

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ**

**FACULTAD DE MEDICINA**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO EN FISIOTERAPIA**



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*

**EVIDENCIA DE LA UTILIZACIÓN DEL EXOESQUELETO ROBÓTICO DURANTE LA MARCHA, EN INDIVIDUOS PEDIÁTRICOS CON PCI. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

**AUTOR:** ALCARAZ HERNÁNDEZ, ANDREA.

**Nº expediente:** 2077.

**TUTOR:** POLO AZORÍN, RAFAEL.

**Departamento de patología y cirugía. Área de Fisioterapia.**

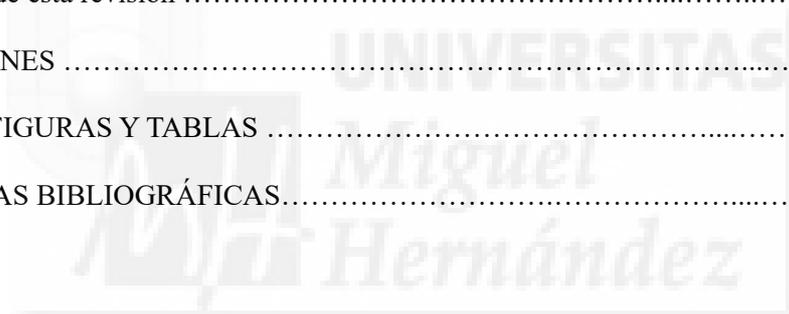
**Curso académico:** 2019 – 2020.

**Convocatoria de Junio.**



# ÍNDICE

0. RESUMEN Y PALABRAS CLAVES .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. OBJETIVOS .....	9
2.1. General .....	9
2.2. Específicos .....	9
3. MATERIAL Y MÉTODOS .....	10
4. RESULTADOS .....	11
5. DISCUSIÓN .....	14
Limitaciones de esta revisión .....	20
6. CONCLUSIONES .....	21
7. ANEXO DE FIGURAS Y TABLAS .....	22
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35



## **RESUMEN**

**Introducción.** La parálisis cerebral (PC) es un trastorno neurológico crónico con una prevalencia de 2-3 por cada 1.000 nacidos vivos. El deterioro neuromuscular que sufren, puede conducir a una mecánica de marcha anormal e ineficiente, incrementando de esta manera el costo energético al caminar. Los exoesqueletos robóticos nos ofrecen un método potencial para mejorar la economía al caminar.

**Objetivos.** Conocer la efectividad del uso del exoesqueleto robótico como tratamiento en la mejora de la marcha en individuos con parálisis cerebral infantil.

**Material y método.** Se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases Pubmed, Cochrane, Pedro, y Scopus de artículos que incluyeran “humans” y “child”

**Resultados.** Se obtuvo en las bases de datos, tras eliminar duplicados, leer el título y resumen y aplicar los criterios de inclusión y exclusión, 9 artículos. .

**Conclusiones.** El uso del exoesqueleto como método para mejorar la marcha en niños con parálisis cerebral es un método efectivo para mejorar las deficiencias del miembro inferior, como la postura en flexo, la activación muscular, y el descenso del coste metabólico.

**Palabras clave.** Exoesqueleto, parálisis cerebral, miembro inferior.

## **ABSTRACT**

**Introduction.** Cerebral palsy (CP) is a chronic neurological disorder where we can find a prevalence of 2-3 per 1,000 live births. The neuromuscular deterioration that they suffer, can lead to abnormal and inefficient running mechanics, thus increasing way the energy cost of walking. Robotic exoskeletons offer us a potential method to improve the economy when walking.

**Objectives.** To know the effectiveness about the use of the robotic exoskeleton as a treatment in the improvement of gait in individuals with infantile cerebral palsy.

**Material and methods.** Bibliographic research of articles on databases such as Pubmed, Cochrane, Pedro, and Scopus of articles that included "humans" and "child"

**Results.** From the databases, after removing duplicates, reading titles and summary, and once the inclusion and exclusion criteria had been applied, it was obtained 9 articles

**Conclusions.** The use of the exoskeleton as a method of improving gait in children with cerebral palsy, is an effective method of improving lower limb deficiencies, such as flexed posture, muscle activation, and decreased metabolic cost.

**Keywords.** Exoskeleton, cerebral palsy, lower extremity.

## **ABREVIATURAS.**

PC: Parálisis cerebral

GMFCS: El sistema de la clasificación de la función motora gruesa.

TD: Desarrollo típico

HAL: \_Hybrid Assistive Limb



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los estudios clínicos incluidos.....	27
--	----



## 1.INTRODUCCIÓN

La parálisis cerebral (PC) es un trastorno neurológico crónico causado por una lesión estática en el cerebro inmaduro y se caracteriza por déficits de movimientos y control postural, o también definido como, un grupo de trastornos del desarrollo, del movimiento y la postura, con limitación de la actividad como resultado de una lesión no progresiva, que ha ocurrido en el cerebro del feto durante el parto o durante los dos primeros años de vida (2-3).

Notablemente la mayor parte de las lesiones se originan entre el sexto mes de gestación durante la vida intrauterina y el tercer mes postnatal, debido a la vulnerabilidad y capacidad de reorganización y maduración del cerebro (4).

Ese tipo de patología persiste durante toda su vida, y que aunque se trate de una lesión del sistema nervioso central no progresiva, una de las consecuencias secundarias son las alteraciones músculo-esqueléticas que ocurren con el crecimiento (2).

La prevalencia es de 2-3 por cada 1.000 nacidos vivos, siendo mucho más frecuentes en niños prematuros :40–100 por 1000 nacidos vivos, y por debajo de la 28 semana de gestación) (5).

Un trabajo/ estudio de 2013 describe 10 factores de riesgo que estaban significativamente asociados con PC en niños nacidos a término: Anormalidades placentarias, mayores o menores defectos en el nacimiento , bajo peso al nacer, aspiración de meconio, cesárea de emergencia, asfixia al nacer, convulsiones neonatales, síndrome de dificultad respiratoria, hipoglucemia e infecciones neonatales (5).

Dentro de las distintas formas de clasificación de la PCI (Figura 1. Formas clínicas de la parálisis cerebral), es interesante destacar aquella que diferencia no solo la forma de presentación de la

parálisis sino la extensión de la misma, ya que permite una mejor adaptación del tratamiento y ayuda a plantear los objetivos que se van a seguir, muy relacionados con el pronóstico evolutivo (6).

Los signos y síntomas tempranos de PCI, usualmente aparecen antes de los 18 meses de edad; los padres o familiares son los primeros que notan que los niños no presentan destrezas motoras acorde a su edad.

El examen neurológico refleja retardo en el desarrollo neuromotor y habilidades motoras. Los reflejos del recién nacido pueden continuar presentes después de la edad en que usualmente desaparecen.

La mayoría de los niños presentan tono muscular anormal, inicialmente el tono muscular puede estar disminuido para cambiar a hipertonía en un periodo de 3 a 6 meses. Al estar el tono muscular aumentado, el niño tiene disminuido los movimientos espontáneos de sus extremidades o presentan movimientos anormales .

Es importante reconocer los efectos adversos a largo plazo que el trastorno motor (Hipotonía o Hipertonía) ejerce sobre el desarrollo en el sistema musculoesquelético , si no se corrigen a tiempo (7).

Los desórdenes motores generalmente se acompañan de alteraciones cognitivas, sensoriales, de percepción, comunicación, conducta y/o con crisis convulsivas (8).

Uno de los problemas más incapacitantes en los pacientes con PCI es el deterioro de la marcha, el cual se manifiesta clínicamente por la reducción de la velocidad y la resistencia, así como por la disminución de la longitud de zancada y la modificación del plano de sustentación (8).

