

Biomechanical analysis with open- source software for educational purposes

Dariela Canaca¹, Ramón Moncada¹, Alejandro Laínez¹, Dagoberto Caballero¹, Siloé Palma¹, Edgar Granera¹, Fredy Núñez¹

Faculty Mentor: Fernanda Cáceres, MSc.¹

¹Faculty of Engineering, Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, damicama@unitec.edu, 20942029@unitec.edu, aljosue98@unitec.edu, moncada19@unitec.edu, siloepm@unitec.edu, fredynunez11@unitec.edu, edgarg@unitec.edu.

Abstract– In central America the implementation of biomechanical model analysis is well known to be a brand new branch of science, where the whole region has been working these studies from a qualitative point of view, that in most of the pathological cases is enough to diagnose or treat a patient, but with the advances of computer vision, open code software, and interest in the biomechanical studies, by use of the package OpenCap and OpenSim the quantitative analytics of biomechanical movements where successfully withdrawn, the combination of both software and their respective information outputs could allow theoretically a therapist to analyze deeply a pathology looking for differences in the movement ranges of any limb as OpenCap is capable of detecting, and generating graphics, and even if the therapist is not looking for graphic outputs through OpenSim the visualization of the complete movement range in numeric values is possible. All this is important because as mentioned before a lot of countries are overdue in the biomechanical studies field, so a good starting point are this open code software.

Keywords-- Open Code Software, Biomechanical Studies, Kinematics, Movement Range, Computer vision.

Digital Object Identifier (DOI): ISBN:

Biomechanical analysis with open- source software for educational purposes

Dariela Canaca¹, Ramón Moncada¹, Alejandro Laínez¹, Dagoberto Caballero¹, Siloé Palma¹, Edgar Granera¹, Fredy Núñez¹

Faculty Mentor: Fernanda Cáceres, MSc.¹

¹Faculty of Engineering, Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, damicama@unitec.edu, 20942029@unitec.edu, aljosue98@unitec.edu, moncada19@unitec.edu, siloepm@unitec.edu, fredynunez11@unitec.edu, edgarg@unitec.edu.

Abstract— In central America the implementation of biomechanical model analysis is well known to be a brand new branch of science, where the whole region has been working these studies from a qualitative point of view, that in most of the pathological cases is enough to diagnose or treat a patient, but with the advances of computer vision, open code software, and interest in the biomechanical studies, by use of the package OpenCap and OpenSim the quantitative analytics of biomechanical movements where successfully withdrawn, the combination of both software and their respective information outputs could allow theoretically a therapist to analyze deeply a pathology looking for differences in the movement ranges of any limb as OpenCap is capable of detecting, and generating graphics, and even if the therapist is not looking for graphic outputs through OpenSim the visualization of the complete movement range in numeric values is possible. All this is important because as mentioned before a lot of countries are overdue in the biomechanical studies field, so a good starting point are this open code software.

Abstract: INTRODUCIR TRADUCCIÓN A ESPAÑOL

I. INTRODUCCIÓN

A. Antecedentes

Los modelos biomecánicos son herramientas cruciales para observar movimientos mecánicos de los sistemas en seres vivos, que van desde las células hasta los organismos enteros. Estos modelos utilizan principios de mecánica, ingeniería y física, para describir como los movimientos y las fuerzas afectan las estructuras biológicas y sus funciones [1]. Los modelos biomecánicos tienen numerosas aplicaciones, como, por ejemplo, el diseño de prótesis, optimización del rendimiento deportivo y las predicciones de los riesgos en lesiones. La biomecánica como resultado, se ha vuelto cada vez más importante en los diversos campos, en donde es incluida la medicina, la ciencia del deporte y la robótica.

En la elaboración de este proyecto, se exploró la importancia de los modelos biomecánicos y sus aplicaciones en los diversos contextos. También se observaron los desafíos asociados con el desarrollo de modelos precisos y confiables en direcciones futuras, como ser la investigación de modelos biomecánicos.

Al destacar la importancia de los modelos biomecánicos, este proyecto tiene como objetivo proporcionar una comprensión integral de su potencial para avanzar en el conocimiento del cuerpo humano y mejorar la salud y rendimiento en las personas [2].

