilitador por que supone una reducción de costos, duración de la sesión, disponibilidad de un terapeuta con mejoras de su productividad y reducción de la carga de trabajo (Budhota *et al.*, 2021; Chinmay & Pratik, 2022; Qassim & Wan Hasan, 2020).

En dependencia de su aplicación, los exoesqueletos pueden desarrollar la potencia, amplificar el movimiento, mejorar el deterioro neuromuscular, compensación, rehabilitación, y para apoyar a las personas discapacitadas en las actividades de la vida diaria (AVD) (Palazzi *et al.*, 2022). Su empleo en los protocolos de rehabilitación física ha sido cada vez más atractivo en la última década como resultado de la alta prevalencia de déficits motores en la población (Major *et al.*, 2021); son indicados para mejorar las funciones motoras en pacientes con enfermedades neurológicas y daños musculoesqueléticos (Zhang *et al.*, 2022).

No obstante, aunque es uno de los campos que más se ha desarrollado en las últimas décadas su adopción en la práctica clínica es menor de lo esperada (Oña *et al.*, 2019). Su aplicación ha sido casi exclusiva en la neurorrehabilitación del brazo del paciente hemipléjico pues acorde

a los resultados clínicos juega un rol crucial en restaurar parcial o completamente la función motora, sin efectos secundarios, siendo más eficaz que la terapia convencional especialmente en pacientes crónicos (Aibek Niyetkaliyev, 2024; Kim *et al.*, 2019; Qassim & Wan Hasan, 2020; Veerbeek *et al.*, 2017). La tabla 2 resume estudios relacionados con el tratamiento robótico del miembro superior en los últimos cinco años en ambientes clínicos.

Tabla 2. Estudios relacionados con el tratamiento robótico del miembro superior en los últimos cinco años en ambientes clínicos.

Artículo	Muestra	Estudio	Intervención	Resultados
Serrezuela et al., (2020)	16 pacientes / omalgia post-ictus.	Estudio piloto.	2 grupos (8 pacientes cada uno): Intervención: Robótica. Control: Infrarrojo, masajes y ejercicios. Duración: 1 hora diaria / 5 veces por semana / 3 meses.	Robótica: Diferencias significativas para omalgia, tono, recuperación motora y rango articular ($p < 0,05$). Elevada satisfacción.
C. He et al., (2021)	8 pacientes crónicos post-ictus.	Estudio piloto	Presentan prototipo que integra la coordinación postural en la estructura mecánica y sinergia a movimientos de actividades de la vida diaria. Duración: 20 sesiones de 45 minutos / 5 veces por semana.	Buena adaptación al dispositivo, mejor control motor y función. Sin control.
Aprile et al., (2020)	247 Pacientes post-ictus subagudo.	Estudio clínico controlado. Duración: 30 sesiones. Evaluación: 3 meses.	2 grupos: Intervención: Robótica. Control: terapia convencional.	No diferencias entre grupos para Fugl-Meyer (FM) ($P = 0.948$). La función motora, actividades y participación fueron similares excepto el índice motor (mejores resultados con robótica). Mejoría a los 3 meses sin diferencias entre grupos.

Keeling et al., (2021)	19 pacientes post-ictus subagudo.	Estudio piloto.	2 grupos: Intervención: (9 pacientes) 1 hora de robótica y terapia estándar. Control: (10 pacientes) terapia estándar. Duración: 10 días	Robótica: Mejorías significativas en Fugl-Meyer (FM), / Action Research Arm Test (ARAT) / independencia Funcional (FIM). / Visually Guided Reaching / Arm Position Matching. Control: Solo mejoría en escalas Visually Guided Reaching y Arm Position Match. Limitación: poco tiempo de duración.
Terranova et al., (2021)	51 pacientes post-ictus. (6-36 meses)	Estudio clínico controlado.	2 grupos combinan terapia convencional. Grupo robótica 36 sesiones. Control: 2 semanas con terapia de movimiento inducido por restricciones (CIMT). Duración: 12 semanas	No diferencias entre grupos. Aumentó la recuperación motora, funcionalidad y actividades de la vida diaria independientemente de la intervención aplicada.
Budhota et al., (2021)	44 pacientes post-ictus subagudo.	Estudio clínico controlado.	Apoya enfoque combinatorio para mejora motora del brazo parético. 2 grupos (22 pacientes cada uno). Intervención: 60 minutos de robótica más 30 minutos de terapia convencional. Control: terapia convencional. Duración: 18 sesiones (6 semanas / 3 sesiones de 90 minutos por semana).	Diferencias significativas entre grupos (Fugl-Meyer, Action Research Arm Test y, Grip Strength].

