

## Artículo Científico

**Biomecánica de la rodilla y el ciclo de la marcha**  
**Knee's biomechanics and the gait cycle**

Celeste B. Arévalo 1. Cristiam W. Ureña 2.

1. Ingeniería Biomédica. Universidad Privada del Valle, Cochabamba amc2014990@est.univalle.edu
2. Ingeniería Biomédica. Universidad Privada del Valle, Cochabamba umc2018068@est.univalle.edu

**RESUMEN**

La biomecánica es una disciplina que estudia el movimiento del cuerpo en sus diferentes circunstancias. La rodilla se encuentra compuesta por diferentes estructuras, huesos, ligamentos, meniscos y músculos que proporcionan movilidad y estabilidad a esta articulación, solo realizando movimientos de flexión y extensión. El enfoque funcional relacionó al escenario observado y evaluado por el examinador o referido para el paciente con ayuda de cuestionarios. Con estudios de la marcha humana se define como locomoción bípeda con actividad alternada de los miembros inferiores, que se caracteriza por una sucesión de doble apoyo y de apoyo unipodal. El objetivo de este trabajo consistió en la aplicación de herramientas de fácil manejo para realizar una valoración básica, de las extremidades superiores e inferiores y del ciclo de la marcha. Mediante los programas de Kinovea y SkillSpector se evidenciaron los estudios para valorar una marcha normal en dos dimensiones que también permita la evaluación cinemática y cinética de la flexión y extensión de las articulaciones del tobillo y la rodilla. Además, demostrar si existe asimetría cinemática durante una caminata, comprobando los valores solo de un lado de la pierna que se analizó. Tres estudiantes y dos voluntarios fueron analizados en diferentes fases. Con ayuda de los programas usados se comprobó diferencias para detectar los cambios en una flexo-extensión de rodilla como en un ciclo de la marcha. Y siguiendo la línea de estudios anteriores se comprobó que no existe asimetría cinemática durante el ciclo de la marcha.

**Palabras claves:** Cinemática. Extensión. Flexión. Marcha. Rodilla.

**ABSTRACT**

Biomechanics is a discipline that studies the movement of the body in its different circumstances. The knee is made up of different structures, bones, ligaments, menisci, and muscles that provide mobility and stability to this joint. According to studies, the knee only performs flexion and extension movements. The functional approach related to the scenario observed and evaluated by the examiner or referred to the patient with the help of questionnaires. With studies of human gait, it is defined as bipedal locomotion with alternating activity of the lower limbs, characterized by a succession of double support and unipodal support. The objective of this work was to apply easy-to-use tools to perform a basic assessment of the upper and lower extremities and the gait cycle. Through the Kinovea and SkillSpector programs, the studies were checked to assess normal gait in two dimensions, as well as allow kinematic and kinetic evaluation of flexion and extension of the ankle and knee joints. In addition, it has been tried to determine if there is kinematic asymmetry during a walk, checking the values of only one side of the leg that were analyzed. Three students and two volunteers were analyzed in different phases. With the help of the programs that were managed, differences were demonstrated to detect changes in a knee flexion-extension as in a gait cycle. And following the line of previous studies, it was found that there is no kinematic asymmetry during the gait cycle.

**Keywords:** Extension. Flexion. Gait. Kinematics. Knee

## INTRODUCCIÓN

La biomecánica según Martínez y Martínez (2019) es una disciplina que estudia el movimiento del cuerpo en sus diferentes circunstancias, es decir, esta ciencia trata de analizar la actividad del ser humano y la respuesta que tiene nuestro organismo ante esto. La rodilla se encuentra compuesta por diferentes estructuras, huesos, ligamentos, meniscos y músculos que proporcionan movilidad y estabilidad a esta articulación.

Según Bernabé (2017) la rodilla se trata de una articulación que dispone de un grado de libertad; es decir, solo realiza movimientos de flexión y extensión. Sin embargo, también dispone de un segundo grado de libertad, puede realizar movimientos de rotación, pero con una peculiaridad, solamente si la rodilla se encuentra en flexión, pero estos son bastante limitados.

No se puede considerar el impacto de las afecciones de la rodilla de forma aislada solo sobre esta articulación de acuerdo con Chatrenet (2013), lo que obliga a considerar el conjunto de las consecuencias funcionales sobre el miembro inferior. El enfoque funcional se basa en el escenario observado y evaluado por el examinador o referido por el paciente con ayuda de cuestionarios.

La articulación del tobillo es una de las más congruentes y, por tanto, de las más estables de la extremidad inferior. Según Viladot (2003), a través de ella se realizan los movimientos de flexión y extensión del pie. El astrágalo es el hueso del pie que soporta la carga en el segmento posterior. El cuneiforme se aloja en la mortaja del tobillo formada por los maléolos de la tibia y el peroné. En la sección referida al tobillo, de acuerdo con estudios de Caillet (2006), cuando el pie se dorsiflexiona, la porción anterior del astrágalo se interpone entre los maléolos y ensancha la mortaja. En la flexión plantar, la más estrecha porción posterior del astrágalo entra en la mortaja y se acerca a los maléolos de esta.

