

Presentación Propuesta de Investigación

Efecto en la biomecánica de la marcha del entrenamiento con un dispositivo tecnológico en niños con parálisis cerebral espástica: estudio piloto

**Myriam Fernanda Arbeláez Huertas
Maestría en Ciencias de la Rehabilitación
Universidad del Rosario**

Fernanda Arbeláez, Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad del Rosario
myriam.arbelaez@urosario.edu.co

1. Resumen

La marcha de los niños y niñas y con parálisis cerebral es una meta importante en su rehabilitación, ya que impacta de forma directa su relación con el ambiente y por lo tanto su nivel de participación en la sociedad existiendo además una relación directa entre el nivel de desempeño motor y la calidad de vida de su familia y/o cuidadores. Buscando responder a estas necesidades y con el objetivo de rehabilitar la marcha de pacientes con trastornos neurológicos, han surgido diversos desarrollos tecnológicos de alto costo que se encuentran ajustados a parámetros estandarizados y generalizados de los patrones de marcha normal y que son de difícil acceso para la población infantil colombiana en condición de discapacidad. Una reciente investigación arrojó los parámetros estandarizados de la marcha de niños colombianos por rangos de edad, lo cual permitiría en el entorno de la rehabilitación, ser utilizados como patrones de referencia para estimular cambios en parámetros relacionados con la funcionalidad de la marcha como longitud de paso, velocidad de la marcha y cadencia de los niños y niñas colombianos con parálisis cerebral espástica. Basados en los conceptos sobre control y aprendizaje motor donde la estimulación del ambiente ha tomado gran importancia en el comportamiento motor, y entendiendo que el aprendizaje de nuevas formas de funcionamiento estaría influenciado por características personales como la motivación y la perseverancia y por características del ambiente, se pueden llegar a estimular cambios para alcanzar una mayor funcionalidad de la marcha impactando así la participación del niño con parálisis cerebral con sus pares en diferentes entornos. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es determinar el efecto del entrenamiento en la marcha con un sistema tecnológico proyectando referencias visuales en el entorno ajustadas a los patrones de la marcha normal de la población infantil colombiana, en los parámetros espacio-temporales de la marcha: longitud de paso y velocidad, en las variables cinemáticas y cinéticas en el plano sagital en cadera, rodilla y tobillo, en niños con parálisis cerebral espástica entre 4 y 6 años con GMFCS nivel II. Se plantea estimular a través de referencias visuales proyectadas en el entorno, cambios en las características de la marcha de los niños con parálisis cerebral espástica ubicados en el nivel funcional II según el GMFCS (Gross Motor Function Classification System), para lo cual se realizará una adaptación a tecnología ya existente de bajo costo que permitirá proyectar las referencias visuales según los parámetros de la marcha de niños colombianos acorde con los rangos de edad de cada participante. Este estudio se realizará a través de una prueba piloto con tres participantes y el entrenamiento consistirá en 10 sesiones de 15 minutos cada una, con una frecuencia de cuatro sesiones por semana durante las dos primeras semanas, y las dos sesiones restantes en la tercera semana. La herramienta tecnológica con referencias visuales proyectadas en el entorno proveerá un estímulo visual motivante que estimulará a los niños con parálisis cerebral a alcanzar dichas referencias visuales que contienen características específicas de la marcha tales como longitud de paso y velocidad. Las variables de la biomecánica de la marcha serán evaluadas antes y después de la intervención a través de un análisis computarizado de la marcha que permite cuantificar los cambios en longitud de paso, velocidad de la marcha, parámetros cinemáticos y cinéticos. Los resultados obtenidos en este estudio permitirán tomar decisiones sobre el uso de este dispositivo tecnológico para la rehabilitación de la marcha de niños colombianos con parálisis cerebral y aportarán información para realizar a futuro un estudio controlado aleatorizado, en caso de ser pertinente.

2. Planteamiento del problema

Los niños y niñas en condición de discapacidad son aquellos individuos que presentan deficiencias en sus funciones y estructuras corporales que generan limitaciones en el desarrollo de sus actividades y participación social (OMS y UNICEF, 2013). La OMS y la UNICEF plantean que los niños y las niñas con

discapacidad y sus familias son vulnerables en tanto no reciben el apoyo suficiente para atender sus necesidades y acceder a sus derechos, lo cual genera exclusión y pobreza (OMS y UNICEF, 2013).

La parálisis cerebral se define como un grupo de trastornos del desarrollo del movimiento y la postura comúnmente asociados a otras comorbilidades como trastornos sensoriales, comunicativos, cognitivos, entre otros, y constituye una de las enfermedades más frecuentes en rehabilitación pediátrica, con una incidencia estimada entre 2 a 2,5 por cada 1.000 nacidos vivos en países desarrollados (ICF Research Branch, 2013). En Colombia, según el Censo General para el 2005, existían 96.273 niños y niñas menores de cinco años con algún tipo de discapacidad, que representaban el 2,0% de la población en esta edad (Presidencia de la República, 2013), mientras que el Registro para la Localización y Caracterización de la Población con Discapacidad (RLCPD) censó en el 2010, sólo 23.004 niños y niñas menores de cinco años con discapacidad (Presidencia de la República, 2013). Al parecer, tales diferencias se fundamentan en cómo define la discapacidad la entidad que hace el registro, ya que en el Censo poblacional se define como limitaciones para hacer o participar mientras que según el RLCPD se entiende la discapacidad a partir de las funciones o estructuras corporales afectadas.

A partir de la aprobación de la Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad, en Colombia se considera que: “la discapacidad es un concepto que evoluciona y resulta de la interacción entre las personas con deficiencias y las barreras debidas a la actitud y al entorno que evitan su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás” (Ministerio de Salud y Protección Social, 2012).

La investigación en parálisis cerebral se ha centrado en el daño cerebral y en las limitaciones secundarias en funciones y estructuras corporales. A partir de la publicación de la Clasificación Internacional de Funcionamiento, Discapacidad y Salud (CIF) y, en particular, la versión para niños y jóvenes (World Health Organization, 2007) han surgido investigaciones centradas en actividades y participación de niños con parálisis cerebral, donde se entiende la participación social como un constructo multidimensional que considera la inclusión social, las relaciones interpersonales y las responsabilidades, tanto personales como sociales (Hammel et al., 2015).

Excepto en las habilidades motoras gruesas, los cambios a largo plazo y pronóstico en otros dominios como actividades y participación de los niños con parálisis cerebral no son muy claros. El Programa Longitudinal de Investigación en Rehabilitación Pediátrica en los países bajos (PERRIN) determinó que la edad, el compromiso cognitivo y el nivel de función motora gruesa son los principales factores que determinan el desarrollo longitudinal de la participación social en niños y adolescentes con parálisis cerebral entre 1 y 24 años (Tan et al., 2016). Esto significa una trayectoria menos favorable en la participación en individuos con compromiso cognitivo y con un menor nivel de función motora gruesa. Sin embargo, aunque se hayan establecido estos principales factores es importante tener en cuenta la influencia de múltiples elementos del individuo y su ambiente, como las habilidades manuales y las comunicativas, el dolor, las limitaciones visuales y los ambientes físicos, sociales y actitudinales (Colver et al., 2012).