El deterioro neuromuscular que sufren, puede conducir a una mecánica de marcha anormal e ineficiente, incrementando de esta manera e el costo energético al caminar..

Además, la mayoría de las personas con PC caminan con un aumento de la flexión de cadera y rodilla combinado con una reducción de la capacidad flexora plantar del tobillo, y del rango de movimiento

Incrementar la extensión en la extremidad inferior, es un objetivo principal en el tratamiento clínico de la marcha ya que una postura demasiado flexionada va a contribuir a reducir la eficiencia para caminar y generalmente empeora con la edad hasta perder la capacidad ambulatoria (13).

Se han utilizado muchas estrategias de entrenamiento de la marcha en niños con PC, pero la eficacia en la mejora a largo plazo en la capacidad para caminar sigue siendo. Actualmente se considera que la participación activa es esencial para el aprendizaje motor, a través de los mecanismos de plasticidad durante la rehabilitación (16).

A pesar de los esfuerzos para controlar el comienzo de la marcha la marcha y su mantenimiento, mediante la cirugía y tratamientos de fisioterapia, los déficits se mantienen post-tratamiento, de modo que aproximadamente el 50% de los niños afectados, pierden la capacidad de caminar independientemente al llegar a la edad adulta (9).

Además he podido observar que la carga que conlleva el cuidador es muy alta, y requiere de un alto esfuerzo físico conseguir que realicen la marcha durante un periodo de tiempo más amplio, como puede ocurrir cuando se utiliza la ayuda de un Upsee.

Todo esto ha motivado mi interés, y por ello he realizado una revisión de la evidencia actual sobre la utilización del exoesqueleto como ayuda para la marcha, para ver si realmente es beneficiosa para los pacientes, dado el gasto económico y esfuerzo que supone.

La necesidad de personal adicional y técnicas complementarias para la marcha patológica de los individuos con PC, ha llevado al desarrollo de nuevas estrategias de tratamiento, mediante tecnologías basadas en el uso de las tecnologías (13).

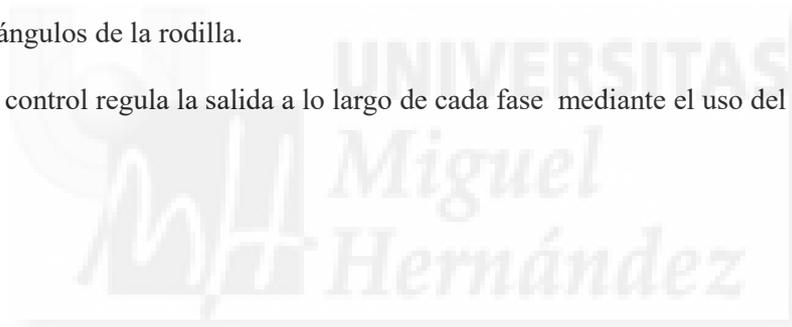
Los exoesqueletos robóticos ofrecen la capacidad de una correcta locomoción, estos están diseñados con el objetivo de mejorar la economía al caminar en personas con diversidad funcional, donde buscan una ayuda en la movilidad y una mejora durante la rehabilitación.

Las investigaciones realizadas para la rehabilitación con el uso del aparato, principalmente fueron centradas en adultos que habían sufrido derrames cerebrales, o alguna lesión en la médula espinal. Pero los exoesqueletos nos pueden ofrecer una buena alternativa a los tratamientos ya existentes en los trastornos de la marcha pediátricos causados por PC (9). (Figura 2. Exoesqueleto con torque en rodilla y Figura 3. Exoesqueleto con torque en tobillo).

El exoesqueleto contiene un motor que se sitúa en la rodilla o tobillo mediante piezas termoplásticas moldeadas a medida.

El robot distingue entre el apoyo, el balanceo temprano (flexión de rodilla) y el balanceo tardío (extensión de rodilla), diferenciando las diferentes fases de la marcha gracias a los datos de la fuerza empleada y los ángulos de la rodilla.

Un algoritmo de control regula la salida a lo largo de cada fase mediante el uso del torque (9).



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. General

- Realizar una revisión bibliográfica de los estudios que se han publicado sobre la utilización del exoesqueleto como ayuda para la marcha, para comprobar si realmente se perciben mejoras en los pacientes.

### 2.2. Específicos

- Averiguar si los efectos del exoesqueleto perduran a lo largo del tiempo.
- Observar las posibles mejoras en la activación muscular y en la postura.
- Comprobar si los niños prefieren su uso, a la marcha habitual.

### 3. MATERIAL Y MÉTODO.

Para realizar la revisión bibliográfica, se ha hecho una búsqueda literaria computarizada en las siguientes bases de datos biomédicas: *PubMed*, *PEDro*, *Scopus*, *Cochrane*, . La búsqueda se realizó durante los meses de marzo y abril del año 2020.

Las palabras clave o descriptores que se han usado son: . Se realizó una búsqueda entre los descriptores: Exoskeleton, cerebral palsy, lower extremity.

Para recopilar la información pertinente para la revisión, combinandolas con el operador boleano “AND”. En los diagramas de flujo aparecen los datos cuantitativos de la búsqueda (Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología de búsqueda.).

Para completar la información de la introducción se ha recurrido a material de Pubmed con los descriptores: Cerebral palsy, Epidemiology. Combinandola también con el operador boleano “AND”.

Los criterios de inclusión que se han usado para seleccionar los artículos y documentos más relevantes son: publicados en español o en inglés, basado en niños menores de 18 años (child), y sólo estudios donde se hayan tratado humanos. Para la rehabilitación de la marcha debían utilizar el exoesqueleto robot.

Los criterios de exclusión de los artículos han sido: Revisiones bibliográficas.

#### 4. RESULTADO

Tras hacer la búsqueda bibliográfica en las diferentes bases de datos para recopilar la información pertinente, a través de las dos combinaciones diferentes de las palabras claves y unidas mediante el operador “AND”, se han obtenido un total de 23 artículos.

Tras aplicar los filtros, el número de artículos se redujo hasta 21. En último lugar, al eliminar los duplicados, leer el título y el resumen y aplicar los criterios de inclusión y exclusión se terminó contando con 9 artículos. De estos 9 artículos, 7 son ensayos clínicos (uno de ellos solo se ha usado para componer el contenido de la introducción), 1 caso clínico y 1 estudio de cohorte.. Para completar la información, se seleccionó 8 artículos en pubmed con las palabras clave: cerebral palsy AND epidemiology.

Para comenzar, se ha observado que en el conjunto de los nueve artículos se encuentran cinco formas diferentes de interpretar el uso del exoesqueleto.

De forma general, el número de muestra, en el total de estudios, oscila desde  $n=1$  (Y. Matakí et al. 2018) a  $n=18$  (S. Rossi et al. 2013), los demás tienen entre  $4 <n > 7$ . Por un lado, la media de edad está entre  $5 <n > 19$ , exceptuando un individuo de (F.Z Lerner et al. 2018) con  $n=30$ , de los cinco individuos que se analizaron en el estudio. Por otro lado, el número

de hombres incluidos en los estudios oscila entre  $1 <n > 9$  y el número de mujeres entre  $2 <n > 9$ , pero no se especifica en los estudios (B. Samadi et al. 2016; F.Z. Lerner et al. 2017 (15)).

El tiempo de entrenamientos se encuentran en  $60 <n > 120$  minutos, entre  $2 <n > 10$  visitas, exceptuando G. Gasparri 2019 ; y S Rossi 2013 que nos hablaban la distancia de la pasarela donde hacía marcha (10 metros de longitud), sin especificar la duración.

En cuanto al modelo del robot, un total de 5 estudios clínicos incluyeron el exoesqueleto con torque en rodilla, dentro de su tratamiento (9, 10, 11, 14, 15) y, por otro lado, 3 de los estudios utilizaban un modelo de exoesqueleto con torque o agarradera en el tobillo (12, 13, 16) .

