

DOI: <https://doi.org/10.46502/issn.2710-995X/2021.6.02>

Taboada Díaz, J.E., Rodríguez Moliner, T., Díaz Novo, C., & Hernández Ricardo, M. (2021). Influencia de la asimetría en el patrón de la marcha en sujetos cubanos. *Orange Journal*, 3(6), 14-20.
<https://doi.org/10.46502/issn.2710-995X/2021.6.02>

Influencia de la asimetría en el patrón de la marcha en sujetos cubanos

Influence of asymmetry in gait pattern in Cuban subjects

Recibido: 4 de septiembre de 2021

Aceptado: 20 de noviembre de 2021

Escrito por:

Joyce Eduardo Taboada Díaz⁵

<https://orcid.org/0000-0003-0288-3663>

Tania Rodríguez Moliner⁶

<https://orcid.org/0000-0001-6995-2948>

Carlos Díaz Novo⁷

<https://orcid.org/0000-0003-1466-0969>

Maylin Hernández Ricardo⁸

<https://orcid.org/0000-0002-3818-9844>

Resumen

Este trabajo presenta los elementos esenciales a tener en cuenta para el análisis de la manifestación de la asimetría en el patrón biomecánico de la marcha y tiene como objetivo describir los parámetros de flexo extensión de rodilla y tobillo con la intención de proporcionar un criterio de ayuda para la obtención de un patrón de marcha que contenga el estudio de las asimetrías y contribuya al diagnóstico y tratamiento de patologías. Para ello se realizó una comparación de los datos cuantitativos que caracterizan los parámetros cinemáticos de la marcha, obtenidos en un laboratorio de captura de movimiento con sistema Vicon. Esta comparación se realizó usando una muestra de 5 sujetos de diferentes edades, peso, estatura y sexo. La importancia radica en que a partir de los resultados obtenidos en esta comparación se puede asumir algunos criterios que influirán en la correcta determinación del patrón biomecánico de la marcha en sujetos sanos. Estos estándares ofrecen una invaluable ayuda en el desarrollo clínico e investigativo, permitiendo detectar alteraciones, ejecutar control y seguimiento, evaluar la efectividad de los tratamientos indicados, o determinar modelos en el diseño en la ingeniería biomédica.

Palabras claves: Marcha, Parámetros de marcha, Asimetría, Patrón de marcha, cinemática y cinética.

Abstract

This work presents the essential elements to take into account for the analysis of the manifestation of asymmetry in the biomechanical pattern of gait and aims to describe the knee and ankle flexion extension parameters in order to deliver an acceptable reference for the construction of a gait pattern that includes the importance of the asymmetries and that can be transferred to the study and evaluation. For this, a comparison was made of the quantitative data that characterize the kinematic parameters of gait, obtained in a motion capture laboratory with the Vicon system. This comparison was made using a sample of 5 subjects of different ages, weight, height, and sex. The importance it is in the fact, based on the results obtained in this comparison, some criteria can be assumed that will influence the correct determination of the biomechanical pattern of gait in healthy subjects. These standards offer invaluable help in clinical and research development, allowing to detect alterations, execute control and follow-up, evaluate the effectiveness of the indicated treatments, or determine models in the design in biomedical engineering.

Keywords: Gait, Gait parameters, Asymmetry, Gait pattern, kinematics and kinetics.

⁵ Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE. La Habana, Cuba.

⁶ Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", CUJAE. La Habana, Cuba.

⁷ Universidad Tecnológica Suroeste ITR UTEC, Uruguay.

⁸ Universidad de Ciencias Pedagógicas "Enrique J. Varona", La Habana, Cuba.

Introducción

La marcha humana requiere de una relación estrecha entre las fuerzas producidas por los músculos, las articulaciones y el sistema neuro motor (Ramírez, et al., 2018). Muchas de las variables que contribuyen a permitir la marcha han sido medidas y cuantificadas desde hace mucho tiempo. Éstas incluyen la cinemática, la cinética, la actividad electromiográfica e incluso el costo de energía metabólica. Los estudios exhaustivos realizados sobre la marcha normal y patológica han permitido obtener una comprensión de los mecanismos biomecánicos utilizados para caminar y correr. (Andrade, Villarroya-Aparicio y Morales, 2018).