La función motora de los niños con parálisis cerebral se describe y clasifica a través del Sistema de Clasificación de la Función Motora Gruesa o Gross Motor Function Classification System (GMFCS). Esta clasificación está basada en las limitaciones funcionales y la necesidad del uso de dispositivos externos para

la marcha o la movilidad; clasifica el comportamiento motor de los niños con parálisis cerebral en cinco niveles que representan las habilidades y limitaciones del niño/ joven en su funcionamiento motor grueso, sin incluir juicios acerca de la calidad del movimiento o pronóstico de mejora (Palisano et al., 1997). Los métodos de movilidad de los niños con parálisis cerebral son variables, pero se estima que un 65% de los niños con parálisis cerebral logran marcha sin ayudas externas o con mínimas ayudas, es decir se encuentran ubicados entre los niveles I y II del GMFCS (Wiat et al., 2016).

En el proceso de rehabilitación de niños con diagnóstico de parálisis cerebral, el entrenamiento de la marcha es uno de los principales retos para los fisioterapeutas. La marcha es una función motora importante para la interacción en el ambiente físico y social; razón por la cual, alcanzar el mayor nivel funcional posible se ha convertido en un objetivo de la rehabilitación para promover la participación de la población infantil en condición de discapacidad.

La tecnología puede ser un medio para incrementar el desempeño humano a través del entrenamiento en funciones corporales y para el entrenamiento y la reeducación de la marcha es posible utilizar herramientas de alta tecnología como el Lokomat o el Nirvana, que buscan optimizar los resultados del entrenamiento, pero que han sido cuestionados por la dificultad para replicar las demandas del mundo real al caminar y por establecer un rol pasivo a la persona que recibe el tratamiento (Wiat, Rosychuk, & Wright, 2016). Esta alta tecnología o tecnología de alto costo ha sido definida según Jennett (1984), como tecnología compleja y costosa con disponibilidad restringida habitualmente a un número de lugares donde está bajo el control de especialistas (Citado por Ministerio de la Protección Social, 2011), lo que hace difícil el acceso para las instituciones que prestan servicios de rehabilitación en Colombia. Adicionalmente dicha tecnología no se ajusta a los parámetros estandarizados de la marcha de la población colombiana sino a parámetros de normalidad generalizados a la población, sin distinguir por rangos de edad o por características poblacionales específicas.

En conclusión, la capacidad de marcha de los niños y niñas con parálisis cerebral tiene un impacto en su desempeño funcional y en el nivel de participación alcanzado en la sociedad, por lo tanto, ésta es una meta de gran importancia para su rehabilitación, lo que ha motivado el desarrollo de tecnologías aplicadas con este fin. Sin embargo, estos desarrollos tecnológicos no se ajustan a las características antropométricas ni a los valores estandarizados por rangos de edad para la población infantil colombiana y son de difícil acceso para la población y las instituciones de rehabilitación por su alto costo que puede superar los mil millones de pesos.

3. Justificación

Es claro que caminar no es la única manera de desplazarse, pero el desarrollo del individuo está directamente relacionado con la capacidad que pueda tener de interactuar a su manera con el medio y modificarlo, para el niño con parálisis cerebral el poder desplazarse a través de algún sistema de movilidad constituye una herramienta importante de interrelación bidimensional. Cualquier recurso que incremente la funcionalidad de la marcha, tendrá un efecto directo en el desarrollo del individuo permitiéndole obtener habilidades diferentes de comunicación, juego y aprendizaje.

La Versión Internacional de Clasificación en Funcionamiento para Niños y Jóvenes (ICF-CY) proporciona un marco universal para definir y clasificar el funcionamiento y la discapacidad en niños, para lo cual se han desarrollado guías que facilitan la aplicación de la CIF en la práctica y con el propósito de estandarizar las medidas de resultados en investigaciones realizadas en niños y niñas con parálisis cerebral, pudiendo ser este un marco de referencia para comparar medidas clínicas como las arrojadas por el análisis computarizado de la marcha, que es una de las medidas más utilizadas para su valoración. Según los criterios de la CIF, la características cinemáticas, cinéticas y espacio-temporales de la marcha se encontrarían ubicadas en funciones y estructuras corporales, mientras que el desempeño funcional a través de la marcha medido con escalas como FAQ (Gillette Functional Assessment Questionnaire) o el FMS (Functional Mobility Scale) promueve finalmente la participación de los niños y niñas con parálisis cerebral en la sociedad, esta participación está influenciada además por características personales como la perseverancia y la motivación que representan una relación importante entre el entorno emocional del niño y su interacción con el medio que lo rodea (Schariti et al., 2014).

Son reconocidos los beneficios funcionales y fisiológicos de la marcha en niños con parálisis cerebral, estos beneficios incluyen prevención de contracturas musculares, mantenimiento de la densidad ósea y mejoría de la condición cardiovascular, además de aportar beneficios psicológicos por la interacción con sus pares y la exploración de los entornos, aunque siguen asociadas al valor simbólico social de caminar, las creencias sociales dominantes y la reducción del estigma social de la discapacidad (Wiat et al., 2016).

El conocimiento sobre la efectividad de la intervenciones terapéuticas en niños con parálisis cerebral ha aumentado en los últimos años y se han incluido dentro de la revisiones sistemáticas, no solo las técnicas o enfoques terapéuticos como el Neurodesarrollo (NDT), sino constructos sobre intervenciones como el movimiento autoiniciado, el entrenamiento en tareas específicas y las modificaciones al ambiente, estos componentes de la intervención han sido utilizados para la investigación en aprendizaje motor y podrían ser aplicados en diversas estrategias terapéuticas, como las utilizadas para el entrenamiento en marcha (Morgan et al., 2016).

La teoría de los sistemas dinámicos y la realimentación son componentes conceptuales del control y aprendizaje motor que se relacionan directamente con el programa de entrenamiento en marcha con la herramienta tecnológica. Estas teorías se apoyan en la importancia de la relación bidireccional del individuo con su entorno, donde la persona responde ante las demandas del medio y este medio realimenta el comportamiento motor, influenciado por elementos básicos para el aprendizaje tales como la motivación y la práctica repetitiva (Bartonek, Lidbeck, & Gutierrez-Farewik, 2016). Al considerar estas teorías se podrían esperar cambios en la marcha de los niños con parálisis cerebral sometidos a un entrenamiento con una herramienta que imponga demandas motoras específicas y realimente el desempeño en la actividad con lo cual se espera impactar su función y participación según el modelo de la CIF.