En este proyecto se utilizó la simulación y modelado biomecánico de los softwares OpenSim y OpenCap, en donde

Estos modelos son representaciones simplificadas del cuerpo y su entorno. Por lo tanto, la importancia de los modelos biomecánicos puede radicar en permitir la comprensión en cierta manera, de cómo se mueve el cuerpo humano, se puede comprender como se producen las lesiones y como se pueden prevenir [3], al igual que el diseño y mejoras de prótesis y dispositivos ortopédicos. La utilidad en este tipo de modelos puede transportar al estudio de programas de entrenamiento más efectivos y seguros.

Los modelos biomecánicos pueden ser utilizados en planeación de cirugías y en la evaluación de tratamientos médicos, lo que puede mejorar la precisión y la eficacia de este tipo de procedimientos. En este proyecto se utilizó la simulación y modelado biomecánico de los softwares OpenSim y OpenCap, en donde dichos programas son desarrollados por el centro nacional de investigación en recursos biomecánicos (NCR) de los institutos nacionales de la salud en los Estados Unidos. Este software permite al usuario crear modelos musculoesqueléticos en 3D y simular movimientos humanos [4], al igual que analizar una persona con algún tipo de patología en un área creada para el análisis de esta, utilizando cámaras en puntos estratégicos y así estudiar la biomecánica del cuerpo como también lesiones relacionadas con el movimiento.

B. Antecedentes

El uso de tecnologías de visión computacional ha venido avanzando de sobremanera y ha afectado muchos campos, dentro de los cuales resalta la biomecánica con sus diferentes estudios y subcampos de interés, donde ciertos niveles de flexión en un segmento anatómico pueden determinar una patología, o hasta el análisis profundo de la calidad de una técnica llevada a cabo por un sujeto [5]. Esto permite llevar el análisis cualitativo que se suele hacer en un entorno clínico al siguiente nivel, donde los valores numéricos de los movimientos permiten análisis estadísticos de gran precisión [6]. Hoy en día con equipo que se encuentra al alcance de muchos, siendo una o un par de cámaras y softwares de acceso libre que permiten llevar a cabo estos análisis [7]. Estos estudios tienen una gran importancia cuando son utilizados en los entornos correctos, donde no solo se pueden limitar a ambientes clínicos o investigativos, si no que cada día, más y más renombres dentro de la industria deportiva los están

llevando a cabo para asegurar la salud de sus colaboradores, un tópico cubierto en el pensum actual del curso y de creciente interés internacional, siendo también un punto interesante debido a que en la universidad tecnológica centroamericana (UNITEC) en el programa de ingeniería en biomédica iniciado en el año 2007 no contaba con un curso orientado al estudio de biomecánica dentro de su currículo, por lo cual las autoridades académicas iniciaron una actualización del plan de estudio, donde a través de muchos análisis, tantos internos como externos con empleadores se vio la necesidad de incluir el curso a la actualización del plan de estudios, implementado en 2020, pero no fue hasta 2022 que se impartió el curso en cuestión, siendo el curso actual la tercera generación que lo cursa y que está desarrollando las guías y estudios correspondientes, razón primordial para la creación de las mismas [8].

C. Estado del Arte

OpenCap, o Sistema de Ejercicio Personalizado Asistido por Ordenador basado en OpenPose, es un software de última generación que utiliza técnicas de visión por ordenador y aprendizaje profundo para proporcionar información en tiempo real sobre la forma y la técnica del ejercicio [9]. Es un software de movimiento humano muy avanzado que utiliza cámaras o webcams para reconocer y rastrear los movimientos humanos, comparándolos con la forma ideal para un ejercicio determinado.

Los modelos biomecánicos en este tipo de software son creados a partir de imágenes médicas como, resonancia magnética o tomografía computarizada [10], y los datos de movimientos capturados mediante técnicas como las capturas de movimientos ópticos o electromiografía. El software utiliza estos datos para crear un modelo personalizado del cuerpo de un individuo, en el cual incluye los huesos, los músculos y sus articulaciones.

OpenCap puede utilizarse para una amplia gama de ejercicios, como levantamiento de pesas, yoga y ejercicios de peso corporal. El modelo puede simular movimientos específicos, como caminar, correr, incluso levantar objetos, específicamente con el software OpenCap el individuo puede saltar, caminar, subirse una bicicleta estática, entre otros [9]. Proporciona información sobre la postura, la amplitud de movimiento, el equilibrio y otros factores, lo que lo convierte en una valiosa herramienta para programas de ejercicio personalizados. Esta información recolectada brinda resultados que pueden ser trasladados en OpenSim, donde se puede estudiar esta información detallada, sobre tensiones y fuerzas en los músculos y articulaciones [4].