Major <i>et al.</i> , (2021)	23 pacientes.	Estudio clínico controlado.	3 grupos acorde a la enfermedad: vascular, extrapiramidal, y neuromuscular. Duración: 3 meses.	No diferencias entre robótica y terapia convencional. Incremento goniométrico (40 %) en grupo vascular. Con excepción de diferencias menores en la fuerza muscular, los métodos robóticos funcionaron igual que técnicas manuales. Limitación: Solo validaron a corto plazo.
Kim <i>et al.</i> , (2019)	36 pacientes / omalgia post-ictus.	Estudio clínico controlado	Presentan prototipo para movilización y estiramiento del hombro en supino. 2 grupos con terapia convencional. En grupo experimental adicionaron robótica. Duración: 30 minutos / 5 veces por semana/ 4 semanas. Seguimiento (Follow-up) a las 4 semanas.	Significación para el dolor en abducción pasiva y en Cuestionario de discapacidad del hombro.
Frisoli <i>et al.</i> , (2022)	26 pacientes crónicos post- ictus.	Estudio clínico controlado.	2 grupos: Intervención: Robótica. Control: terapia convencional. Duración: 45 minutos por sesión / 3 semanas.	Mejoría clínica y funcional en ambos grupos ($p < 0.01$). Robótica: Porción proximal del Fugl-Meyer (FMA) ($p < 0.05$) y reducción del tiempo para cumplir tareas del Test de Actividad Bimanual (BAT) ($p < 0.01$), escala diseñada para evaluar funcionalidad.
Carpinella <i>et al.</i> (2020)	40 pacientes post-ictus.	Estudio piloto.	2 grupos: (20 pacientes por grupo) 1er Grupo: Robótica. Control: terapia convencional. Duración: 20 sesiones de 45 minutos / 5 veces por semana.	La rehabilitación planar robótica intensiva dirigida al hombro y codo fue más eficaz que la fisioterapia. Mejorías en ambos grupos excepto el tono muscular proximal que decreció más con robótica (Cohen's $d = -0.83$, $p = 0.018$).

Takebayashi <i>et al.</i> , (2022)	120 pacientes crónicos post- ictus	Estudio clínico controlado.	3 grupos: 1ero: 20 minutos de terapia ocupacional / 40 minutos de auto entrenamiento. 2do: 20 minutos de terapia estándar y 40 minutos de robótica. 3ero: 40 minutos de robótica y 20 minutos de terapia de movimiento inducido por restricciones (CIMT). Duración: 3 veces por semana / 10 semanas	El efecto favorable de la interacción con la CIMT podría complementar la terapia robótica.
Bhagat <i>et al.</i> , (2020)	10 pacientes crónicos post- ictus.	Estudio piloto.	Evalúa eficacia longitudinal de EEG-basado en la terapia interfaz cerebro - computadora (BMI/BCI) - exoesqueleto. Duración:12 sesiones (3 veces por semana / 4 semanas) 132 ± 22 repeticiones por sesión. Seguimiento a los 2 meses.	Identifica biomarcadores para predecir recuperación motora. Limitaciones: Pequeño tamaño muestral. Sin control. Emplearon control BMI unidimensional.
Righi <i>et al.</i> , (2021)	5 pacientes crónicos post ictus / paresia del brazo derecho.	Estudio piloto.	Presentan prototipo pasivo Track-Hold para rehabilitación neuromotora con software integrado. El protocolo con realidad virtual (exergaming) favorece reaprendizaje motor. Duración:4 Semanas.	Aumentó ROM, precisión y velocidad de movimientos, reducción del temblor. Limitaciones: Sin control.

J. Chen <i>et al.</i> , (2020)	15 pacientes crónicos post ictus	Estudio piloto.	Grupo: Robótica (HEXORR II), con asistencia para extensión de dedos y pulgar adaptada al rendimiento de la tarea, usaron video juegos. Duración: 12 - 24 sesiones.	Mejora significativa en 3 puntos temporales del Fugl-Meyer, decreció hipertonía flexora (Ashworth). No mejoría significativa de extensión durante alcance prensión; sin cambios funcionales (Action Research Arm Test). Seguimiento (Follow-up) a los 6 meses sin cambios significativos entre grupos.
E. Y. Chia <i>et al.</i> , (2020)	3 sanos.	Estudio piloto.	Proponen Sistema de control para exosqueleto. Duración Sin precisar.	Requiere validación clínica.
Georgarakis <i>et al.</i> , (2022)	4 pacientes post ictus sin deterioro / 1 hemiparesia.	Estudio piloto.	2 grupos: Intervención: Ortesis para el hombro. Control: Ortesis combinada con exosqueleto.	Presentan ortesis textil combinada con robot de asistencia y terapia en el patrón de ritmo escapulo humeral del hombro.
Alguacil-Diego <i>et al.</i> , (2021)	7 sanos.	Estudio piloto.	Evaluaron exoesqueleto híbrido pasivo (ExoFlex) en afecciones musculoesqueléticas del hombro.	
		Preliminar aceptación y usabilidad por pacientes y médicos. System Usability Scale Questionnaire (SUS) (80.71). Sin control.		
Wu <i>et al.</i> , (2021)	48 pacientes / capsulitis adhesiva.	Estudio clínico controlado.	Evalúa eficacia de prototipo. 2 grupos (24 pacientes cada uno). Intervención: Robótica más 30 minutos de terapia regular. Control: Terapia regular. Duración: 3 veces por semana / 8 semanas.	ROM comparado con el control mejoró: flexión (11%), abducción (25%), rotación externa (24%) e interna (41%) y dolor (34%).
Garlet <i>et al.</i> , (2022)	44 pacientes post-ictus subagudo.	Ensayo clínico controlado.	2 grupos (22 pacientes cada uno): Intervención: Robótica. Control: Terapia convencional. Duración: 3 veces por semana / 18 sesiones.	Basada en la resistencia del entrenamiento en sanos (protocolos cortos) contribuye a la adaptación neural e incremento de fibras musculares. Robótica: Fugl-Meyer con mejores resultados.