Finalmente el estudio restante, utilizó un aparato ortopédico aplicado a la articulación de la rodilla, donde se le añadía por debajo de la misma, una masa de hasta 2.5 kg. (17).

En los resultados de los estudios clínicos, en primer lugar, de los 3 ensayos donde todos los pacientes reciben el mismo tratamiento, se obtuvieron mejoras en las mediciones tras el uso del robot exoesqueleto con torque en la rodilla.

La asistencia mejoró la postura dinámica, y la mecánica articular del miembro inferior, exceptuando el tobillo. También se vio aumentada la función muscular (sin reducir la actividad muscular volitiva) (9, 10).

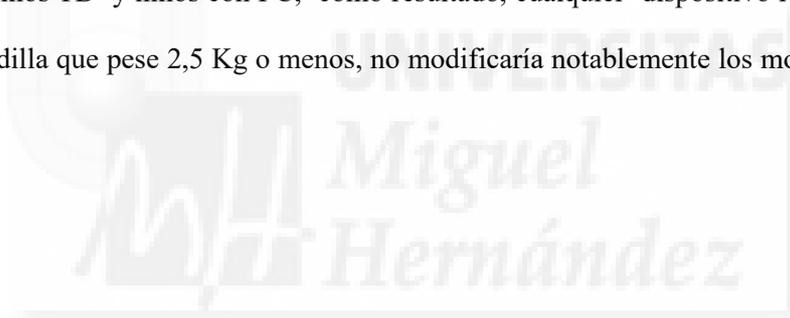
Todos los participantes exhibieron reducciones articulares, ya sea en el contacto inicial , durante la posición intermedia, o en ambas posiciones. (9, 10, 15).

En segundo lugar, en los 3 ensayos donde se utiliza el modelo de exoesqueleto con el fulcro en el tobillo; se vio una mejora del  $19 \pm 5\%$  en el costo metabólico de transporte ( $p = 0.011$ ) en comparación a cómo caminaban anteriormente (12). Aumentó la potencia total positiva de la articulación del tobillo un 44% , mejoró la postura (es decir, reducía la flexión) a través de toda la extremidad inferior, y redujo la actividad muscular del gastrocnemio, durante la fase de postura de la marcha. (13). y según G Gasparri et al. 2019 los resultados validaron la mejora del movimiento hacia extensión de la rodilla durante el uso del exoesqueleto, además, destacar que al proporcionar una asistencia activa en el movimiento hacia extensión, podría facilitar la activación muscular de la misma con el tiempo.

En referencia al caso clínico post-operación de alargamiento del tendón de los isquiotibiales y aquileos, se confirmó un aumento en el ángulo de extensión de la rodilla y la cadera en la fase de postura, de la misma forma que la velocidad de marcha, longitud de zancada, y la cadencia también se incrementó tras la intervención con el HAL, en combinación con las medidas fisioterapéuticas habituales (14).

En penúltimo lugar un estudio de cohorte nos señala que se necesita diseñar la potencia y el torque requeridos para cada individuo, ya que se ha observado en los resultados que no siguen el mismo patrón de marcha (11).

Finalmente el último estudio se propuso determinar si una rodillera con peso podría afectar al patrón de marcha en niños TD y niños con PC, como resultado, cualquier dispositivo robótico montado a la altura de la rodilla que pese 2,5 Kg o menos, no modificaría notablemente los movimientos durante marcha (17).



## 5. DISCUSIÓN

Existe un gran número de niños con parálisis cerebral, que padecen deficiencias funcionales en el MMII, lo que les lleva a encontrar importantes limitaciones para desarrollar la marcha. Por tanto, se debe buscar alguna alternativa de tratamiento y aprendizaje que ayude a recuperar estos déficits funcionales. El exoesqueleto robótico ha demostrado ser un método efectivo para mejorar la función de la extremidad inferior, según se ha observado en esta revisión bibliográfica.

En niños, el ángulo mínimo medio durante la postura es de  $4^\circ \pm 6^\circ$  en la rodilla, en las personas con la marcha agachada o agazapada, el rango puede exceder los  $40^\circ$  en casos severos.

Por un lado, tras aplicar este método, se han observado mejoras significativas, donde la rodilla aumentó  $12^\circ$  de rango articular en su fase de apoyo máximo y en la extensión de la cadera  $8^\circ$ . La actividad muscular en el extensor de la rodilla disminuyó ligeramente durante el recorrido asistido por el exoesqueleto, en comparación con la línea base, mientras que la actividad de los isquiotibiales fue superior en algunos de los participantes (10). La mejora más evidente a nivel individual en la reducción del flexo de rodilla fue de  $36.7^\circ$  en mitad de la extensión. En la evaluación final la longitud del paso se incrementó de media un 33%, en similitud a la velocidad con un 32%. También se observó una mayor actividad muscular durante el uso del exoesqueleto (10).

Además, todos los participantes lograron caminar sobre el terreno con la ayuda del exoesqueleto, remarcando que 6 de los 7 los realizaron dentro de la primera sesión. Apuntar que no sufrieron caídas (10).

En definitiva F.Z Lerner 2017 (9, 10) hizo que disminuyera la fuerza generada por el cuádriceps y los resultados de G.Gasparri et al 2019 también lo demuestran. La explicación de esta disminución es que el robot provocó una mayor extensión en la rodilla, por lo tanto, se necesitaba menos energía para contrarrestar el efecto de la gravedad. Otra posible explicación es el efecto de estabilidad o apoyo que

proporciona la banda termoplástica, que a menudo es asociado con caminar con el exoesqueleto; es decir, el usuario tiende a reducir su gasto para acoplarse al robot. (16).

En teoría, estos hallazgos sugieren que tratar la marcha agachada mediante esta herramienta, puede reducir la carga excesiva atribuida a los músculos extensores de la rodilla; mejorar la habilidad de la musculatura para transferir la carga desde las extremidades inferiores hacia el centro de masas, ampliar el ángulo de extensión de la rodilla y cadera en la fase de apoyo; también aumentar la velocidad de marcha, longitud de zancada, y la cadencia; consiguiendo de esta manera, una mayor eficiencia al caminar, además de prologar la capacidad de duración de la misma (9, 14 , 15).

Sin embargo, se vio un aumento en la actividad de los flexores. En general, la asistencia tuvo un efecto mayor en los músculos antagonistas (isquiotibiales) que en los agonistas (cuádriceps) (9, 10, 15). Durante el apoyo, los pacientes 2, 3 y 4 exhibieron relaciones positivas en la acción de los flexores durante el balanceo ( $0.39 < R^2 < 0.62$ ).

De igual modo, se vio que sobrepasarse en la cantidad de asistencia podía provocar respuestas neuromusculares, activando más de lo deseado a los isquiotibiales, disminuyendo de esta manera, las posibles mejoras en la posición de flexo. (15)

Por otra parte, el uso del exoesqueleto con torque en el tobillo nos muestra un aumento en la potencia positiva total de la articulación del tobillo, mejorando el agazapamiento y reduciendo la actividad muscular del gastrocnemio, durante la fase de apoyo (13).

Los análisis de la marcha han demostrado que las cirugías y las órtesis pueden mejorar la extensión de la rodilla y reducir los movimientos de extensión de la rodilla a corto plazo, mientras que a largo plazo las mejoras son más difíciles de mantener (9).

En el estudio Y Matakí et al. 2018. el niño de 15 años se sometió a la intervención de alargamiento de los tendones isquiotibiales y aquileos. Aunque mejoró la posición de flexión de rodillas y el pie equino; la fuerza muscular se vio disminuida después de la cirugía de tejidos blandos.