Teniendo en cuenta que el movimiento es un aspecto crítico de nuestras vidas, y que en especial la marcha nos brinda posibilidades para interactuar con nuestro entorno, cualquier intervención sobre la marcha debe estar fundamentada en las teorías de control motor, definidas como la habilidad para regular o direccionar los mecanismos esenciales del movimiento. El movimiento es entendido como el resultado de la interacción entre tres factores: el individuo, la tarea y el ambiente relacionados con la percepción, la cognición y la acción, como lo enuncia la teoría de los sistemas dinámicos o teoría de los sistemas o acción dinámica, que

son algunos de los términos que se usan indistintamente para esta teoría del control motor (Shumway-Cook, 2012). En esta teoría se fundamenta el aprendizaje y la reeducación de las características de la marcha en los niños con parálisis cerebral que modifican su comportamiento motor de acuerdo con las demandas impuestas por la tarea y el ambiente.

La realimentación es un componente conceptual del control motor a considerar en el programa de entrenamiento, definida como la información interna y externa que recibe el individuo a través de los sistemas sensoriales como resultado de la producción del movimiento. Según Schmidt & Lee (2005) el conocimiento de los resultados es una importante forma de realimentación extrínseca en el aprendizaje de tareas motoras, definida como el resultado del movimiento con respecto a sus objetivos y la información sobre el error (Shumway-Cook, 2012). Estos componentes teóricos serán utilizados para determinar las demandas de la tarea propuesta con la herramienta tecnológica y la intensidad del tratamiento. La interrelación del niño con su entorno está influenciada por aspectos como la motivación, la teoría de la autoeficacia y el juego, por lo tanto estos son aspectos para considerar en el desarrollo e implementación del programa de entrenamiento con la herramienta tecnológica.

Dentro del marco de las Ciencias de la Rehabilitación y según el modelo de Capacidad Humana de Amartya Sen dentro del contexto del desarrollo humano, los individuos deberán contar con la posibilidad de convertir los derechos en libertades reales para brindar mayores oportunidades en salud y educación. Esto permite una mayor protección de los más desfavorecidos bajo el principio de justicia de Rawls, donde el papel del estado está en dar un mínimo de justicia social buscando mayor igualdad y mayor independencia (Sen, 1999). El desarrollo del niño con parálisis cerebral, visto desde el modelo de Sen, está directamente influenciado por el entorno en una relación bidireccional. Por lo cual, el niño debe tener la capacidad de modificar y explorar su entorno y el entorno debe ser facilitador para su interacción. Es necesario que el niño ejerza un papel activo en el desarrollo de sus propias habilidades, influenciado claramente por su interacción con el ambiente.

Por otro lado, los estudios sociales en Rehabilitación han prestado atención a la categoría “cuidado” con respecto a situación de los cuidadores de niños y niñas con parálisis cerebral y los efectos de la carga física, emocional y psicológica que surge de cuidar a una persona en condición de discapacidad considerando la particularidad que implica que dicho cuidador sea la madre o el padre del niño. Los niños con parálisis cerebral tienen limitaciones en funciones de autocuidado como alimentación, vestido y movilidad y en la medida en que estas limitaciones sean complejas generan mayor nivel de dependencia de sus cuidadores, afectando la vida familiar cotidiana y demostrando ser perjudicial para la salud física y el bienestar psicológico de los cuidadores, en especial sus padres, impactando así el funcionamiento familiar. Es claro que si un cuidador es un familiar se vinculan emociones y sentimientos como amor, culpa, deber e incluso valores religiosos y morales que son definidos como la carga subjetiva del cuidador, mientras que la carga objetiva son los cambios en el ámbito doméstico y la vida cotidiana de los cuidadores, tales como el retiro del ámbito laboral profesional o la falta de tiempo para actividades de ocio o interés personal, además se han incluido otras dimensiones como la carga económica, física, psicológica, emocional o social, modificando la concepción de *carga* como un constructo multidimensional que compromete la calidad de vida de los cuidadores de niños y niñas con parálisis cerebral (Crespo & Rivas, 2015; Martínez et al., 2008).

Un niño con parálisis cerebral requiere constante cuidado lo que modifica la dinámica familiar y afecta la calidad de vida particularmente de sus madres, la cual es significativamente más pobre comparativamente con respecto a las madres de niños sin discapacidad. La dedicación al cuidado del niño reduce su actividad social y esto se encuentra directamente relacionado con la capacidad motora de los niños, ya que se ha encontrado una correlación inversa entre la capacidad funcional del niño y el funcionamiento en el área social de su madre y, por lo tanto, en su calidad de vida (Glinac, 2017).

La rehabilitación del niño con parálisis cerebral se ha centrado en el niño y sus padres o cuidadores no han sido vistos como unidad de interés, es por eso que es necesario reconocer a cada familia como única y experta en la necesidades y habilidades del hijo y debe existir un claro reconocimiento de las necesidades de las familias, que son individuales y se encuentran determinadas por valores y preferencias de cada una de ellas, son diferentes a las necesidades clínicas y son cambiantes en el tiempo, parten de una construcción multidimensional y se ven influenciadas por características particulares como la estructura social y la comunidad (Almasri et al., 2011).

Por lo tanto, los nuevos modelos de rehabilitación han ampliado su visión en torno a la parálisis cerebral donde la familia toma gran importancia y sus necesidades particulares se entienden de forma individual y no general, lo que puede contribuir a disminuir la carga física y emocional de las tareas del cuidado que asumen los padres de los niños y niñas con parálisis cerebral, ya que involucran sus necesidades particulares para el planteamiento de objetivos y estrategias enfocados no en las necesidades clínicas de los niños sino en desempeños funcionales de acuerdo con las características y condiciones propias y particulares del individuo y su familia.

En torno a los estudios políticos en rehabilitación, la Ley 1098 por la cual se expide El código de la Infancia y la Adolescencia, establece como finalidad garantizar a los niños, niñas y adolescentes su pleno y armonioso desarrollo en el seno de la familia y la comunidad bajo el reconocimiento de la igualdad y la dignidad humana, donde la garantía y la protección serán responsabilidad de la familia, la sociedad y el Estado (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. Ministerio de la Protección Social, 2006). En el artículo 36, se consagra que los niños, niñas y adolescentes con discapacidad tienen derecho a gozar de una calidad de vida plena y a que el Estado les proporcione las condiciones para poder valerse por sí mismos e integrarse a la sociedad y se centra en el respeto a la diferencia y al derecho al disfrute de una vida digna en condiciones de igualdad por parte de los niños, niñas y adolescentes para desarrollar al máximo sus potencialidades y alcanzar su participación activa en la comunidad, con derecho a la habilitación y rehabilitación para eliminar o disminuir sus limitaciones en actividades de la vida diaria y a través de acciones y oportunidades reducir su vulnerabilidad.(Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. Ministerio de la Protección Social, 2006).