Una de las principales ventajas de OpenCap es el uso de inteligencia artificial para adaptarse a la forma del cuerpo y a los patrones de movimiento de cada persona. Esto lo convierte en una herramienta increíblemente poderosa para los profesionales del fitness, así como para los individuos que quieren controlar su propia forma y técnica [4].

Hay varias empresas que desarrollan programas similares a OpenCap. Una de ellas es Kinematix, especializada en tecnología vestible para el seguimiento y análisis del

movimiento humano durante la carrera y otras actividades físicas. Su producto, el sistema TUNE, utiliza sensores para recopilar datos sobre la forma y la técnica de carrera del usuario, proporcionando información en tiempo real sobre factores como la longitud de la zancada y la pisada [11].

Otra empresa es Gait Up, que ofrece una gama de sensores portátiles y software para analizar el movimiento humano durante el deporte y la rehabilitación [12]. Sus productos incluyen sensores para medir la marcha y el equilibrio, así como software para analizar y visualizar los datos del movimiento.

En el sector del fitness, empresas como Peloton y Mirror ofrecen clases de ejercicio interactivas que utilizan sensores y cámaras para proporcionar información en tiempo real sobre la forma y la técnica [13]. Estas empresas se centran en ofrecer una experiencia de fitness personalizada e interactiva, similar al uso que hace OpenCap de la inteligencia artificial para adaptarse a la forma del cuerpo y los patrones de movimiento únicos de cada persona

En el sector sanitario, empresas como Hocoma y Reflexion Health desarrollan software y dispositivos para fisioterapia y rehabilitación, utilizando sensores e inteligencia artificial para seguir y analizar el movimiento humano y ofrecer planes de tratamiento personalizados [14].

En general, OpenCap es un software muy avanzado que puede revolucionar la forma de enfocar el fitness, la rehabilitación y la asistencia sanitaria. A medida que la tecnología siga desarrollándose, será emocionante ver los futuros avances y aplicaciones de OpenCap.

El objetivo de esta guía es explorar y explicar el uso y aplicación de OpenCap a través de la creación de una guía didáctica para realizar análisis biomecánicos. En esta se ahonda en el uso general de OpenCap para realizar y crear modelos biomecánicos, se explica brevemente cual fue el proceso para montar el espacio de trabajo y realizar las diferentes pruebas para obtener resultados que pudieran ser analizados y comparados.

Se incluye una serie de recomendaciones que pueden ser de ayuda en caso de que se desee recrear el proyecto o realizar uno desde cero

Se explican las pruebas realizadas y se muestran los resultados obtenidos de diferentes participantes, se presentan las gráficas obtenidas y también un ejemplo del análisis que puede realizarse si se exportan los datos de OpenCap a OpenSim

II. MÉTODO

A. Guía didáctica

Para la creación de una guía didáctica sobre el uso del software OpenCap, se creó un grupo de trabajo por parte de los estudiantes de la clase de Biomecánica y desarrollo de bio dispositivos. Planteando como objetivo la creación de una guía detallada la cual se basó bajo el método de investigación cualitativo. El uso de este software tiene como principio de ayudar al usuario a interpretar de manera cualitativa los

movimientos musculoesqueléticos de una persona. El grupo de trabajo elaboró con el método cualitativo varias pruebas de funcionamiento, límites y análisis de datos que puedan llegar a ser procesados por OpenCap.

El proceso de comprobar el funcionamiento del programa se realizó a lo largo de 3 sesiones, lo que se continuó con el testeo de límites del programa con igualdad de número de sesiones. En las primeras dos sesiones el grupo testeó con distancias y ángulos de dos cámaras, no fue hasta la tercera sesión que se obtuvo distancia y angulación óptima para dos dispositivos. En la tercera sesión se obtuvo que la distancia no debe superar los 5 metros del tablero de referencia (tablero cuadriculado 5x5 de 35mm cada cuadrícula), así como los dispositivos de captura de imagen no deben ser menores de 30° a su vez no deben ser mayores a 45°

TABLE I
CARACTERÍSTICAS DE LOS PARTICIPANTES

Participante	Sexo	Edad	Estatura (m)	Peso (kg)	No. Sesiones
1	Masculino	25	1.79	108	3
2	Masculino	23	1.8	81	3
3	Masculino	38	1.71	100	1
4	Masculino	22	1.68	84	1
5	Masculino	23	1.65	100	1
6	Femenino	23	1.55	63	1
7	Femenino	21	1.5	55	3