Se administró la asistencia del exoesqueleto dos veces durante los meses postoperatorios 10 y 11. En combinación con las medidas fisioterapéuticas típicas para el caso.

Trás la intervención del HAL, se percibió un aumento en la velocidad de marcha de 21.7 a 32.1 m / min, una zancada de 0,40 a 0,47 m, y una cadencia de 54,23 a 68,9 pasos / min.. Aunque la articulación de la cadera no mostró extensión al caminar debido a su anteversión provocada por la posición adelantada del tronco y cabeza.

El resultado de esta intervención sugirió que el efecto es potencialmente persistente, asimismo se vio aumentado con la suma de los entrenamientos, viendo así que la repetición de un movimiento activo, se alinea con la teoría del aprendizaje motor (actualmente popular en el tratamiento físico), como medio de inducir cambios en la neuroplasticidad del cerebro (14).

En este estudio no se han separado las técnicas habituales fisioterápicas, con el uso del exoesqueleto, por lo que no se sabe con exactitud si todas esas mejoras han sido exclusivas del mismo, o por su conjunto.

Uno de los objetivos de esta revisión era conocer si los efectos del entrenamiento perduraban a lo largo del tiempo, puesto que al tratarse de una ayuda robótica en la asistencia, nos encontramos con cierta preocupación por la llegada de la atrofia muscular.

L. Z Lerner nos demostraba que los exoesqueletos pueden reducir la marcha agazapada en poco tiempo en niños con PC y que son capaces de aclimatarse a la asistencia robótica sin reducir la

actividad muscular extensora de la rodilla, esto nos sugiere que los exoesqueletos son viables para el entrenamiento de la marcha en esta población.

La asistencia del exoesqueleto mejoró la extensión de la rodilla sin reducir la actividad muscular voluntaria o volitiva. (10), Y. Matakí et al. 2018 lo apoya, al concluir que tras proporcionar esta asistencia en la rehabilitación de su caso clínico postoperado, se observó que podía facilitar la activación muscular con el tiempo

El resultado de este ensayo sugirió que el efecto es potencialmente persistente y aumentó con el número de entrenamientos (14).

Los estudios que utilizan los exoesqueletos agarrados desde el tobillo, pueden ser útiles ya que pueden proporcionar tanto asistencia como resistencia. Como resultado, podrían utilizarse para combinar la asistencia en la movilidad, con la asistencia específica en intervalos de entrenamiento con marcha activa resistida, con la finalidad de mejorar la fuerza muscular (13).

Por otra parte, G. Gasparri et al. 2019, nos habla que los movimientos que se generan mediante la asistencia no serían posibles sólo con el patrón habitual en los niños con PC, por lo tanto proporcionar retroalimentación somatosensorial también puede conducir a la plasticidad en el SNC en busca de la recuperación. La repetición de esta acción durante un período largo de entrenamientos, puede ser realizada eficientemente a través de la marcha con el robot. Se hipotetizó reforzar el patrón asistido de manera que la mecánica del paso mejoraría sin asistencia. Sin embargo, los ensayos controlados aleatorios no han proporcionado evidencia para apoyar esta hipótesis (16).

En esta revisión, también se ha visto que se completaron los ensayos con el exoesqueleto en modo nulo, buscando si el peso del mismo influía en el coste metabólico durante la marcha.

No hubo cambios significativos en el apoyo o la fase oscilante de la extensión/flexión de rodilla, y su actividad muscular entre evaluaciones con el exoesqueleto nulo (10).

Mientras que en el modelo de exoesqueleto de tobillo, pudo demostrar que la masa corporal del usuario en relación con la masa del exoesqueleto, estaba relacionada significativamente con el aumento del costo metabólico asociado con simplemente su uso. Los resultados sugieren un umbral por el cual la masa añadida de más en el robot ya no beneficia al usuario; ejemplo visto en el paciente más joven, donde la masa del exoesqueleto hacía que aumentara su coste metabólico (12). Visto también por B. Samadi et al. 2016 donde nos dice que, se necesita diseñar y dimensionar la potencia, el torque y la masa necesarios para cada individuo, ya que se ha observado en los resultados, que no siguen el mismo patrón de marcha. (11).

Destacar que nuestros participantes tenían un costo metabólico basal de transporte que era un 80% superior al de niños TD y adultos. La mejora metabólica durante la marcha con asistencia de exoesqueleto, resultó en un costo de energía promedio durante la marcha que fue un 30% más cercano a los niveles normales (12). Estos valores lo podemos atribuir a que a pesar del peso del exoesqueleto, la suma total ha sido positiva con éxito.

Dentro del rango de peso corporal del estudio de asistencia en el tobillo, el costo metabólico del transporte disminuyó un 19% por cada 10 veces que la masa corporal era mayor que la masa del exoesqueleto ( $p = 0.011$ ) (12,13). Estos estudios nos proporcionan evidencia, pero con pocos participantes. Siendo tan escaso el número de este tipo de estudios, encontrados en esta revisión, se debería seguir investigando en el futuro para poder contrastar esta información.

Sorprendentemente, y a pesar de la reducción medida en el costo metabólico del transporte, ninguno de los participantes percibió que empleasen menos esfuerzo al caminar con la asistencia del exoesqueleto. De hecho, los participantes percibieron lo contrario.

Probablemente debido a la novedad de caminar con la asistencia motora, a la mayor concentración y a la sensación de desgaste adicional por el dispositivo. Aunque cabe destacar que la mayoría de los participantes prefirieron caminar con la asistencia del exoesqueleto en comparación con su marcha habitual, mientras que sólo un participante prefirió lo contrario (12).

Finalmente, los resultados obtenidos por S Rosii et al. 2013, establecen que una rodillera (condición de 0,5 kg) es bastante restrictiva y tiene un impacto significativo en los ángulos de las articulaciones, en comparación con la marcha sin restricciones. Mientras que, los ángulos no cambiaron cuando se agregó peso adicional (de medio kilo a medio kilo), hasta llegar a los 2.5 kg a la rodillera y, en consecuencia, el aumento de la masa no tiene un impacto adicional en la marcha.

Por lo tanto, uno puede concluir que los cambios en la marcha, fueron inducidos por la restricción mecánica de la rodillera, en lugar de por el aumento de masa asociado (17).

Se deduce en general, que el número de ensayos donde se realizan los seguimientos son bajos, debido al gasto económico extra que suponen hacerlo.

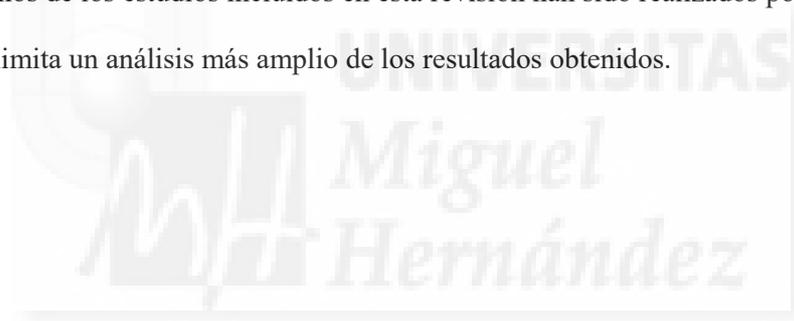
## **Limitaciones de esta revisión**

Respecto a las limitaciones presentadas al realizar esta revisión bibliográfica, la mayor parte de estudios presentaba un pequeño tamaño en la muestra, por tratarse de un grupo poblacional de difícil acceso. En segundo lugar, exceptuando un artículo, pudimos encontrarnos que el resto no sobrepasaba de los 4 años de antigüedad desde el año en el que se realizó su publicación.

Además, las rehabilitaciones basados en cintas de correr están limitados a la investigación clínica por sus instalaciones, lo que limita la frecuencia y duración del tratamiento.