En conclusión, el niño con parálisis cerebral tiene derecho al desarrollo, según la Convención sobre los Derechos Humanos del Niño (CDN) y la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (CDPD) promoviendo infancias estimulantes y satisfactorias y preparándolos para una participación plena en la vida adulta (OMS y UNICEF, 2013). Esto permite sustentar desde la conceptualización de los Estudios Tecnológicos y del Funcionamiento Humano, que el desarrollo de nuevas estrategias en rehabilitación para la población infantil colombiana con parálisis cerebral debe correlacionarse con un entendimiento complejo del niño como un ser bio-psico-social con características individuales y particulares que le permiten desarrollarse como un individuo a partir de una interacción bidimensional con su entorno en diferentes

ambientes, en donde el desarrollo de habilidades motoras funcionales está directamente correlacionado con la calidad de vida del niño y su familia.

Al integrar en una herramienta tecnológica ya existente que proporcionará referencias visuales proyectadas en el entorno, la información de bases de datos sobre los patrones de marcha de la población infantil colombiana, con algunos patrones de referencia con respecto a simetría, longitud de paso y velocidad que tienen una relación directa con el consumo de energía durante la marcha y, por lo tanto, con la funcionalidad, se espera lograr cambios en el entrenamiento en la marcha de los niños y niñas colombianos con parálisis cerebral. Si además dicha herramienta tecnológica es de bajo costo podría responder a las necesidades y los recursos de los países en vía de desarrollo y al contexto sociocultural y socioeconómico de nuestro país, por lo cual parte del proyecto será adaptar una herramienta utilizando tecnología ya existente que estimule cambios en el patrón de marcha de los niños y niñas con parálisis cerebral espástica y así contribuir a una mayor equiparación de oportunidades de la población infantil colombiana en condición de discapacidad y sus familias y/o cuidadores.

4. Antecedentes

Las tecnologías en rehabilitación han sido utilizadas para el entrenamiento de la marcha en niños y adultos con trastornos neurológicos, con herramientas de alta tecnología robótica tales como Lokomat o exoesqueletos (Wallard, Dietrich, Kerlirzin, & Bredin, 2017; Zwicker & Mayson, 2010), de realidad virtual (Brien & Sveistrup, 2011) y han surgido algunos diseños como tapetes interactivos con luces LED como Padwalk (Human Media Interaction HMI, 2015). Estos sistemas incluyen realimentación visual y/o auditiva al utilizar como referencia parámetros espaciotemporales de la marcha normal tales como velocidad, longitud de paso y parámetros cinemáticos en los tres planos de movimiento. Sus efectos en la marcha de los pacientes han sido medidos frecuentemente a través de sistemas como el análisis computarizado de la marcha en 3D (van der Krogt, Sloom, & Harlaar, 2014).

En Colombia se realiza rehabilitación robótica con Lokomat en dos instituciones ubicadas en Bogotá, que cuentan con esta tecnología como una alternativa para la rehabilitación de la marcha de pacientes con lesiones neurológicas, fundamentados en ventajas descritas como sesiones de mayor duración, aumento del número de repeticiones y evaluación y monitoreo del paciente en línea, sin embargo se describe que la eficacia de la intervención depende de su duración y frecuencia y del grado de participación del paciente mientras se realiza la terapia robótica (Alonso et al., 2017). En este estudio se reportó que el 80% de los pacientes destacan el uso de la tecnología, el juego y sus resultados, aunque de los 19 pacientes encuestados solo dos eran menores de edad. Es claro que existe pobre cobertura y limitaciones en el acceso al tratamiento con esta tecnología para la población infantil colombiana de otras zonas demográficas.

El desarrollo de la marcha humana es instintivo y cambia en el transcurso de primeros años de vida hasta alcanzar una marcha madura hacia los 7 a 8 años de edad cuando se alcanza también la maduración musculoesquelética (Burnett CN, 1971). Aunque existen algunas características comunes de la marcha que se han generalizado a la población, se han reportado variabilidad étnica significativa en diferentes estudios realizados tanto en adultos como en niños (Moreno-Hernández, Rodríguez-Reyes, Quiñones-Urióstegui, Núñez-Carrera, & Pérez-SanPablo, 2010; Thevenon et al., 2015). También se han reportado diferencias en las características cinemáticas, cinéticas y en los parámetros espacio-temporales de acuerdo a edad, género, estatura y peso (Chester & Wrigley, 2008; Van Der Linden, Kerr, Hazlewood, Hillman, & Robb, 2002).

En Colombia contamos con una base de datos del Laboratorio para Análisis Computarizado de la Marcha Movisys, que aporta información sobre medidas antropométricas y parámetros de la marcha normal en población infantil colombiana entre los 4 y 18 años. Este estudio fue realizado en la ciudad de Bogotá con 80 niños y adolescentes sin alteraciones ortopédicas ni neurológicas, y constituye un marco de referencia para el entrenamiento de la marcha de los niños colombianos con parálisis cerebral espástica. Los resultados de esta investigación aún no han sido publicados, pero fueron divulgados a la comunidad científica en septiembre de 2018, en el Sexto Congreso de Ortopedia Infantil organizado por la Sociedad Latinoamericana de Ortopedia Infantil SLAOTI, la Sociedad Colombiana de Ortopedia Infantil SOCOIN y la Sociedad Colombiana de Cirugía Ortopédica y Traumatología SCCOT (SCCOT, 2018). Los resultados fueron presentados por rangos de edad, dividiendo la muestra en grupos con intervalo de dos años, para el presente estudio serán utilizados los rangos de 4 a 6 años y de 6 a 8 años. Conociendo estos parámetros de la marcha esperados por rangos de edad de nuestra población infantil colombiana podemos establecer referencias en el marco de la rehabilitación de los niños y niñas con parálisis cerebral según su edad en particular.

Para el entrenamiento en la marcha de los niños y niñas con parálisis cerebral sería deseable contar con una herramienta tecnológica de bajo costo que rompa las barreras de acceso a la tecnología en rehabilitación para la población infantil colombiana sin importar su ubicación geográfica y su contexto socioeconómico, y que se ajuste a las características antropométricas y culturales de nuestra población colombiana según sus criterios de edad.

5. Delimitación del problema

Hasta el momento no se conoce si una herramienta tecnológica con referencias visuales proyectadas en el entorno de bajo costo que sea alimentada con información de referencia de la marcha de la población colombiana como factor diferenciador, que pueda promover cambios en los parámetros cinemáticos y cinéticos de los niños y niñas colombianas con parálisis cerebral espástica entre los 4 y los 6 años.

5.1 Pregunta de Investigación

¿Existen cambios en los parámetros espacio-temporales y las variables cinemáticas y cinéticas de la marcha en niños con parálisis cerebral espástica nivel funcional GMFCS II, quienes reciben un programa de entrenamiento con el uso de una herramienta tecnológica con referencias visuales proyectadas en el entorno ajustada a los patrones de marcha normal de la población infantil colombiana?