Z.-J. Chen <i>et al.</i> , (2021)	20 pacientes post-ictus / negligencia espacial unilateral.	Estudio piloto.	2 grupos: Intervención: robótica asistida. Duración: 45 minutos 5 días por semana / 4 semanas.	Robótica: Efectividad en síntomas ($p=0.04$), recuperación motora ($p=0.01$), participación social ($p=0.01$). Sin generalizar mejoría en actividades de la vida diaria.
Righi <i>et al.</i> , (2022)	4 pacientes crónicos post ictus (paresia brazo derecho, incoordinación, apraxia motora).	Estudio piloto.	Protocolo de rehabilitación motora y cognitiva con robótica asistida (Track-Hold System con soporte gravitacional), dificultad progresiva.	Recuperación progresiva de fuerza, funcionalidad. Sin control.
Gallagher <i>et al.</i> , (2022)	16 pacientes post ictus	Estudio de sondeo	Analizaron mediciones cinemáticas realizadas junto a la terapia robótica comparadas con escalas clínicas. Evaluó eficacia en el domicilio. Duración: 8 semanas. Seguimiento (Follow-up) a las 4 semanas.	Mejoría estadística que se correlacionó con la evaluación clínica. Limitaciones: Resultados preliminares. Sin control.
Sagaro Zamora <i>et al.</i> , (2023)	16 pacientes / omalgia post- ictus.	Estudio piloto.	2 grupos (8 pacientes cada uno): Intervención: Robótica. Control: TENS. Duración: 1 hora / 3 meses.	Efectividad de ambos tratamientos. Robótica: mayores alcances ($p < 0.05$) para dolor, espasticidad, ROM y satisfacción.

Aunque algunas de las directrices actuales sobre el ictus recomiendan a la robótica como complemento de la terapia convencional (Aprile *et al.*, 2020), recientes metaanálisis no han esclarecido si la diferencia entre la robótica y otras intervenciones (como la terapia convencional) es clínicamente significativa. Otros (Takebayashi *et al.*, 2022) aseveran que estas dudas se justifican por los resultados dispares obtenidos en revisiones sistemáticas y metaanálisis. Mientras, (Qassim & Wan Hasan, 2020) indican que probar la eficiencia con más precisión requiere estudios clínicos basados en mecanismos de control.

DISCUSIÓN

El entrenamiento robótico puede ser ventajoso cuando se compara con los programas tradicionales como resultado de medidas objetivas (velocidad, rango y control del movimiento, posición, y otros), que evalúan y monitorean la evolución del paciente. Además, por su consistencia y reproducibilidad, propician realizar ensayos clínicos controlados multicéntricos (Terranova *et al.*, 2021).

Las evidencias también sugieren que el movimiento pasivo aplicado con exoesqueletos se utiliza con éxito en la rehabilitación motora, al activar el sistema sensoriomotor a través de la transmisión de la información propioceptiva, no solo sensorial, sino también a la corteza motora (Lin *et al.*, 2021).

Los programas de rehabilitación con plataformas robóticas pueden diseñarse para estimular la plasticidad de las vías implicadas en la recuperación de las capacidades motrices.

En este sentido en el ictus se ha observado un claro efecto cuantificable y este enfoque se ha convertido en un estándar tanto para la rehabilitación con fisioterapia clásica como asistida por robots con la consecuente recuperación de la función y cambios en la reorganización cortical acorde a la neuroplasticidad residual (Major *et al.*, 2020). La intensidad de la práctica, el grado de participación y el entrenamiento orientado a tareas afectan positivamente los cambios neuroplásticos (Frisoli *et al.*, 2022).

Estudios previos han comparado los resultados de la terapia robótica y la terapia física clásica (Carpinella *et al.*, 2020; Dehem *et al.*, 2019; Major *et al.*, 2021). Se especifican tres enfoques principales para comparar los efectos en la recuperación motora del miembro superior: la adición de la terapia robótica a la terapia convencional; la completa sustitución de la terapia regular con la terapia robótica y el uso de programas de entrenamiento combinado que integren ambas terapias (Budhota *et al.*, 2021).