Destacar que el coste económico del robot exoesqueleto puede ascender a una cifra muy elevada, imposibilitando este recurso a una gran cantidad de población.

Por último, algunos de los estudios incluidos en esta revisión han sido realizados por los mismos autores, lo cual limita un análisis más amplio de los resultados obtenidos.



## 6. CONCLUSIONES

Se puede concluir, tras la revisión bibliográfica, que el uso del exoesqueleto para el miembro inferior, que provee una asistencia dinámica en la extensión de rodilla o tobillo, produce mejoras clínicamente significativas en la marcha agazapada en niños y adolescentes con parálisis cerebral.

Se vió reducido el costo metabólico durante la marcha, también incluyó una mejora en la postura, y un aumento en el rango articular de la rodilla, cadera, y tobillo. Importante resaltar que los participantes prefirieron el uso del robot antes que la marcha sin el.

Se ha observado que, proporcionar asistencia en el movimiento voluntario, facilitaría la activación muscular, además de producir mejoras en la cinemática en periodos cortos de tiempo.

En ensayos controlados, las mejoras no fueron superiores a las terapias de igual intensidad, lo que indica que este nuevo tratamiento no debe reemplazar los entrenamientos sobre el terreno.

Finalmente, viendo el número tan escaso de artículos que cumplían los criterios de inclusión y exclusión para realizar esta revisión, es necesario hacer investigaciones futuras para poder contrastar toda la información obtenida.

## 7. ANEXOS DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Formas clínicas de parálisis cerebral

<b>ESPÁSTICA</b>	Tetraplejía (tetraparesia)	La más grave. Afectación de las cuatro extremidades
	Diplejía (diparesia)	La más frecuente. Afectación de predominio de EEII
	Hemiplejía (hemiparesia)	Paresia de un hemicuerpo con mayor afectación de la EESS
	Triplejía (triparesia)	Afecta a tres de las cuatro extremidades
	Monoparesia	Paresia de un miembro o parte de él
<b>DISCINÉTICA</b>	Coreoatetósica (temblor)	Fluctuación y cambio brusco del tono muscular, presencia de movimientos involuntarios y de reflejos arcaicos. Según sintomatología predominante, se diferencian distintas formas clínicas
	Distónica (cambio tono)	
	Mixta (espasticidad)	
<b>ATÁXICA</b>	Diplejía atáxica	Sentido defectuoso de la marcha y descoordinación motora tanto fina como gruesa. Predominancia hipotónica
	Ataxia simple	
	Síndrome de desequilibrio	
<b>HIPOTÓNICA</b>		Poco frecuente. Hipotonía muscular con hiperreflexia osteotendinosa que persiste más allá de los 2-3 años
<b>MIXTA</b>		Muy frecuente, con trastorno motor no puro asociado más comúnmente a ataxia y distonía o distonía con espasticidad

Figura 2. Exoesqueleto con torque en rodilla

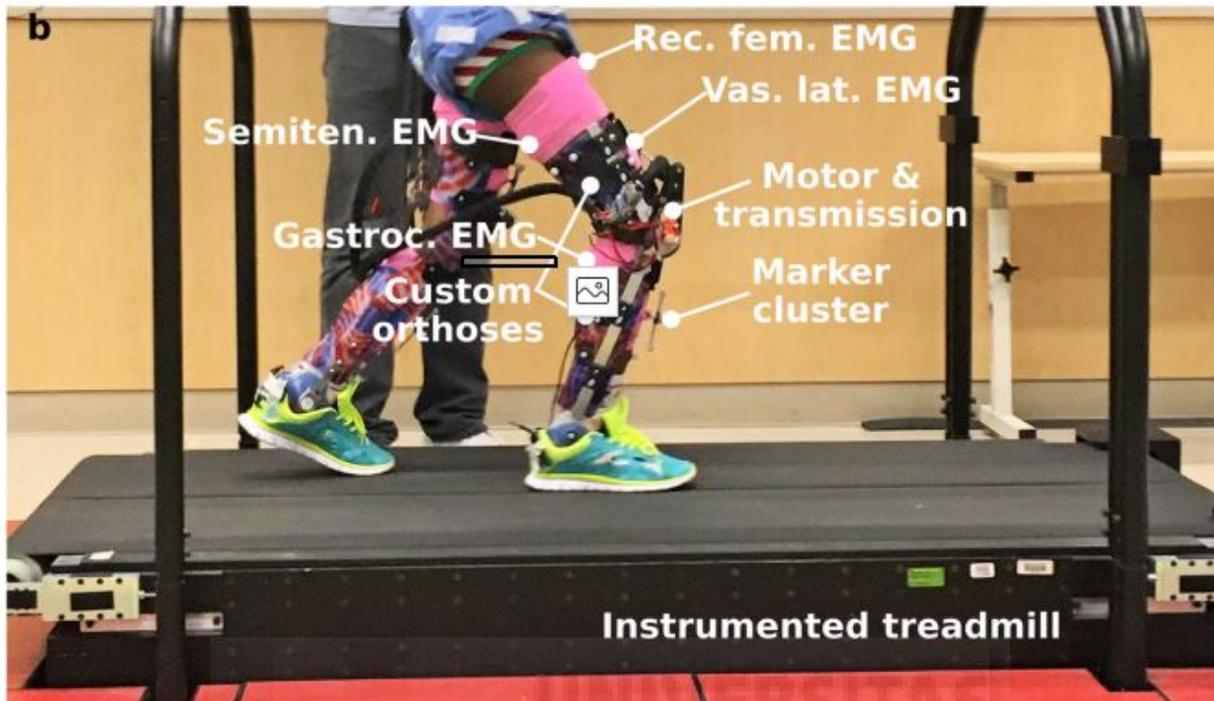
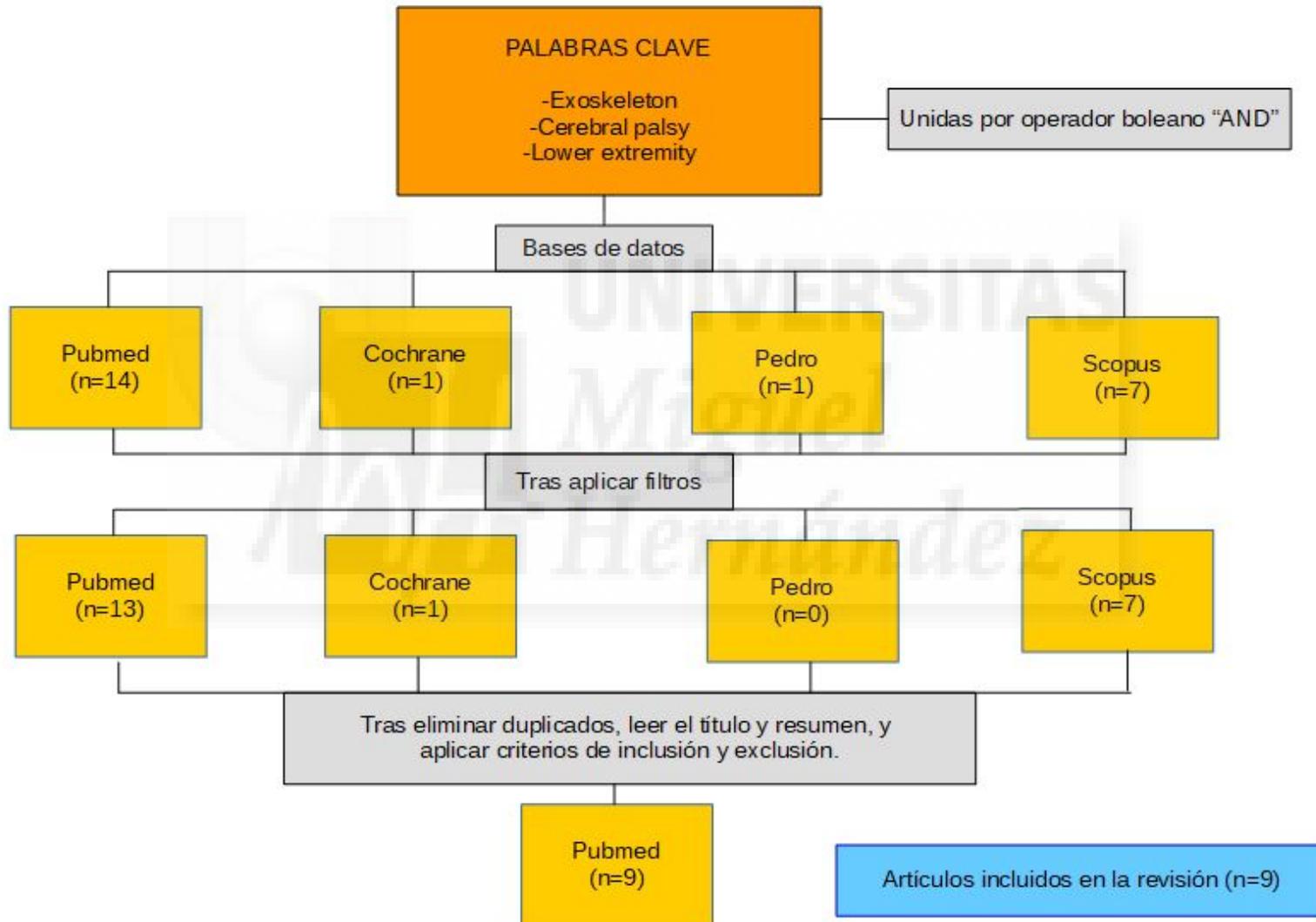