5.2 Objetivo General

- Determinar el efecto del entrenamiento en marcha con un sistema tecnológico con referencias visuales proyectadas en el entorno ajustado a los patrones de la marcha normal de la población infantil colombiana, en los parámetros espacio-temporales de la marcha: longitud de paso y velocidad, en las variables cinemáticas y cinéticas en el plano sagital en cadera, rodilla y tobillo, en niños con parálisis cerebral espástica entre 4 y 6 años con GMFCS nivel II

Específicos:

- Describir las características clínicas y antropométricas de la muestra
- Registrar y comparar la velocidad de la marcha con y sin el estímulo visual en cada una de las sesiones de entrenamiento en marcha
- Comparar las variables espacio-temporales, cinemáticas y cinéticas de la marcha pre y pos intervención

6. Metodología

6.1 Diseño metodológico

Se realizará un estudio piloto con tres participantes, como estudio exploratorio que según sus resultados permitirá considerar el desarrollo de un estudio más robusto, como un ensayo clínico controlado aleatorizado en un futuro.

Cabe anotar que inicialmente se consideró llevar a cabo un estudio cuasi experimental diseño pretest posttest sin grupo control, y según la tabla de muestreo de la distribución t- student, con una potencia estadística del 80%, probabilidad de error α : 0,05 y tamaño del efecto de 1.2 el tamaño de la muestra sería de 12 participantes (Portney, LG, Watkins, 2015). Esto se reconsideró debido a las limitaciones en torno al recurso económico, humano y de infraestructura y a los altos costos que tendría realizar los laboratorios de marcha de control pre y post entrenamiento que sería 24 en total con un costo promedio por unidad de \$1.500.000, los cuales son financiados por el investigador además de las limitaciones en tiempo para completar el número de intervenciones necesarias en dicha muestra, por lo tanto se decidió realizar un diseño cuasiexperimental, estudio piloto que no busca medir eficacia o efectividad de la intervención sino apoyar el desarrollo de un futuro Estudio Aleatorizado Controlado a realizar una vez se cuente con los recursos financieros necesarios.

Para medir el efecto del entrenamiento de la marcha con una herramienta tecnológica (con referencias visuales proyectadas en el entorno) se utilizará un instrumento válido y confiable como el Laboratorio de marcha para cuantificar las características de la marcha, antes y después de la intervención realizada.

La presente investigación no busca diseñar una nueva herramienta tecnológica, sino que busca medir los cambios en las variables espaciotemporales, cinemáticas y cinéticas de la marcha en la población de estudio.

6.2 Participantes

Esta investigación se realizará con niños con diagnóstico de parálisis cerebral espástica entre los 4 y 6 años, nivel GMFCS II (que logran marcha domiciliaria y comunitaria sin ayudas externas) y que asisten a la consulta de un Neuro-ortopedista en Bogotá. El rango de edad se determina según el Código de Infancia y Adolescencia (Congreso de Colombia, 2006) que delimita la infancia desde los 0 a 12 años, sin embargo, el rango para el presente estudio inicia a los 4 años de edad cuando ya se han establecido algunas características cinemáticas y cinética según el proceso natural de maduración de la marcha (Gage, 2004). Fueron seleccionados los niños en nivel funcional GMFCS II, es decir que son capaces de caminar de forma independiente ya que, según Schwartz y colaboradores, la velocidad de la marcha influencia elementos

fundamentales como la cinemática, la cinética y parámetros espaciotemporales como longitud de paso y cadencia. Para la valoración de cinética a través de las placas de fuerza es necesario que el niño camine de forma independiente y de un paso en cada una de las placas con un solo pie, por lo tanto, este estudio se centra en la población del nivel funcional II según el GMFCS para poder contar con la información de cinética (Schwartz et al., 2008).

6.3 Criterios de selección

La muestra de los participantes será escogida por medio de un muestreo a conveniencia entre los asistentes a la consulta externa de Neuro-ortopedia que cumplan con los criterios establecidos a continuación:

Criterios de Inclusión:

- a) Niños que tengan diagnóstico de Parálisis cerebral espástica
- b) Edad entre los 4 y 6 años
- c) Nivel funcional II según GMFCS
- d) Capaces de comprender y seguir instrucciones de una tarea

Criterios de exclusión:

- a) Déficits visuales o auditivos que no les permita seguir las guías de referencia visual o escuchar las instrucciones
- b) Déficit cognitivo (dificultad para comprensión y seguimiento de instrucciones sencillas)
- c) Parálisis cerebral mixta (espasticidad y distonía)
- d) Epilepsia no controlada
- e) Aplicación de toxina botulínica o cirugía ortopédica en los últimos seis meses
- f) Complicaciones neuro-ortopédicas que afecten significativamente la marcha como luxación o subluxación de cadera

Posibles sesgos

Sesgo de selección:

- Pérdidas de pacientes durante el entrenamiento
- Selección de pacientes de la consulta particular del investigador

Sesgos de Información:

Durante la captura del Laboratorio de Marcha:

- Sesgo en colocación de marcadores
- Sesgo en captura y selección de la toma a procesar
- Sesgo de calibración del sistema de captura
- Uso de caminadores o muletas que afecten el funcionamiento del sistema de captura
- Que el evaluador sea el mismo investigador

Estos sesgos serán controlados realizando el laboratorio de Marcha en una IPS que cuenta con amplia experiencia en la captura de datos. El fisioterapeuta evaluador será diferente al investigador.

Sesgos de confusión:

- Que los participantes estén asistiendo a un programa terapéutico de entrenamiento en marcha con una herramienta tecnológica

6.4 Tamaño de la muestra

El muestreo se realizará a conveniencia, según la población accesible hasta completar el tamaño requerido de la muestra (3 participantes).

6.5 Reclutamiento de participantes

Los participantes serán seleccionados entre los asistentes a la consulta externa de Neuro-ortopedia que pondrá en contacto a los posibles participantes con el investigador quien analizará cuidadosamente que cumplan con los criterios de inclusión y exclusión.

Algunos niños con parálisis cerebral pueden presentar de forma asociada alteraciones cognitivas, visuales, auditivas o complicaciones neuro-ortopédicas que pueden afectar su desempeño durante el entrenamiento de la marcha, por lo cual el investigador realizará a los posibles participantes una prueba con tareas relacionadas con el entrenamiento a realizar, que incluyen seguimiento de instrucciones sencillas, seguimiento visual y análisis observacional de la marcha para verificar el cumplimiento de los criterios de inclusión.

La prueba para verificación de cumplimiento o no de los criterios de inclusión/exclusión consiste en:

- a. Solicitarle al niño que camine del punto A al punto B demarcados en el piso con un círculo de color y traslade una ficha en cada trayecto del punto A que encajará en el punto B formando una torre, de diez fichas en total. Con esta actividad el investigador podrá observar la capacidad del niño para el seguimiento de órdenes sencillas, las características generales de la marcha verificando que no existan complicaciones neuro-ortopédicas que afecten significativamente la marcha como luxación o subluxación de cadera, además de observar la capacidad del niño para mantener su atención en una actividad al completar los 20 trayectos y terminar la torre de 10 fichas.
- b. Posteriormente serán proyectadas en el piso unas huellas que aparecerán a la velocidad y longitud de paso propias de su edad, dándole la siguiente instrucción verbal: “Intenta alcanzar las huellas que van apareciendo en el piso sin llegar a correr, mantente caminando” el niño completará 4 trayectos de la pista de 4.40 metros. Con esta prueba el investigador verificará si las condiciones viso perceptivas y la comprensión y seguimiento de órdenes sencillas del posible participante son aptas para su participación en las sesiones de intervención.

