UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA

Facultad de Ciencias de la Salud

Grado en Fisioterapia

Trabajo Fin de Grado

Curso 2025-2026

INTERVENCIONES TECNOLÓGICAS PARA EL ENTRENAMIENTO DE LA MARCHA EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL INFANTIL. EFECTOS EN LA FUNCIÓN MOTORA, LA PARTICIPACIÓN Y LA DINÁMICA FAMILIAR.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Autora

Célia d'EMMEREZ de CHARMOY

Tutora

Ana Maria MARTINEZ ALCAINA

Valencia, 2026

UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA

Facultad de Ciencias de la Salud

Grado en Fisioterapia

Trabajo Fin de Grado

Curso 2025-2026

INTERVENCIONES TECNOLÓGICAS PARA EL ENTRENAMIENTO DE LA MARCHA EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL INFANTIL. EFECTOS EN LA FUNCIÓN MOTORA, LA PARTICIPACIÓN Y LA DINÁMICA FAMILIAR.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

TRABAJO FINAL DE GRADO PRESENTADO POR:

Célia d'EMMEREZ de CHARMOY

TUTORA DEL TRABAJO:

Ana Maria MARTINEZ ALCAINA

Valencia, 2026

Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi gratitud hacia mi tutora, Ana Martínez. Gracias infinitamente por el acompañamiento atento y cercano, por su disponibilidad y sus valiosos consejos. No solo para este Trabajo de Fin de Grado, sino también durante este último año de especialidad en pediatría. Gracias por haberme permitido terminar mis estudios con serenidad, motivación y las ganas de poner en práctica estos aprendizajes junto a los niños.

También quiero agradecer a mis padres de todo corazón, por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi formación. Gracias por haberme dado la oportunidad de seguir una formación exigente, por haber creído en mí incluso en los momentos difíciles, por encontrar siempre soluciones cuando yo no veo ninguna y por estar siempre presentes en todas las etapas de mi vida. Gracias por todo.

Agradezco a mi hermana que a su manera me aporta apoyo, ligereza y muchas risas.

Agradezco también a mis amigas más cercanas, presentes desde el principio, siempre ahí para animarme, escucharme y tranquilizarme. Una enorme gracia.

Por último, agradezco a los miembros del jurado y a la Universidad Europea de Valencia por tomarse el tiempo de leer y evaluar este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

RESUMEN. **1**
ABSTRACT **2**
1. INTRODUCCIÓN. **3**
2. ¿QUÉ ES LA PARÁLISIS CEREBRAL INFANTIL? **3**
2.1 Clasificación. **4**
2.2 Las manifestaciones. **5**
2.3 Diagnóstico **5**
2.3.1 Según la función motriz. *5*
2.3.2 Según el equilibrio. *6*
2.3.3 Según la marcha. *6*
2.4 La marcha. **7**
2.5 ¿Qué son las intervenciones tecnológicas? **7**
2.6 El lugar de cada uno en la relación de cuidado. **8**
2.6.1 El lugar del niño y su participación. *8*
2.6.2 El papel de los padres y el impacto en la dinámica familiar. *9*
2.6.3 El papel del fisioterapeuta. *10*
3. JUSTIFICACIÓN. **10**
4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS **11**
5. MATERIALES Y METODOS. **11**
5.1 Estrategias de búsqueda - Parte 1. ..... **11**
5.1.1 Descripción de la pregunta PICO. *12*
5.1.2 Criterios de inclusión y exclusión. *12*
5.1.3 Diagrama de flujo PRISMA. *13*
5.1.4 Búsqueda Bibliográfica en Pubmed. *13*
5.1.5 Búsqueda Bibliográfica en Scopus. *13*
5.1.6 Escala PEDro. *13*
5.1.7 Resultado final de la búsqueda bibliográfica. *14*
5.2 Estrategias de búsqueda - Parte 2 ..... **14**
5.2.1 Escala PEDro. *14*
5.2.2 Resultado final de la búsqueda bibliográfica. *14*
6. RESULTADOS. **14**
6.1 Características generales de los estudios. **14**
6.2 Resultados sobre la función motora. **18**
6.3 Resultados sobre el equilibrio. **19**

6.4 Resultados sobre la fuerza. 19

6.5 Resultados sobre la marcha. 20

6.6 Resultados sobre la participación y la dinámica familiar. 20

7. DISCUSIÓN. 21

7.1 Discusión sobre la función motora (GMFM). 22

7.2 Discusión sobre el equilibrio (PBS). 26

7.3 Discusión sobre la marcha (10MWT, 6MWT Y 2MWT). 27

7.4 Discusión sobre la participación y la dinámica familiar. 28

8. LIMITACIONES. 29

9. CONCLUSIONES. 30

10. BIBLIOGRAFIA. 31

11. ANEXOS. 33

Índice de tablas.

Tabla 1 Pregunta PICO. 12
Tabla 2: Características principales y resultados de los estudios incluidos. 15
Tabla 3 : Comparación del cambio pre-post en la puntuación GMFM entre el grupo convencional y el grupo experimental**.** 22
Tabla 4 : Comparación del cambio pre-post en la dimensión D de la GMFM (bipedestación) entre el grupo convencional y el grupo experimental. 23
Tabla 5 : - Comparación del cambio pre-post en la dimensión E de la GMFM (marcha, carrera y salto) entre el grupo convencional y el grupo experimental. 23
Tabla 6 : Comparación del cambio pre-post en la puntuación PBS entre el grupo convencional y el grupo experimental. 26

Índice de anexos.

Anexo 1: Clasificación clínica y topográfica de la parálisis cerebral. 33
Anexo 2: Grados de la escala GMFCS. 33
Anexo 3: Esquema del test de marcha de 10 metros (10MWT). 33
Anexo 4: Diagrama de flujo PRISMA. Fuente = Elaboración propria. 34
Anexo 5: Tabla de búsqueda en Pubmed - Parte 1. 35
Anexo 6: Tabla de búsqueda en Scopus. 36
Anexo 7: Evaluación de la calidad metodológica de los estudios incluidos mediante la escala PEDro. 37
Anexo 8 : Escala PEDro. 39
Anexo 9: Artículos seleccionados para la revisión bibliográfica - Parte 1. 40
Anexo 10: Escala PEDro - Parte 2. 41
Anexo 11: Artículos seleccionados para la revisión bibliográfica - Parte 2 42
Anexo 12: Adaptado de Szturm et al. (2022). Representación del programa de entrenamiento basado en juegos de doble tarea, incluyendo la configuración del sistema, los estímulos visuales y el registro de las trayectorias de movimiento del jugador. 43
Anexo 13: Adaptado de Szturm et al. (2022). El gráfico muestra la evolución pre-post del grupo experimental (XG) y del grupo control (CG) en equilibrio, función motora gruesa y parámetros relacionados con el entrenamiento. 43
Anexo 14: Virtual treadmill training. Adaptado de Cho et al., 2016. 44
Anexo 15: Adaptado de Cho et al. (2016). Cambios pre-post en la función motora gruesa, el equilibrio y la marcha en el grupo de entrenamiento en cinta con realidad virtual (VRTT) y el grupo de entrenamiento en cinta convencional (TT). 44
Anexo 16: La configuración del sistema de hipoterapia robótica impulsado por cable. Adaptado de Wu et al., 2024. 45
Anexo 17: Adaptado de Wu et al. (2024). Resultados de las medidas clínicas y funcionales en los grupos robótico y convencional antes de la intervención, después de la intervención y en el seguimiento a las 8 semanas. 45
Anexo 18: Ilustraciones de los juegos de realidad virtual no inmersiva utilizados para la familiarización del niño con el entorno virtual, (a) Reflex Ridge; y durante el entrenamiento de la marcha, (b) Atletismo, (c) Salto de longitud; (d) Lanzamiento de dardos. 46
Anexo 19: Adaptado de Kim et al. (2021). Comparación de los cambios pre-post en la función motora gruesa y la competencia motora entre el grupo de rehabilitación pediátrica convencional (CPR) y el grupo de cuidados comunitarios centrados en la familia y el niño 47
Anexo 20: Póster de sensibilización destinado a las clínicas de fisioterapia pediátrica, que ilustra las principales intervenciones tecnológicas abordadas en este trabajo y su interés para el niño y su familia. 47

Índice de abreviaturas.

2MWT: 2 Minute Walk Test, prueba de marcha de 2 minutos.

6MWT: 6 Minute Walk Test, prueba de marcha de 6 minutos.

10MWT: 10 Meter Walk Test, prueba de marcha de 10 metros.

COP: Centro de presión.

GMFCS: Gross Motor Function Classification System, sistema de clasificación de la función motora gruesa.

GMFM: Gross Motor Function Measure, escala de medición de la función motora gruesa.

GMFM-66: Versión de 66 ítems de la Gross Motor Function Measure, utilizada para cuantificar los cambios en la función motora gruesa.

GMFM-88: Versión de 88 ítems de la Gross Motor Function Measure, utilizada para evaluar la función motora gruesa.

GMFM-D: Dimensión D de la Gross Motor Function Measure, correspondiente a las habilidades en bipedestación.

GMFM-E: Dimensión E de la Gross Motor Function Measure, correspondiente a las habilidades de marcha, carrera y salto.

MPOC-20: Measure of Processes of Care-20, cuestionario utilizado para evaluar la percepción de los cuidados centrados en la familia.

NMES: Neuromuscular Electrical Stimulation, estimulación eléctrica neuromuscular.

PBS: Pediatric Balance Scale, escala pediátrica de equilibrio.

PC: Parálisis cerebral.

PCI: Parálisis cerebral infantil.

PedsQL: Pediatric Quality of Life Inventory, cuestionario de calidad de vida pediátrica.

RAE: Real Academia Española.

RAGT: Robot-Assisted Gait Training, entrenamiento de la marcha asistido por robot.

RCT: Randomized Controlled Trial, ensayo clínico aleatorizado.

RCP: Rehabilitación convencional pediátrica

RESUMEN.

Introducción: La parálisis cerebral infantil constituye la causa más frecuente de discapacidad física en la edad pediátrica, con una prevalencia de dos a tres casos por cada mil nacidos vivos en los países desarrollados. La capacidad de desplazarse de forma autónoma condiciona la participación del niño en su entorno familiar, escolar y comunitario. El desarrollo de intervenciones tecnológicas en rehabilitación abre nuevas oportunidades para optimizar el entrenamiento de la marcha, aunque persisten interrogantes sobre su eficacia real y su impacto en la participación y la dinámica familiar.

Objetivos: Analizar la eficacia de las intervenciones tecnológicas aplicadas al entrenamiento de la marcha en niños con parálisis cerebral, así como su impacto en la participación del niño y en la dinámica familiar.

Material y métodos: Revisión bibliográfica realizada entre enero y mayo de 2026 en PubMed y Scopus. Se incluyeron ensayos clínicos aleatorizados publicados entre 2016 y 2026, en población pediátrica con parálisis cerebral entre dos y dieciocho años. La calidad metodológica se evaluó mediante la escala PEDro. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron nueve artículos.

Resultados: Los estudios incluidos analizaron una muestra de doscientos noventa y ocho participantes, principalmente con formas espásticas de PCI y niveles GMFCS entre I y III. Las intervenciones incluyeron realidad virtual, robótica, estimulación eléctrica neuromuscular e hipoterapia. Los resultados muestran una tendencia favorable sobre la función motora, el equilibrio y la marcha en los grupos experimentales, aunque las mejoras también fueron observadas en algunos grupos control. Los datos sobre participación y dinámica familiar son limitados y heterogéneos.

Conclusión: Las intervenciones tecnológicas presentan un potencial interesante para mejorar la función motora y ciertos parámetros de la marcha, pero estos beneficios no pueden atribuirse exclusivamente a la tecnología. La hipótesis de una mejora clara y duradera solo puede confirmarse parcialmente. Las nuevas tecnologías deben entenderse como un complemento a la fisioterapia convencional, enriqueciendo su práctica y ofreciendo nuevas alternativas centradas en las necesidades reales del niño y su familia.

Palabras clave: Parálisis cerebral infantil, intervenciones tecnológicas, entrenamiento de la marcha, realidad virtual, robótica, participación, dinámica familiar, fisioterapia pediátrica.

ABSTRACT

Introduction: Cerebral palsy is the most common cause of physical disability in childhood, with a prevalence of two to three cases per one thousand live births in developed countries. The ability to move autonomously determines the child's participation in their family, school and community environment. The development of technological interventions in rehabilitation opens new opportunities to optimize gait training, although questions remain about their real effectiveness and their impact on participation and family dynamics.

Objective: To analyze the effectiveness of technological interventions applied to gait training in children with cerebral palsy, as well as their impact on the child's participation and family dynamics.

Materials and methods: Bibliographic review conducted between January and May 2026 in PubMed and Scopus. Randomized controlled trials published between 2016 and 2026, in a pediatric population with cerebral palsy between two and eighteen years of age were included. Methodological quality was assessed using the PEDro scale. After applying the inclusion and exclusion criteria, nine articles were selected.

Results: The included studies analyzed a sample of two hundred and ninety-eight participants, mainly with spastic forms of CP and GMFCS levels between I and III. Interventions included virtual reality, robotics, neuromuscular electrical stimulation and hippotherapy. Results show a favorable trend in motor function, balance and gait in experimental groups, although improvements were also observed in some control groups. Data on participation and family dynamics are limited and heterogeneous.

Conclusion: Technological interventions show interesting potential to improve motor function and certain gait parameters, but these benefits cannot be attributed exclusively to technology. The hypothesis of a clear and lasting improvement can only be partially confirmed. New technologies should be understood as a complement to conventional physiotherapy, enriching its practice and offering new alternatives focused on the real needs of the child and their family.

Keywords: Cerebral palsy, technological interventions, gait training, virtual reality, robotics, participation, family dynamics, pediatric physiotherapy.

1. INTRODUCCIÓN.

La parálisis cerebral infantil (PCI) constituye la causa más frecuente de discapacidad física en la edad pediátrica. A nivel mundial, se estima que aproximadamente diecisiete millones de personas viven con parálisis cerebral (1). En los países desarrollados, su prevalencia se mantiene relativamente estable en torno a dos, tres casos por cada mil recién nacidos vivos (1)(2). En el contexto español, las estimaciones sitúan la prevalencia entre dos y dos coma cinco casos por cada mil nacidos vivos, lo que supone un número significativo de nuevos diagnósticos anuales y una demanda constante de recursos sanitarios, educativos y sociales (3). Esta elevada prevalencia pone de manifiesto la magnitud del problema, sino también la necesidad de abordar sus principales repercusiones funcionales.

En este escenario, la capacidad para desplazarse de forma autónoma se convierte en un componente central de la funcionalidad del niño con PCI, ya que condiciona su participación en el entorno familiar, escolar y comunitario (4). Las dificultades en la marcha limitan el acceso a actividades significativas, incrementan la dependencia de cuidadores y pueden influir negativamente en la calidad de vida del niño y su familia. Paralelamente, el desarrollo de nuevas intervenciones tecnológicas en el ámbito de la rehabilitación abre oportunidades para optimizar el entrenamiento de la marcha, aunque persisten interrogantes sobre su eficacia real, sus efectos a largo plazo y su impacto en la participación y en la dinámica familiar, aspectos que constituyen el foco de este trabajo.

Esta situación pone de manifiesto la magnitud global de la condición y su repercusión sostenida a lo largo del ciclo vital, tanto en términos de atención sanitaria como de apoyo familiar y social.

2. ¿QUÉ ES LA PARÁLISIS CEREBRAL INFANTIL?

El término «parálisis cerebral» fue introducido por William Osler en 1888. (1) Actualmente, la definición de referencia propuesta por Rosenbaum et al. (2007) describe la parálisis cerebral como «un grupo de trastornos permanentes del desarrollo del movimiento y de la postura que provocan limitaciones en la actividad, atribuibles a lesiones o alteraciones no progresivas ocurridas en el cerebro en desarrollo». Esta definición sitúa la condición dentro de un marco funcional, destacando no solo la alteración motora, sino su repercusión en la actividad y la participación del niño. Se trata, por tanto, de una afectación motora de origen cerebral cuya causa no es evolutiva (4), aunque sus manifestaciones clínicas pueden modificarse a lo largo del crecimiento debido a la interacción entre el desarrollo neuromotor, la plasticidad cerebral y las adaptaciones musculoesqueléticas secundarias. Con frecuencia, la parálisis cerebral se asocia a alteraciones de la sensibilidad, la percepción, la cognición, la comunicación y el comportamiento, lo que incrementa la complejidad del abordaje terapéutico. (4)

Las lesiones cerebrales responsables pueden producirse durante los periodos prenatal, perinatal o postnatal precoz. (5). Entre los principales factores de riesgo se encuentran el bajo peso al nacer, la prematuridad, las infecciones intrauterinas y determinadas complicaciones obstétricas. Esta etiología multifactorial contribuye a la heterogeneidad clínica observada en la población con PCI.

Desde el punto de vista clínico, la PCI se caracteriza por retraso en el desarrollo motor, movilidad limitada y alteraciones del tono muscular. (4) Las manifestaciones iniciales pueden ser sutiles, como

una preferencia precoz por un lado del cuerpo o asimetrías en los movimientos. Estas alteraciones del control motor condicionan con frecuencia dificultades en la adquisición y calidad de la marcha, afectando al equilibrio, la coordinación y la eficiencia del desplazamiento. (6)

Desde el punto de vista fisiopatológico, especialmente en las formas espásticas, se observa una pérdida de la inhibición supramedular que provoca hiperexcitabilidad del reflejo de estiramiento. Esta desinhibición se traduce clínicamente en aumento del tono muscular, reflejos osteotendinosos y patrones motores anómalos, que pueden manifestarse durante la marcha mediante co-contracciones excesivas, disminución de la selectividad motora y alteraciones en la alineación segmentaria. (6)

La PCI no solo implica una alteración motora, sino que con frecuencia se asocia a trastornos sensoriales, cognitivos, comunicativos y conductuales, lo que incrementa la complejidad del abordaje terapéutico y la necesidad de intervenciones multidisciplinares prolongadas en el tiempo. (4) En consecuencia, la PCI constituye un problema de salud pública relevante que requiere estrategias de intervención basadas en la evidencia y orientadas a la mejora funcional y la participación. En este sentido, la alteración del desarrollo del movimiento no solo implica cambios biomecánicos, sino también dificultades en actividades complejas como el desplazamiento autónomo, lo que justifica la necesidad de intervenciones específicas dirigidas al entrenamiento de la marcha y a la mejora de la participación.