Figura 3. Exoesqueleto con torque en tobillo.



### Anexo III. Diagramas de flujo de la metodología de búsqueda.

Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología de búsqueda para la primera combinación.



**Anexo II . Características de los estudios incluidos.**

**Tabla 1. Características de los estudios clínicos incluidos.**

AUTOR/AÑO/TÍTULO/ TIPO DE ESTUDIO	MUESTRA	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN	RESULTADOS
<p>Z. Lerner et al. 2017</p> <p>The effects of exoskeleton assisted knee extension on lower-extremity gait kinematics, kinetics, and muscle activity in children with cerebral palsy.</p> <p>Estudio experimental longitudinal prospectivo.</p>	<p>.7 individuos de entre 5-19 años con parálisis cerebral tipo diplejía espástica con un GMFCS I-II.</p> <p>-Patrón de marcha agazapado</p> <p>-Nº de hom.= 4 Nº de muj.= 3</p> <p>-3 de los individuos llevaban AFO</p>	<p>-Se realizó en el centro clínico de NIH un total de 6 visitas, en el curso de 8-12 semanas. Los entrenamientos duraban 2 horas con descansos en sedestación de unos 5-15 minutos.</p> <p>-Consistían en caminar con el exoesqueleto en una cinta mecánica, la velocidad de la misma y el torque de extensión del exoesqueleto, estaba establecido en base al curso de las visitas.</p>	<p>-Capturas de movimiento, placa de fuerza, mediciones de electromiografía, y se completó con un análisis de dinámica inversa.</p>	<p>La rodilla aumentó 12° en su fase de postura máxima y la extensión de la cadera aumentó 8°.</p> <p>La actividad del músculo extensor de rodilla disminuyó ligeramente durante la caminata asistida por exoesqueleto en comparación con la línea de base, mientras que la actividad del flexor de rodilla fue superior en algunos participantes.</p> <p>Mejóro la dinámica de la postura en la marcha y la función en la cadera, pero no en el tobillo.</p>

AUTOR/AÑO/TÍTULO/ TIPO DE ESTUDIO	MUESTRA	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN	RESULTADOS
<p>Z. Lerner et al. 2017</p> <p>A lower-extremity exoskeleton improves knee extension in children with crouch gait from cerebral palsy.</p> <p>Estudio experimental longitudinal prospectivo.</p>	<p>-7 niños con P dipléjica espástica con un GMFCS de nivel I-II.</p> <p>-Edad entre 5-19 años</p> <p>-Nº de hom.= 4 Nº de muj= 3</p> <p>-3 de los individuos llevaban AFO</p>	<p>-El entrenamiento consistió en seis vistas durante 8-12 semanas.</p> <p>-Dos puntos de recolección de datos (principio y final)</p> <p>-Se le ajustaba un exoesqueleto de entre 2,6-4,5 kg. con 3 modos de asistencia (solo en el apoyo, solo oscilación, y apoyo y oscilación) y se realizaba la marcha en terreno.</p> <p>Y modo nulo en el que no se prestaba asistencia.</p> <p>Los modos fueron aleatorizados.</p>	<p>Se midieron en un laboratorio de captura de movimiento, con capturas de movimiento, y medidas de resultado primarias del ángulo de extensión de rodilla y EMG en el extensor de rodilla (vasto lateral), y flexor (semitendinoso).</p>	<p>La asistencia del exoesqueleto mejoró la extensión de la rodilla sin reducir la actividad muscular voluntaria o volitiva. Mejoras clínicamente significativas la postura agazapada en superficie durante la marcha en niños y adolescentes con parálisis cerebral.</p> <p>El exoesqueleto era tolerado, y producía mejoras acumuladas después de llevar el robot durante un corto periodo de tiempo.</p> <p>No hubo cambios con el exoesqueleto en el modo nulo</p>

AUTOR/AÑO/TÍTULO/ TIPO DE ESTUDIO	MUESTRA	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN	RESULTADOS
<p>B. Samadi et al. 2016</p> <p>Custom sizing of lower limb exoskeleton actuators using gait dynamic modelling of children with cerebral palsy.</p> <p>Estudio de cohorte longitudinal prospectivo.</p>	<p>-3 niños con PC GMFC de nivel II y III , 9&lt;n&gt;10 años.</p> <p>Marcha agazapada con una flexión excesiva de la rodilla (&gt; 11 °) durante la fase de apoyo.</p> <p>-3 niños con TD (desarrollo típico) 10&lt;n&gt;14 años</p>	<p>Se pidió a los participantes que caminaran descalzos a la velocidad que vieran conveniente a lo largo de una pasarela de 12 metros.</p> <p>Los datos fueron recolectados durante la sección media (6 m)</p> <p>Para comparar los resultados las velocidades se normalizaron por el peso corporal entre los participantes, los torques obtenidos, y la potencia.</p> <p>-</p>	<p>-El análisis cinemático de la marcha se realizó con 12 cámaras con sistema de captura de movimiento (VICON; Oxford Metrics, Oxford, Reino Unido) cadenciado a 120 Hz.</p> <p>-Marcadores reflectantes colocados sobre varios puntos anatómicos .</p> <p>-Tres placas de fuerza (AMTI, Watertown, MA, EE. UU.) incrustadas en el suelo se usó para registrar las fuerzas de reacción en tierra en un frecuencia de 600 Hz.</p>	<p>-Cadera: La cantidad de energía generada en la articulación de la cadera es más alta que la cantidad absorbida por ella (parte positiva es más grande). Vale la pena señalar que el niño con CP N°1 absorbe y genera menos energía. que niños TD, pero el niño con CP N°2 su absorción y generación de energía es más comparativa a los niños promedio de TD.</p> <p>-Rodilla: La absorción de energía es más significativa que la generación de energía. Los niños con CP generan menos energía y absorben más energía que los niños TD. Los niños con TD generan más energía, que absorben y el niño con CP No.1, mientras que en el niño con CP No.2, la absorción de energía es más que su generación</p> <p>-Tobillo: Genera más energía que absorbe en niños con TD y el niño con CP No.1, mientras que en el niño con CP No.2, la absorción de energía es más que su generación.</p> <p>-Se necesita diseñar la potencia y el torque requeridos para cada individuo, ya que se observa en los resultados que no siguen el mismo patrón de marcha</p>