(Frisoli *et al.*, 2022) aseguran que analizar los biomarcadores robóticos puede usarse para controlar el proceso de recuperación e investigar la relación con los resultados clínicos primarios. Los biomarcadores neurofisiológicos, de neuroimagen junto a los robóticos, pueden ser instrumentos clínicos valiosos para determinar el efecto de la rehabilitación por ser completamente objetivos en capturar la calidad del movimiento como índice del progreso de recuperación. (Bhagat *et al.*, 2020) plantearon que, a pesar de los prometedores hallazgos, la evidencia de los cambios corticales tras la neurorrehabilitación sigue sin demostrarse, y el biomarcador o correlación neuronal que pueda predecir la extensión de la recuperación motora sigue siendo esquivo.

(Zhang *et al.*, 2022) consideran crucial explorar tendencias emergentes e identificar los avances en investigación robótica en rehabilitación, pues los datos científicos disponibles no son concluyentes en cuanto a su eficacia. En algunos estudios no se encontraron evidencias de un efecto global significativo a su favor. Sin embargo, (Dalla Gasperina *et al.*, 2021) manifestaron que la eficacia si ha sido soportada con algunos ensayos controlados aleatorizados, aun cuando los son resultados debatibles. En esta dirección aun cuando otros trabajos mostraron un mayor efecto de la robótica, los resultados deben ser interpretados con cautela, debido a la baja o muy baja calidad de la evidencia o por las variaciones del entrenamiento en intensidad, duración, cantidad, tipo de tratamiento, características de participantes, y medidas usadas (Aprile *et al.*, 2020).

Otro aspecto significativo está relacionado con el tamaño de las muestras. Algunos estudios piloto presentan tamaños muestrales reducidos (Alguacil-Diego *et al.*, 2021; Bhagat *et al.*, 2020; C. He *et al.*, 2021; E. -Y. Chia *et al.*, 2020; Georgarakis *et al.*, 2022; Righi *et al.*, 2021, 2022) o se realizan en sujetos sanos los cuales mayormente arrojan parámetros de diseño y control de los dispositivos y no su habilidad de desempeño en un ambiente clínico (Alguacil-Diego *et al.*, 2021; E. Y. Chia *et al.*, 2020).

Las aplicaciones potenciales en el hombro pueden abarcar a entidades ortopédicas (inestabilidad, conservación, postoperatorias, postraumáticas, rigidez, artroplastia, lesiones del manguito rotador, roturas tendinosas o musculares de los pectorales o deltoides mayor) y neurológicas (parálisis y paresia, post-ictus, lesiones cerebrales postraumáticas y de nervios periféricos, enfermedades degenerativas, distrofias musculares) (Chinmay & Pratik, 2022; Hussein Mohammed Al-Almoody *et al.*, 2021).

Las investigaciones concernientes al tratamiento de trastornos musculoesqueléticos son escasas, pero una terapia temprana y constante puede mejorar significativamente la movilidad del hombro a largo plazo (Alguacil-Diego *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2021). De hecho, en la última década, muchos exoesqueletos para rehabilitar el hombro han sido presentados y se

han desarrollado un gran número de ortesis robóticas, con amplios esfuerzos de investigación dedicados al avance en el diseño mecánico y estrategias de control (Aibek Niyetkaliyev, 2024; Buccelli et al., 2022; Chinmay & Pratik, 2022). La mayor relevancia de los trabajos está en el hombro doloroso hemipléjico (HDH) (Georgarakis *et al.*, 2022; Kim *et al.*, 2019; Sagaro Zamora *et al.*, 2023; Serrezuela *et al.*, 2020), y en menor medida en la capsulitis adhesiva (CA) (Wu *et al.*, 2021).

La máquina pasiva continua (CPM) facilita eliminar la rigidez articular tras cirugía y conduce a una recuperación más rápida y eficaz del codo (Hussein Mohammed Al-Almoodi et al., 2021). La recuperación de la mano es a menudo resistente a la terapia convencional, esto ha conducido a estrategias de compensación; la robótica permite la práctica del movimiento en esta estructura anatómica (J. Chen *et al.*, 2020).

La mayoría de estos dispositivos han sido desarrollados para tratar un problema de salud más acuciante, como las secuelas post-ictus, pero su versatilidad, podría ser beneficiosa para la rehabilitación de otras entidades (Hernández Zayas, Marcia, 2024). Las contribuciones en este sentido resultan insuficientes pues las potencialidades del entrenamiento robótico ofrecen nuevas posibilidades en la rehabilitación del miembro superior.

Cuba y la robótica médica como tecnología de apoyo a la discapacidad

La atención a la discapacidad en Cuba responde al carácter humanista e inclusivo de la Revolución Cubana. El desarrollo de tecnologías de apoyo a la discapacidad y en particular la robótica médica (precedida de una aureola de tecnología de alto costo), están muy limitadas por las barreras objetivas que enfrenta el país como los problemas económicos. La utilización de la tecnología robótica pese a su gran potencial es muy pobre, aunque desde los años 80 se comenzó a trabajar en la automatización de procesos, la automática y la robótica. En el año 2019 la II Convención Científica Internacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad, concluyó que: la robótica está caracterizada por un «pobre impacto en el sector productivo, la salud y la calidad de vida». En la actualidad, la nación busca crear entornos de aprendizajes multidisciplinarios e impulsa esta rama, identificando sectores que pueden asimilar los cambios con mucha más rapidez, como la salud (Robótica y automática en la escuela cubana, 2020).