Sanz (2018) indica que la marcha humana es un modo de locomoción bípeda con actividad alternada de los miembros inferiores, que se caracteriza por una sucesión de doble apoyo y de apoyo unipodal. La locomoción humana normal se ha descrito como una serie de movimientos alternantes, rítmicos, de las extremidades y del tronco que determinan un desplazamiento hacia delante del centro de gravedad.

En este trabajo se presenta el manejo y estudio de dos sistemas de análisis basados en filmación y capturas en cámaras, mediante pruebas de evaluación de marcha, como el de flexión extensión de la rodilla a estudiantes. Estos estudios pretenden aportar al desarrollo y validación de estos tipos de sistemas de evaluaciones para los estudios respectivos. Se espera que el sistema Kinovea permita realizar este tipo de pruebas a personas que residen en zonas alejadas o de difícil acceso, sin la necesidad de trasladarlas a un laboratorio de análisis de movimiento para evaluar su patrón de marcha cuando lo requieren.

El programa Kinovea ha sido ideado para mejorar el rendimiento en los deportes y a su vez detectar problemas biomecánicos, siendo posible analizar todos los movimientos. Está especialmente dirigido a deportistas, entrenadores o médicos deportivos. Gracias a sus diferentes opciones se puede realizar un estudio completo de los vídeos, detectando errores o detalles de procedimiento mejorables. Es posible estudiar trayectorias, gestos, posturas. El software tiene soporte para múltiples formatos como AVI, MPG, MOV, WMV, MP4, MKV, VOB o 3GP, y es capaz de utilizar diferentes algoritmos de compresión como DV, DivX, Xvid, H.264 o M-JPEG. También cuenta con soporte para formatos de alta definición.

Dentro de sus principales funciones se tienen:

- Posibilidad de comparar o sincronizar dos vídeos entre sí para observar las diferencias de procedimiento.
- Cambios de perspectiva, dibujos y comentarios sobre las imágenes.

- Crea ajustes de imagen y zoom sobre los movimientos para captar hasta el más mínimo detalle.
- Utiliza cronómetros para calcular tiempos o dibuja trayectorias sobre los gestos que permitan detectar errores.

Según Bravo et al. (2016) los métodos más comunes para una adecuada captura del movimiento humano en dos o tres dimensiones requieren de un entorno de laboratorio y la fijación de marcadores, accesorios o sensores a los segmentos corporales. Sin embargo, el alto costo de estos equipos es un factor limitante en diversos entornos de trabajo. Sistemas de captura

de movimiento como Microsoft Kinect presentan un enfoque alternativo a la tecnología de captura de movimiento. No obstante, se cuenta con más accesos a estos diversos análisis biomecánicos tales como el SkillSpectory y el Kinovea, es así como estos dan un enfoque alternativo a la tecnología de captura de movimiento.

**METODOLOGÍA**

El presente estudio de investigación se realizó en octubre del 2018. Se realizó el estudio de tres estudiantes (Tabla 1), de la carrera de Ingeniería Biomédica Universidad Privada del Valle, Cochabamba.

**Tabla 1. Nombres, altura y observaciones de los estudiantes para el diagnóstico**

Nombre de los estudiantes	Altura	Observaciones
William	1,74 m	Cuando caminaba se observaba un pequeño espacio entre sus rodillas.
Celeste	1,62 m	Cuando caminaba buen tiempo o estaba de pie por un largo tiempo presentaba dolor en la planta del pie.
Kevin	1,83 m	Cuando existía flexión y extensión se producía un sonido en la rodilla.

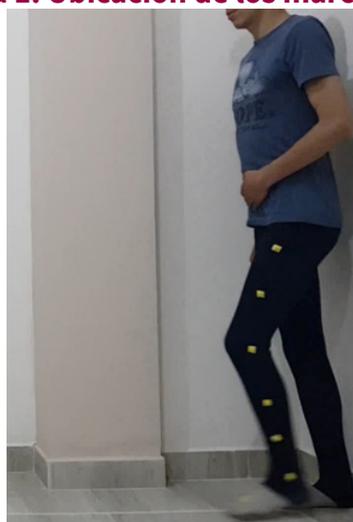
Fuente: Elaboración propia, 2019.

**1. Pasos para un análisis de flexión y extensión de la rodilla**

El enfoque de esta experimentación es cuantitativo, debido a que como mencionan Hernández et al. (2010), se procede a la recolección de datos cuantitativos y el análisis de estos, es estructurado y predeterminado. Es de diseño transversal, debido a que es llevada solo en un corto periodo de tiempo.