AUTOR/AÑO/TÍTULO/ TIPO DE ESTUDIO	MUESTRA	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN	RESULTADOS
<p>Z.Lerner et al. 2018</p> <p>An untethered ankle exoskeleton improves walking economy in a pilot study of individuals with cerebral palsy.</p> <p>Estudio experimental longitudinal prospectivo.</p>	<p>-5 participantes con PC de nivel I-II en GMFCS .</p> <p>Un mí-nimo de 10 ° de flexión plantar pasiva.</p> <p>Edad de entre 5 y 30 años, la capacidad de caminar 5 minutos con o sin asistencia, y la capacidad de comprender y seguir instrucciones simples.</p>	<p>El dispositivo proporciona una asistencia dorsiflexora desde el mecanismo montado en la cintura.</p> <p>Incluía una visita de evaluación, y entre 4-10 visitas de entrenamiento con el exoesqueleto; y al final una recopilación de datos.</p> <p>La duración del entrenamiento era de al menos 90 m; encima de una cinta.mecánica (sin AFO, menos la participante 2 por el pie caído )</p>	<p>Registramos la tasa de consumo de oxígeno de cada participante y producción de dióxido de carbono, usando un sistema inalámbrico portátil de medición metabólica .</p>	<p>A nivel individual, el costo metabólico neto del transporte disminuyó para todos los participantes al caminar con asistencia de exoesqueleto, que oscila entre el 4 y el 29%.</p>

AUTOR/AÑO/TÍTULO/ TIPO DE ESTUDIO	MUESTRA	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN	RESULTADOS
<p>Z. Lerner et al. 2019</p> <p>A battery-powered ankle exoskeleton improves gait mechanics in a feasibility study of individuals with cerebral palsy.</p> <p>Estudio experimental longitudinal prospectivo.</p>	<p>-5 participantes con diagnóstico de PC, GMFS de I-III.</p> <p>Con edad comprendida entre 5-30 años.</p> <p>-0-3 puntos en espasticidad en la escala ashworth modificada</p> <p>-Un mínimo de 10 ° de flexión plantar.</p> <p>Edad entre 5 y 30 años, con la capacidad de caminar 5m con o sin asistencia manual.</p>	<p>Los participantes completaron un mínimo de 90 min caminando en una cinta, por un mínimo de 4 visitas .</p> <p>En la vista final, se recogieron los datos mientras caminaban en una cinta adaptada a su velocidad preferida, se comparó cómo caminaban en su condición basal (con su calzado y AFO si estaba prescrito), a cómo caminaron con la asistencia.</p> <p>Además también se evaluó la marcha con el exoesqueleto pero sin asistencia, para comprobar qué efectos producía su peso.</p>	<p>Utilizamos datos recopilados respiratorios de un sistema portátil de pruebas metabólicas y la ecuación estándar de Brockway para calcular el coste metabólico en condiciones de marcha.</p> <p>Utilizamos un electromiógrafo inalámbrico para registrar la actividad muscular a 1926 Hz de cada lateral de los gastrocnemios.</p> <p>Un sistema de captura de movimiento de diez cámaras, con un marcador personalizado conjunto se usó para grabar movimiento a 120 Hz (se colocaron 4 marcadores en cada pie).</p>	<p>El pico de mejora en la extensión de la extremidad inferior estaba alrededor de 14 °</p> <p>El uso del exoesqueleto en modo cero, resultó perjudicial en el tobillo, que indudablemente contribuyó al aumento de 19.7% en el costo metabólico de transporte en comparación con el valor inicial.</p> <p>Aumentó la potencia total positiva de la articulación del tobillo un 44% , mejoró la postura (es decir, redujo la flexión) a través de toda la extremidad inferior, y redujo la actividad muscular del gastrocnemio, durante la fase de postura.</p>

AUTOR/AÑO/TÍTULO/ TIPO DE ESTUDIO	MUESTRA	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN	RESULTADOS
<p>Y. Matakí et al. 2018</p> <p>Use of Hybrid Assistive Limb (HAL) for a postoperative patient with cerebral palsy: a case report.</p> <p>Estudio de un caso clínico experimental prospectivo</p>	<p>-Un niño de 15 años con parálisis cerebral tipo diplegia espástica.</p> <p>-Con un nivel IV en la GMFCS</p> <p>-Se sometió a una cirugía de alargamiento del tendón de los tendones isquiotibiales y aquileos.</p>	<p>The Hybrid Assistive Limb (HAL) , es un robot portátil para asistencia en cadera, rodilla y tobillo.</p> <p>-El entrenamiento se realizó dos veces durante los meses postoperatorios 10 y 11. En combinación con las técnicas habituales fisioterápicas.</p> <p>-La sesión de intervención HAL duró 60 min en una cinta, incluidos los descansos (10 min).</p> <p>-Se evaluó con la prueba con una prueba de 10m.</p>	<p>Tomamos un video hacia sagital y se analizó el video en cámara lenta, deteniendo la imagen para medir el ángulo de la articulación, con el equipo Dartfish.</p> <p>La velocidad de marcha, zancada y cadencia en la prueba de 10m fueron analizados con el equipo Dartfish, en un ciclo de marcha</p>	<p>Se vio aumentado el ángulo de flexión de rodilla y cadera en la fase de apoyo, también se vio incrementada la velocidad, la longitud de paso y la cadencia.</p> <p>El resultado sugirió que el efecto es potencialmente persistente y aumentó con repetidas intervenciones del HAL.</p>

AÑO/TÍTULO/ TIPO DE ESTUDIO	MUESTRA	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN	RESULTADOS
<p>Z. Lerner 2017</p> <p>Relationship between assistive torque and knee biomechanics during exoskeleton walking in individuals with crouch gait.</p> <p>Estudio experimental longitudinal prospectivo.</p>	<p>-4 individuos de entre 5-19 años, que hayan sufrido parálisis cerebral con un GMFCS I-II.</p> <p>-Patrón de marcha agazapado</p>	<p>Se realizó en el centro clínico de NIH</p> <p>Un total de 6 visitas, en el curso de 8-12 semanas.</p> <p>Los entrenamientos con el exoesqueleto duraban 2 horas de marcha en una cinta , con descansos en sedestación de unos 5-15 minutos.</p>	<p>-Los datos cinemáticos fueron recolectados usando 10 cámaras de captura (Vicon Motion Systems) que registró las posiciones de los marcadores colocados en el tronco, pelvis, y extremidad inferior.</p> <p>- Los datos de electromiografía (EMG) también se registraron a partir de un torque en el extensor de rodilla (vasto lateral) y del flexor (semitendinoso)</p>	<p>Todos los participantes exhibieron reducción en el rango articular de la postura agachada, ya sea en el contacto inicial (P3), durante la posición intermedia (P1 y P4), o ambos (P2) mientras camina con asistencia de extensión.</p> <p>En general, la relación entre el torque del exoesqueleto y el ángulo de la rodilla fue más fuerte en la posición media que en el contacto inicial.</p>