Varios de estos mecanismos claves se relacionan con los métodos utilizados por el cuerpo para mitigar el movimiento horizontal y vertical tomando como referencia el centro de gravedad (CG) del cuerpo humano. (Bennett Fleenor y Weinhandl, 2018). Debido a su importancia fundamental para la biomecánica de la marcha, se les ha llamado a estos mecanismos las invariantes o determinantes de la marcha. Estas presentan dos objetivos principales: reducir el desplazamiento horizontal y el desplazamiento vertical del centro de gravedad, lo cual tributa a un menor gasto de energía en el proceso de la marcha. (Kuo, 2007).

Se necesita tener en cuenta los elementos cuantitativos de la marcha, los rasgos distintivos de personas sanas para poder entender: a) el significado filosófico de los componentes de la marcha; b) poder obtener objetivamente el desempeño de los componentes en la marcha; c) explicar acertadamente las modificaciones que se suscitan en los componentes de la marcha patológica.

Una de las restricciones en el presente es que el patrón de marcha se obtiene con datos unidos de las partes izquierda y derecha, considerando sin sostén que ocurre una total simetría. Investigaciones han revelado que esa simetría no es completa. (Bravo, Rengifo y Agredo, 2016). Por lo tanto, se hace imprescindible determinar numéricamente la magnitud de la asimetría en cada muestra de estudio.

El objetivo de este trabajo es describir los parámetros de flexo extensión de rodilla y tobillo con la intención de proporcionar un criterio de ayuda para la obtención de un patrón de marcha que contenga el estudio de las asimetrías y contribuya al diagnóstico y tratamiento de patologías.

Marco teórico

El organismo humano no presenta una igualdad total en sus partes componentes. Muchas partes son impares y no todas ellas están en la parte central, algunos de ellos están en la parte la derecha o izquierda (hígado, bazo). ¿Se puede asegurar que existe una simetría total? Investigaciones concluyen que las asimetrías tienden a ser más grades en el tren superior. Las diferencias en las asimetrías están alrededor del 1% en el cuerpo humano, pequeñas diferencias en el lado izquierdo o derecho, a la larga, desembocarán en cambios significativos en la asimetría del cuerpo. (Vélez, Duque, Mora, Marín y Jiménez, 2016).

Las asimetrías pueden ser: morfológica, funcional y dinámica:

En la marcha el centro de gravedad se desplaza tanto en sentido vertical como horizontal se efectúa gracias a los movimientos coordinados de los segmentos que conforman las extremidades inferiores, en lo cual influye la asimetría que pueda existir entre miembros. (Sutherland, Olshen y Biden, 1997).

El ciclo de la marcha, recoge una serie de sucesos que inicia con el toque del talón al suelo y acaba con el subsiguiente contacto del mismo talón con el suelo. En un ciclo de marcha, ocurren dos fases: apoyo y balanceo.

Se está en fase de apoyo cuando el pie está en contacto con el suelo constituyendo alrededor del 60% del ciclo y se ocurre la fase de balanceo cuando no hay contacto, del pie, con el suelo y constituye el 40% restante.

Los parámetros cinemáticos versan sobre el análisis del movimiento sin atender la fuerza y los momentos que lo inducen, es entonces el desplazamiento angular que experimentan los segmentos que conforman el

cuerpo humano en los tres planos, fundamentalmente a nivel de las extremidades inferiores lo que caracterizará la marcha a nivel cinemático. (Barreto, Villarroya, Contreras, Brito y Loaiza, 2017).

Los ángulos de las articulaciones son extremadamente importantes para el estudio de la marcha y el diagnóstico de patologías. Se pueden expresar como ángulos absolutos con respecto a una referencia en el espacio o como ángulos relativos de las articulaciones entre segmentos adyacentes. En posición anatómica u ortostática, se considera que las articulaciones están en posición “cero”

Estas mediciones de ángulos articulares de las extremidades inferiores difieren entre hombres y mujeres y entre individuos de diferentes años de edad. De ciclo a ciclo, en un sujeto determinado, los cambios angulares articulares varían en cualquier instante dado del ciclo de la marcha. (Leboeuf, Sangeux y Baker, 2017).

En este proceso los parámetros de la marcha normal que se atenderán, debido a que son los más afectados en patologías como reumatologías, parálisis cerebral (PC) y accidentes cerebro vasculares, son los de flexión de rodilla: La rodilla se ubica en una discreta flexión en el momento en que el cuerpo pasa por encima de la pierna que apoya. Desde el momento que el fémur pasa de la fase de extensión durante el contacto del talón a la flexión, la rodilla que también se encontraba en extensión pasa a una flexión de 15-20° durante el apoyo plantar en el suelo, de no ser así la cadera se elevaría exageradamente y con ello el CG con el consiguiente gasto energético. (Bennett, Fleenor y Weinhandl, 2018). Como se aprecia en la Figura No 1.