2.1 Clasificación.

La PC puede manifestarse de diferentes formas clínicas, por lo que su clasificación resulta fundamental para orientar el pronóstico y la planificación terapéutica. Desde el punto de vista del tipo de afectación motora, se distinguen principalmente las formas espástica, atáxica, discinética y mixta. (5). La forma espástica es la más frecuente y se caracteriza por un aumento del tono muscular dependiente de la velocidad, hiperreflexia y pérdida de la inhibición supramedular. (6) El resultado clínico es una espasticidad y una debilidad. La forma atáxica se asocia a lesiones de las vías cerebelosas y se manifiesta mediante alteraciones del equilibrio, la coordinación y el control postural. (4) La forma discinética, relacionada con la afectación de los ganglios basales y el tálamo, se caracteriza por movimientos involuntarios y dificultades en el control motor selectivo. (4) Finalmente, la forma mixta combina características clínicas de los tipos anteriores. Además del tipo de alteración motora, la clasificación topográfica describe la distribución corporal de la afectación. La parálisis cerebral puede presentarse de forma unilateral (hemiplejia), afectando a un lado del cuerpo, o bilateral.

Dentro de las formas bilaterales, la diplejia se caracteriza por una afectación predominante de los miembros inferiores, la triplejia implica tres extremidades y la cuadriplejia afecta a las cuatro extremidades. (5) Esta clasificación resulta especialmente relevante en el análisis del entrenamiento de la marcha, ya que el tipo y la distribución de la afectación condicionan las estrategias compensatorias, el nivel funcional y la elección de intervenciones terapéuticas. La figura explicativa sobre la clasificación clínica y topográfica de la parálisis cerebral se presenta en el Anexo 1, con el fin de facilitar la comprensión visual de los diferentes tipos de afectación.

2.2 Las manifestaciones.

Las manifestaciones clínicas en los niños con parálisis cerebral pueden presentarse de forma aislada o asociada. La Asociación Española de Pediatría propone una clasificación de las principales manifestaciones. Estas pueden ser neurológicas o no neurológicas y resultan fundamentales para la adaptación individualizada del tratamiento. La epilepsia afecta entre el 35% y el 62% de los niños, especialmente en aquellos con anomalías cerebrales. La discapacidad intelectual está presente en aproximadamente el 40% al 70% de estos niños. (5). Los trastornos del lenguaje afectan alrededor del 40% de los niños, destacando la disartria, mientras que la incapacidad para hablar se observa en aproximadamente el 25% de los casos. (5). Los trastornos psiquiátricos están presentes en cerca del 50% de estos niños e incluyen alteraciones del estado de ánimo, de la conducta y de la atención. (5). El 40% de estos niños presentan trastornos motores extrapiramidales, como la distonía, la corea, la atetosis y el balismo. (5) Finalmente, la espasticidad afecta aproximadamente al 85% de los niños, generando limitaciones en las actividades de la vida diaria y repercutiendo en el tono muscular. (5)

2.3 Diagnóstico

Una parte importante del diagnóstico de la parálisis cerebral es la clasificación según sus capacidades motoras de desplazamiento y su habilidad bimanual. Una clasificación precoz permite adaptar la intervención y realizar una atención específica para cada niño y su familia.

2.3.1 Según la función motriz.

Dado que la mayoría de los estudios incluidos en esta revisión utilizan el Gross Motor Function Classification System (GMFCS) para describir el nivel funcional de los participantes, resulta pertinente presentar esta escala previamente, con el fin de contextualizar la severidad motora de las muestras y facilita la interpretación y la comparación de los resultados entre estudios. El GMFCS es un sistema de clasificación basado en los movimientos voluntarios, centrado principalmente en la sedestación, las transferencias y la movilidad. Está estructurado en cinco niveles que describen la capacidad funcional del niño en actividades habituales, teniendo en cuenta las limitaciones en la actividad y el uso de ayudas técnicas. La clasificación se adapta a diferentes franjas de edad para reflejar los cambios evolutivos en el desarrollo motor. (7)

El nivel I corresponde a niños que caminan sin restricciones significativas y pueden correr y saltar, aunque pueden presentar limitaciones en la velocidad, el equilibrio o la coordinación en actividades más complejas.

El nivel II incluye niños que caminan sin dispositivos de ayuda, pero presentan limitaciones en terrenos irregulares, largas distancias o actividades que requieren mayor equilibrio, pudiendo necesitar apoyo para subir escaleras.

En el nivel III, los niños requieren ayudas técnicas para la marcha, como andadores o muletas, y suelen utilizar silla de ruedas manual para largas distancias.

El nivel IV se caracteriza por una movilidad limitada incluso con ayudas técnicas, siendo frecuente el uso de dispositivos motorizados para el desplazamiento.

El nivel V describe a niños con limitaciones severas en el control postural y en la movilidad autónoma, dependientes de asistencia para el desplazamiento. (7) La representación gráfica de los diferentes niveles del GMFCS se presenta en el Anexo 2, con el fin de facilitar la comprensión visual de la clasificación.

Esta clasificación es particularmente relevante en el análisis de la marcha, ya que los niveles del GMFCS están directamente relacionados con la capacidad de deambulación y el grado de independencia funcional. El uso conjunto de herramientas de evaluación como el Gross Motor Function Measure (GMFM) permite cuantificar de manera objetiva los cambios en la función motora a lo largo del tiempo. El GMFCS evalúa el nivel funcional global del niño, mientras que el GMFM mide los progresos motores, especialmente en la bipedestación y la marcha. La combinación de ambas herramientas proporciona un análisis complementario, imprescindible para evaluar de manera precisa la eficacia de las intervenciones terapéuticas. (8)

2.3.2 Según el equilibrio.

La Pediatric Balance Scale (PBS) es una adaptación de la escala de equilibrio de Berg. Fue desarrollada para evaluar el equilibrio en niños en edad escolar. Puede realizarse sin equipamiento, lo que permite una aplicación rápida y sencilla. Las tareas van desde el mantenimiento del equilibrio en sedestación hasta la posición de bipedestación sobre una sola pierna. Las propiedades de la PBS permiten determinar si los cambios observados tras el tratamiento o durante el seguimiento son clínicamente significativos. La escala está compuesta por catorce ítems, cada uno puntuado cero a cuatro, con un rango total de cero a cincuenta y seis puntos. La interpretación de los resultados permite clasificar el equilibrio como severamente alterado, moderado o bueno. (4)(8)(9) Además, su uso en los estudios incluidos permite analizar el impacto de las intervenciones terapéuticas sobre el equilibrio y, de forma indirecta, sobre la funcionalidad y la calidad de la marcha en niños con PCI. (9)

2.3.3 Según la marcha.

La utilización del 10 Meter Walk Test (10MWT) permite medir de forma objetiva la velocidad de la marcha, considerada un buen indicador de la capacidad funcional y del nivel de autonomía en la vida diaria. (8) En esta prueba, el paciente es evaluado mediante el tiempo necesario para recorrer una distancia de 10 metros a una velocidad cómoda y a partir de este valor se calcula la velocidad en metros por segundo. La simplicidad del procedimiento, el escaso material requerido y su rápida aplicación explican que sea una herramienta ampliamente utilizada en la práctica clínica y en la investigación en rehabilitación. Además, la velocidad de la marcha obtenida con el 10MWT se ha asociado con la participación en actividades comunitarias y con el pronóstico funcional, lo que refuerza su interés en población pediátrica con PCI. (10) El Six-Minute Walk Test (6MWT) y el Two-Minute Walk Test (2MWT) complementan esta evaluación midiendo la distancia recorrida en seis y dos minutos respectivamente a una velocidad libremente elegida, permitiendo así estimar la resistencia funcional y la capacidad de esfuerzo. El 2MWT se basa en el mismo principio que el 6MWT, pero su menor duración lo hace especialmente adecuado para niños con mayor fatigabilidad o capacidades locomotoras más limitadas, proporcionando al mismo tiempo una estimación fiable de la resistencia

funcional. La figura explicativa de la prueba de marcha de 10 metros (10MWT) se presenta en el Anexo 3, con el fin de facilitar la comprensión visual del procedimiento de evaluación.

2.4 La marcha.

La marcha se define como una actividad funcional fisiológica que corresponde a una repetición cíclica de movimientos de diferentes segmentos del cuerpo humano en el espacio. Implica la alternancia de los miembros inferiores, con fases de apoyo bipodal y unipodal que permiten el desplazamiento del cuerpo. Constituye una de las funciones motoras más importantes de la vida diaria, ya que condiciona la autonomía. (8) Sin la capacidad de desplazarse, el ser humano se ve expuesto a una disminución de su calidad de vida debido a una reducción de la participación social. La marcha implica la intervención de numerosas estructuras del sistema nervioso central y periférico. De los niños que son diagnosticados con PCI, hasta el 90% de ellos tienen dificultades para caminar. (2) En los niños con parálisis cerebral infantil, las lesiones cerebrales son el origen de las anomalías primarias, correspondientes a un síndrome de la neurona motora superior.

La espasticidad está causada por una lesión en una parte del sistema nervioso central encargada del control de los movimientos voluntarios. Esta lesión altera la transmisión de señales entre el sistema nervioso y los músculos, generando un problema de regulación neuromuscular. La espasticidad dificulta el movimiento, el mantenimiento de la postura, el equilibrio, la longitud del paso y el ritmo de la cadencia. Por ello, constituye una de las principales causas de las alteraciones de la marcha, tanto en la calidad del patrón como en la eficacia del desplazamiento.

Desde un punto de vista biomecánico y energético, la marcha en los niños con PCI suele ser menos eficiente, con un mayor gasto energético por unidad de distancia recorrida en comparación con los niños con desarrollo típico. (2) Esto puede favorecer la aparición de fatiga precoz y limitar la autonomía en desplazamientos prolongados, especialmente en el entorno escolar. Además, las alteraciones del control postural (2) y del equilibrio influyen directamente en la seguridad de la marcha, aumentando el riesgo de caídas y afectando a la confianza del niño en sus propias capacidades.

La mejora de la marcha constituye uno de los objetivos principales de la intervención en fisioterapia en niños con PCI (2). La implementación de un tratamiento personalizado y adaptado a cada niño es fundamental, con el objetivo de optimizar el patrón de movimiento y favorecer la participación. En la actualidad, las nuevas tecnologías representan una oportunidad para mejorar los tratamientos convencionales en rehabilitación, permitiendo aumentar la intensidad, la repetición y la especificidad del entrenamiento, aspectos que se analizarán en los siguientes apartados.

2.5 ¿Qué son las intervenciones tecnológicas?

Según la Real Academia Española (RAE), el término tecnología se define como: «Conjunto de teorías y técnicas que permiten la aplicación práctica de los conocimientos científicos.» Esta definición permite entender la tecnología de forma amplia: no corresponde solo a un dispositivo material, sino a la aplicación estructurada del conocimiento científico con un objetivo práctico.

En el ámbito sanitario, el término tecnología hace referencia a la aplicación estructurada del conocimiento científico con fines prácticos y terapéuticos. En fisioterapia, las intervenciones tecnológicas comprenden un conjunto de herramientas digitales, robóticas o electrónicas diseñadas para optimizar la evaluación, el tratamiento y el seguimiento de los pacientes. Estas incluyen sistemas robotizados, realidad virtual, dispositivos portátiles con sensores y plataformas digitales de monitorización. En el campo de la rehabilitación neurológica, Banyai y Brișan (2024) (11) describen la robótica como la integración de sistemas mecánicos y electrónicos capaces de asistir, resistir o guiar el movimiento humano. Estos dispositivos permiten intervenciones más precisas, repetitivas y cuantificables, favoreciendo la estandarización de la dosificación y la medición objetiva del rendimiento motor. En este sentido, la tecnología no sustituye la intervención del terapeuta, sino que amplía sus posibilidades de actuación y facilita el control de variables terapéuticas relevantes como la intensidad y la repetición del movimiento. Los dispositivos robóticos pueden desempeñar diferentes funciones terapéuticas: asistir el movimiento (por ejemplo, mediante exoesqueletos o sistemas de soporte parcial del peso corporal), proporcionar resistencia controlada para favorecer el fortalecimiento muscular o generar datos cuantificables sobre parámetros de ejecución. Estas características resultan especialmente relevantes en el entrenamiento de la marcha, donde la repetición específica y la retroalimentación sensorial son determinantes para el aprendizaje motor. Por otro lado, las tecnologías portátiles o wearables, descritas por Rodgers et al. (2019) (12), incorporan sensores capaces de registrar en tiempo real parámetros biomecánicos y de actividad. Su utilización permite monitorizar la marcha y la actividad diaria, ofrecer feedback inmediato al paciente y realizar un seguimiento longitudinal basado en datos objetivos. Esta monitorización continua puede favorecer la adherencia al tratamiento y facilitar la toma de decisiones clínicas basadas en indicadores cuantificables. No obstante, aunque estas herramientas presentan un potencial significativo, su implementación clínica debe sustentarse en evidencia científica que demuestre beneficios funcionales relevantes, especialmente en poblaciones pediátricas con PCI.

2.6 El lugar de cada uno en la relación de cuidado.

La relación de cuidado es una colaboración estrecha entre el fisioterapeuta, el padre/madre y el niño, y cada uno tiene un papel esencial para alcanzar los objetivos terapéuticos, como lo definen Stewart y Brown (13).

2.6.1 El lugar del niño y su participación.

2.6.1.1 Aspectos emocionales.

Como en toda relación de cuidado, el paciente tiene un papel activo a través de su participación en la rehabilitación. Sin embargo, los cuidados en general pueden tener un efecto negativo, como menciona el Doctor Minguet (14). Los tratamientos, las pruebas médicas, la bata blanca o las intervenciones pueden vivirse como momentos de estrés e inseguridad. La escucha y la capacidad de tranquilizar son cualidades indispensables para crear un clima de confianza. El niño puede enfrentarse a sus propios límites, lo que puede provocar sentimientos de enfado o frustración. Es un punto importante para considerar, ya que estas dificultades también pueden aparecer en su vida diaria.

2.6.1.2 Dificultades cognitivas y estrategias de adaptación.

En el caso de los niños con PCI, es importante tener en cuenta los diferentes trastornos asociados. Entre ellos pueden estar dificultades de concentración, de memoria o de aprendizaje. Por eso, es necesario adaptar las estrategias: ajustar la duración de las sesiones, utilizar una comunicación adaptada y crear talleres específicos según las necesidades del niño. Las sesiones de rehabilitación son momentos de aprendizaje no solo guiados por el fisioterapeuta, sino también apoyados por la familia. Por tanto, es fundamental ofrecer un apoyo sólido y una actitud de comprensión tanto al niño como a su entorno.

2.6.1.3 Impacto en la participación.

Se ha demostrado que las intervenciones de fisioterapia sostenidas promueven la plasticidad neuronal que mejora el rendimiento motor y los resultados funcionales. Sin embargo, mantener la motivación y el compromiso de los niños a lo largo de la rehabilitación a largo plazo sigue siendo un desafío significativo. (6) Las reacciones emocionales deben tenerse en cuenta, ya que pueden influir directamente en la participación del niño en el tratamiento. Una mayor implicación favorece la adherencia terapéutica (15) y contribuye así a la mejora de los resultados funcionales. Por el contrario, la falta de motivación o la presencia de frustración pueden limitar la participación del niño y reducir la eficacia de la intervención. En esta perspectiva, la calidad de la alianza terapéutica y la participación del niño se presentan como elementos clave en los resultados funcionales, estableciendo así una relación directa entre la dimensión emocional y la eficacia terapéutica.

2.6.2 El papel de los padres y el impacto en la dinámica familiar.

El papel de los padres es fundamental en el tratamiento del niño. Forman parte de la triangulación: niño, fisioterapeuta y padres. (16) Por ejemplo, la implicación activa de los padres en la realización de los ejercicios en el domicilio favorece la participación del niño, garantiza la continuidad del tratamiento y contribuye a la mejora de los resultados funcionales. Se pueden observar diferentes comportamientos. Algunos padres están muy presentes, incluso hasta el punto de responder o hacer las cosas en lugar del niño. Otros pueden mostrarse más cerrados emocionalmente y tener dificultad para ver a su hijo en situación de esfuerzo o dificultad. Es esencial mantener esta relación y construir una alianza terapéutica. Es necesario ganar su confianza para crear este triángulo, que permitirá un buen seguimiento del niño.

La comunicación centrada en la familia es un elemento clave en la atención de niños con parálisis cerebral. El Institute for Patient and Family Centered Care define este concepto como: «los cuidados centrados en el paciente y su familia son un enfoque de la planificación, prestación y evaluación de la atención sanitaria basado en asociaciones mutuamente beneficiosas entre pacientes, familias y profesionales de salud» (12). Los principios fundamentales de este modelo se basan en el respeto, la dignidad, el intercambio de información, la participación y la colaboración. El objetivo principal es favorecer la autonomía del niño y de la familia a través de su participación en los cuidados. Estos objetivos están relacionados con los factores ambientales, especialmente la familia y el entorno escolar. Este modelo resulta especialmente pertinente en la PC, donde las intervenciones son

prolongadas y requieren continuidad entre los diferentes entornos de vida del niño, en particular el domicilio y la escuela.

La integración de herramientas tecnológicas puede modificar esta dinámica al facilitar un seguimiento más objetivo de los progresos, reforzar la implicación parental en la evaluación de los resultados y, en algunos casos, favorecer una mejor distribución de responsabilidades dentro del proceso terapéutico, lo que puede optimizar la eficacia de las intervenciones. (15).