AUTOR/AÑO/TÍTULO/ TIPO DE ESTUDIO	MUESTRA	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN	RESULTADOS
<p>G Gasparri 2019</p> <p>Proportional joint-moment control for instantaneously-adaptive ankle exoskeleton assistance.</p> <p>Estudio experimental longitudinal prospectivo.</p>	<p>-Un total de 7 individuos diagnosticados con marcha agachada por CP, aunque este subestudio se centra en 2.</p>	<p>El exoesqueleto utilizó un sistema de control de asistencia auxiliar sacoplado individualmente durante la postura, sel balanceo temprano y sel balanceo tardío.</p> <p>Proporciona una constante asistencia de en extensión de rodilla durante la postura y tla fase tardía del balanceo.</p> <p>-Los sujetos caminaron por una pasarela de 10m.</p>	<p>Se utilizaron diez cámaras infrarrojas (Vicon) para registrar datos cinemáticos a 100 Hz, para rastrear la extremidad y el movimiento del exoesqueleto.</p> <p>La captura de movimiento y los sensores del exoesqueleto se sincronizaron usando un pulso eléctrico recogido por ambos sistemas.</p> <p>Los ángulos se calcularon usando Visual 3D software.</p> <p>Los movimiento de la rodilla se calcularon resolviendo las ecuaciones de Netwon-Euler, la inercia del exoesqueleto, se calculó a partir del Modelo de Solidworks .</p>	<p>Validaron la ayuda en el movimiento extensor de rodilla, lo que sugiere su viabilidad para el futuro.</p>

AUTOR/AÑO/TÍTULO/ TIPO DE ESTUDIO	MUESTRA	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN	RESULTADOS
<p>S.Rossi et al. 2013</p> <p>Feasibility study of a wearable exoskeleton for children: is the gait altered by adding masses on lower limbs.</p> <p>Estudio experimental longitudinal prospectivo</p>	<p>-10 niños TD y 8 con PC de 5 a 9 años , (4 mujeres y 4 hombres), con un peso de 20–29 kg (media 25 kg)</p> <p>-Hemiplejía espástica leve con niveles I y II en GMFCS</p> <p>-Capacidad de caminar sin asistencia dispositivos; comprensión de los comandos verbales; ausencia de visual discapacidad; y sin cirugía.</p>	<p>-Los análisis de la marcha se llevaron a cabo en una sala con una pasarela de marcha de 10 m.</p> <p>El aparato ortopédico era colocado en el lado más afectado de los niños con PC y en el lado no dominante de sujetos sanos.</p> <p>Primero, los sujetos caminaron sin una rodillera y con una marcha normal.</p> <p>La segunda condición consistía en caminar usando la rodillera (0,5 kg). Se agregó, en secuencia, cuatro masas de plomo en la rodilla.</p>	<p>-Los datos cinemáticos se registraron con un VICON de 8 cámaras.</p> <p>-Un sistema de dieciséis marcadores retro-reflexivos fueron colocados en el superficie de la piel del sujeto</p> <p>-Se filtraron las trayectorias de los marcadores con un filtro Woltring - tamaño 30</p> <p>Los ensayos también fueron grabado en video en los planos frontal y lateral.</p>	<p>Examinando la flexión de la rodilla y la extensión de la cadera para el miembro cargado, Se observó que la rodillera (condición de 0,5 kg) es bastante restrictiva y tiene un impacto significativo en los ángulos de las articulaciones, en comparación con su marcha habitual.</p> <p>Sin embargo, los ángulos no cambiaron cuando se agregó, hasta 2.5 kg a la rodillera.</p> <p>Por lo tanto, los cambios en la marcha fueron inducidos por la restricción mecánica de la rodillera en lugar del aumento de masa.</p> <p>No observamos diferencias estadísticamente significativas en los parámetros en el aumento de peso.</p> <p>Una mas de hasta 2.5 kg en el tercio proximal de la pierna, no altera la cinemática de la extremidad inferior.</p>

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### INTRODUCCIÓN

1. Kim JH, Seo HJ. Effects of trunk-hip strengthening on standing in children with spastic diplegia: a comparative pilot study. *J Phys Ther Sci.* 2015; 27(5): 1337-40.
2. Macias Merlo M.Lourdes. Prevención de displasias de cadera mediante los programas de bipedestación en abducción en niños con parálisis cerebral espástica. Barcelona: 2016
3. Burtner PA, Woollacott MH, Craft GL, Roncesvalles MN. The capacity to adapt to changing balance threats: a comparison of children with cerebral palsy and typically developing children. *Dev Neurorehabil.* 2007; 2007; 10 (3): 249-60.
4. Artigas Palarés J, Narbona J. Trastornos del neurodesarrollo. Barcelona: Viguera; 2011.
5. Wimalasundera, N., & Stevenson, V. L. (2016). Cerebral palsy. *Practical Neurology*, 16(3), 184–194.
6. Póo P, Servicio de Neurología. Hospital Sant Joan de Dèu B. Protocolos diagnósticos y terapéuticos en pediatría. 2a edición. 2008. 273 p.
7. Gómez-López, Simón; Jaimes, Víctor Hugo; Palencia Gutiérrez, Cervia Margarita; Hernández, Martha; Guerrero, Alba PARÁLISIS CEREBRAL INFANTIL Archivos venezolanos de puericultura y pediatría, vol. 76, núm. 1, enero-marzo, 2013, pp. 30-39 Sociedad venezolana de puericultura y pediatría caracas, venezuela.

8. Tratamiento en pacientes con parálisis cerebral infantil de acuerdo con el análisis clínico de la marcha y la postura Dr. Carlos Alberto Vidal Ruiz,\* Dra. Cristina Calzada Vázquez Vela,\*\* Dra. María Gabriela Morales Pirela,\*\*\* Dr. Pedro Iturbide Siles\* Centro Médico ABC.Vol. 18, Núm. 1 Enero-Junio 2016 pp. 46-50. Revista Mexicana de ORTOPEDIA PEDIÁTRICA

## **METODOLOGÍA Y RESULTADOS**

9. Lerner, Z. F., Damiano, D. L., & Bulea, T. C. (2017). The effects of exoskeleton assisted knee extension on lower-extremity gait kinematics, kinetics, and muscle activity in children with cerebral palsy. *Scientific Reports*, 7(1).

10. Lerner, Z. F., Damiano, D. L., & Bulea, T. C. (2017). A lower-extremity exoskeleton improves knee extension in children with crouch gait from cerebral palsy. *Science Translational Medicine*, 9(404).

11. Samadi, B., Achiche, S., Parent, A., Ballaz, L., Chouinard, U., & Raison, M. (2016). Custom sizing of lower limb exoskeleton actuators using gait dynamic modelling of children with cerebral palsy. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 19(14), 1519–1524.

12. Lerner, Z. F., Gasparri, G. M., Bair, M. O., Lawson, J. L., Luque, J., Harvey, T. A., & Lerner, A. T. (2018). An untethered ankle exoskeleton improves walking economy in a pilot study of individuals with cerebral palsy. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 1–1.

13. Lerner, Z. F., Harvey, T. A., & Lawson, J. L. (2019). A battery-powered ankle exoskeleton improves gait mechanics in a feasibility study of individuals with cerebral palsy. *Annals of biomedical engineering*.
14. Matakı, Y., Kamada, H., Mutsuzaki, H., Shimizu, Y., Takeuchi, R., Mizukami, M., ... Yamazaki, M. (2018). Use of hybrid assistive limb (HAL) for a postoperative patient with cerebral palsy: a case report. *BMC Research Notes*, 11(1).
15. Lerner, Z. F., Damiano, D. L., & Bulea, T. C. (2017). Relationship between assistive torque and knee biomechanics during exoskeleton walking in individuals with crouch gait. 2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR).
16. Gasparri, G. M., Luque, J., & Lerner, Z. F. (2019). Proportional joint-moment control for instantaneously-adaptive ankle exoskeleton assistance. *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 1-1.
17. Rossi, S., Colazza, A., Petrarca, M., Castelli, E., Cappa, P., & Krebs, H. I. (2013). Feasibility study of a wearable exoskeleton for children: Is the gait altered by adding masses on lower limbs?, 8(9), e73139.
18. Aspace.org [actualizado 13 Feb 2019; citado 28 Feb 2019]. Disponible en: <https://aspace.org/algunos-datos>