Dentro de las sesiones se varió de la cantidad de dispositivos de toma de imágenes entre 2, 3, y 4. Sin embargo, el uso de 4 celulares complicaba la posición óptima de cada uno. Por lo cual las sesiones se realizaron con 2 de dispositivos de captura de imágenes como mínimo a 3 dispositivos de captura de imágenes y movimientos como cantidad óptima. El grupo constaba de 2 mujeres y 5 hombres con gran diferencia de pesos y estaturas entre los sujetos de prueba, las mujeres tenían una estatura entre 1.51mts a 1.54mts y un peso de 50kgs a 62kgs; mientras los hombres tenían un rango de estatura de entre 1.64mts hasta 1.81mts con un rango de peso de 80kgs hasta 112kgs.

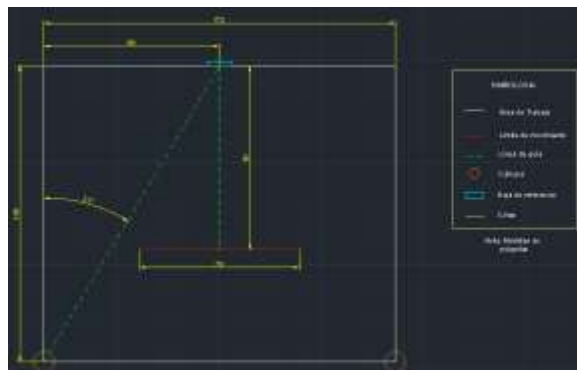
Para cada una de las sesiones de testeo de los límites del programa se realizaron movimientos suaves que puedan ser fáciles de reconocer, los cuales no presentaban problemas en identificar; hasta llegar a los sujetos con pesos mayores de 105kgs, el programa presentaba problemas para identificar la pelvis adecuadamente de ese peso en adelante. A medida que avanzaba en las sesiones los movimientos fueron un poco más rápidos y con mayor flexibilidad.

En las últimas dos sesiones se introdujo una bicicleta estática; no fue problema para el programa, y hasta ayudó con el problema de lectura de pelvis con los sujetos que pesan más de 105kgs. La última sesión se realizó con dos celulares, en esta sesión se realizó el análisis de datos con comparaciones entre los sujetos vía gráficas dadas por OpenCap

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de múltiples pruebas finalmente se logró medir un campo óptico para realizar las pruebas, la figura 1 muestra un plano de la distribución de los elementos necesarios para la toma de datos.

Las figuras 2 y 3 muestran la interfaz del programa y el modelo obtenido de una prueba de caminata y de ciclismo con bicicleta estacionaria respectivamente



OpenCap permite la visualización gráfica de parámetros deseados, como el ángulo, la rotación, flexión o abducción con respecto a otro de estos parámetros o respecto al tiempo, como puede ser observado en la ilustración 4.

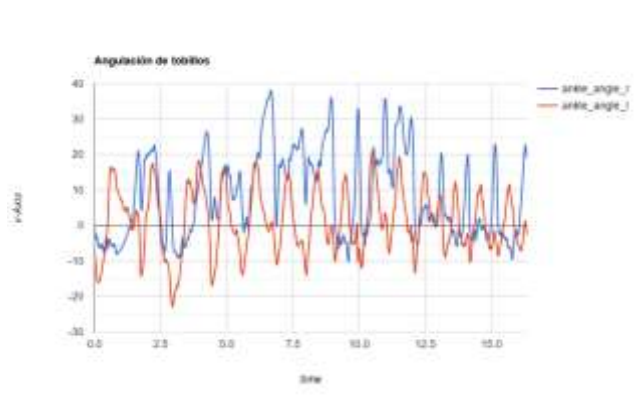


Fig. 4 Angulación de tobillos de participante femenino con respecto al tiempo.

La visualización gráfica permite un mejor análisis puesto que la información necesaria es agrupada de forma que es más fácil comprenderla y sacar conclusiones a partir de ella.

Por ejemplo, la ilustración 4 representa el ángulo de los tobillos con respecto al tiempo, es posible observar la diferencia entre el rango de movimiento angular de cada uno, que puede deberse a distintos factores como movilidad, anatomía, o la forma de caminar característica de cada participante [15].

La obtención de estos datos es importante al momento de estudiar el movimiento específico de ciertas partes del cuerpo, ya que cada gráfico es generado de acuerdo con el rango de movimiento del sujeto de prueba. Las ilustraciones 8 y 9 mostradas a continuación son gráficos obtenidos de las pruebas realizadas con la bicicleta estacionaria para diferentes participantes.