2.6.3 El papel del fisioterapeuta.

«No hay dos personas con parálisis cerebral iguales» (1). El tratamiento de un niño es diferente al de un adulto, tanto desde el punto de vista pedagógico como en la comunicación y en el desarrollo. El principal elemento que cambia es la presencia de los padres dentro de la relación de cuidado. El fisioterapeuta debe crear una alianza terapéutica con ambas partes (el niño y los padres) (16) Si una de las dos partes no se implica, el tratamiento no tendrá una buena colaboración. Es responsabilidad del profesional de salud adaptar su comunicación y su intervención según el niño y sus afectaciones motoras y fisiológicas. En el abordaje fisioterapéutico de niños con PC, el profesional debe integrar una serie de competencias personales y clínicas que trascienden la aplicación técnica de las intervenciones. La creatividad resulta fundamental para adaptar las actividades terapéuticas a las capacidades y motivaciones del niño, especialmente en contextos donde la repetición y la intensidad son necesarias para favorecer el aprendizaje motor. La paciencia y la capacidad de adaptación permiten ajustar la intervención a la variabilidad funcional y emocional que caracteriza a esta población. Asimismo, la comunicación efectiva constituye un pilar esencial para establecer una alianza terapéutica sólida tanto con el niño como con su familia, facilitando la comprensión de los objetivos y la adherencia al tratamiento. (6) Finalmente, el trabajo en equipo se vuelve imprescindible en un contexto multidisciplinar, donde la coordinación con otros profesionales sanitarios y educativos contribuye a un abordaje integral y coherente.

3. JUSTIFICACIÓN.

La parálisis cerebral infantil acompaña al niño y a su familia a lo largo de toda la vida. Más allá de las cifras de prevalencia, supone convivir con dificultades en actividades tan básicas como desplazarse, jugar con otros niños o moverse con autonomía en el entorno escolar.

La marcha, en este contexto, no es solo un patrón de movimiento, sino una condición necesaria para que el niño pueda explorar su entorno, participar en actividades con sus iguales y ganar independencia en el día a día. Cuando la marcha está limitada, aumentan la dependencia de los cuidadores, la necesidad de apoyo constante y, en muchos casos, la carga física y emocional para la familia.

En los últimos años han aparecido múltiples recursos tecnológicos aplicados a la rehabilitación, como robots de marcha, entornos de realidad virtual o sistemas de soporte parcial del peso corporal. Estas herramientas prometen entrenamientos más intensivos, más motivadores y mejor cuantificados.

Sin embargo, en la práctica clínica surgen preguntas que no siempre encuentran una respuesta clara en la literatura: hasta qué punto estas tecnologías mejoran realmente la marcha, si estos cambios se traducen en mayor autonomía en la vida diaria y cómo influyen en la organización y el bienestar de la familia. Muchos estudios se centran en cifras y escalas, pero dedican menos espacio a cómo vive el niño estos tratamientos o qué implican para sus cuidadores.

Resulta, por tanto, necesario disponer de una visión ordenada y crítica sobre lo que aportan las intervenciones tecnológicas al entrenamiento de la marcha en niños con parálisis cerebral infantil. No se trata únicamente de conocer si mejoran una puntuación en una escala, sino de valorar si ayudan al niño a desplazarse mejor en su entorno y si facilitan, o incluso complican, la vida de su familia.

Este trabajo se justifica por la necesidad de reunir y analizar la evidencia reciente desde una mirada clínica y humana que tenga en cuenta tanto la función motora como la participación y la dinámica familiar, y que pueda servir de apoyo en la toma de decisiones en la práctica diaria.

4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.

Las intervenciones tecnológicas aplicadas al entrenamiento de la marcha en niños con PCI mejoran la función motora relacionada con la marcha y se asocian con un aumento de la participación del niño en las actividades de la vida diaria.

Objetivo general.

- Analizar la eficacia de las intervenciones tecnológicas aplicadas al entrenamiento de la marcha en niños con PCI, y su relación con la participación del niño.

Objetivos específicos.

- Describir las intervenciones tecnológicas utilizadas en el entrenamiento de la marcha en niños con PCI en la literatura científica reciente.
- Evaluar los efectos de estas intervenciones sobre parámetros relacionados con la marcha, como el equilibrio, la fuerza muscular, el control postural y la velocidad.
- Analizar la relación entre las mejoras en la marcha y el aumento del desplazamiento autónomo y la participación en actividades de la vida diaria.
- Explorar la evidencia disponible sobre la repercusión de estas intervenciones en la dinámica familiar, incluyendo la implicación de los padres y la organización de los cuidados.

5. MATERIALES Y METODOS.

5.1 Estrategias de búsqueda - Parte 1.

El presente trabajo consiste en una revisión bibliográfica realizada entre enero y mayo de 2026, cuyo objetivo es comparar diferentes intervenciones tecnológicas aplicadas al entrenamiento de la marcha en niños con parálisis cerebral infantil. Para ello, se llevaron a cabo dos búsquedas en bases

de datos científicas, centradas en los efectos de estas intervenciones sobre la función motora, la participación del niño y la dinámica familiar.

5.1.1 Descripción de la pregunta PICO.

Para el desarrollo de esta revisión bibliográfica sobre el tema a tratar, se plantea la pregunta de investigación a partir del formato de tipo de pregunta PICO.

Tabla 1 Pregunta PICO.

P	Niños y adolescentes con parálisis cerebral (PCI).
I	Intervenciones de fisioterapia orientadas al entrenamiento de la marcha que incorporan tecnologías.
C	Fisioterapia convencional sin uso de tecnologías específicas.
O	Mejoras en la marcha, la calidad del movimiento, el equilibrio, el control postural, la fuerza muscular y calidad de vida.

Fuente: Elaboración propria.

Para explicar la estructura metodológica de este trabajo, se realizó una ecuación de búsqueda científica en la base de datos PubMed con el objetivo de identificar ensayos clínicos recientes y relevantes entre el diez de octubre y el veinticinco de marzo de 2026. La primera ecuación permitió responder al objetivo principal del estudio, seleccionando nueve artículos científicos que evaluaran la eficacia de intervenciones tecnológicas aplicadas al entrenamiento de la marcha en niños con parálisis cerebral y que cumplían todos los criterios de inclusión establecidos.

5.1.2 Criterios de inclusión y exclusión.

Esta estrategia generó un elevado número de resultados, por lo que fue necesario aplicar diversos filtros para refinar la búsqueda. Los criterios de inclusión son :

- Artículos publicados entre 2016 y 2026.
- Estudios realizados en humanos.
- Población pediátrica con parálisis cerebral infantil, de entre dos y dieciocho años.
- Ensayos clínicos aleatorizados (Randomized Controlled Trials, RCT).
- Intervenciones de fisioterapia orientadas al entrenamiento de la marcha que incorporan tecnologías.
- Disponibilidad de texto completo a través del acceso universitario.

Los criterios de exclusión son:

- Estudios realizados exclusivamente en población adulta.

- Participantes menores de dos años, que generalmente no presentan una marcha funcional estable.
- Estudios no aleatorizados u otros diseños observacionales.
- Intervenciones exclusivamente farmacológicas o quirúrgicas.
- Artículos que no analizan resultados relacionados con la marcha o con variables directamente asociadas (equilibrio, control postural, fuerza, velocidad, calidad del movimiento).

Tras la aplicación de estos criterios de inclusión y exclusión, se identificaron treinta y cinco artículos potencialmente relevantes, que fueron sometidos a un análisis más detallado para determinar su inclusión final en la revisión.

5.1.3 Diagrama de flujo PRISMA.

La selección de los estudios siguió las recomendaciones de la declaración PRISMA. En una primera fase se eliminaron los duplicados y, posteriormente, se revisaron títulos y resúmenes según los criterios de inclusión y exclusión definidos. Los artículos potencialmente elegibles se leyeron a texto completo para confirmar su adecuación. El proceso completo de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión se representa en el diagrama de flujo PRISMA. El diagrama de flujo PRISMA correspondiente a la búsqueda bibliográfica se presenta en el Anexo 4.

5.1.4 Búsqueda Bibliográfica en Pubmed.

En la base de datos PubMed se utilizó la siguiente ecuación de búsqueda, diseñada a partir de la pregunta PICO: (“Cerebral Palsy” OR “Paralysis Cerebral” OR “PCI”) AND (“Gait” OR “Gait Training” OR “Walking” OR “Locomotion”) AND (“Balance” OR “Postural Control” OR “Muscle Strength” OR “Strength” OR “Gait Speed” OR “Walking Speed” OR “Movement Quality” OR “Quality of Movement”) AND (intervention OR therapy OR treatment OR “motor training” OR technology OR “assistive device” OR “electrical stimulation”). Esta estrategia generó inicialmente mil trescientos treinta y nueve resultados, que se fueron filtrando por fecha de publicación, tipo de estudio y población diana hasta obtener treinta y cinco artículos que cumplían los criterios de inclusión. De ellos, nueve estudios responden específicamente al objetivo principal del presente trabajo y fueron finalmente seleccionados para el análisis detallado. (Anexo 5)

5.1.5 Búsqueda Bibliográfica en Scopus.

Se realiza una búsqueda avanzada en Scopus, con las siguientes palabras claves: TITLE-ABS (cerebral palsy OR CP) AND (gait OR walking OR locomotion OR gait training) AND (technology OR robot OR robotics OR virtual reality) AND (child OR children OR pediatric). (Anexo 6).

5.1.6 Escala PEDro.

La calidad metodológica de los ensayos incluidos se evaluó mediante la escala PEDro (Anexo 7), una herramienta que valora el rigor de los estudios de ensayos clínicos en fisioterapia. La escala consta de once ítems que analizan aspectos como la validez externa, la validez interna y la calidad del

análisis estadístico. Cada ítem puntúa uno punto si se cumple el criterio, de modo que la puntuación total oscila entre cero y diez. En esta revisión se consideraron de calidad moderada-alta aquellos estudios con una puntuación igual o superior a seis/diez, lo que permitió garantizar la inclusión de ensayos con un nivel adecuado de rigor metodológico. (Anexo 8)

5.1.7 Resultado final de la búsqueda bibliográfica.

El Anexo 9 presenta los artículos seleccionados para la revisión bibliográfica, incluyendo los autores, el año de publicación, el título del estudio y la fuente de publicación. Esta tabla permite visualizar de forma sintética las referencias principales utilizadas para el análisis de los resultados.

5.2 Estrategias de búsqueda - Parte 2

Para esta segunda parte, la búsqueda bibliográfica resultó más compleja debido al número limitado de estudios que abordan simultáneamente los diferentes ejes de trabajo. De hecho, entre los artículos identificados, sólo el estudio de Szturm et al. (2022) integraba tanto los aspectos relacionados con la función motora como con la participación.

El análisis de los demás trabajos permitió evidenciar una escasa consideración de las variables relacionadas con la participación del niño y las repercusiones en la dinámica familiar. Además, algunos artículos potencialmente relevantes no fueron incluidos debido a los criterios de exclusión establecidos, especialmente el periodo de publicación.

Además de la búsqueda sistemática en bases de datos, se revisaron las referencias de trabajos previos relacionados con el tema, lo que permitió identificar dos artículos adicionales que cumplieron los criterios de inclusión.

5.2.1 Escala PEDro.

La calidad metodológica de cada estudio se evaluó mediante la escala PEDro (Anexo 7). Las puntuaciones individuales de los nueve artículos incluidos oscilaron entre 6/10 y 8/10 (ver detalle en Anexo 10).

5.2.2 Resultado final de la búsqueda bibliográfica.

Los tres artículos seleccionados en la segunda parte de la búsqueda bibliográfica se presentan en el Anexo 11, con el fin de facilitar la lectura del cuerpo principal del trabajo y reunir de forma organizada las referencias utilizadas en la revisión.

6. RESULTADOS.

6.1 Características generales de los estudios.

Tabla 2: Características principales y resultados de los estudios incluidos.

Autores y año.	Tipos de tecnologías.	Número de participantes (edad y GMFCS).	Duración / frecuencia.	Escalas utilizadas (GMFM, PBS, 10 MWT...)	Resultados principales.	Resultados sobre participación / familia.
Szturm et al., 2022	Programa de ejercicios basado en juegos (dual-task = balance + visiomotor + cognitivo). Anexo 12.	20 niños de entre 4 y 8 años. Nivel GMFCS I-III.	3 sesiones por semana durante 12 semanes.	PBS, GMFM-88. Medidas informatizadas del rendimiento.	Se observaron mejoras significativas de la PBS y en la GMFM en ambos grupos, con un cambio mayor a favor del grupo experimental. Además, el grupo experimental mostró una mejora significativa del equilibrio postural dinámico en varias condiciones COP y el TPL. No se observaron efectos significativos tiempo-grupo en la mayoría de las variables, salvo en algunas medidas de equilibrio.	Se tuvo en cuenta la experiencia y la opinión de cada participante, incluyendo sus motivos, preferencias, efctos positivos percibidos y expectativas. La adherencia al programa fue alta, alcanzando el 100%.
Cho et al., 2016	Entrenamiento en cinta rodante con realidad virtual, orientado a mejorar la marcha, el equilibrio, la fuerza muscular y la función motora. Anexo 14.	18 niños, con una edad media de 9,5 años. Nivel GMFCS I-III.	3 sesiones por semana durante 8 semanas.	Dinamómetro digital para la fuerza muscular, GMFM, PBS, 10 MWT – 2 MWT.	Se observaron mejoras significativas en fuerza muscular, GMFM, PBS, velocidad de la marcha y 2MWT en ambos grupos, con cambios mayores en el grupo VRTT. Este grupo mostró resultados superiores especialmente en la fuerza de extensíon de rodilla, equilibrio, velocidad de la marcha y resistencia.	No reportado.
Wu et al., 2024	Sistema de hipoterapia robótica con cables dirigido a mejorar el control postural. Anexo 16.	10 niños con una edad media de 6,4 años. Nivel de GMFCS I-IV.	3 sesiones por semana durante 6 semanas.	Escala de medición del control del tronco (TCMS), GMFM, velocidad de marcha 6MWT.	El grupo de hipoterapia robótica mostró una mejora del TCMS tras la intervención, con un cambio significativamente mayor que el grupo convencional. Sin embargo, la GMFM, la velocidad de la marcha, la marcha rápida y la distancia recorrida en 6 MWT no presentaron cambios significativos.	No reportado.

Autores y año.	Tipos de tecnologías.	Número de participantes (edad y GMFCS).	Duración / frecuencia.	Escalas utilizadas (GMFM, PBS, 10 MWT...)	Resultados principales.	Resultados sobre participación / familia.
Pool et al., 2016	Estimulación eléctrica neuromuscular (NMES) durante la marcha.	32 niños, con edad media de 10 años y 8 meses. Nivel GMFCS I-II.	8 semanas de intervención con marcha diaria.	Resonancia magnética, evaluación de la fuerza mediante dinamométria y medidas clínicas del control motor.	Se observaron mejoras significativas a las 8 semanas en el volumen muscular, fuerza de dorsiflexión y control motor selectivo en el grupo NMES. Sin embargo, los efectos fueron menos mantenidos a las 14 semanas.	No reportado.
Ayoub HM et al., 2026	Entrenamiento de equilibrio gamificado mediante realidad virtual.	50 niños de entre 6 y 12 años. Nivel GMFCS I-II.	3 sesiones por semana durante 3 meses consecutivos.	La prueba LOS evalúa el control postural. El sistema HUMAC evalúa el equilibrio y la inclinación. La prueba COP mide el centro de presión y la prueba modificado de integración sensorial del equilibrio (mCTSIB) se realiza con ojos abiertos y cerrados.	Ambos grupos mejoraron significativamente el equilibrio, pero el grupo que realizó entrenamiento de equilibrio con Wii VR presentó mejoras significativamente mayores en LOS, COP y mCTSIB tanto con ojos abiertos como cerrados, en comparación con el grupo convencional.	No reportado.
Fu WS et al., 2022	Realidad virtual combinada con entrenamiento de la marcha asistido por robot, mediante RAGT / Lokomot.	60 niños de entre 6 y 12 años. Nivel GMFCS II-III.	4 sesiones por semana durante 12 semanas.	Electromiografía de superficie (EMG), escala de Ashworth modificada, dimensiones D y E de la GMFM y el 6MWT.	Los cuatro grupos mejoran significativamente tras 12 semanas en EMG, escala Ashworth modificada, GMFM-D, GMFM-E y 6MWT. Las mejoras fueron mayores en los grupos control, destacando el grupo B como el que obtuvo los mejores resultados en la mayoría de los indicadores.	No reportado.
Arnoni et al., 2021	Realidad virtual no inmersiva con Xbox 360 Kinect. Anexo 18.	22 niños, edad de entre 5 y 12 años. Nivel GMFCS I.	El grupo experimental: 45 minutos por sesión, 2 veces por semana durante 8 semanas. El grupo control: 50 minutos por sesión, 2 veces por semana durante 8 semanas.	Se utilizo el Timed Up and Go test (TUG) para evaluar la movilidad funcional. Además, se analizaron variables espaciotemporales de la marcha y ángulos pélvicos antes y después de la intervención.	La terapia basada en realidad virtual no inmersiva mejoró significativamente la movilidad funcional y varios parámetros especio temporales de la marcha. El grupo experimental mostró mejores resultados en TUG, el tiempo de zancada, cadencia y retroversión pélvica en comparación con el grupo control.	No reportado.