Posteriormente los invitará a participar en el estudio, explicará claramente al niño y su familia las características del entrenamiento y en caso de aceptar participar procederá a la firma del consentimiento por parte de los padres, al niño se le explicará que participará a través de juego siguiendo huellas, animales u objetos que serán proyectados en el piso.

6.6 Variables

6.6.1 Variables dependientes:

6.6.1.1 Parámetros espaciotemporales de la marcha:

6.6.1.2.1 Velocidad de la marcha

Definición conceptual: Relación entre una distancia recorrida en una unidad de tiempo determinada

Definición operacional: metros por segundo

Tipo: Variable cuantitativa continua

Nivel: Razón

6.3.1.2.2 Longitud de paso

Definición conceptual: Distancia entre el contacto inicial de un pie hasta el contacto inicial del pie contralateral

Definición operacional: metros

Tipo: Variable cuantitativa continua

Nivel: Razón

6.6.1.2 Características cinemáticas de la marcha en el plano sagital

Definición conceptual: rango de movilidad articular hacia la flexión y la extensión durante el ciclo de la marcha en cadera, rodilla y tobillo. Aunque pueden llegar a existir algunas variaciones en los otros planos de movimiento, se decide considerar solo el plano sagital por la gran cantidad de datos a manejar si se contemplan los tres planos y por la alta relación entre el plano sagital y los parámetros espacio-temporales de la marcha.

Definición operacional: grados de movilidad de las articulaciones cadera, rodilla y tobillo registrados durante las fases del apoyo de la marcha: 1) contacto inicial, 2) apoyo medio y 3) despegue de dedos en las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo.

Tipo: variable cuantitativa continua

Nivel: Razón

6.6.1.3 Características cinéticas de la marcha en el plano sagital

Definición conceptual: Momentos netos articulares generados a partir de la posición del vector de reacción al piso y la generación de energía en la articulación.

Definición operacional: N-m Kg y W Kg

Tipo: variable cuantitativa continua

Nivel: Razón

6.6.2 Variable independiente

Definición conceptual: Entrenamiento en marcha con herramienta tecnológica, se realizarán un total de 10 sesiones de 15 minutos cada una, realizadas cuatro veces por semana, finalizando el programa en máximo tres semanas (cuatro sesiones en las dos primeras semanas y dos en la tercera semana).

Definición operacional: número de sesiones y tiempo de cada intervención

Tipo: categórica

Nivel: Nominal

6.3.3 Posible variable confusora

Tiempo de la medición post-test: por la posibilidad de mejoría espontánea o propia del desarrollo

VARIABLE	INSTRUMENTO	UNIDAD	ESCALA
Parámetros espacio-temporales de la marcha: 1. Velocidad de la marcha 2. Longitud de paso	Laboratorio de Marcha	1. Metros por segundo 2. Metros	Cuantitativa Razón
Cinemática plano sagital: cadera, rodilla, tobillo	Protocolo de marcadores Davis (Laboratorio de Marcha)	Grados	Cuantitativa Razón
Variables cinéticas: 1. Momentos articulares 2. Potencia	Placas de fuerza (Laboratorio de marcha)	1. Newtons por milímetro 2. Watts	Cuantitativa Razón

6.7 Materiales

Para el análisis computarizado de la marcha:

Recursos físicos: laboratorio (instalaciones y equipos), marcadores reflectivos, cinta adherente

Recurso humano: personal de ingeniería y fisioterapia con experiencia en captura y procesamiento de la información

Para la realización del entrenamiento con la herramienta tecnológica:

Recursos físicos: instalaciones, herramienta tecnológica (posiblemente un Proyector PowerLite X05+ que cuenta con la función de corrección trapezoidal horizontal)

Recurso humano: el programa de entrenamiento será ejecutado por el investigador.

6.8 Procedimiento

Una vez sea aceptado cada participante en el estudio, se programará la valoración en el laboratorio de marcha el cual será realizado por un equipo conformado por un fisioterapeuta y un ingeniero de una IPS externa con experiencia en la captura del análisis de marcha. Se espera que este laboratorio sea realizado en Movisys SAS y será realizado por los profesionales de la IPS, sin participación del investigador principal. Dicha IPS cuenta con un sistema de ocho cámaras infrarrojas MX T40 y dos cámaras de video referencia Bonita para cuantificar las variables cinemáticas y dos plataformas de fuerza referencia AMTI para calcular las variables cinéticas, las cuales son procesadas a través de un software especializado denominado VICON (Vicon Motion System) que utiliza para la adquisición de los datos Vicon Nexus 1.8.5 y para la generación de reportes Vicon Polygon 4.1. El laboratorio de marcha incluye toma de medidas antropométricas, colocación de marcadores siguiendo el protocolo de marcadores Davis, captura de cinemática y cinética, selección de las tomas a procesar, generación de reporte gráfico y una valoración musculoesquelética

estandarizada que incluye pruebas de músculos biarticulares, valoración del tono, perfil torsional de miembros inferiores, fuerza muscular y control selectivo. Se deberán cumplir con unos requisitos institucionales para la realización del examen diagnóstico tales como ropa adecuada y firma del consentimiento informado institucional. La entrega del resultado podría tardar 8 días hábiles. El resultado de este laboratorio de marcha no incluirá la interpretación clínica de las gráficas ni recomendaciones terapéuticas ya que su objetivo es cuantificar las variables cinemáticas y cinéticas de la marcha de cada participante antes y después de la intervención y no establecer diagnóstico o planes terapéuticos.

Sería deseable que entre los siguientes 8 a 10 días se iniciara el entrenamiento en marcha según la intensidad y frecuencia seleccionada y con el estímulo visual acorde con el rango de edad del niño. Este programa no deberá ser extenso para evitar la influencia de factores temporales que puedan modificar el resultado, se realizarán un total de 10 sesiones de 15 minutos cada una, realizadas cuatro veces por semana, finalizando el programa en máximo tres semanas. Esta intensidad y frecuencia fue seleccionada según las revisiones sistemáticas sobre estrategias de intervención específicas utilizadas para ayudar a los niños con discapacidades del desarrollo realizadas por La Academia Americana de Parálisis Cerebral y Medicina del Desarrollo (AACPDM) (Rogers, Anna, Barbara-Lynne Furler, Stephen Brinks, 2008) y según revisiones sistemáticas de la efectividad de programas de entrenamiento en marcha realizados con otras herramientas tecnológicas (Zwicker & Mayson, 2010).