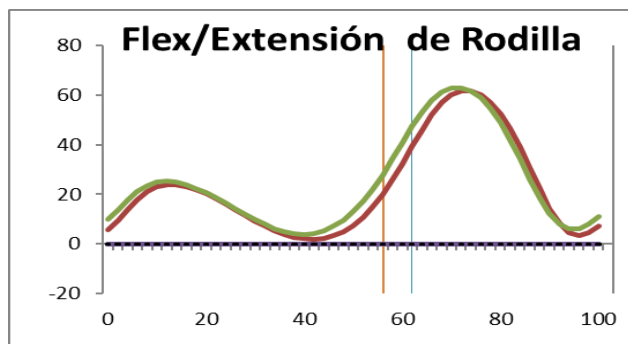


Figura 1. Flexo-extensión de rodilla. Grados vs ciclo de Marcha. Elaboración propia.

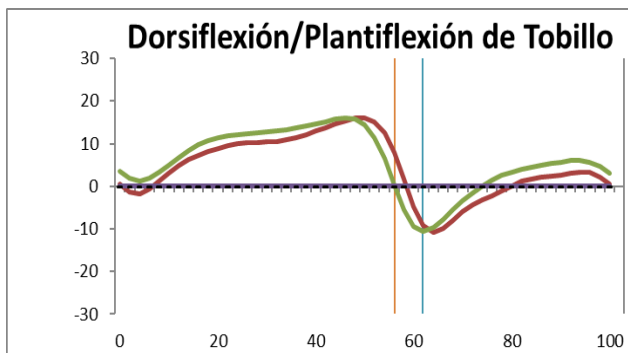


Figura 2. Dorsiflexión-plantiflexión Grados vs ciclo de Marcha. Elaboración del tobillo. Grados vs ciclo de Marcha. Elaboración propia.

Flexo extensión del tobillo: durante el momento de choque del talón la rodilla se flexiona contra una creciente contracción del cuádriceps y el pie realiza una planti-flexión hacia la acción del tibial anterior ambos movimientos acortan la pierna y absorben el impacto producido por el choque del talón con el suelo. (García-Vázquez, Skiadopoulos y Caro-Puértolas, 2018). Ver Figura No 2.

Metodología

Caracterización de la marcha por técnicas videográficas. Los estudios de caracterización de la marcha fueron practicados a una muestra de 5 sujetos, como se observa en la tabla No. 1

Tabla 1.
Medidas antropométricas de los sujetos.

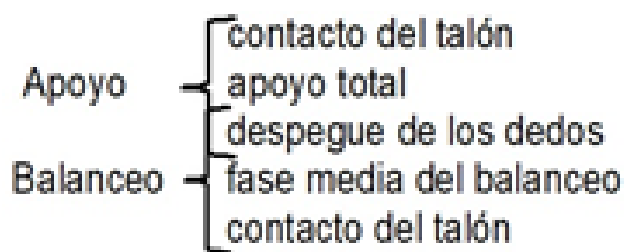
Sujetos	Peso (Kg)	Talla (m)	Edad	Sexo
1	55	1.56	50	Femenino
2	70	1.70	60	Masculino
3	75	1.73	42	Masculino
4	89	1.90	27	Masculino
5	94	1.98	30	Masculino

Elaboración propia.

Se le realizaron tres capturas de marcha a cada uno en un laboratorio de captura de movimiento 3D Vicon con 24 cámaras infrarrojas, 4 cámaras digitales, además sincronizado a 5 plataformas de fuerza Kistler y un equipo de Electromiografía (EMG). Para la captura se utilizó el software vicon nexus 2.9.0 y para el procesamiento de los resultados el software vicon polygon 4.4.4. El sistema Vicon es definido como uno de los sistemas más importantes en el análisis óptico de la marcha por ser muy exacto, por su exploración de la persona y por qué reduce considerablemente el enmascaramiento de los marcadores. Teniendo en cuenta el área de captura concreta, y el alto grado de especialización, este sistema se utiliza en situaciones que se requiere una extremada exactitud. Se utilizó el protocolo Helen Hyde con 18 marcadores incluidos los marcadores medios para la determinación de los ejes de rotación de las articulaciones.