Autores y año.	Tipos de tecnologías.	Número de participantes (edad y GMFCS).	Duración / frecuencia.	Escalas utilizadas (GMFM, PBS, 10 MWT...)	Resultados principales.	Resultados sobre participación / familia.
Kim et al., 2021	Comparación entre los efectos de la atención comunitaria centrada en la familia y el niño, y la rehabilitación pediátrica convencional.	26 niños con una edad media de 9,3 años.	Sesión de 1 hora, 2 veces por semana durante 10 semanas.	La función motora GMFM, la escala PBS, el área de motricidad fina de la prueba Bruininks-Oseretsky-2, el área cognitiva de la medida de independencia funcional FIM, el perfil sensorial SSP, el COMP, el cuestionario de la calidad de vida pediátrica PedsQL, la escala de eficacia ante las caídas sFES y la inestabilidad postural dinámica DPI.	El grupo CFC mostró mejoras significativamente superiores al grupo CPR en la función motora gruesa, la motricidad fina, el equilibrio, la independencia funcional y la calidad de la vida pediátricas. No se observaron diferencias significativas entre grupos en DPI, sSP, COPM ni sFES, aunque el grupo CFC mostró mejoras dentro del grupo en varias de estas variables.	En el dominio de la integración social, el estudio no mostró diferencias significativas. Sin embargo, el PedsQL demostró diferencias significativas en las puntuacions relacionadas con la calidad de vida pediátrica.
Fovig et al., 2020	Analizar si las interacciones interdisciplinarias individualizadas tienen una eficacia superior sobre la atención centrada en la familia percibida y la función motora gruesa en comparación con los cuidados habituales sin el uso del análisis instrumentado de la marcha.	60 niños de entre 5 y 8 años. Nivel GMFCS I-II.	La evaluación de los resultados se realizó al inicio a las 26 semanas y a las 52 semanas.	Los cincos dominios de la medida de los procesos de atención MPOC-20: habitación y colaboración, suministró de información genera, suministro de información específica sobre el niño, agencia respetuosa y de apoyo y atención coordinada y completa.	No se observaron diferencias significativas entre grupos en la atención centrada en la familia percibida por los padres, evaluada mediante los dominios del MPOC-20 a las 26 y 52 semanas. Sin embargo, el grupo experimental mostró una mejora significativamente mayor en la GMFM a las 52 semanas.	No se observaron diferencias significativas entre grupos en la atención centrada en la familia percibida por los padres, evaluada mediante los dominios del MPOC-20 a las 26 y 52 semanas.

Fuente : Elaboración propria.

Se incluyeron finalmente siete ensayos clínicos que evaluaron diferentes intervenciones tecnológicas aplicadas a un objetivo específico en la rehabilitación fisioterapéutica de niños con parálisis cerebral. Todos tenían como objetivo preparar, mejorar y reforzar las estructuras musculares implicadas en la reeducación de la marcha. La muestra total estuvo compuesta por doscientos doce participantes, con edades comprendidas entre cinco y dieciocho años, principalmente con formas espásticas de PCI y niveles de afectación funcional entre I y III del GMFCS. Las intervenciones tecnológicas analizadas fueron variadas e incluyeron programas de realidad virtual asociados a juegos, programas de robótica de la marcha, estimulación eléctrica neuromuscular asistida y sistemas de hipoterapia. La duración de los programas varió entre seis semanas y tres meses, con una frecuencia de dos a cuatro sesiones por semana. Finalmente, se evaluaron tres ensayos clínicos por haber abordado la cuestión de la participación y de la dinámica familiar.

6.2 Resultados sobre la función motora.

Siete estudios utilizaron la escala GMFM para evaluar los cambios en la función motora gruesa tras la intervención. De manera general, se observaron aumentos en la puntuación total o en dimensiones específicas relacionadas con la marcha y el equilibrio en los grupos que recibieron intervenciones tecnológicas.

En primer lugar, el estudio de Szturm et al. (2022) muestra que ambos grupos iniciales (experimental y control) presentaban una distribución similar de niveles GMFCS entre I y III. Se observó una mejora significativa de las puntuaciones de la GMFM antes y después de la intervención en ambos grupos. Además, el estudio señala que estas mejoras se complementan con datos cualitativos, ya que los padres informaron de cambios en el nivel de independencia de los niños en sus actividades diarias. (Anexo 13).

Un aumento que también se observa en el estudio de Cho et al. (2016). Este estudio evaluó cinco dimensiones: decúbito y volteo, sedestación, gateo y arrodillamiento, bipedestación, y marcha, carrera y salto. Se observó un aumento en todas las puntuaciones, aunque sin diferencias significativas. (Anexo 15).

El artículo de Fu WS et al. (2022) presenta una mejora significativa en cada grupo de intervención. Los resultados muestran un mayor efecto cuando el tratamiento combina la realidad virtual con el entrenamiento robótico de la marcha (RAGT). Sin embargo, los cambios más importantes se observaron en el grupo con una reducción del peso corporal del 30%.

El estudio de Wu et al. (2024) no presenta cambios significativos tras la intervención ni en el grupo experimental ni en el grupo control. No obstante, se observa una ligera mejora en el grupo experimental, mientras que los resultados permanecen estables en el grupo control. (Anexo 17).

El estudio de Pool et al. (2016) utilizó las escalas SMC y SCALE para evaluar el control motor del tobillo. El grupo experimental mostró mejoras significativas en ambas escalas. El grupo control presentó una mejora significativa en la escala SCALE en la semana ocho, mientras que la puntuación SMC no mostró cambios significativos en ese mismo momento.

El estudio de Kim et al. (2021) evidenció una diferencia significativa dentro del grupo experimental tras diez semanas de tratamiento. Por el contrario, en el grupo que recibió rehabilitación pediátrica convencional no se observaron cambios significativos. (Anexo 19).

Finalmente, el estudio de Fonvig et al. (2020) mostró una puntuación significativamente mayor en el grupo experimental tras cincuenta y dos semanas por el GMFM.

6.3 Resultados sobre el equilibrio.

Cuatro estudios utilizaron diferentes escalas para evaluar el efecto de las intervenciones tecnológicas sobre el equilibrio, como por ejemplo la PBS.

Szturm et al. (2022) mostró una mejora significativa tras la intervención. La diferencia entre los dos grupos fue considerable: la puntuación de la PBS aumentó en promedio cinco puntos en el grupo experimental y cero comas ocho en el grupo convencional. El equilibrio también fue evaluado mediante medidas informatizadas que analizaban la longitud total del recorrido; una disminución de esta longitud se interpretó como una mejora del equilibrio. Sin embargo, estos cambios no pueden considerarse significativos. (Anexo 13).

En el estudio de Cho et al. (2016), la PBS aumentó de manera significativa en ambos grupos, aunque el cambio fue significativamente mayor en el grupo experimental. Estos resultados indican una mejora del equilibrio tanto estático como dinámico tras el tratamiento.

Ayoub HM et al. (2026) evaluó a los participantes antes y después del tratamiento mediante el sistema HUMAC para analizar la estabilidad (LOS), así como la prueba clínico modificado de integración sensorial del equilibrio (mCTSIB). Los resultados mostraron mejoras significativas en ambos grupos, con mayores ganancias en el grupo experimental en todas las medidas. Además, en el mCTSIB con ojos abiertos se observó un aumento significativo en ambos grupos, siendo mayor en el grupo experimental (29,6 % frente a 22,26 %, $p = 0,01$). Con los ojos cerrados, el grupo experimental mostró una mejora del 55,31 % frente al 23,59 % del grupo control, lo que indica una diferencia significativa entre grupos ($p = 0,001$).

Finalmente, el estudio de Kim et al. (2021) mostró una diferencia significativa dentro del grupo experimental. No se observaron cambios significativos en el grupo control; sin embargo, al comparar ambos grupos al final del estudio, se encontró una diferencia significativa a favor del grupo experimental ($p < 0,05$). En conjunto, las mejoras fueron mayores en los grupos que recibieron intervenciones tecnológicas en comparación con los grupos control, aunque la magnitud del cambio varió en función del tipo de dispositivo y de la intensidad del entrenamiento.

6.4 Resultados sobre la fuerza.

Dos estudios utilizaron escalas de fuerza para evaluar el efecto de las intervenciones tecnológicas.

Cho (2016) evaluó a los participantes mediante una prueba muscular manual utilizando un dispositivo digital. La fuerza muscular en la extensión de la rodilla aumentó de manera significativa,

siendo los resultados más importantes en el grupo experimental. En cuanto a la flexión de rodilla, se observó un aumento significativo en ambos grupos tras el entrenamiento. Sin embargo, después de la intervención, la fuerza de flexión de la rodilla derecha no mostró diferencias significativas entre los grupos.

El estudio de Pool et al. (2016) utilizó dinamometría manual para evaluar la fuerza isométrica de dorsiflexión del tobillo y elevaciones de talón para medir la fuerza funcional. Las pruebas se realizaron tres veces siguiendo un protocolo previamente establecido. Tras ocho semanas, el grupo experimental mostró una fuerza de dorsiflexión del tobillo significativamente mayor. No obstante, estos resultados significativos no se mantuvieron en la semana catorce tras la finalización del tratamiento.

6.5 Resultados sobre la marcha.

Tres estudios analizaron variables relacionadas con la marcha mediante pruebas como el 10MWT, 6MWT, 2MWT u otras evaluaciones de la marcha, la carrera y el salto.

Cho (2016) es un claro ejemplo. El estudio evalúa la marcha mediante el 10MWT para medir la velocidad y el 2MWT para valorar la resistencia. Se observó un aumento significativo de la velocidad de la marcha y de la distancia recorrida tras el entrenamiento en ambos grupos. Sin embargo, la mejora fue mayor en el grupo que recibió la intervención tecnológica.

En el estudio de Wu (2024), la velocidad de la marcha se evaluó mediante una pasarela instrumentada de diez metros. Además, la resistencia se midió con el 6MWT. Los resultados mostraron mejoras en la velocidad de la marcha y en la resistencia en el grupo experimental en comparación con el grupo convencional; no obstante, es importante señalar que no se observaron cambios significativos tras la intervención en ninguno de los dos grupos.

Por último, el estudio de Fu (2022) evaluó la marcha mediante el 6MWT. Tras las semanas de tratamiento, se observaron mejoras significativas, siendo más importantes en el grupo experimental.

De manera general, los resultados sugieren una tendencia hacia la mejora de la velocidad y la resistencia de la marcha tras las intervenciones tecnológicas.

6.6 Resultados sobre la participación y la dinámica familiar.

Un número limitado de estudios ha evaluado específicamente la participación del niño y el impacto en la dinámica familiar.

El estudio de Szturm et al. (2022) incluyó un análisis cualitativo mediante entrevistas realizadas tras la intervención únicamente en el grupo experimental. Estas entrevistas se centraron en las experiencias y puntos de vista de los padres y de los niños. Los resultados fueron positivos, ya que todos expresaron su interés en continuar con esta terapia si disponían del sistema de juego. El artículo incluso señala que «la mayoría de los padres y de los niños indicaron que los juegos informáticos seleccionados eran divertidos. Un padre comentó que era más fácil convencer a los niños de realizar ejercicios de equilibrio cuando utilizaban juegos informáticos que ejercicios convencionales».

En el estudio de Kim et al. (2021), se compararon los cuidados comunitarios centrados en la familia y el niño (CFC) con la rehabilitación pediátrica convencional (RPC) en los ámbitos físico, cognitivo, sensorial y social en niños y adolescentes. El estudio no mostró diferencias significativas entre los dos grupos, pero sí evidenció un efecto principal significativo en el grupo experimental en términos de rendimiento y satisfacción. Se observó un aumento significativo en las puntuaciones del cuestionario de calidad de vida pediátrica (PedsQL).

Por último, el estudio de Fonvig et al. (2020) evaluó la eficacia sobre la percepción de la atención centrada en la familia (FCS) mediante los cinco dominios de la Measure of Processes of Care (MPOC-20): colaboración y asociación, provisión de información general, provisión de información específica sobre el niño, atención respetuosa y de apoyo, y cuidados coordinados e integrales. No se observaron diferencias significativas entre los grupos en ninguno de los cinco dominios del MPOC-20.

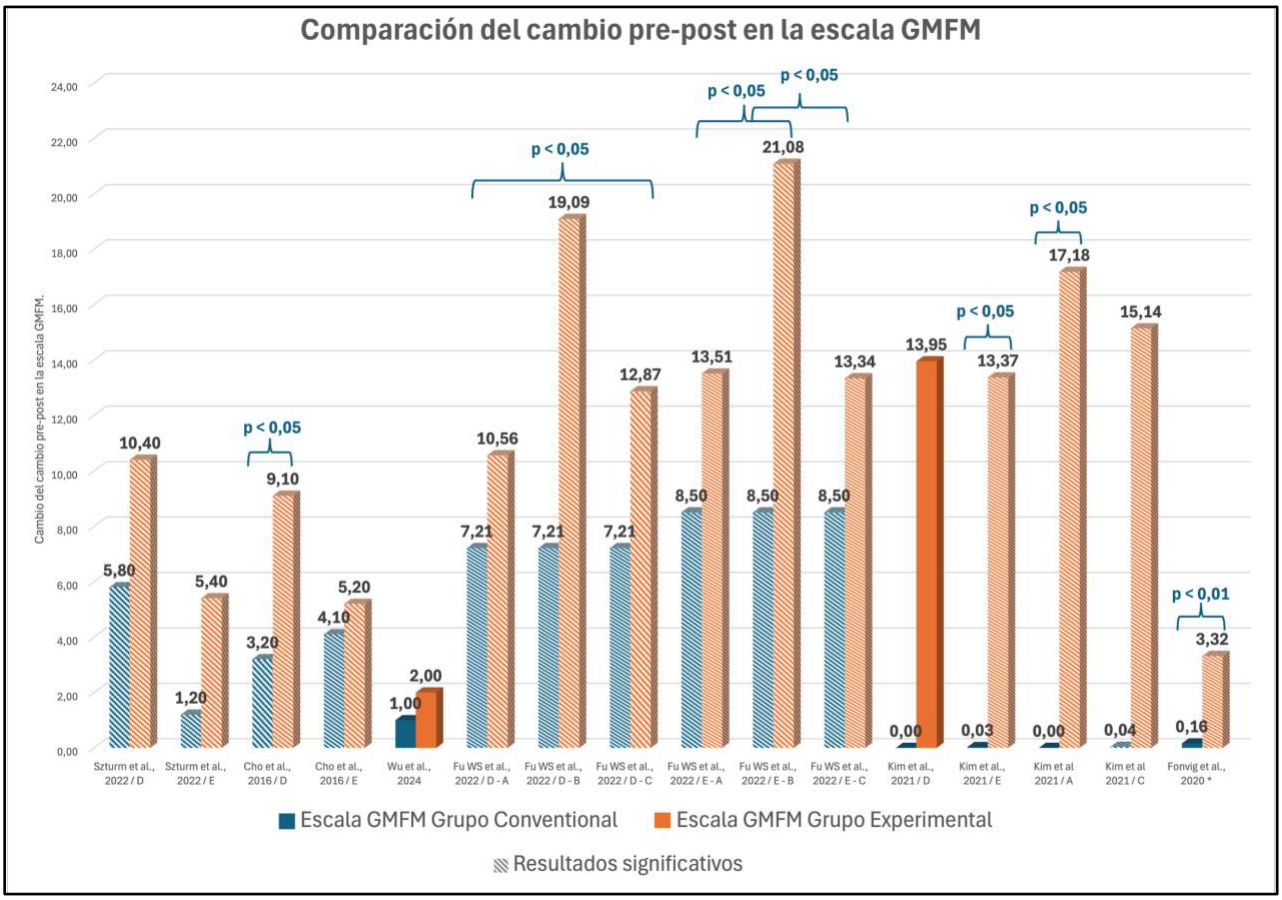
En los estudios que incluyeron estas variables, se describieron mejoras percibidas en la participación del niño en las actividades de la vida diaria, así como una mayor sensación de autonomía, aunque los datos siguen siendo limitados y heterogéneos.

7. DISCUSIÓN.

Las diferentes tecnologías aplicadas a la rehabilitación de la marcha en niños con parálisis cerebral fueron analizadas, en particular la realidad virtual, el entrenamiento robotizado, la estimulación eléctrica, los robots de equinoterapia y los enfoques centrados en la familia. De manera general, los resultados muestran efectos positivos sobre la función motora, el equilibrio y la marcha, aunque aparecen diferencias importantes según el tipo de intervención. Uno de los aspectos clave es el papel de la realidad virtual como herramienta de motivación. Varios estudios destacan que la integración de entornos interactivos, fondos coloridos y estímulos visuales atractivos favorece la adherencia al tratamiento, especialmente en niños. Este aumento del compromiso terapéutico permite incrementar la intensidad y la repetición de los ejercicios, dos elementos esenciales del aprendizaje motor. Así, una parte de los beneficios observados podría estar relacionada no solo con la tecnología en sí misma, sino también con una participación más activa del niño durante las sesiones.

7.1 Discusión sobre la función motora (GMFM).

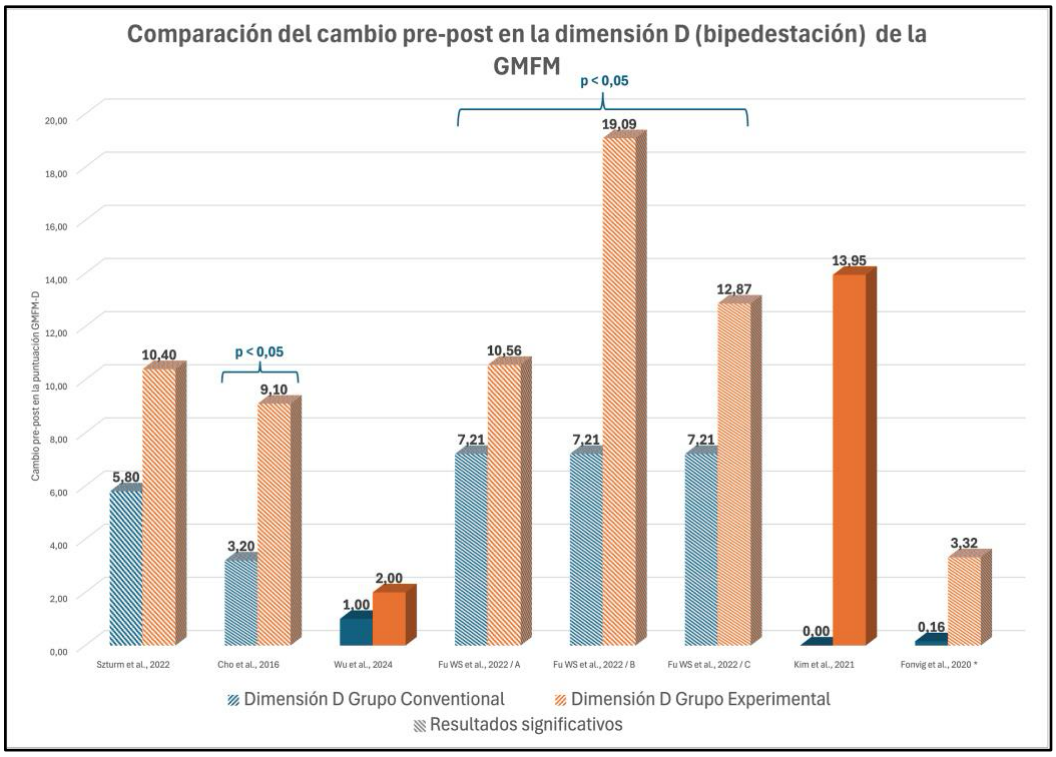
Tabla 3 : Comparación del cambio pre-post en la puntuación GMFM entre el grupo convencional y el grupo experimental.