El entrenamiento de la marcha será llevado a cabo en el consultorio del investigador principal que cuenta con habilitación vigente por parte de la Secretaría de Salud de Bogotá, y por lo tanto un protocolo de seguridad del paciente, adicionalmente el investigador cuenta con una póliza de responsabilidad civil. El niño deberá asistir acompañado de un adulto y llevar un short o pantalón corto por arriba de la rodilla y una camiseta corta o en el caso de las niñas, un top. Los niños caminarán por una superficie plana siguiendo las referencias visuales que se proyectarán en la pista de entrenamiento según los parámetros de referencia de acuerdo con su edad. La herramienta tecnológica con referencias visuales proyectadas en el entorno proveerá un estímulo visual motivante que estimulará a los niños con parálisis cerebral a alcanzar dichas referencias visuales que contienen características específicas de la marcha tales como longitud de paso y velocidad. Al inicio y durante cada sesión de entrenamiento se harán dos videos de la marcha del niño, filmándolo en una vista sagital a su velocidad de marcha espontánea y siguiendo las referencias visuales. Estos registros no incluirán la cara del niño, serán realizadas en cada sesión de intervención y buscan registrar cambios durante el periodo de intervención terapéutica.

Las huellas o referencias visuales proyectadas en el entorno seguirán las características de velocidad y longitud de paso según la edad del niño, serán proyectadas desde un proyector ubicado lateralmente con respecto a la pista de entrenamiento, que contará con la función de corrección trapezoidal horizontal que permite ajustar la imagen según la inclinación con el fin de mantener las características espacio-temporales de las huellas seleccionadas.

Se establecerá un protocolo específico, descrito en un documento adjunto y resumido en el anexo 1, para las sesiones de entrenamiento que deberá mantenerse durante todo el programa para asegurar que todos los participantes reciban el tratamiento de la misma manera. La descripción completa del procedimiento a realizar permitirá su replicación en una futura investigación. Una vez terminado el programa se realizará una nueva medición de las variables biomecánicas de la marcha a través de la tecnología de cámaras

infrarrojas y plataformas de fuerza con las que cuenta el laboratorio de marcha en Movisys SAS en un máximo rango de 8 a 10 días después de haber realizado la última sesión de intervención.

6.9 Análisis de los datos

- 6.9.1 **Estadística univariada** Será utilizada para hacer una descripción de la muestra en términos de género, edad y otras estrategias terapéuticas. Para las variables cualitativas serán descritas por medio de proporciones, mientras que las cuantitativas serán analizadas a través de la media y su correspondiente desviación estándar.
- 6.9.2 **Estadística inferencial o Bivariado:** Si se presenta una distribución normal de los datos, se utilizará la prueba estadística no paramétrica Mann-Whitney-Wilcoxon, aplicada a las dos muestras independientes por el tamaño de la muestra (Portney, LG, Watkins, 2015).

7. Consideraciones éticas

Este proyecto de investigación deberá ser presentado ante el comité de ética de la Universidad del Rosario para su aprobación, teniendo en cuenta que los niños, niñas y adolescentes colombianos son considerados “sujetos de especial protección constitucional” según instrumentos normativos internacionales como: La Convención Americana sobre los Derechos Humanos (1969) y la Convención sobre los Derechos del Niño (1989) con el fin de garantizar su “desarrollo armónico e integral y el ejercicio pleno de sus derechos”.

Referencias Bibliográficas

- Almasri, N. A., Palisano, R. J., Dunst, C. J., Chiarello, L. A., O'Neil, M. E., & Polansky, M. (2011). Determinants of needs of families of children and youth with cerebral palsy. *Children's Health Care, 40*(2), 130–154. <https://doi.org/10.1080/02739615.2011.564568>
- Alonso, A. M., Jiménez, L., Sebastián, J., Ramírez, L., Gómez, M. C., Rodríguez, L. E., ... Carlos, A. (2017). Rehabilitación robótica de la marcha con LOKOMAT en Colombia: Estado actual y oportunidades de la robótica social.
- Bartonek, A., Lidbeck, C. M., & Gutierrez-Farewik, E. M. (2016). Influence of external visual focus on gait in children with bilateral cerebral palsy. *Pediatric Physical Therapy, 4*(2), 103–110. <https://doi.org/10.1097/PEP.0000000000000282>
- Brien, M., & Sveistrup, H. (2011). An intensive virtual reality program improves functional balance and mobility of adolescents with cerebral palsy. *Pediatric Physical Therapy, 3*(2), 103–110. <https://doi.org/10.1097/PEP.0b013e318227ca0f>
- Burnett CN, J. E. (1971). Development of gait in childhood. I. Method. *Dev Med Child Neurol, 13* (2), 196–206.
- Chester, V. L., & Wrigley, A. T. (2008). The identification of age-related differences in kinetic gait parameters using principal component analysis. *Clinical Biomechanics, 23*(2), 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2007.09.007>
- Colver, A., Thyen, U., Arnaud, C., Beckung, E., Fauconnier, J., Marcelli, M., ... Dickinson, H. O. (2012). Association between participation in life situations of children with cerebral palsy and their physical, social, and attitudinal environment: A cross-sectional multicenter European study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 93*(12), 2154–2164. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.07.011>
- Congreso de Colombia. (2006). Ley 1098 de 2006 Código de la infancia y la adolescencia. *Ley, 2006*(noviembre 8). Retrieved from https://www.oas.org/dil/esp/Codigo_de_la_Infancia_y_la_Adolescencia_Colombia.pdf
- Crespo, M., & Rivas, M. T. (2015). La evaluación de la carga del cuidador: una revisión más allá de la escala de Zarit. *Clinica Y Salud, 26*(1), 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.clysa.2014.07.002>
- Eldridge, S. M., Chan, C. L., Campbell, M. J., Bond, C. M., Hopewell, S., Thabane, L., ... Tugwell, P. (2016). CONSORT 2010 statement: Extension to randomised pilot and feasibility trials. *Pilot and Feasibility Studies, 2*(1), 1–32. <https://doi.org/10.1186/s40814-016-0105-8>
- Gage, J. (2004). *The Treatment of Gait Problems in Cerebral Palsy*. London: Mac Keith Press.
- Glinac, A. (2017). Quality of Life in Mothers of Children with Cerebral Palsy. *Acta Clinica Croatica, 52*(4), 299–307. <https://doi.org/10.20471/acc.2017.56.02.14>
- Hammel, J., Magasi, S., Heinemann, A., Gray, D. B., Stark, S., Kisala, P., ... Hahn, E. A. (2015). Environmental barriers and supports to everyday participation: A qualitative insider perspective from people with disabilities. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 96*(4), 578–588. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.12.008>
- ICF Research Branch, a cooperation partner within the W. C. C. for the F. of I. C. in G. (at D. (2013). ICF Core Sets for Cerebral Palsy in CY. Retrieved from [https://www.icf-research-branch.org/icf-core-](https://www.icf-research-branch.org/icf-core-sets-for-cerebral-palsy-in-cy)