Para el análisis se utilizaron 10 capturas validadas de cada una de las tres sesiones realizadas con cada sujeto.

Se determinaron los instantes a analizar durante el ciclo de la marcha, los cuales representan momentos decisivos en el complejo proceso de marcha del ser humano, estos puntos emanan de las fases y subfases del ciclo de marcha y se decidió comenzar en el contacto del talón y culminar en el nuevo contacto del talón la selección se muestra en el esquema No 1.



Esquema No. 1. Puntos de análisis de la marcha. Elaboracion propia.

Se realiza una representación de los puntos seleccionados en la trayectoria que describe de una de estas invariantes (flexo-extensión de rodilla) como se aprecia en la figura No 3.

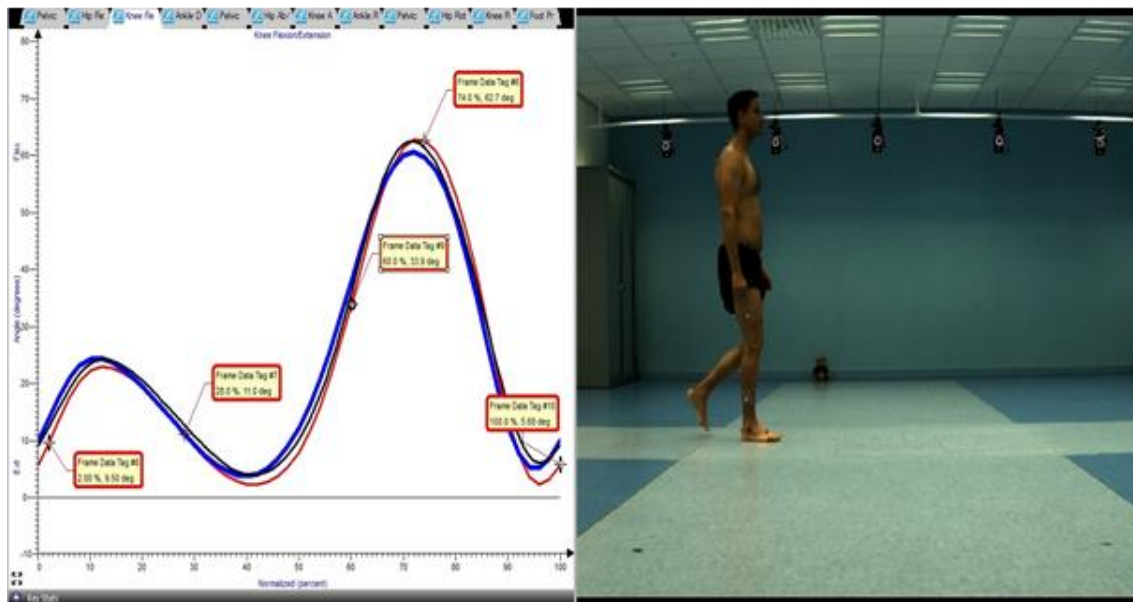


Figura 3. Representación de los puntos seleccionados en la trayectoria que describe el flexo-extensión de rodilla. Elaboración propia a partir de los resultados del programa polygon.

Resultados y discusión

Se realizó el procesamiento de los parámetros de la marcha flexo-extensión de rodilla (FER) y flexo-extensión de tobillo (FET) a partir de las mediciones cuantitativas que se obtuvieron en el laboratorio empleado, así como en los puntos seleccionados del ciclo de la marcha, la comparación se realizó entre las capturas de marcha realizadas a los distintos sujetos, se llegó a obtener los valores de los parámetros que identificaron la marcha de cada individuo y se realizó el estudio. Se describen los resultados alcanzados en el análisis de las invariantes de la marcha estudiadas en cada uno de los puntos del ciclo seleccionado para el estudio ver tablas 2 y 3, estas son las invariantes que reducen el movimiento vertical del centro de gravedad.

Tabla 2.

Manifestación de la flexo-extensión de la rodilla en los puntos escogidos del ciclo de marcha.