Fuente: Elaboración propria.

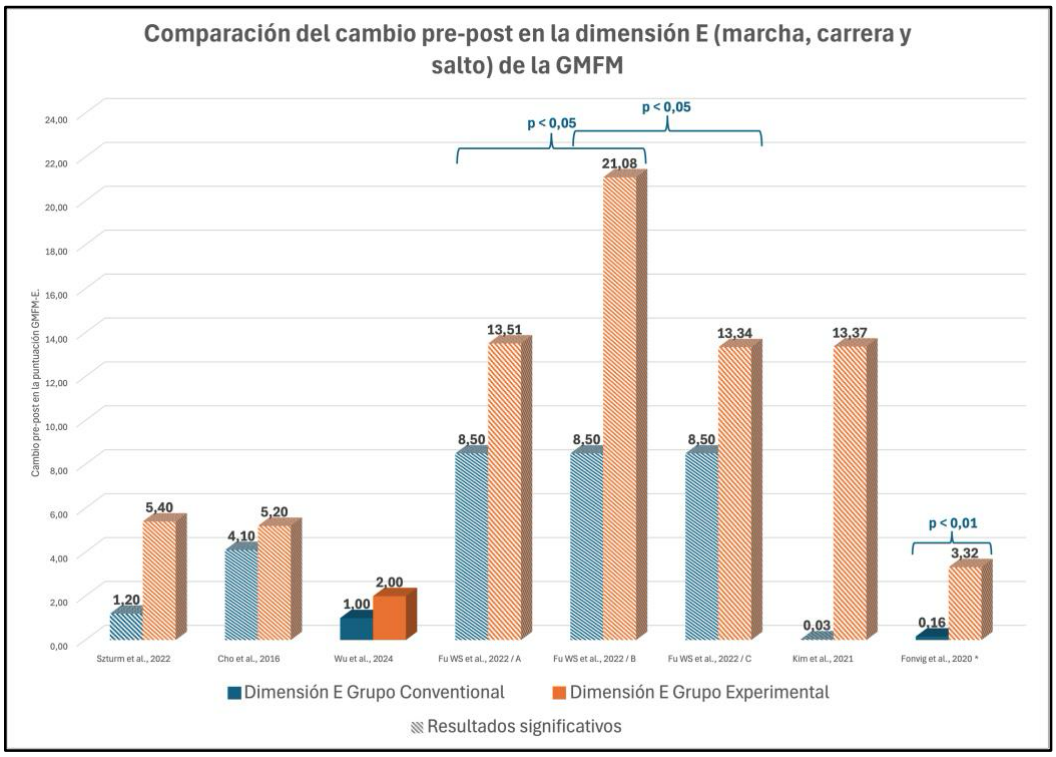
* El estudio de Fonvig et al. (2020) utiliza la GMFM-66 y no la GMFM-88 utilizada en los demás estudios. Los valores no son por tanto directamente comparables, pero han sido incluidos a título indicativo.

Tabla 4 : Comparación del cambio pre-post en la dimensión D de la GMFM (bipedestación) entre el grupo convencional y el grupo experimental.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5 : - Comparación del cambio pre-post en la dimensión E de la GMFM (marcha, carrera y salto) entre el grupo convencional y el grupo experimental.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los valores representados corresponden al cambio pre-post, calculado como la diferencia entre la puntuación postratamiento y la puntuación pretratamiento. Un valor igual a 0 indica ausencia de cambio entre ambas mediciones, no ausencia de datos.

El análisis de los resultados de la GMFM muestra que las intervenciones estudiadas conducen globalmente a una mejora de la función motora en los niños con parálisis cerebral. Sin embargo, el análisis detallado por dimensiones de la GMFM permite matizar esta interpretación. Una mejora de la GMFM no siempre significa una mejora directa de la marcha funcional.

En el estudio de Szturm et al., un programa de ejercicios de doble tarea basado en el juego y la realidad virtual muestra una mejora de la GMFM-D, correspondiente a la bipedestación, asociada a una disminución de la excursión del centro de presión (COP), lo que sugiere una mejor estabilidad en posición de pie. En cambio, la dimensión E, que concierne a la marcha, la carrera y el salto, implica capacidades más complejas como la fuerza, la coordinación, la resistencia y la adaptación dinámica del movimiento. En este estudio, se puede concluir que la mejora del equilibrio constituye un prerrequisito importante para la marcha, pero no garantiza una mejora equivalente de la marcha funcional.

El estudio de Cho et al. aporta un matiz interesante, al asociar la realidad virtual al entrenamiento en cinta rodante. Se observa una mejora en ambos grupos, lo que muestra que la repetición de la marcha ya desempeña un papel importante. La adición de la realidad virtual aporta un beneficio adicional sobre la bipedestación y el control postural. Sin embargo, el grupo con realidad virtual solo es significativo para la GMFM-D y no para la GMFM-E. Esto significa que, aunque el grupo con realidad virtual progresa algo más, no se puede afirmar que la realidad virtual sea claramente superior a la cinta rodante sola para mejorar la marcha, la carrera y el salto. Esta comparación es interesante, porque muestra que el progreso no puede atribuirse únicamente a la tecnología. El grupo sin realidad virtual también mejora su dimensión E en relación con su propia progresión. Estos dos estudios muestran que la tecnología no tiene un efecto uniforme sobre todas las dimensiones de la función motora. Su efecto depende sobre todo del contenido del programa. La realidad virtual no debe considerarse como la única causa del progreso, sino más bien como una optimización del entrenamiento que aumenta la motivación, la atención y el compromiso activo del niño. Finalmente, muestran también que la mejora de la bipedestación no garantiza automáticamente una mejora equivalente de la marcha funcional, por lo que su transferencia hacia la autonomía real de desplazamiento sigue siendo variable.

En el estudio de Fu et al., se observa una combinación de la realidad virtual con el entrenamiento robotizado de la marcha con diferentes niveles de descarga del peso corporal. La mejora más importante se observa en la GMFM-E, en particular en el grupo B, correspondiente a un nivel de descarga del 30%. Esta mejora sugiere que cuando la tecnología se dirige directamente al ciclo de la marcha, con una repetición intensiva y guiada del movimiento, los beneficios pueden transferirse más claramente a las tareas locomotoras. Sin embargo, también es interesante destacar que las diferencias entre los grupos A, B y C muestran que la ayuda de la tecnología no es automática. Una asistencia

insuficiente del 15% para el grupo A puede limitar la calidad del movimiento, mientras que una asistencia excesiva del 45% para el grupo C puede reducir la participación activa del niño. Así, la tecnología parece eficaz sobre todo cuando permite un equilibrio entre apoyo, repetición y compromiso motor activo. Esta observación refuerza la idea de que las intervenciones tecnológicas no deben analizarse solo según su presencia o ausencia, sino según su contenido, su intensidad y sus parámetros de aplicación.

El estudio de Kim et al. aporta una perspectiva diferente respecto a los estudios centrados en la tecnología y el entrenamiento específico de la marcha. En el gráfico, el grupo experimental presenta una mejora importante en varias dimensiones de la GMFM, con la progresión más elevada en la dimensión A, correspondiente a habilidades motrices básicas como los volteos y los cambios de posición, y no directamente a la marcha. Este resultado sugiere que el enfoque centrado en el niño y la familia favorece una mejora más global de la motricidad, más que un efecto específicamente orientado hacia la locomoción. No obstante, es interesante observar que la dimensión E de la GMFM, ligada a la marcha, la carrera y el salto, presenta una mejora significativa. Esto sugiere que el contexto familiar y comunitario puede favorecer la transferencia de los logros motores hacia actividades más funcionales y cercanas a la vida cotidiana. Sin embargo, cabe señalar que el valor intergrupal se sitúa en el límite de la significatividad estadística. La marcha puede también progresar cuando el niño evoluciona en su entorno cotidiano con el apoyo de su familia, lo que favorece la práctica, la participación y la repetición en situaciones reales. En el marco de este trabajo, este artículo permite también ampliar el análisis al papel de la familia y del contexto cotidiano. Mientras que los estudios de Cho et al. y Fu et al. destacan principalmente el efecto de los programas tecnológicos sobre el equilibrio o la marcha, Kim et al. subraya el interés de una atención centrada en el niño y su familia para apoyar la progresión funcional.

En el estudio de Fonvig et al., la mejora de la GMFM-66 a las cincuenta y dos semanas es significativamente mayor en el grupo experimental que en el grupo control. Este resultado sugiere que el análisis instrumentado de la marcha, cuando se integra en una intervención interdisciplinaria, puede contribuir a una mejora de la función motora global al facilitar una atención más individualizada. Sin embargo, la magnitud del cambio sigue siendo moderada en comparación con otras intervenciones más directamente orientadas hacia el entrenamiento de la marcha, y la GMFM-66 no permite determinar con precisión si la mejora concierne específicamente a la locomoción.

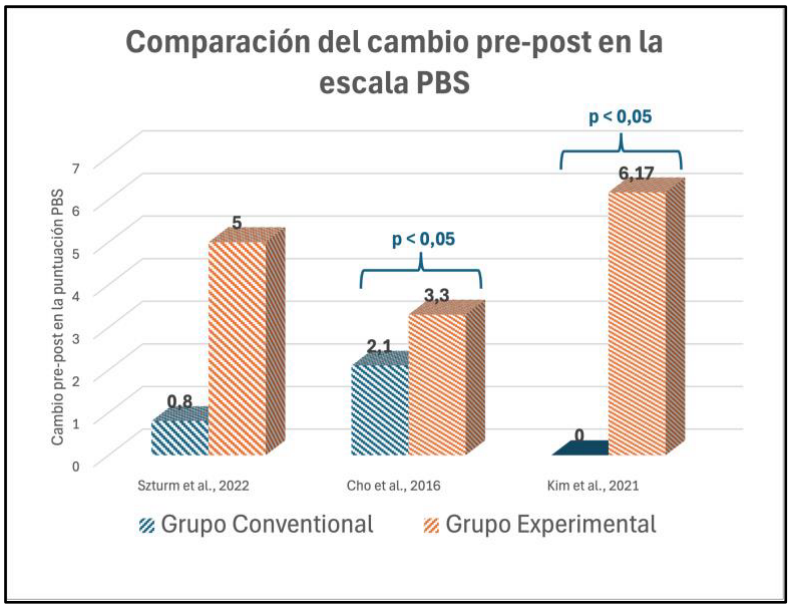
En el estudio de Wu et al., no se observó ninguna mejora significativa de la GMFM, ni en el grupo de hipoterapia robótica ni en el grupo convencional. Estos resultados contrastan con los estudios que utilizan la realidad virtual, la cinta rodante o el entrenamiento robotizado de la marcha, y sugieren que no todas las tecnologías producen los mismos efectos sobre la función motora o la locomoción.

Así, la comparación entre estos estudios muestra que la tecnología no produce un efecto uniforme sobre la función motora. Los programas centrados en el equilibrio y el control postural parecen mejorar principalmente los prerrequisitos de la marcha y la bipedestación. Los programas centrados directamente en el ciclo locomotor, en particular cuando combinan realidad virtual, robótica y asistencia bien dosificada, parecen más capaces de influir en la GMFM-E. Por último, los enfoques centrados en

la familia pueden mejorar la motricidad global, pero no necesariamente la marcha de forma específica. Este análisis permite responder de forma más matizada a la hipótesis del trabajo. Las intervenciones tecnológicas parecen mejorar la función motora relacionada con la marcha, pero esta mejora es variable según el tipo de intervención, la dimensión GMFM estudiada y el grado de especificidad del programa. La tecnología debe por tanto considerarse como una herramienta que permite aumentar la intensidad, la repetición, la motivación y la calidad del movimiento, pero no garantiza por sí sola una mejora directa de la marcha funcional en la vida cotidiana.

7.2 Discusión sobre el equilibrio (PBS).

Tabla 6 : Comparación del cambio pre-post en la puntuación PBS entre el grupo convencional y el grupo experimental.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Solo tres estudios de esta revisión evaluaron el equilibrio mediante la Pediatric Balance Scale (PBS). Los demás estudios utilizaron herramientas de evaluación diferentes, lo que impide su inclusión en este gráfico comparativo.

El análisis de los resultados de la PBS muestra que las intervenciones estudiadas conducen globalmente a una mejora del equilibrio en los niños con parálisis cerebral. Sin embargo, estos resultados deben interpretarse teniendo en cuenta el contenido real de los programas y su especificidad, ya que una mejora de la PBS no significa necesariamente una mejora directa de todos los componentes de la marcha funcional.

Una mejora de la PBS puede reflejar una mejora del control postural, de las transferencias de peso, del equilibrio dinámico o de la capacidad para realizar tareas funcionales con mayor estabilidad. Sin embargo, no significa necesariamente una mejora directa de todos los componentes de la marcha. Esta distinción es importante porque el equilibrio es un componente relevante pero no suficiente por sí solo para garantizar una autonomía real en los desplazamientos.

Las diferencias observadas entre los estudios muestran la importancia de la especificidad de la intervención más que de la mera presencia de tecnología. En los programas centrados directamente en el control postural, como el de Szturm et al., la mejora de la PBS parece coherente con la naturaleza de la intervención, basada en ejercicios de equilibrio en doble tarea, el control visuomotor, el juego y la realidad virtual. Así, en este estudio, la realidad virtual parece reforzar principalmente los prerrequisitos posturales importantes para la marcha, aunque esto no garantiza automáticamente una mejora equivalente de la marcha funcional.

Por el contrario, en un estudio centrado en la marcha, como el de Cho et al., el equilibrio puede mejorar de manera más indirecta. La cinta rodante se dirige principalmente a la repetición del ciclo de marcha, el ritmo y la resistencia, mientras que la adición de la realidad virtual puede favorecer la atención, la motivación y la adaptación postural durante la marcha. Sin embargo, el efecto específico sobre el equilibrio parece menos marcado que en una intervención cuyo objetivo principal es el control postural. Esto muestra que no todas las tecnologías actúan sobre las mismas dimensiones motoras.

Por último, el estudio de Kim et al. presenta la mejora más importante de la PBS en el grupo experimental. Este dato es particularmente interesante, ya que la intervención no se basa principalmente en una tecnología de marcha, sino en un enfoque comunitario centrado en el niño y la familia. Esta mejora podría reflejar el efecto de una atención más global, individualizada e integrada en el contexto cotidiano del niño. Sugiere que el equilibrio también puede mejorar mediante intervenciones que favorecen la participación activa, la implicación de la familia y la manera en que la intervención se integra en la vida real del niño, y no solo mediante dispositivos tecnológicos específicos.

Desde el punto de vista clínico, una mejor puntuación en la PBS puede ser importante ya que puede facilitar la bipedestación, las transferencias, los desplazamientos y ciertas actividades de la vida diaria. Sin embargo, una mejora del equilibrio no garantiza por sí sola una mejora directa y completa de la marcha funcional o de la autonomía real de desplazamiento. La PBS aporta por tanto una información importante sobre las capacidades de equilibrio, pero debe ponerse en relación con otras variables, como la velocidad de marcha, la resistencia, la participación y el nivel de autonomía funcional.

7.3 Discusión sobre la marcha (10MWT, 6MWT Y 2MWT).

Los resultados relativos a la marcha sugieren una tendencia globalmente favorable de las intervenciones tecnológicas, pero esta tendencia no puede leerse de manera uniforme. Más allá de las cifras obtenidas en los tests como el 10MWT, el 6MWT o el 2MWT, es la cuestión del sentido clínico de estas mejoras la que debe guiar el análisis: ¿en qué medida estos progresos reflejan una capacidad de desplazamiento realmente mejorada en la vida cotidiana del niño?

El estudio de Cho et al. (2016) ilustra un punto fundamental: si el grupo que combina realidad virtual y cinta rodante obtiene mejores resultados, el grupo control también progresa. Esto invita a no atribuir todos los beneficios observados únicamente a la tecnología, sino más bien a lo que esta permite generar: una práctica más intensiva, más repetitiva y comprometida del esquema de marcha. La

tecnología no reemplaza los principios fundamentales del aprendizaje motor, pero puede reforzarlos cuando se integra en un entrenamiento funcional.

Fu et al. (2022) plantean una pregunta clínicamente importante: ¿combinar dos tecnologías es más eficaz que utilizar una sola? Sus resultados parecen sugerirlo, y esto se explica probablemente por una complementariedad de los mecanismos de acción. El RAGT asegura una repetición precisa y guiada del patrón de marcha, mientras que la realidad virtual moviliza la atención y el compromiso activo del niño. Además, el hecho de que los mejores resultados se obtengan con un nivel intermedio de asistencia sugiere que una participación activa residual del niño es necesaria para que el entrenamiento sea realmente beneficioso. Un nivel de asistencia demasiado elevado podría reducir el reclutamiento muscular activo y limitar las adaptaciones neuromusculares esperadas.