La robótica médica es un proceder altamente especializado, con escaso nivel de aplicación en nuestro medio resultado de una práctica, aseguramiento, comprensión y aceptación aun insuficientes. Las limitaciones para su implementación y adopción generalizada en la práctica clínica actual están condicionadas por contradicciones sociales, económicas y tecnológicas que han dado lugar a contradicciones epistemológicas, a destacar:

- Envejecimiento demográfico acelerado con requerimientos especiales y comorbilidad asociada.

- Voluntad política y sistema de atención a la discapacidad, bien concebido, a la que se destinan importantes recursos, pero se requiere de un soporte económico difícil en la actual coyuntura.

- Insuficientes conocimientos teóricos y prácticos sobre la robótica condicionan una resistencia al cambio.

- Existe una distancia científica y tecnológica de las tendencias mundiales para su uso.

- Las principales universidades tecnológicas del país, centros de investigación afines y dependencias técnicas de los centros asistenciales cuentan con personal muy calificado que debe incrementar su relación, desde la ciencia, con el desarrollo de tecnologías de rehabilitación de mayor eficacia. Aunque pocos, se experimentan nuevos equipos como prótesis y exoesqueletos, más económicos, y tempranamente amortizables.

- Escasas posibilidades infraestructurales para desarrollar el proceso, que se asocian a limitaciones materiales y de recursos a nivel social y de las instituciones.

Es necesario integrar los procesos de Ciencia e Innovación Tecnológica (Bermúdez, 2022) para incorporar tecnología innovadora en apoyo a la discapacidad y la rehabilitación. La puesta en marcha de proyectos es impulsada por el Grupo Nacional para el Desarrollo de la Robótica (Robótica y automática en la escuela cubana, 2020). El Ministerio de Salud Pública (MINSAP) ha establecido como prioridad el Programa Nacional de Automática, Robótica e Inteligencia Artificial (ARIA); mientras, la Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial de la Universidad de Oriente, ha incorporado el prototipo 4 GDL (Grados de libertad) al Hospital General “Dr. Juan Bruno Zayas Alfonso” como red conexas, con enfoque multi e interdisciplinario (Sagaro Zamora *et al.*, 2023; Serrezuela *et al.*, 2020).

Para acelerar la aceptación e integración de la robótica en la práctica clínica estándar a largo plazo es recomendable:

- Ejecutar estudios clínicos con rigurosos sistemas de valoración y análisis estadísticos que incluyan el seguimiento (Follow-Up) para evaluar la manutención de las mejoras clínicas.

-Con arreglo a las regulaciones para introducir nuevos medicamentos, equipos y tecnología proceder a tramitar el registro médico ante la autoridad competente.

En los artículos de revisión sobre rehabilitación robótica se ofrece una visión general de toda el área de investigación y la relación entre los diferentes campos por su naturaleza multidisciplinaria. Las investigaciones adicionales representan un reto pues incluyen teorías y tecnologías como la ingeniería y medicina de rehabilitación, neuro ingeniería, biomecánica y mecánica, ingeniería de control y la informática (Zhang *et al.*, 2022) que permitirían explicar los procesos y fenómenos en su interrelación desde el punto de vista epistemológico, revelar novedosos aportes, concepciones, teorías o profundizar en las ya existentes, mejorar la efectividad del tratamiento, superar las insuficiencias presentes y adecuar los actuales procedimientos de rehabilitación .

CONCLUSIONES

El La terapia robótica indiscutiblemente presenta ventajas inobjetables sobre la terapia convencional como son la reproductibilidad de los movimientos, su repetibilidad y su precisión lo que la hace particularmente efectiva en el tratamiento del dolor. Como tecnología de rehabilitación humaniza el trabajo del personal, evita el agotamiento del personal de fisioterapia y mejora por tanto la calidad del servicio.