Si se quisiera obtener más información relevante con respecto al movimiento del cuerpo del sujeto de prueba, el archivo creado para una sesión de movimiento con el sujeto se guarda, para posteriormente abrir el archivo en una aplicación muy útil llamada OpenSim [16]

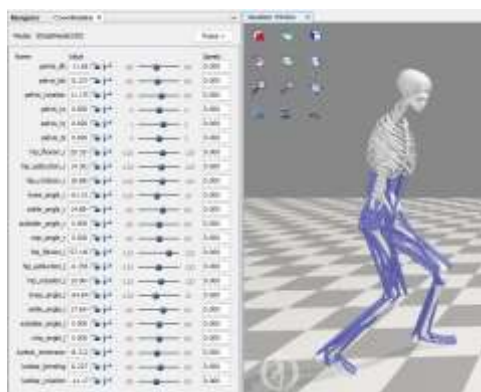


Fig. 5 Modelos en OpenSim (Paciente con patología)

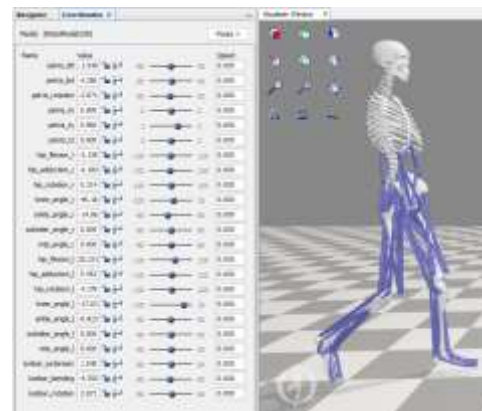


Fig. 6 Paciente sin patología

Ahora, la figura 5 es el ejemplo de una persona con alguna patología al momento hacer el movimiento de marcha. La información que se puede obtener con el uso de ambos programas es sumamente útil y nos brinda información relevante acerca de cómo funcionan los movimientos corporales a detalle, para cada una de las personas [18].

IV. RECOMENDACIONES

- Fondos planos que permitan al programa hacer una mejor segmentación de la imagen.
- Medir las acciones a realizar por el sujeto para delimitar correctamente el área de trabajo que abarquen las cámaras.
- Tomar en cuenta las especificaciones de angulación de las cámaras que brinda el fabricante del software
- Una conexión estable a internet, ya que el programa depende en gran medida de eso al hacer el contacto con su servidor donde la información recabada es procesada.
- Al menos dos cámaras necesitan ver cada segmento del cuerpo en todo momento durante el movimiento. Dos cámaras son suficientes para muchas tareas, pero las tareas en las que los segmentos se ocluyen pueden beneficiarse de una cámara frontal adicional.

• V. RECOMENDACIONES

- OpenCap es una herramienta sumamente versátil y con interfaz amigable para usuarios nuevos en el campo de la biomecánica, junto con OpenSim pueden llegar a generar análisis complejos que son de gran utilidad en procesos como: generación de prótesis.
- El software cuenta con pequeñas limitantes como:
 - A. Generación de modelos predeterminados basados en altura y peso.
 - B. Dependencia total a una conexión a internet.
 - C. Basarse en aproximaciones e interpolaciones de datos para extremidades no visualizadas por las cámaras.

- A pesar de que es una aplicación gratuita, se considera como una aplicación avanzada y útil, además de fácil acceso, para realizar estudios con respecto a la anatomía y movimiento del ser humano.

ACKNOWLEDGMENT

Todos los involucrados en la elaboración del paper queremos extender nuestros agradecimientos a nuestra universidad UNITEC por ser esa plataforma donde nos hemos formado como futuros profesionales en nuestro campo a lo largo de los años, a LACCEI por ser ese ente entregado a la divulgación científica y habernos permitido participar en la entrega del presente año y finalmente agradecimientos individuales a los ingenieros Fernanda Cáceres y Alejandro Zavala por habernos presentado los softwares utilizados en el estudio así como guía para la elaboración del documento presentado.