Los resultados de Wu et al. (2024) aportan un matiz esencial: a pesar de una mejora significativa del control postural del tronco, no se observaron cambios significativos en los parámetros de marcha. Este resultado es clínicamente instructivo, ya que pone de manifiesto que mejorar un prerrequisito postural no es suficiente para producir una mejora medible de la locomoción. La marcha funcional implica una integración compleja de numerosos factores que no progresan necesariamente de forma paralela.

El estudio de Pool et al. (2016) ilustra otra limitación importante: la de la durabilidad de los efectos. Los beneficios de la estimulación eléctrica neuromuscular (NMES) se mostraron menos estables tras la finalización de la intervención, lo que sugiere que una tecnología utilizada de forma aislada y temporal necesitaría asociarse a un entrenamiento funcional continuo para producir ganancias locomotoras duraderas.

En conjunto, estos resultados ponen de manifiesto que las intervenciones tecnológicas no actúan sobre la marcha de forma uniforme. No existe una solución universal: la elección de una intervención debería guiarse por el perfil funcional del niño y los componentes de la marcha prioritariamente trabajados. En relación directa con la hipótesis de este trabajo, los resultados disponibles permiten confirmar solo parcialmente. Las intervenciones tecnológicas mejoran ciertos parámetros medibles de la marcha, pero su capacidad para producir ganancias duraderas y transferibles a la autonomía real de desplazamiento en la vida cotidiana sigue siendo insuficientemente demostrada por la literatura actual.

7.4 Discusión sobre la participación y la dinámica familiar.

La participación del niño y la dinámica familiar constituyen una dimensión central de la pregunta de investigación de este trabajo. Sin embargo, los datos disponibles sobre estos aspectos son considerablemente más limitados que los relativos a la función motora o a la marcha, lo que obliga a matizar considerablemente las conclusiones que pueden extraerse.

El estudio de Szturm et al. (2022) es el único de esta revisión que integra datos cualitativos sobre la experiencia de los padres y los niños. Los padres reportaron cambios percibidos en el nivel de independencia de sus hijos en las actividades cotidianas, en casa, en la escuela y durante el juego. Estos datos son valiosos porque sugieren que algunas intervenciones tecnológicas pueden tener un

impacto más allá de las puntuaciones clínicas, influyendo en la percepción de las capacidades del niño en diferentes contextos de vida. Sin embargo, estas percepciones provienen únicamente del grupo experimental, sin comparación con el grupo control, lo que limita su valor como evidencia sólida.

El estudio de Fonvig et al. (2020) aporta un resultado particularmente revelador: a pesar de una mejora significativa de la función motora en el grupo experimental, no se observaron diferencias significativas entre los grupos en la percepción de la atención centrada en la familia. Este resultado ilustra un posible desajuste entre las mejoras clínicas objetivas y la experiencia cotidiana de los padres, y subraya la necesidad de integrar indicadores centrados en la familia en la evaluación de las intervenciones.

El estudio de Kim et al. (2021) sugiere que un enfoque comunitario, individualizado y centrado en el niño y su familia podría favorecer mejoras en la calidad de vida pediátrica. Esto coincide con la idea de que la participación del niño depende no solo de sus capacidades funcionales, sino también de su entorno y del apoyo familiar del que dispone. Sin embargo, la ausencia de diferencias significativas en variables como el COPM o la integración social invita a matizar estas conclusiones.

En conjunto, estos resultados no permiten afirmar que las intervenciones tecnológicas modifiquen de forma demostrada la dinámica familiar o la participación real del niño. Lo que puede sostenerse, con prudencia, es que algunas intervenciones parecen generar una experiencia terapéutica más positiva para el niño y su familia, lo que podría favorecer la adherencia al tratamiento y, indirectamente, los resultados funcionales. Esta hipótesis requiere sin embargo estudios específicamente diseñados para evaluarla, con medidas validadas de participación y calidad de vida como criterios de resultado principales.

8. LIMITACIONES.

La interpretación de los resultados de esta revisión debe matizarse por varias limitaciones metodológicas importantes.

En primer lugar, la heterogeneidad clínica de los niños incluidos en los estudios limita la generalización de los resultados. Los efectos de una misma intervención pueden variar considerablemente según el nivel GMFCS, el tipo de afectación motora, la edad, la severidad de las limitaciones iniciales y el grado de autonomía del niño. Una intervención pertinente para un niño con una afectación leve puede ser mucho menos eficaz o transferible para otro con una afectación más severa. Esta variabilidad dificulta la comparación directa entre estudios y limita la posibilidad de establecer recomendaciones clínicas universales.

En segundo lugar, la mayoría de los estudios incluidos presentan muestras de pequeño tamaño y períodos de intervención relativamente cortos. Esto limita tanto la potencia estadística de los resultados como la evaluación de la durabilidad de los efectos observados. Sin un seguimiento a largo plazo, no es posible determinar si las mejoras obtenidas en los tests de marcha se mantienen en el tiempo o si se traducen en cambios reales y duraderos en la autonomía del niño.

En tercer lugar, la gran variabilidad de los protocolos utilizados, las tecnologías empleadas y los instrumentos de evaluación seleccionados dificulta la síntesis de los resultados y su comparación entre estudios. Esta heterogeneidad metodológica impide afirmar con solidez que una tecnología concreta sea claramente superior a las demás.

Por último, los datos disponibles sobre la participación y la dinámica familiar son especialmente limitados. Solo un número reducido de estudios ha evaluado estas dimensiones de forma directa, y los instrumentos utilizados son heterogéneos. Esta limitación es particularmente importante, ya que la participación y el impacto familiar constituyen una parte central de la pregunta de investigación de este trabajo. Las conclusiones relativas a estos aspectos deben por tanto interpretarse con mayor prudencia que las referidas a la función motora.

9. CONCLUSIONES.

Las intervenciones tecnológicas identificadas en la literatura reciente, como la realidad virtual, la robótica, la estimulación eléctrica y los juegos interactivos, ofrecen modalidades de entrenamiento variadas, más intensivas y motivadoras, adaptadas a las necesidades específicas de los niños con parálisis cerebral. Las intervenciones tecnológicas muestran una tendencia favorable sobre la función motora global, el equilibrio y ciertos parámetros de la marcha. Sin embargo, estos beneficios no pueden atribuirse exclusivamente a la tecnología, que debe entenderse como un complemento a la fisioterapia convencional y no como un reemplazo. Las mejoras observadas en los tests de marcha como el 10MWT o el 6MWT indican una progresión en un contexto de evaluación estructurado. Sin embargo, su transferencia hacia una autonomía real de desplazamiento en la vida cotidiana sigue siendo insuficientemente demostrada. La hipótesis de una mejora clara y duradera de la marcha sólo puede confirmarse parcialmente.

En cuanto a la participación del niño y la dinámica familiar, los datos disponibles son todavía demasiado limitados y heterogéneos para permitir conclusiones sólidas. Algunas intervenciones parecen favorecer una experiencia terapéutica más positiva para el niño y su familia, pero son necesarios estudios específicamente diseñados para evaluar estas dimensiones. Futuras investigaciones deberían incluir muestras más amplias, protocolos más homogéneos y seguimientos a largo plazo, integrando de manera sistemática medidas de participación e impacto familiar.

Más allá de las cifras y las escalas, este trabajo recuerda que cada intervención se dirige a un niño que busca su manera de desplazarse y de participar en su vida cotidiana. Las nuevas tecnologías no tienen como vocación reemplazar al fisioterapeuta; son herramientas que vienen a enriquecer su práctica, ofrecerle nuevas alternativas y hacer el entrenamiento más motivador y completo. Es cuando se integran en una atención global, centrada en las necesidades reales del niño y de su familia, cuando encuentran su verdadero sentido.

10. BIBLIOGRAFIA.

1.

López Hernández N.. Paralisis cerebral infantil. In: Manuel de neurologia y neurocirugia pediátricas . Ruiz García M, Rueda Franco F Editorial Alfil. 2017. p. 203.

2.

Wu M, Kim J, Gaebler-Spira D. Improving trunk posture control in children with CP through a cable-driven robotic hippotherapy: A randomized controlled feasibility study. Gait & Posture. sept 2024;113:209-14. doi:10.1016/j.gaitpost.2024.06.020

3.

Pérez Manzano A, De Pro Bueno A. Algunos datos sobre la visión de los niños y de las niñas sobre las ciencias y del trabajo científico. iQual. 22 févr 2018;(1):18. doi:10.6018/iQual.306091

4.

Kim M, Park C, Jeon H, Choi WJ, You S (Joshua) H. Comparative effects of community-based family-child-centered care and conventional pediatric rehabilitation for cerebral palsy. NRE. 24 déc 2021;49(4):533-46. doi:10.3233/NRE-210219

5.

Cantero MJP, Medinilla EEM, Martínez AC, Gutiérrez SG. Comprehensive approach to children with cerebral palsy. Anales de Pediatría (English Edition). oct 2021;95(4):276.e1-276.e11. doi:10.1016/j.anpede.2021.07.002

6.

Ayoub HS, Tawfik RM, Draz AH, Anwar Habib DA, Said SM. Effect of Gamified Balance Training Using Virtual Reality on Postural Control in Children with Spastic Diplegic Cerebral Palsy; A Randomized Controlled Study. NeuroRehabilitation. févr 2026;58(1):41-9. doi:10.1177/10538135251399216

7.

CanChild Centre for Childhood Disability Research. CanChild [Internet]. McMaster University; 2007. Gross Motor Function Classification System – Expanded and Revised (GMFCS-E&R). Disponible sur: https://www.canchild.ca/

8.

Cho C, Hwang W, Hwang S, Chung Y. Treadmill Training with Virtual Reality Improves Gait, Balance, and Muscle Strength in Children with Cerebral Palsy. Tohoku J Exp Med. 2016;238(3):213-8. doi:10.1620/tjem.238.213

9.

Chen C ling, Shen I hsuan, Chen C yao, Wu C yi, Liu WY, Chung C ying. Validity, responsiveness, minimal detectable change, and minimal clinically important change of Pediatric

Balance Scale in children with cerebral palsy. Research in Developmental Disabilities. mars 2013;34(3):916-22. doi:10.1016/j.ridd.2012.11.006

10.

De Baptista CRJA, Vicente AM, Souza MA, Cardoso J, Ramalho VM, Mattiello-Sverzut AC. Methods of 10-Meter Walk Test and Repercussions for Reliability Obtained in Typically Developing Children. Rehabilitation Research and Practice. 20 août 2020;2020:1-7. doi:10.1155/2020/4209812

11.

Banyai AD, Brișan C. Robotics in Physical Rehabilitation: Systematic Review. Healthcare. 29 août 2024;12(17):1720. doi:10.3390/healthcare12171720

12.

Rodgers MM, Alon G, Pai VM, Conroy RS. Wearable technologies for active living and rehabilitation: Current research challenges and future opportunities. Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering. janv 2019;6:2055668319839607. doi:10.1177/2055668319839607

13.

Stewart M, Brown JB, Weston WW, McWhinney IR, McWilliam CL, Freeman TR. Patient-centered medicine: transforming the clinical method. 2nd ed. Oxford : Radcliffe Médical Press ; 2003.

14.

Docteur Minguet . https://www.sparadrap.org/professionnels/eviter-et-soulager-peur-et-douleur/les-inquietudes-de-lenfant-avant-un-soin-un [Sparadrap]. 2023. Les inquiétudes de l’enfant avant un soin, un examen….

15.

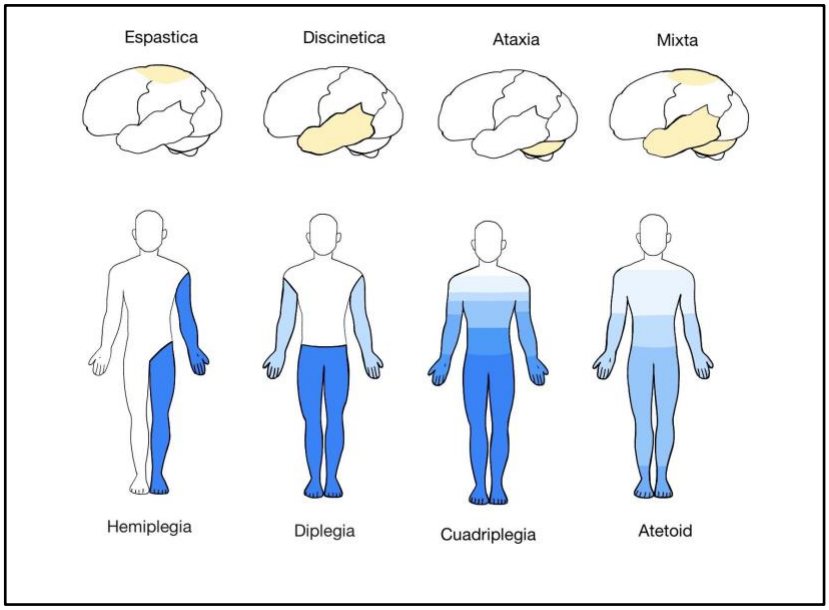
Szturm T, Parmar ST, Mehta K, Shetty DR, Kanitkar A, Eskicioglu R, et al. Game-Based Dual-Task Exercise Program for Children with Cerebral Palsy: Blending Balance, Visuomotor and Cognitive Training: Feasibility Randomized Control Trial. Sensors. 19 janv 2022;22(3):761. doi:10.3390/s22030761

16.

Delage M. . Attachement et systèmes familiaux. Aspects conceptuels et conséquences thérapeutiques [Internet]. Vol. 28. 2007;28(4):391-414. Disponible sur: https://www.cairn.info/revue-therapie-familiale-2007-4-page-391.htm

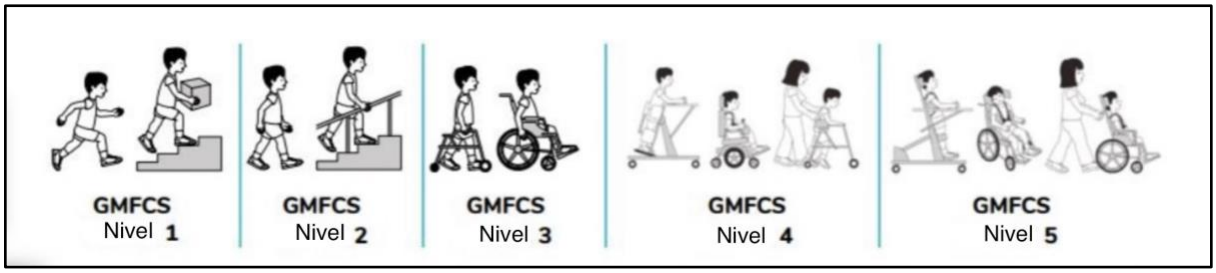
11. ANEXOS.

Anexo 1: Clasificación clínica y topográfica de la parálisis cerebral.



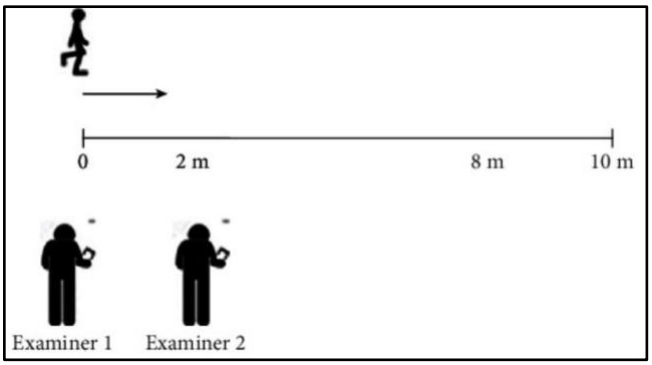
Fuente: Elaboración propria.

Anexo 2: Grados de la escala GMFCS.



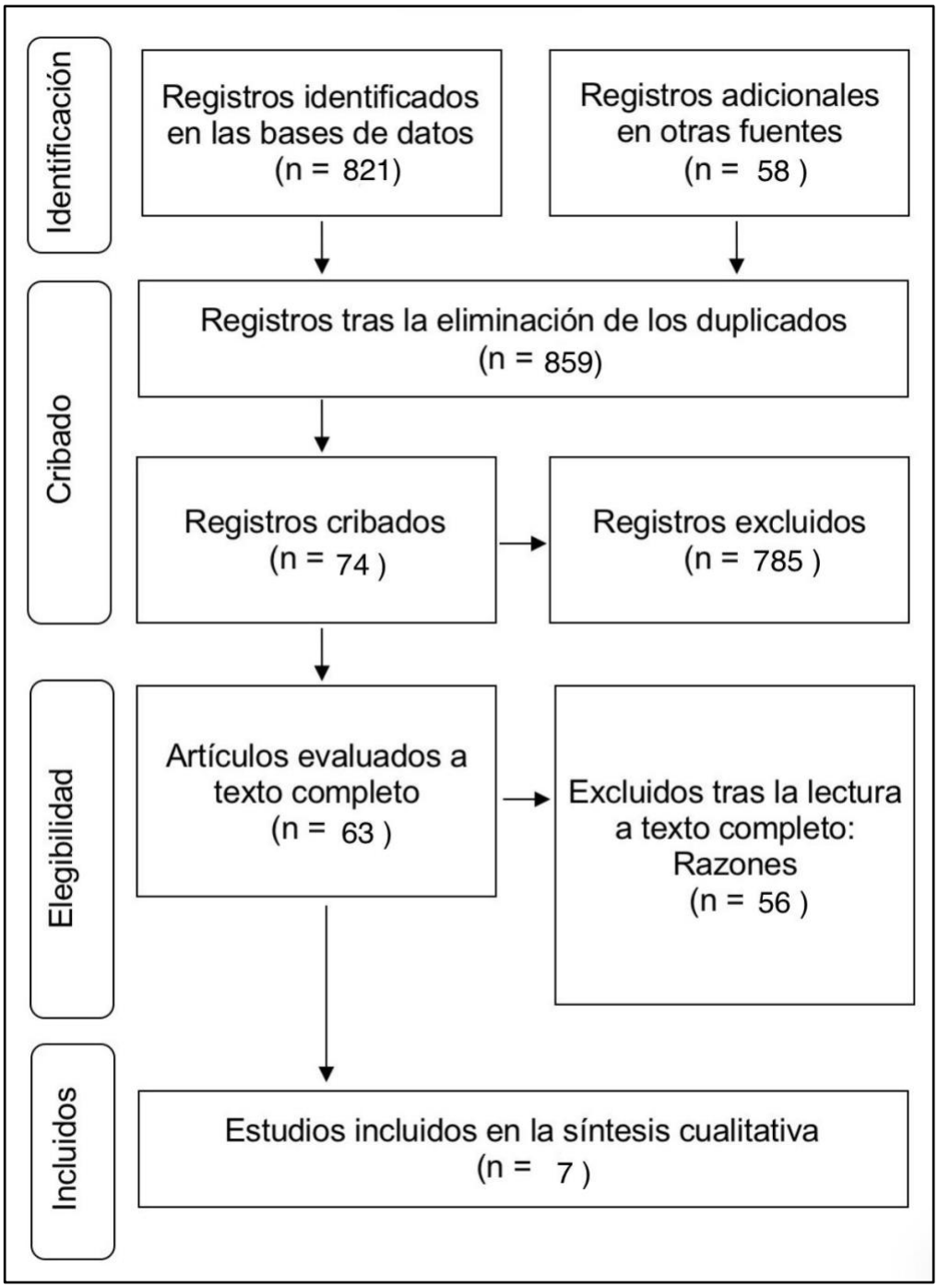
Fuente: CanChild Centre for Childhood Disability Research, McMaster University, 2007.