La tecnología disponible con exoesqueletos de rehabilitación es una promisoriosa estrategia de tratamiento con el potencial de proporcionar un entrenamiento efectivo, individualizado, preciso, cuantificable, adaptativo, progresivo, y gradualmente controlado. Aun cuando su desarrollo está muy ligado a las enfermedades cerebrovasculares de amplio predominio a nivel mundial su aplicación en el tratamiento de otras patologías asociadas al sistema osteomuscular y el tratamiento de fracturas como lo demuestra la experiencia cubana. Pese a su versatilidad, las contribuciones del entrenamiento robótico en la rehabilitación del miembro superior a nivel global resultan insuficientes, se requieren estudios para dar continuidad a su validación e incrementar las evidencias que pongan de manifiesto la relevancia de sus potencialidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aibek Niyetkaliyev. (2024). Robot Assisted Shoulder Rehabilitation: Biomechanical Modelling, Design and Performance Evaluation [Data set]. https://ro.uow.edu.au/articles/thesis/Robot_Assisted_
e-ISSN 1810-5882

Alguacil-Diego, I.-M., Cuesta-Gómez, A., Contreras-González, A.-F., Pont-Esteban, D., Cantalejo-Escobar, D., Sánchez-Urán, M. Á., & Ferre, M. (2021). Validation of a Hybrid Exoskeleton for Upper Limb Rehabilitation. A Preliminary Study. *Sensors*, 21(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/s21217342>

Aprile, I., Germanotta, M., Cruciani, A., Loreti, S., Pecchioli, C., Cecchi, F., Montesano, A., Galeri, S., Diverio, M., Falsini, C., Speranza, G., Langone, E., Papadopoulou, D., Padua, L., & Carrozza, M. C. (2020). Upper Limb Robotic Rehabilitation After Stroke: A Multicenter, Randomized Clinical Trial. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 44(1). https://journals.lww.com/jnpt/fulltext/2020/01000/upper_limb_robotic_rehabilitation_after_stroke__a.2.aspx

Bermúdez, M. D.-C. (2022). Gestión de Gobierno basada en ciencia e innovación: avances y desafíos. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 12(2), 1235.

Bhagat, N., Yozbatiran, N., Sullivan, J. L., Paranjape, R., Losey, C., Hernandez, Z., Keser, Z., Grossman, R., Francisco, G., O'Malley, M. K., & Contreras-Vidal, J. (2020). A clinical trial to study changes in neural activity and motor recovery following brain-machine interface enabled robot-assisted stroke rehabilitation. *medRxiv*, 2020.04.26.20077529. <https://doi.org/10.1101/2020.04.26.20077529>

Buccelli, S., Tessari, F., Fanin, F., De Guglielmo, L., Capitta, G., Piezzo, C., Bruschi, A., Van Son, F., Scarpetta, S., Succi, A., Rossi, P., Maludrottu, S., Barresi, G., Creatini, I., Taglione, E., Laffranchi, M., & De Michieli, L. (2022). A Gravity-Compensated Upper-Limb Exoskeleton for Functional Rehabilitation of the Shoulder Complex. *Applied Sciences*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/app12073364>

Budhota, A., Chua, K. S. G., Hussain, A., Kager, S., Cherpin, A., Contu, S., Vishwanath, D., Kuah, C. W. K., Ng, C. Y., Yam, L. H. L., Loh, Y. J., Rajeswaran, D. K., Xiang, L., Burdet, E., & Campolo, D. (2021). Robotic Assisted Upper Limb Training Post Stroke: A Randomized Control Trial Using Combinatory Approach Toward Reducing Workforce Demands. *Frontiers in Neurology*, 12. <https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2021.622014>

C. He, C. -H. Xiong, Z. -J. Chen, W. Fan, X. -L. Huang, & C. Fu. (2021). Preliminary Assessment of a Postural Synergy-Based Exoskeleton for Post-Stroke Upper Limb Rehabilitation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 29, 1795–1805. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2021.3107376>

Carpinella, I., Lencioni, T., Bowman, T., Bertoni, R., Turolla, A., Ferrarin, M., & Jonsdottir, J. (2020). Effects of robot therapy on upper body kinematics and arm function in persons post stroke: a pilot randomized controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 17(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-0646-1>

Chen, J., Black, I., Nichols, D., Chen, T., Sandison, M., Casas, R., & Lum, P. (2020). Clinical Trial of HEXORR II for Robotic Hand Movement Therapy After Stroke. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-74894/v1>

Chen, Z., Wang, C., Fan, W., Gu, M., Yasin, G., Xiao, S., Huang, J., & Huang, X. (2020). Robot-Assisted Arm Training versus Therapist-Mediated Training after Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Healthcare Engineering*, 2020(1), 8810867. <https://doi.org/10.1155/2020/8810867>

Chen, Z.-J., Gu, M.-H., He, C., Xiong, C.-H., Xu, J., & Huang, X.-L. (2021). Robot-Assisted Arm Training in Stroke Individuals With Unilateral Spatial Neglect: A Pilot Study. *Frontiers in Neurology*, 12. <https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2021.691444>

Chinmay, B., & Pratik, P. (2022). Robotic and sensor technology for frozen shoulder Rehabilitation. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 2970–2974. <https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.S06.394>

Dalla Gasperina, S., Roveda, L., Pedrocchi, A., Braghin, F., & Gandolla, M. (2021). Review on Patient-Cooperative Control Strategies for Upper-Limb Rehabilitation Exoskeletons. *Frontiers in Robotics and AI*, 8. <https://www.frontiersin.org/journals/robotics-and-ai/articles/10.3389/frobt.2021.745018>