- sets-projects2/neurological-conditions/icf-core-set-for-cp-for-cy
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. Ministerio de la Protección Social. Código de Infancia y Adolescencia (2006).
- Luna, F. (2008). Vulnerabilidad la metáfora de las capas. *Jurisprudencia Argentina*, 4(1), 60–67. <https://doi.org/10.1001/jama.288.1.106>
- Martínez, L. D., Gonzalez Robles, T., Bertha, P., Fredy, P., Macario, S., Ma, L., ... Leños, G. (2008). Carga percibida del cuidador primario del paciente con parálisis cerebral infantil severa del Centro de Rehabilitación Infantil Teletón. *Revista Mexicana de Medicina Física Y Rehabilitación*, 20, 23–29.
- Ministerio de la proteccion social. (2009). Garantizar la Funcionalidad de los procedimientos de consentimiento informado, 1–5. Retrieved from file:///C:/Users/andre/Desktop/Garantizar_la_atención_segura_al_binomio_madre_hijo.pdf
- Ministerio de la Protección Social. (2011). Guía para la evaluación de tecnologías de salud (ETS) en instituciones de servicios de salud (IPS), 118. Retrieved from https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/1/Guia_evaluacion_de_tecnologias_en_salud.pdf
- Ministerio de Salud. (1993). Resolución 8430 de 1993. *Ministerio de Salud Y Protección Social, República de Colombia, 1993*(Octubre 4), 1–19. <https://doi.org/10.2353/jmoldx.2008.080023>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). ABECÉ De La Discapacidad.
- Montoya., G. M. (2006). Poblaciones especiales en investigación biomédica. Retrieved from [http://www.saludcapital.gov.co/Capacitaciones Comit de tica para la Investigacin/6 Sesión 16 julio 2014/INV. EN POBLACIONES VULNERABLES-LATINAMERICA.pdf](http://www.saludcapital.gov.co/Capacitaciones%20Comit%20de%20tica%20para%20la%20Investigacin/6%20Sesión%2016%20julio%202014/INV.%20EN%20POBLACIONES%20VULNERABLES-LATINAMERICA.pdf)
- Moreno-Hernández, A., Rodríguez-Reyes, G., Quiñones-Urióstegui, I., Núñez-Carrera, L., & Pérez-SanPablo, A. I. (2010). Temporal and spatial gait parameters analysis in non-pathological Mexican children. *Gait and Posture*, 32(1), 78–81. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.03.010>
- Morgan, C., Darrah, J., Gordon, A. M., Harbourne, R., Spittle, A., Johnson, R., & Fetters, L. (2016). Effectiveness of motor interventions in infants with cerebral palsy: a systematic review. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 58(9), 900–909. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13105>
- OMS y UNICEF. El desarrollo del niño en la primera infancia y la discapacidad.: Oms § (2013). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Palisano, R., Rosenbaum, P., Bartlett, D., Livingston, M., Walter, S., Russell, D., ... Uso, D. (1997). GMFCS – E & R Clasificación de la Función Motora Gruesa Extendida y Revisada. *Reference: Dev Med Child Neurol*, 39, 214–223.
- Pinto, B., & Gulfo, R. (2013). Asentimiento y consentimiento informado en pediatría : aspectos bioéticos y jurídicos en el contexto colombiano. *Revista Colombiana de Bioética*, 8(1), 144–165.
- Portney, LG, Watkins, M. (2015). *Foundations of clinical research. Applications for practice* (3rd. Editi). New Jersey: Pearson.
- Presidencia de la República. (2013). *Discapacidad en la primera infancia: una realidad incierta en Colombia*. Bogotá.
- Rogers, Anna, Barbara-Lynne Furler, Stephen Brinks, J. D. (2008). Review A systematic review of the effectiveness of aerobic exercise interventions for children with cerebral palsy : an AACPDm evidence report. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 50, 808–814. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.03134.x>
- SCCOT, S. (2018). Programa 6° Congreso de Ortopedia Infantil (pp. 0–9).
- Schiariti, V., Klassen, A. F., Cieza, A., Sauve, K., O'Donnell, M., Armstrong, R., & Mâsse, L. C. (2014).

- Comparing contents of outcome measures in cerebral palsy using the international classification of functioning (ICF-CY): A systematic review. *European Journal of Paediatric Neurology*, 18(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2013.08.001>
- Schwartz, M. H., Rozumalski, A., & Trost, J. P. (2008). The effect of walking speed on the gait of typically developing children. *Journal of Biomechanics*, 41(8), 1639–1650. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.03.015>
- Sen, A. (1999). *Development as Freedom*. (2011 Knopf Doubleday Publishing Group, Ed.) (ntegra, re).
- Shumway-Cook, A. (2012). *Motor Control*. (Lippincott Williams & Wilkins, Ed.) (Cuarta edi). Philadelphia.
- Tan, S. S., van der Slot, W. M. A., Ketelaar, M., Becher, J. G., Dallmeijer, A. J., Smits, D. W., & Roebroek, M. E. (2016). Factors contributing to the longitudinal development of social participation in individuals with cerebral palsy. *Research in Developmental Disabilities*, 57, 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.03.015>
- Thevenon, A., Gabrielli, F., Lepvrier, J., Faupin, A., Allart, E., Tiffreau, V., & Wieczorek, V. (2015). Collection of normative data for spatial and temporal gait parameters in a sample of French children aged between 6 and 12. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 58(3), 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2015.04.001>
- Van Der Krogt, M. M., Sloot, L. H., & Harlaar, J. (2014). Overground versus self-paced treadmill walking in a virtual environment in children with cerebral palsy. *Gait and Posture*. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.07.003>
- Van Der Linden, M. L., Kerr, A. M., Hazlewood, M. E., Hillman, S. J., & Robb, J. E. (2002). Kinematic and kinetic gait characteristics of normal children walking at a range of clinically relevant speeds. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 22(6), 800–806. <https://doi.org/10.1097/00004694-200211000-00021>
- Wallard, L., Dietrich, G., Kerlirzin, Y., & Bredin, J. (2017). Robotic-assisted gait training improves walking abilities in diplegic children with cerebral palsy. *European Journal of Paediatric Neurology*, 21(3), 557–564. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2017.01.012>
- Wiat, L., Rosychuk, R. J., & Wright, F. V. (2016). Evaluation of the effectiveness of robotic gait training and gait-focused physical therapy programs for children and youth with cerebral palsy : a mixed methods RCT, 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12883-016-0582-7>
- World Health Organization. (2007). *International Classification of Functioning, Disability and Health Children & Youth Version*. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.
- Zwicker, J. G., & Mayson, T. A. (2010). Effectiveness of treadmill training in children with motor impairments: An overview of systematic reviews. *Pediatric Physical Therapy*. <https://doi.org/10.1097/PEP.0b013e3181f92e54>

ANEXO 1 PROCEDIMIENTO