Anexo 3: Esquema del test de marcha de 10 metros (10MWT).



Leyenda: Representación de la prueba de marcha de 10 metros (10MWT), utilizado para evaluar la velocidad de la marcha. Fuente: adaptado de Baptista et al., 2020.

Anexo 4: Diagrama de flujo PRISMA.



Fuente = Elaboración propria.

Nota = Los registros cribados corresponden a los artículos obtenidos tras la eliminación de deplicados y la aplicación de filtros automáticos en las bases de datos.

Anexo 5: Tabla de búsqueda en Pubmed - Parte 1.

BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA PUBMED		
Búsqueda sin filtro	("Cerebral Palsy" OR "Paralysis Cerebral" OR "PCI") AND ("Gait" OR "Gait Training" OR "Walking" OR "Locomotion") AND ("Balance" OR "Postural Control" OR "Muscle Strength" OR "Strength" OR "Gait Speed" OR "Walking Speed" OR "Movement Quality" OR "Quality of Movement") AND (intervention OR therapy OR treatment OR "motor training" OR technology OR "assistive device" OR "electrical stimulation").	N = 1,339
Fecha de publicación	2016 - 2026	N = 821
Filtros	Free Full text, Randomized Controlled Trial, Humans -	N = 35
Filtros 2	Child: dos years - dieciocho years	N = 34
Temática	Los artículos seleccionados analizan el impacto del entrenamiento con la incorporación de nuevas tecnologías en niños con parálisis cerebral.	
Artículos seleccionados =	Szturm, T., Parmar, S. T., Mehta, K., Shetty, D. R., Kanitkar, A., Eskicioglu, R., & Gaonkar, N. (2022). Game-Based Dual-Task Exercise Program for Children with Cerebral Palsy: Blending Balance, Visuomotor and Cognitive Training: Feasibility Randomized Control Trial. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *22*(3), 761. Cho, C., Hwang, W., Hwang, S., & Chung, Y. (2016). Treadmill Training with Virtual Reality Improves Gait, Balance, and Muscle Strength in Children with Cerebral Palsy. *The Tohoku journal of experimental medicine*, *238*(3), 213–218. https://doi.org/10.1620/tjem.238.213 Wu, M., Kim, J., & Gaebler-Spira, D. (2024). Improving trunk posture control in children with CP through a cable-driven robotic hippotherapy: A randomized controlled feasibility study. *Gait & posture*, *113*, 209–214. Pool, D., Elliott, C., Bear, N., Donnelly, C. J., Davis, C., Stannage, K., & Valentine, J. (2016). Neuromuscular electrical stimulation-assisted gait increases muscle strength and volume in children with unilateral spastic cerebral palsy. *Developmental medicine and child neurology*, *58*(5), 492–501.	

Fuente : Elaboración propria.

Anexo 6: Tabla de búsqueda en Scopus.

BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA SCOPUS		
Búsqueda sin filtro	Bloqueo 1 = « cerebral palsy » OR CP Bloqueo 2 = gait OR walking OR locomotion OR « gait training » Bloqueo 3 = technology OR robot OR robotics OR « virtual reality » Bloqueo 4 = child OR children OR pediatric	N = 80
Fecha de publicación	2016 - 2026	N = 58
Filtros	Document type = Article Language = English, Spanish	N = 39
Filtros 2	Keyword = Child	N = 29
Temática	Los artículos seleccionados analizan el impacto del entrenamiento con la incorporación de nuevas tecnologías en niños con parálisis cerebral.	
Artículos seleccionados =	Ayoub HM, Tawfik RM, Draz AH, Anwar Habib DA, Said SM. Effect of gamified balance training using virtual reality on postural control in children with spastic diplegic cerebral palsy: a randomized controlled study. Neurorehabilitation. 2026. doi:10.1177/10538135251399216. Fu WS, Song YC, Wu BA, Qu CH, Zhao JF. Virtual reality combined with robot-assisted gait training to improve walking ability of children with cerebral palsy: a randomized controlled trial. Technology and Health Care. 2022. doi:10.3233/THC-212821. Arnoni JLB, Kleiner AFR, Lima CRG, De Campos AC, Rocha NACF. Nonimmersive virtual reality as complementary rehabilitation on functional mobility and gait in cerebral palsy: a randomized controlled clinical trial. Games for Health Journal. 2021. doi :10.1089/g4h.2021.0009.	

Fuente : Elaboración propria.

Anexo 7: Evaluación de la calidad metodológica de los estudios incluidos mediante la escala PEDro.

Escala PEDro-Español

1.	Los criterios de elección fueron especificados	no ❑ si ❑ donde:
2.	Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos)	no ❑ si ❑ donde:
3.	La asignación fue oculta	no ❑ si ❑ donde:
4.	Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronostico más importantes	no ❑ si ❑ donde:
5.	Todos los sujetos fueron cegados	no ❑ si ❑ donde:
6.	Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados	no ❑ si ❑ donde:
7.	Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados	no ❑ si ❑ donde:
8.	Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos	no ❑ si ❑ donde:
9.	Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar"	no ❑ si ❑ donde:
10.	Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave	no ❑ si ❑ donde:
11.	El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave	no ❑ si ❑ donde:

La escala PEDro está basada en la lista Delphi desarrollada por Verhagen y colaboradores en el Departamento de Epidemiología, Universidad de Maastricht (*Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). En su mayor parte, la lista está basada en el consenso de expertos y no en datos empíricos. Dos ítems que no formaban parte de la lista Delphi han sido incluidos en la escala PEDro (ítems 8 y 10). Conforme se obtengan más datos empíricos, será posible "ponderar" los ítems de la escala, de modo que la puntuación en la escala PEDro refleje la importancia de cada ítem individual en la escala.

El propósito de la escala PEDro es ayudar a los usuarios de la bases de datos PEDro a identificar con rapidez cuales de los ensayos clínicos aleatorios (ej. RCTs o CCTs) pueden tener suficiente validez interna (criterios 2-9) y suficiente información estadística para hacer que sus resultados sean interpretables (criterios 10-11). Un criterio adicional (criterio 1) que se relaciona con la validez externa ("generalizabilidad" o "aplicabilidad" del ensayo) ha sido retenido de forma que la lista Delphi esté completa, pero este criterio no se utilizará para el cálculo de la puntuación de la escala PEDro reportada en el sitio web de PEDro.

La escala PEDro no debería utilizarse como una medida de la "validez" de las conclusiones de un estudio. En especial, avisamos a los usuarios de la escala PEDro que los estudios que muestran efectos de tratamiento significativos y que puntúen alto en la escala PEDro, no necesariamente proporcionan evidencia de que el tratamiento es clínicamente útil. Otras consideraciones adicionales deben hacerse para decidir si el efecto del tratamiento fue lo suficientemente elevado como para ser considerado clínicamente relevante, si sus efectos positivos superan a los negativos y si el tratamiento es costo-efectivo. La escala no debería utilizarse para comparar la "calidad" de ensayos realizados en las diferentes áreas de la terapia, básicamente porque no es posible cumplir con todos los ítems de la escala en algunas áreas de la práctica de la fisioterapia.

Última modificación el 21 de junio de 1999. Traducción al español el 30 de diciembre de 2012

Notas sobre la administración de la escala PEDro:

Todos los criterios	**<u>Los puntos solo se otorgan cuando el criterio se cumple claramente</u>**. Si después de una lectura exhaustiva del estudio no se cumple algún criterio, no se debería otorgar la puntuación para ese criterio.
Criterio 1	Este criterio se cumple si el artículo describe la fuente de obtención de los sujetos y un listado de los criterios que tienen que cumplir para que puedan ser incluidos en el estudio.
Criterio 2	Se considera que un estudio ha usado una designación al azar si el artículo aporta que la asignación fue aleatoria. El método preciso de aleatorizacion no precisa ser especificado. Procedimientos tales como lanzar monedas y tirar los dados deberían ser considerados aleatorios. Procedimientos de asignación cuasi-aleatorios, tales como la asignación por el número de registro del hospital o la fecha de nacimiento, o la alternancia, no cumplen este criterio.
Criterio 3	*La asignación oculta* (enmascaramiento) significa que la persona que determina si un sujeto es susceptible de ser incluido en un estudio, desconocía a que grupo iba a ser asignado cuando se tomó esta decisión. Se puntúa este criterio incluso si no se aporta que la asignación fue oculta, cuando el artículo aporta que la asignación fue por sobres opacos sellados o que la distribución fue realizada por el encargado de organizar la distribución, quien estaba fuera o aislado del resto del equipo de investigadores.
Criterio 4	Como mínimo, en estudios de intervenciones terapéuticas, el artículo debe describir al menos una medida de la severidad de la condición tratada y al menos una medida (diferente) del resultado clave al inicio. El evaluador debe asegurarse de que los resultados de los grupos no difieran en la línea base, en una cantidad clínicamente significativa. El criterio se cumple incluso si solo se presentan los datos iniciales de los sujetos que finalizaron el estudio.
Criterio 4, 7-11	*Los Resultados clave* son aquellos que proporcionan la medida primaria de la eficacia (o ausencia de eficacia) de la terapia. En la mayoría de los estudios, se usa más de una variable como una medida de resultado.
Criterio 5-7	*Cegado* significa que la persona en cuestión (sujeto, terapeuta o evaluador) no conocía a que grupo había sido asignado el sujeto. Además, los sujetos o terapeutas solo se consideran "cegados" si se puede considerar que no han distinguido entre los tratamientos aplicados a diferentes grupos. En los estudios en los que los resultados clave sean auto administrados (ej. escala visual analógica, diario del dolor), el evaluador es considerado cegado si el sujeto fue cegado.
Criterio 8	Este criterio solo se cumple si el artículo aporta explícitamente *tanto* el número de sujetos inicialmente asignados a los grupos *como* el número de sujetos de los que se obtuvieron las medidas de resultado clave. En los estudios en los que los resultados se han medido en diferentes momentos en el tiempo, un resultado clave debe haber sido medido en más del 85% de los sujetos en alguno de estos momentos.
Criterio 9	El análisis por *intención de tratar* significa que, donde los sujetos no recibieron tratamiento (o la condición de control) según fueron asignados, y donde las medidas de los resultados estuvieron disponibles, el análisis se realizó como si los sujetos recibieran el tratamiento (o la condición de control) al que fueron asignados. Este criterio se cumple, incluso si no hay mención de análisis por intención de tratar, si el informe establece explícitamente que todos los sujetos recibieron el tratamiento o la condición de control según fueron asignados.
Criterio 10	Una comparación estadística *entre grupos* implica la comparación estadística de un grupo con otro. Dependiendo del diseño del estudio, puede implicar la comparación de dos o más tratamientos, o la comparación de un tratamiento con una condición de control. El análisis puede ser una comparación simple de los resultados medidos después del tratamiento administrado, o una comparación del cambio experimentado por un grupo con el cambio del otro grupo (cuando se ha utilizado un análisis factorial de la varianza para analizar los datos, estos últimos son a menudo aportados como una interacción grupo x tiempo). La comparación puede realizarse mediante un contraste de hipótesis (que proporciona un valor "p", que describe la probabilidad con la que los grupos difieran sólo por el azar) o como una estimación de un tamaño del efecto (por ejemplo, la diferencia en la media o mediana, o una diferencia en las proporciones, o en el número necesario para tratar, o un riesgo relativo o hazard ratio) y su intervalo de confianza.
Criterio 11	Una *estimación puntual* es una medida del tamaño del efecto del tratamiento. El efecto del tratamiento debe ser descrito como la diferencia en los resultados de los grupos, o como el resultado en (cada uno) de todos los grupos. Las *medidas de la variabilidad* incluyen desviaciones estándar, errores estándar, intervalos de confianza, rango intercuartílicos (u otros rangos de cuantiles), y rangos. Las estimaciones puntuales y/o las medidas de variabilidad deben ser proporcionadas gráficamente (por ejemplo, se pueden presentar desviaciones estándar como barras de error en una figura) siempre que sea necesario para aclarar lo que se está mostrando (por ejemplo, mientras quede claro si las barras de error representan las desviaciones estándar o el error estándar). Cuando los resultados son categóricos, este criterio se cumple si se presenta el número de sujetos en cada categoría para cada grupo.

Anexo 8 : Escala PEDro.

ESCALA PEDro PARTE 1												
Autores y fecha	**Criterios de la escala PEDro**											**Nota**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	
Szturm et al., 2022	✅	✅	✅	✅	❌	❌	✅	✅	✅	✅	✅	8/10
Choi et al., 2016	✅	✅	❌	✅	❌	❌	✅	✅	❌	✅	✅	6/10
Wu et al., 2024	✅	✅	❌	✅	❌	❌	✅	✅	❌	✅	✅	6/10
Pool et al., 2016	✅	✅	❌	✅	❌	❌	✅	✅	✅	✅	✅	7/10
Ayoub HM et al.,2026	✅	✅	❌	✅	❌	❌	✅	✅	❌	✅	✅	6/10
Fu WS et al.,2022	✅	✅	❌	✅	❌	❌	✅	✅	✅	✅	✅	7/10
Arnoni et al., 2021	✅	✅	✅	✅	❌	❌	✅	✅	✅	✅	✅	8/10
1 se definen los criterios de inclusión de los participantes (no se incluye en la puntuación). 2. Los participantes fueron asignados de forma aleatoria a los grupos. 3. La asignación a los grupos fue oculta. 4. Los grupos eran similares al inicio del estudio. 5. Los participantes no sabían a qué grupo pertenecían. 6. Los terapeutas no sabían qué tratamiento aplicaban. 7. Los evaluadores desconocían el grupo de los participantes. 8. La mayoría de los participantes completaron el estudio. 9. Se realizó un análisis por intención de tratar. 10. Se compararon los resultados entre los grupos. 11. Se presentan los resultados con medidas estadísticas (media y varia).												

Fuente: Elaboración propria a partir de la Escala PEDro (Physiotherapy Evidence Database).

Anexo 9: Artículos seleccionados para la revisión bibliográfica - Parte 1.

ARTÍCULOS SELECCIONADOS PARA LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA - PARTE 1		
Autores, fecha	**Título**	**Fuente**
Szturm et al., 2022	Game-Based Dual-Task Exercise Program for Children with Cerebral Palsy: Blending Balance, Visuomotor and Cognitive Training: Feasibility Randomized Control Trial.	Sensors (Basel, Switzerland), 22(3), 761.
	Ensayo aleatorizado de un programa de ejercicios de doble equilibrio basado en juego en niños con parálisis cerebral.	
Cho et al., 2016	Treadmill Training with Virtual Reality Improves Gait, Balance, and Muscle Strength in Children with Cerebral Palsy.	Tohoku Journal of Experimental Medicine, 238(3), 213-218.
	El estudio examinó los efectos del entrenamiento en cinta rodante con realidad virtual sobre la marcha, el equilibrio, la fuerza muscular y la función motora global.	
Wu et al., 2024	Improving trunk posture control in children with CP through a cable-driven robotic hippotherapy: a randomized controlled feasibility study.	Gait y Posture, 113, 209-214
	El objetivo de este estudio fue probar la viabilidad del sistema hipoterapia accionado por cable para mejorar el control de la postura del tronco y la función de la marcha en niño en PC.	
Pool et al., 2016	Neuromuscular electrical stimulation-assisted gait increases muscle strength and volume in children with unilateral spastic cerebral palsy.	Developmental Medicine and Child Neurology, 58(5) 492-501
	La utilización de la estimulación eléctrica neuromuscular (NMES) aplicada a los dorsiflexores del tobillo durante la marcha para mejorar el volumen y la fuerza muscular en niños con parálisis cerebral.	
Ayoub HM et al., 2026	Effect of gamified balance training using virtual reality on postural control in children with spastic diplegic cerebral palsy: a randomized controlled study.	Neuro Rehabilitation
	El uso de nuevas tecnologías es un punto clave para un compromiso y una motivación eficaces durante el entrenamiento del equilibrio en niños con parálisis cerebral.	
Fu WS et al., 2022	Virtual reality combined with robot-assisted gait training to improve walking ability of children with cérébral palsy: a randomized controlled trial.	Tecnology and Health Care
	Este estudio tiene como objetivo analizar la eficacia de la realidad virtual combinada con el entrenamiento de la marcha asistido por robot (RAGT) cobre la capacidad de marcha en niños con o	

	parálisis cerebral.	
Armoni JLB et al., 2021	Nonimmersive virtual reality as complementary rehabilitation on functional mobility and gait in cerebral palsy: a randomized controlled clinical trial.	Games for Health Journal
	Este estudio tenía como objetivo analizar lso efectos de la realidad virtual no inmersiva (RV) como complemento de la rehabilitación sobre la movilidad funcional y la marcha en niños con parálisis cerebral.	