Dehem, S., Gilliaux, M., Stoquart, G., Detrembleur, C., Jacquemin, G., Palumbo, S., Frederick, A., & Lejeune, T. (2019). Effectiveness of upper-limb robotic-assisted therapy in the early rehabilitation phase after stroke: A single-blind, randomised, controlled trial. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 62(5), 313–320. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2019.04.002>

E. -Y. Chia, Y. -L. Chen, T. -C. Chien, M. -L. Chiang, L. -C. Fu, J. -S. Lai, & L. Lu. (2020). Velocity Field based Active-Assistive Control for Upper Limb Rehabilitation Exoskeleton Robot. 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 1742–1748. <https://doi.org/10.1109/ICRA40945.2020.9196766>

Frisoli, A., Barsotti, M., Sotgiu, E., Lamola, G., Procopio, C., & Chisari, C. (2022). A randomized clinical control study on the efficacy of three-dimensional upper limb robotic exoskeleton training in chronic stroke. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 19(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-00991-y>

Gallagher, J. F., Sivan, M., & Levesley, M. (2022). Making Best Use of Home-Based Rehabilitation Robots. *Applied Sciences*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/app12041996>

García Tapia*, R. (2020). Influencia de la posición del terapeuta durante el aprendizaje motor por observación de la acción. Estudio piloto: Influence of the therapist's position during motor learning by observing the action. Pilot study. *Revista Terapia Ocupacional Galicia*, 17(1), 18–25.

Garlet, A. B., Plentz, R. D. M., Blauth, A. H. E. G., Righi, T. T., Righi, N. C., & Schardong, J. (2022). Reabilitação robótica em pacientes com AVC: protocolo de ensaio clínico randomizado. *Fisioterapia e Pesquisa*, 28, 483–490. <https://doi.org/10.1590/1809-2950/21020028042021>

Georgarakis, A.-M., Zimmermann, Y., Wolf, P., Hutter, M., & Riener, R. (2022). Supporting and Stabilizing the Scapulohumeral Rhythm with a Body- or Robot-Powered Orthosis. *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, 4(3), 729–743. <https://doi.org/10.1109/TMRB.2022.3176728>

Hamaya, M., Matsubara, T., Noda, T., Teramae, T., & Morimoto, J. (2017). Learning assistive strategies for exoskeleton robots from user-robot physical interaction. *User Profiling and Behavior Adaptation for Human-Robot Interaction*, 99, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2017.04.007>

Hernández Zayas, M., Bonzon Regalado, J., Montoya Pedrón, A. y Sagaró Zamora, R. (2024). Capsulitis adhesiva del hombro: Aspectos clínicos y rehabilitadores. *Arrancada*, 24(2), 358-371. <https://arrancada.cuaje.edu.cu>

Hussein Mohammed Al-Almoody, H., Zainul Azlan, N., Shahdad, I., & Kamarudzaman, N. (2021). Continuous Passive Motion Machine for Elbow Rehabilitation. *International Journal of Robotics and Control Systems*; Vol 1, No 3 (2021). <https://doi.org/10.31763/ijrcs.v1i3.446>

Keeling, A. B., Piitz, M., Semrau, J. A., Hill, M. D., Scott, S. H., & Dukelow, S. P. (2021). Robot enhanced stroke therapy optimizes rehabilitation (RESTORE): a pilot study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 18(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00804-8>

Kim, M.-S., Kim, S. H., Noh, S.-E., Bang, H. J., & Lee, K.-M. (2019). Robotic-Assisted Shoulder Rehabilitation Therapy Effectively Improved Poststroke Hemiplegic Shoulder Pain: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 100(6), 1015–1022. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.02.003>

Lauretti, C., Cordella, F., Ciancio, A. L., Trigili, E., Catalan, J. M., Badesa, F. J., Crea, S., Pagliara, S. M., Sterzi, S., Vitiello, N., Garcia Aracil, N., & Zollo, L. (2018). Learning by Demonstration for

Motion Planning of Upper-Limb Exoskeletons. *Frontiers in Neurorobotics*, 12. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2018.00005>

Lin, Y., Qu, Q., Lin, Y., He, J., Zhang, Q., Wang, C., Jiang, Z., Guo, F., & Jia, J. (2021). Customizing Robot-Assisted Passive Neurorehabilitation Exercise Based on Teaching Training Mechanism. *BioMed Research International*, 2021(1), 9972560. <https://doi.org/10.1155/2021/9972560>

Major, Z. Z., Vaida, C., Major, K. A., Tucan, P., Brusturean, E., Gherman, B., Birlescu, I., Craciunaș, R., Ulinici, I., Simori, G., Banica, A., Pop, N., Burz, A., Carbone, G., & Pisla, D. (2021). Comparative Assessment of Robotic versus Classical Physical Therapy Using Muscle Strength and Ranges of Motion Testing in Neurological Diseases. *Journal of Personalized Medicine*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/jpm11100953>