Parámetro	Pierna	Contacto Talón 0%				
		sujeto 1	sujeto 2	sujeto 3	sujeto 4	sujeto 5
FER	Izquierda	7.19 ±2.09	12.00 ±1.13	5.98 ±1.08	8.98 ±1.01	12.98 ±1.10
	Derecha	9.72 ±3.48	14.70 ±2.69	9.85 ±0.70	10.85 ±0.60	14.85 ±0.80
	Apoyo Total 28%					
	Izquierda	9.09 ±2.44	15.25 ±0.21	10.88 ±1.34	12.88 ±1.44	12.88 ±1.24
	Derecha	13.67 ±3.43	21.40 ±1.70	11.73 ±0.75	15.73 ±0.85	15.73 ±0.65
	Despegue de los Dedos 60%					
	Izquierda	37.23 ±3.69	40.65 ±3.04	34.61 ±1.87	38.61 ±2.87	40.61 ±1.47
	Derecha	37.20 ±3.73	41.65 ±0.92	37.85 ±1.97	40.85 ±1.56	41.85 ±1.57
	Fase Media Balanceo 74%					
	Izquierda	68.60 ±2.50	63.30 ±4.38	62.88 ±1.20	65.88 ±1.50	64.88 ±1.40
	Derecha	68.13 ±2.77	64.10 ±0.57	61.14 ±1.24	64.14 ±1.44	66.14 ±1.64
	Contacto del Talón 100%					
	Izquierda	7.12 ±2.31	12.20 ±1.27	5.88 ±1.17	8.88 ±1.47	12.88 ±1.37
	Derecha	9.70 ±3.70	14.50 ±2.83	10.03 ±0.71	10.45 ±0.91	14.03 ±0.61

Elaboración propia.

Tabla 3.
Manifestación de la flexo-extensión del tobillo (FET) en los puntos escogidos del ciclo de marcha.

Parámetro	Pierna	Contacto Talón 0%				
		sujeto 1	sujeto 2	sujeto 3	sujeto 4	sujeto 5
FER	Izquierda	-10.36 ±4.17	-0.57 ±0.81	-1.04 ±0.51	-0.75 ±0.89	-6.31 ±0.69
	Derecha	-8.34 ±1.91	-7.09 ±3.41	1.97 ±1.03	4.87 ±1.46	4.57 ±1.40
	Apoyo Total 28%					
	Izquierda	2.38 ±4.27	10.54 ±1.64	9.50 ±0.84	3.58 ±0.70	8.60 ±0.79
	Derecha	5.52 ±1.61	9.82 ±2.66	11.79 ±0.71	8.70 ±0.90	14.89 ±0.89
	Despegue de los Dedos 60%					
	Izquierda	-14.27 ±1.19	-12.65 ±1.48	-4.49 ±1.48	-3.89 ±1.69	-5.99 ±1.68
	Derecha	-11.03 ±0.45	-17.85 ±5.16	-6.37 ±1.43	-7.57 ±1.99	-9.57 ±1.67
	Fase Media Balanceo 74%					
	Izquierda	-13.57 ±4.46	-0.52 ±1.93	-3.42 ±0.94	-2.82 ±0.86	-4.82 ±0.89
	Derecha	-12.33 ±2.10	-6.05 ±1.92	-1.50 ±0.46	-1.30 ±0.37	-2.30 ±0.58
	Contacto del Talón 100%					
	Izquierda	-10.49 ±4.09	-0.51 ±0.78	-1.20 ±0.90	-1.10 ±0.80	-6.40 ±0.99
	Derecha	-8.26 ±2.04	-6.93 ±3.93	2.39 ±0.34	3.01 ±0.58	4.98 ±0.45

Como se muestra en los datos se aprecian los valores del parámetro analizado de cada una de las articulaciones, tanto de la pierna derecha como de la pierna izquierda, proporcionado por el software.

En el apoyo del talón al inicio del ciclo y al comienzo del próximo ciclo las asimetrías entre la misma pierna son extremadamente pequeñas en un rango por $< 1^0$, lo que posibilita la correcta entrada de miembro al contacto con el suelo y no demanda del sujeto modificaciones de la postura y gasto innecesario de energía. En el apoyo total del pie se aprecian asimetría en un rango de 3 a 4 grados en el flexo extensión de rodilla lo que tiende a reajustar el peso del cuerpo cuando se pasa del apoyo total de un miembro al otro con el consiguiente reajuste en la postura, en el flexo extensión del tobillo no se aprecian asimetrías considerables $< 2^0$.