Fuente: Elaboración propria.

Anexo 10: Escala PEDro - Parte 2.

Autores	**Criterios de la escala PEDro**											**Nota**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	
Szturm et al., 2022	✅	✅	✅	✅	❌	❌	✅	✅	✅	✅	✅	8/10
Fonvig et al 2020.	✅	✅	✅	✅	❌	❌	✅	✅	✅	✅	✅	8/10
Kim et al., 2021	✅	✅	❌	✅	❌	❌	✅	✅	✅	❌	✅	6/10
1 se definen los criterios de inclusión de los participantes (no se incluye en la puntuación). 2. Los participantes fueron asignados de forma aleatoria a los grupos. 3. La asignación a los grupos fue oculta. 4. Los grupos eran similares al inicio del estudio. 5. Los participantes no sabían a qué grupo pertenecían. 6. Los terapeutas no sabían qué tratamiento aplicaban. 7. Los evaluadores desconocían el grupo de los participantes. 8. La mayoría de los participantes completaron el estudio. 9. Se realizó un análisis por intención de tratar. 10. Se compararon los resultados entre los grupos. 11. Se presentan los resultados con medidas estadísticas (media y varia).											

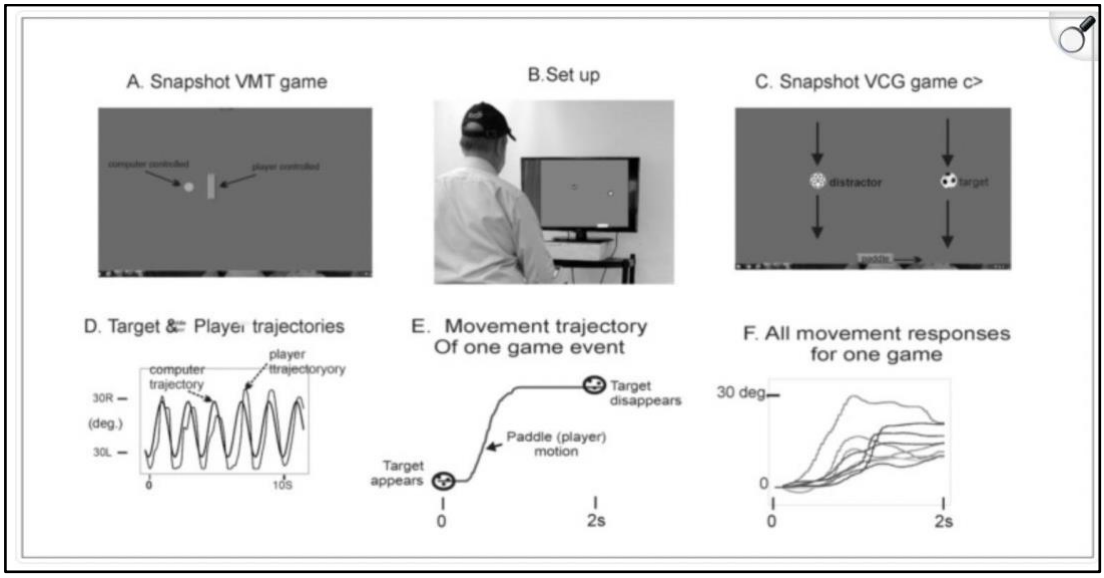
Fuente: Elaboración propria a partir de la Escala PEDro (Physiotherapy Evidence Database).

Anexo 11: Artículos seleccionados para la revisión bibliográfica - Parte 2

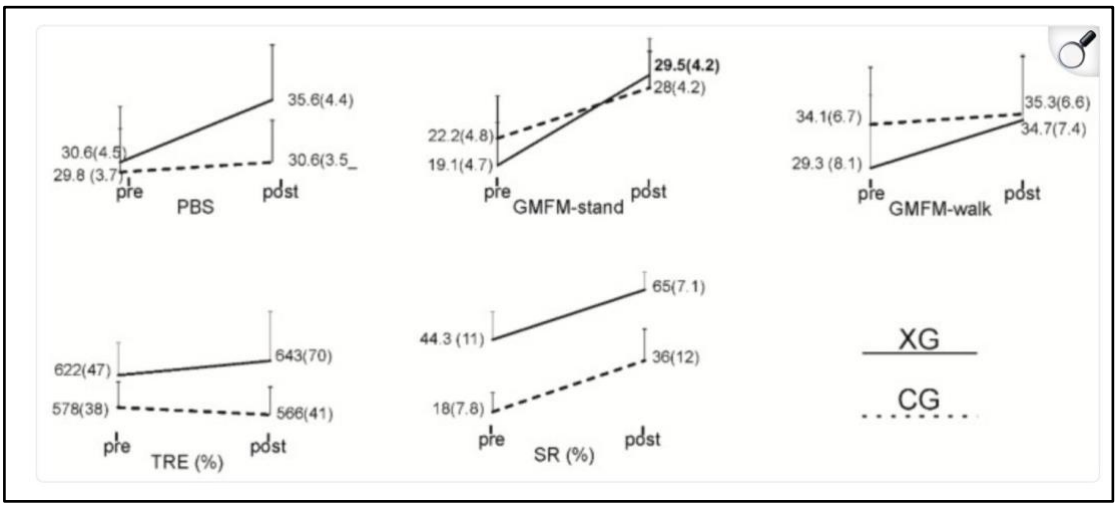
ARTÍCULOS SELECCIONADOS PARA LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA - PARTE 1		
Autores, fecha	**Título**	**Fuente**
Szturm et al., 2022	Game-Based Dual-Task Exercise Program for Children with Cerebral Palsy: Blending Balance, Visuomotor and Cognitive Training: Feasibility Randomized Control Trial.	Sensors (Basel, Switzerland), 22(3), 761.
	Ensayo aleatorizado de un programa de ejercicios de doble equilibrio basado en em juego en niños con parálisis cerebral.	
Kim et al. ; 2021	Comparative effects of community-based family-child-centered care and conventional pediatric rehabilitation for cerebral palsy.	*NeuroRehabilitation*, *49*(4), 533–546. https://doi.org/10.3233/NRE-210219
	Comparación de los cuidados comunitarios centrados en la familia y el niño frente a la rehabilitación pediátrica convencional.	
Fonvig et al 2020.	Effectiveness of instrumented gait analysis in interdisciplinary interventions on parents' perception of family-centered service and on gross motor function in children with cerebral palsy: a randomized controlled trial.	BMC Pediatr. 2020 Sep 1; 20:411. doi: 10.1186/s12887-020-02315-2
	El estudio compara si las intervenciones interdisciplinarias adaptadas de forma individual tienen una eficacia superior sobre la Family-Centered Service (FCS) y la función global, en comparación con los cuidados habituales.	

Fuente: Elaboración propria.

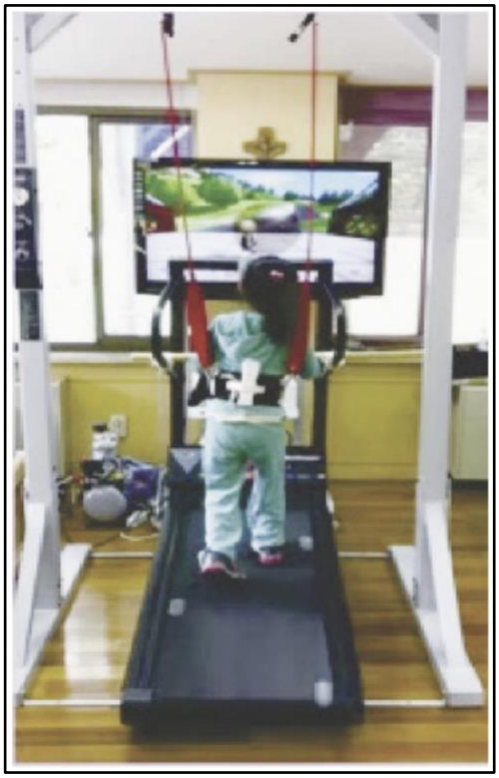
Anexo 12: Adaptado de Szturm et al. (2022). Representación del programa de entrenamiento basado en juegos de doble tarea, incluyendo la configuración del sistema, los estímulos visuales y el registro de las trayectorias de movimiento del jugador



Anexo 13: Adaptado de Szturm et al. (2022). El gráfico muestra la evolución pre-post del grupo experimental (XG) y del grupo control (CG) en equilibrio, función motora gruesa y parámetros relacionados con el entrenamiento.



Anexo 14: Virtual treadmill training. Adaptado de Cho et al., 2016.

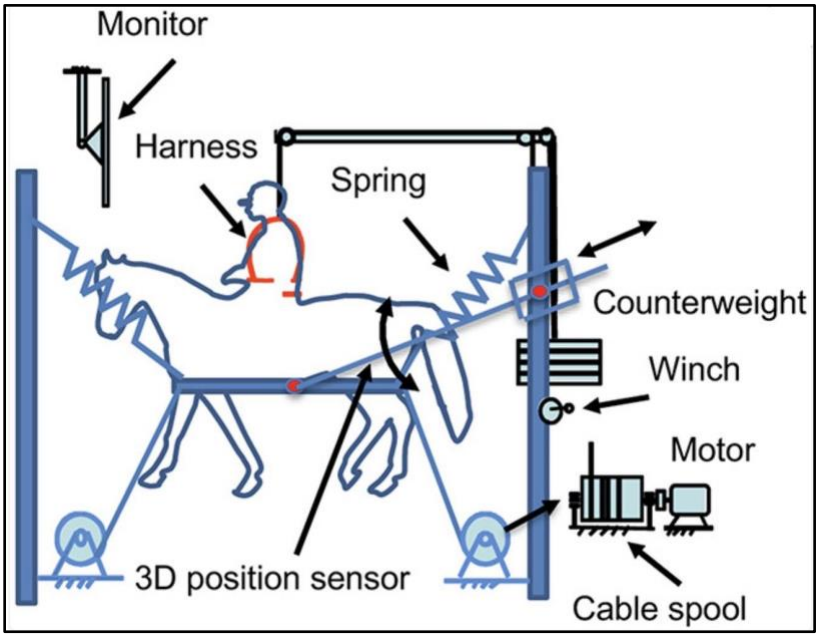


Anexo 15: Adaptado de Cho et al. (2016). Cambios pre-post en la función motora gruesa, el equilibrio y la marcha en el grupo de entrenamiento en cinta con realidad virtual (VRTT) y el grupo de entrenamiento en cinta convencional (TT).

Table 3. Changes in clinical functional measures of the participants in this study. (N = 18)

	VRTT group (n = 9)		TT group (n = 9)		t	P
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test		
Gross motor functional measure						
Standing (%)	63.1 ± 22.4	72.2 ± 21.5	62.0 ± 27.3	65.2 ± 27.0	3.120	0.007
Walking, running, jumping (%)	52.7 ± 24.9	57.9 ± 24.8	47.1 ± 25.8	51.2 ± 26.0	0.793	0.440
Pediatric balance scale	31.3 ± 13.0	34.6 ± 13.5	28.1 ± 16.0	30.2 ± 15.6	2.917	0.010
10 meter walk test	0.4 ± 0.2	0.9 ± 0.2	0.5 ± 0.4	0.7 ± 0.4	4.169	0.001
2 minute walk test	54.8 ± 30.1	116.1 ± 27.7	72.9 ± 45.2	88.9 ± 50.8	5.058	<0.001

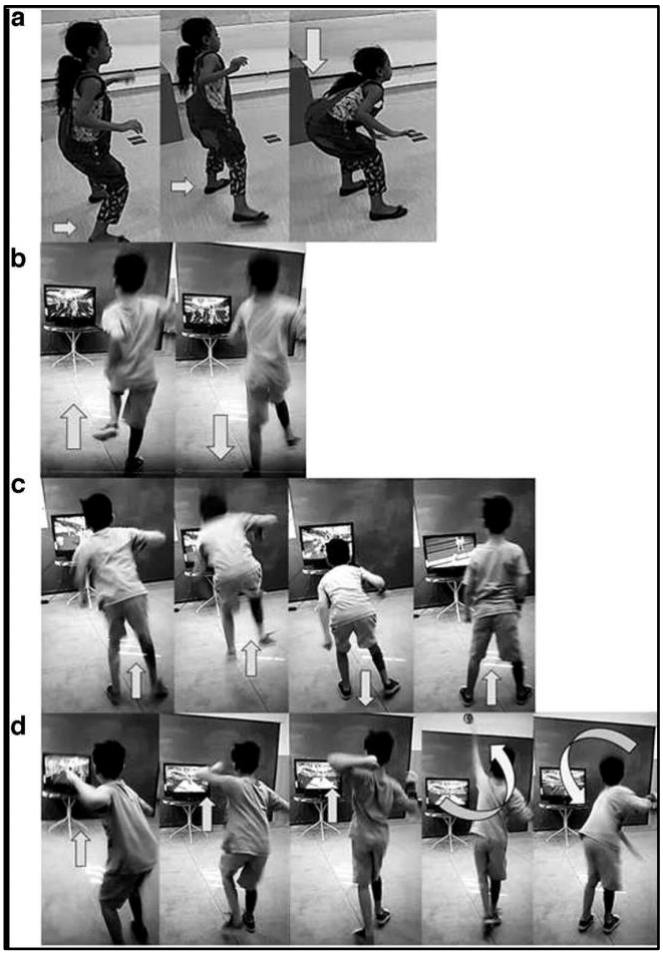
Anexo 16: La configuración del sistema de hipoterapia robótica impulsado por cable. Adaptado de Wu et al., 2024.



Anexo 17: Adaptado de Wu et al. (2024). Resultados de las medidas clínicas y funcionales en los grupos robótico y convencional antes de la intervención, después de la intervención y en el seguimiento a las 8 semanas.

	Robotic group			Conventiona group		
	pre	post	follow-up	pre	post	follow-up
TCMS	19±14	25±13	21±15	14±7	13±7	13±8
GMFM	60±13	62±17	60±16	49±7	50±7	49±7
SSV (m/s)	0.58±0.21	0.67±0.35	0.73±0.39	0.32±0.14	0.35±0.15	0.27±0.08
FV (m/s)	1.06±0.35*	1.05±0.38	1.24±0.57	0.56±0.15	0.62±0.17	0.52±0.13
Distance (m)	309.0±180.6	291.5±154.3	298.9±147.4	115.1±58.4	116.1±46.6	96.3±46.0
MAS	1.9±2.4	2.4±2.9	1.8±2.2	2.9±2.6	3.0±2.4	3.4±3.0
FAC	3.3±1.7	3.3±1.7	3.3±1.7	1.2±0.8	1.2±0.8	1.2±0.8
PODCI	5.0±39.7	4.3±40.8	10.5±37.2	−9.7±15.0	−5.7±13.7	−10.0±18.5

Anexo 18: Ilustraciones de los juegos de realidad virtual no inmersiva utilizados para la familiarización del niño con el entorno virtual, (a) Reflex Ridge; y durante el entrenamiento de la marcha, (b) Atletismo, (c) Salto de longitud; (d) Lanzamiento de dardos.



Anexo 19: Adaptado de Kim et al. (2021). Comparación de los cambios pre-post en la función motora gruesa y la competencia motora entre el grupo de rehabilitación pediátrica convencional (CPR) y el grupo de cuidados comunitarios centrados en la familia y el niño

[a]GMFM	[b]CPR group			[c]CFC group		
	Pre-test	Post-test	*P*-value	Pre-test	Post-test	*P*-value
A	98.72±3.52	98.72±3.52	1.00	72.03±33.16	89.21±17.50	0.00*
B	89.82±18.30	89.82±18.30	1.00	63.49±34.25	78.33±27.75	0.37
C	89.03±15.77	88.99±15.77	0.33	51.48±36.66	66.62±34.07	0.01*
D	73.02±35.10	73.02±35.10	1.00	32.67±32.56	46.62±36.85	0.14
E	71.49±33.48	71.52±33.49	0.81	22.57±25.75	35.94±35.92	0.04*
Total	72.48±22.49	72.46±22.48	0.66	48.29±30.17	63.96±28.73	0.04*
[d]BOT-2	CPR group			CFC group		
	Pre-test	Post-test	*P*-value	Pre-test	Post-test	*P*-value
	56.25±15.58	59.00±15.49	0.00*	34.25±23.51	50.73±20.50	0.00*

[a]GMFM, Gross motor function measure; [b]CPR, Conventional pediatric rehabilitation; [c]CFC, Community-based family-child centered care; [d]BOT-2, Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency-2; *P<0.05.

Anexo 20: Póster de sensibilización destinado a las clínicas de fisioterapia pediátrica, que ilustra las principales intervenciones tecnológicas abordadas en este trabajo y su interés para el niño y su familia.

LAS INTERVENCIONES TECNOLÓGICAS

Al servicio del movimiento



Entrenamiento robotizado

Hipoterapia robotizada

Equipo multidisciplinar

Para cada niño, un paso más hacia la autonomía !

La tecnología hace la rehabilitación más motivadora, eficaz, y lúdica !

Innovar hoy para mejorar sus posibilidades de mañana



Realidad virtual

Juegos de doble tarea

Electroestimulación

Mejora de la marcha, el equilibrio y la función motora

Estimulación cognitiva y atencional

Mayor motivación, disfrute y participación del niño

Transferencia de los logros a la vida cotidiana

Implicación familiar y mejor calidad de vida

Más movimiento, más autonomía, más posibilidades !

- **Intervenciones adaptadas y personalizadas**
- **Sesiones motivadoras y participativas**
- **Para avanzar juntos hacia los objetivos**

CADA PROGRESO CUENTA !