REFERENCES

- [1] T. Xiao y Y. Fu, «Biomechanical Modeling of Human Body Movement», *J. Biom. Biostat.*, vol. 7, ene. 2016, doi: 10.4172/2155-6180.1000309.
- [2] P. Augat et al., «Biomechanical models: key considerations in study design», *OTA Int.*, vol. 4, n.o 2S, p. e099, abr. 2021, doi: 10.1097/OI9.000000000000099.
- [3] B. Wan y G. Shan, «Biomechanical modeling as a practical tool for predicting injury risk related to repetitive muscle lengthening during learning and training of human complex motor skills», *SpringerPlus*, vol. 5, p. 441, abr. 2016, doi: 10.1186/s40064-016-2067-y.
- [4] S. L. Delp et al., «OpenSim: Open-Source Software to Create and Analyze Dynamic Simulations of Movement», *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 54, n.o 11, pp. 1940-1950, nov. 2007, doi: 10.1109/TBME.2007.901024.
- [5] B. Van Hooren, N. Pécasse, K. Meijer, y J. M. N. Essers, «The accuracy of markerless motion capture combined with computer vision techniques for measuring running kinematics», *Scand. J. Med. Sci. Sports*, vol. n/a, n.o n/a, doi: 10.1111/sms.14319.
- [6] M. Malakoutian, C. A. Sanchez, S. H. M. Brown, J. Street, S. Fels, y T. R. Oxland, «Biomechanical Properties of Paraspinal Muscles Influence Spinal Loading—A Musculoskeletal Simulation Study», *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 10, 2022, Accedido: 16 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2022.852201>
- [7] C. Arrowsmith, D. Burns, T. Mak, M. Hardisty, y C. Whyne, «Physiotherapy Exercise Classification with Single-Camera Pose Detection and Machine Learning», *Sensors*, vol. 23, n.o 1, Art. n.o 1, ene. 2023, doi: 10.3390/s23010363.
- [8] O. M. Cruz Cerrato, J. J. Sanchez Vásquez, y F. de L. Cáceres Lagos, «Results of Biomedical Engineering program reforms at Universidad Tecnológica Centroamericana», ago. 2022, Accedido: 16 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://laccei.org/LACCEI2022-BocaRaton/meta/WP218.html>
- [9] S. D. Uhlrich et al., «OpenCap: 3D human movement dynamics from smartphone videos». *bioRxiv*, p. 2022.07.07.499061, 10 de julio de 2022. doi: 10.1101/2022.07.07.499061.
- [10] «Image-based biomechanical models of the musculoskeletal system - PMC». <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7423821/> (accedido 16 de marzo de 2023).
- [11] S. Reinfelder, F. Durlak, J. Barth, J. Klucken, y B. M. Eskofier, «Wearable static posturography solution using a novel pressure sensor sole», en *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, ago. 2014, pp. 2973- 2976. doi: 10.1109/EMBC.2014.6944247.
- [12] R. Mason et al., «Wearables for Running Gait Analysis: A Systematic Review», *Sports Med.*, vol. 53, n.o 1, pp. 241-268, ene. 2023, doi: 10.1007/s40279-022-01760-6.
- [13] C. Winchester, E. Pleggenkuhle-Miles, y A. E. Bass, «Peloton's ride to growth», *CASE J.*, vol. ahead-of-print, ago. 2021, doi: 10.1108/TCJ-02-2021-0040.
- [14] E. Swinnen et al., «Robot-assisted walking with the Lokomat: The influence of different levels of guidance force on thorax and pelvis kinematics», *Clin. Biomech.*, vol. 30, n.o 3, pp. 254-259, mar. 2015, doi: 10.1016/j.clinbiomech.2015.01.006.
- [15] K. Moromizato, R. Kimura, H. Fukase, K. Yamaguchi, y H. Ishida, «Whole-body patterns of the range of joint motion in young adults: masculine type and feminine type», *J. Physiol. Anthropol.*, vol. 35, n.o 1, p. 23, oct. 2016, doi: 10.1186/s40101-016-0112-8.
- [16] C. Goehler, K. Helm, L. Prato, y A. Levanda, «Presenting a Performance Assessment Protocol and Full Body OpenSim Model for use in Identifying Risk of Injury», *Adv. Orthop. Sports Med.*, vol. 2019, n.o 3, oct. 2019, [En línea]. Disponible en: https://scholar.valpo.edu/engineering_fac_pub/118
- [17] A. Falisse et al., «OpenSim Versus Human Body Model: A Comparison Study for the Lower Limbs During Gait», *J. Appl. Biomech.*, vol. 34, n.o 6, pp. 496-502, dic. 2018, doi: 10.1123/jab.2017-0156.
- [18] J. Yu, S. Zhang, A. Wang, y W. Li, «Human gait analysis based on OpenSim», en *2020 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)*, dic. 2020, pp. 278-281. doi: 10.1109/ICAMechS49982.2020.9310111