En el despegue de los dedos donde se necesita de una fuerza de empuje para llevar la pierna hacia delante las asimetrías se encuentran un rango de 3 a 5 grados tanto en la flexo extensión de rodilla como de tobillo los que incide en que el cuerpo humano debe reajustar las fuerzas de empuje a realizar de una pierna a otra esto puede incidir en la fuerza a realizar en la pierna para mantenerla en el aire y en la fatiga de los músculos específicos y su consiguiente afectación del patrón de marcha.

La asimetría que se observa en la fase media de balanceo, donde la flexión de la rodilla es la mayor para que no exista arrastre del pie, es $< 2^0$ lo que incide en que no existan modificaciones de la marcha en este punto. La flexo extensión del tobillo presenta un comportamiento similar al de la rodilla, existiendo pequeñas a asimetrías $< 2^0$.

En el contacto del talón existen pequeñas asimetrías entre los miembros $< 2^0$ lo que conlleva a una correcta entrada del pie al contacto con el suelo demandando gasto mínimo de energía y poco ajuste de la postura y el patrón de marcha.

Estudios realizados por Pulido-Valdeoliva y Gómez-Andrésa manifiestan similitudes en la asimetría encontrada en la fase oscilante de la rodilla y el tobillo con nuestra investigación y parecen confirmar la hipótesis de que la asimetría es localizada y formula ajustes musculares que dependen de la lateralidad o de pequeñas diferencias osteoarticulares.

Conclusiones

Utilizando la división de las etapas del ciclo de la marcha como puntos de análisis en la trayectoria se obtuvo que:

- No existieron diferencias marcadas en las asimetrías flexo extensión de rodilla y tobillo entre la misma pierna en el contacto del talón ni entre pierna derecha e izquierda en este mismo instante.
- Las mayores dispersiones en la asimetría se encuentran en la rodilla en el momento de apoyo total del pie y demanda de un esfuerzo distinto entre las distintas piernas y repercute en la altura que alcanza el centro de gravedad en su movimiento vertical.
- Los resultados obtenidos presentan similitudes en los rangos de valores con estudios realizados en poblaciones españolas y ponderan que la asimetría es localizada.

Referencias bibliográficas

- Andrade, J., Villarroya-Aparicio, A., y Morales, S. (2018). Biomecánica de la marcha atlética, análisis cinemático de su desarrollo y comparación con la marcha normal. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 36(2), 1-21.
- Barreto, J., Villarroya, A., Contreras, T., Brito, V., y Loaiza, E. (2017). Biomecánica de la marcha atlética. Análisis de las presiones plantares durante su desarrollo, revisión actualizada. *Lecturas: educación física y deporte*, 21(217), 1-15.
- Bennett, H., Fleenor, K., y Weinhandl, J. (2018). A normative database of hip and knee joint biomechanics during dynamic tasks using anatomical regression prediction methods. *Journal of Biomechanics*, 16(81), 122-131.
- Bravo, D., Rengifo, C., y Agredo, W. (2016). Comparación de dos Sistemas de Captura de Movimiento por medio de las Trayectorias Articulares de Marcha. *Revista Mexicana de Investigaciones Biomédica*, 37(2), 149-160.
- García-Vázquez, J., Skiadopoulos, A., y Caro-Puértolas, B. (2018). Análisis cinemático tridimensional de la marcha en pacientes con diplejía espástica. *Rehabilitación*, 52(1), 10-20.
- Kuo, A. (2007). The six determinants of gait and the inverted pendulum analogy: A dynamic walking perspective. *Human Movement Science*, 26(4), 617-656.
- Leboeuf, F., Sangeux, M., y Baker, R. (2017). Direct kinematics and kinematic fitting provide very similar outputs when using the conventional gait model. *Gait & Posture*, 57(1), 196.
- Ramírez, R., Carmona, D., Hernández, K., Velázquez, J., Morales, A., y Vega-González, A. (2018). Cinemática de la Marcha en Adultos Jóvenes con Peso Normal, Sobrepeso y Obesidad. *Memorias Del Congreso Nacional De Ingeniería Biomédica*, 5(1), 366-369.
- Sutherland, D., Olshen, R., y Biden, E. (1997). The development of mature walking. *Clin. Develop. Med. Oxford*, 105. *Gait and Posture*, 62(3), 336-53.
- Vélez, J., Duque, J., Mora, M., Marín, N., y Jiménez, I. (2016). Descripción de los parámetros espaciotemporales y cinemáticos de referencia de la marcha en adultos de la población colombiana residente en Antioquia entre 18 y 25 años de edad. *Colombia UCM*, Recuperado de <http://hdl.handle.net/10946/2745>