Major, Z. Z., Vaida, C., Major, K. A., Tucan, P., Simori, G., Banica, A., Brusturean, E., Burz, A., Craciunas, R., Ulinici, I., Carbone, G., Gherman, B., Birlescu, I., & Pisla, D. (2020). The Impact of Robotic Rehabilitation on the Motor System in Neurological Diseases. A Multimodal Neurophysiological Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph17186557>

Nguiadem, C., Raison, M., & Achiche, S. (2020). Motion Planning of Upper-Limb Exoskeleton Robots: A Review. *Applied Sciences*, 10(21). <https://doi.org/10.3390/app10217626>

Oña, E. D., Garcia-Haro, J. M., Jardón, A., & Balaguer, C. (2019). Robotics in Health Care: Perspectives of Robot-Aided Interventions in Clinical Practice for Rehabilitation of Upper Limbs. *Applied Sciences*, 9(13). <https://doi.org/10.3390/app9132586>

Palazzi, E., Luzzi, L., Dimo, E., Meneghetti, M., Vicario, R., Luzia, R. F., Vertechy, R., & Calanca, A. (2022). An Affordable Upper-Limb Exoskeleton Concept for Rehabilitation Applications. *Technologies*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/technologies10010022>

Qassim, H. M., & Wan Hasan, W. Z. (2020). A Review on Upper Limb Rehabilitation Robots. *Applied Sciences*, 10(19). <https://doi.org/10.3390/app10196976>

Righi, M., Magrini, M., Dolciotti, C., & Moroni, D. (2021). A System for Neuromotor Based Rehabilitation on a Passive Robotic Aid. *Sensors*, 21(9). <https://doi.org/10.3390/s21093130>

Righi, M., Magrini, M., Dolciotti, C., & Moroni, D. (2022). A Case Study of Upper Limb Robotic-Assisted Therapy Using the Track-Hold Device. *Sensors*, 22(3). <https://doi.org/10.3390/s22031009>

Robótica y automática en la escuela cubana. (2020, February 17). Cuba Si. <http://www.cubasi.cu/es/cubasi-noticias-cuba-mundo-ultima-hora/item/104599-robotica-y-automatica-en-la-escuela-cubana>

Sagaro Zamora, R. M., Zayas, Hernández, S., Marcia, Quezada, M., & Bonzon Regalado, J. (2023). Robotic Therapy and Transcutaneous Electrical Stimulation in the Painful Shoulder Treatment of Hemiplegic Patients. *Revista Cubana de Medicina*; Vol. 62, No. 2 (2023): Abril-Junio, 62, e3125.

Serrezuela, R. R., Quezada, M. T., Zayas, M. H., Pedrón, A. M., Herмосilla, D. M., & Zamora, R. S. (2020). Robotic therapy for the hemiplegic shoulder pain: a pilot study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 17(1), 54. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00674-6>

Takebayashi, T., Takahashi, K., Okita, Y., Kubo, H., Hachisuka, K., & Domen, K. (2022). Impact of the robotic-assistance level on upper extremity function in stroke patients receiving adjunct robotic rehabilitation: sub-analysis of a randomized clinical trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 19(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-00986-9>

Terranova, T. T., Simis, M., Santos, A. C. A., Alfieri, F. M., Imamura, M., Fregni, F., & Battistella, L. R. (2021). Robot-Assisted Therapy and Constraint-Induced Movement Therapy for Motor Recovery in Stroke: Results From a Randomized Clinical Trial. *Frontiers in Neurorobotics*, 15. <https://www>

frontiersin.org/journals/neurorobotics/articles/10.3389/fnbot.2021.684019

Veerbeek, J. M., Langbroek-Amersfoort, A. C., van Wegen, E. E. H., Meskers, C. G. M., & Kwakkel, G. (2017). Effects of Robot-Assisted Therapy for the Upper Limb After Stroke: A Systematic Review and Meta-analysis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 31(2), 107–121. <https://doi.org/10.1177/1545968316666957>

Wu, C.-J., Ting, H., Lin, C.-C., Chen, Y.-C., Chao, M.-C., & Lee, S.-D. (2021). Efficacy of Joint Mobilization Apparatus in Treating Frozen Shoulder. *Applied Sciences*, 11(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/app11094184>

Zhang, Y., Liu, X., Qiao, X., & Fan, Y. (2022). Trending Topics in Research on Rehabilitation Robots during the Last Two Decades: A Bibliometric Analysis. *Machines*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/machines10111061>

CONFLICTO DE INTERESES

El o los autores declaran que la presente investigación y su redacción no responde a ningún conflicto de interés y que es un artículo inédito.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: Marcia Sandra Hernández Zayas, Roberto Sagaró Zamora, Mauricio Torres Quesada.

Curación de datos: Roberto Sagaró Zamora, Jorge Bonzon Regalado, Marcia Sandra Hernández Zayas.

Análisis formal: Roberto Sagaró Zamora, Jorge Bonzon Regalado, Marcia Sandra Hernández Zayas.