Se obtuvieron marcadores de la impresora 3D en Univalle, los cuales fueron colocados como puntos de referencia en algunas partes de las extremidades inferiores. Se utilizaron entre 6 a 8 marcadores (Figura 1) para tomar con mayor precisión los datos de cada estudiante. La ubicación de los marcadores corresponde: a la cadera, la rodilla, el tobillo y la posición del metatarso del pie en cada una de las piernas.

**Figura 1. Ubicación de los marcadores**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Cada uno de los estudiantes se colocó ropa ajustada, de preferencia de color oscuro para que los marcadores sobresalgan, se distinguieran y no se muevan ninguno de ellos, al momento de la grabación y a su vez resalten con el fondo. Los marcadores fueron colocados sobre la vestimenta en la posición que están asignados de la parte

de estudio. Se trazó una línea con cinta aislante en el suelo la cual tenían que seguir como referencia (Figura 2). También, cuando se realizó la grabación, se tuvo en cuenta el marco de calibración que abarque todo el espacio sobre el cual se realizaron los movimientos considerados.

**Figura 2. Desplazamiento del estudiante sobre la línea de evaluación**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Después de contar con las filmaciones, se procesó el video con ayuda del programa SkillSpector, herramienta útil para realizar este análisis biomecánico. El único requisito que se requiere es un dispositivo de captura de video, pudiendo ser una cámara web o una cámara digital; así como un software libre sin necesidad de registrarse y sin caducidad de uso, porque permitió crear junto con el programa Kinovea de cada fase. Con cada uno de estos se realizó un análisis de variables para estudiar la flexión y extensión de la rodilla en cada uno de los estudiantes. Actualmente, no existe una versión disponible para los sistemas operativos Mac OS X, ni para GNU/Linux.

El video fue grabado alrededor de 30 segundos o menos, terminando con las grabaciones, se cambiaron los formatos de estos, de MP4 a AVI,

porque solo con ese tipo de formato se podía subir el video al programa SkillSpector versión 1.3.2. Una vez ya cambiados los formatos, los videos se subieron, este programa permite análisis en 2D y 3D mediante la digitalización semiautomática y permite calcular variables cinemáticas tanto lineales como angulares.

## **2. Pasos para un análisis en un Ciclo de la Marcha**

Se colocaron marcadores en partes específicas del cuerpo para observar la movilidad de la persona de estudio, para esta prueba se recomendó hacerlo con una ropa ajustada al cuerpo de forma que los marcadores no se muevan y tengan una medición exacta en el programa (Figura 3).

**Figura 3. Ubicación requerida de los marcadores. 3a vista frontal. 3b vista lateral**



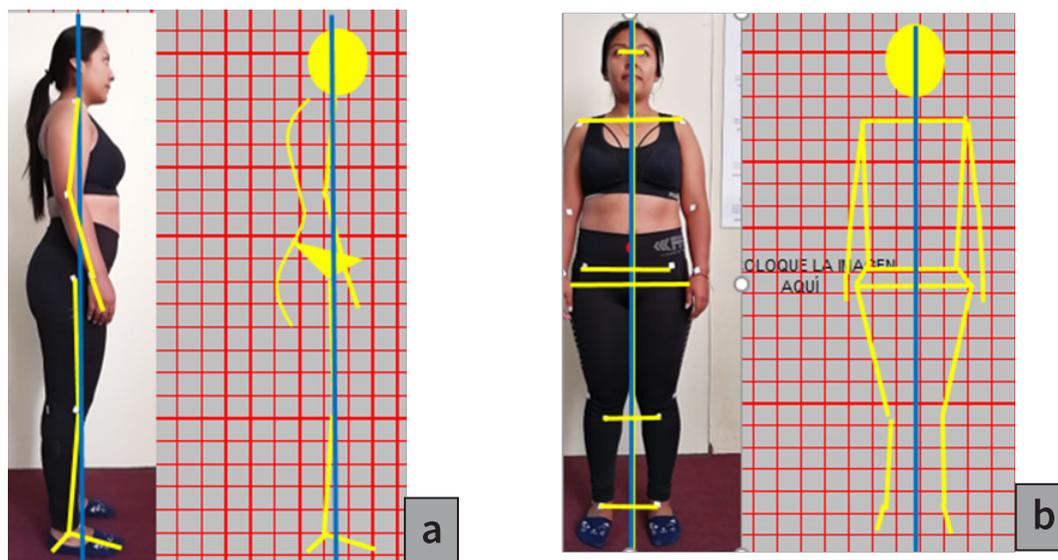
Fuente: Elaboración propia, 2019.

**2.1. Planos del cuerpo Humano**

Existe una relación entre los ejes y planos, la cual se basa en que cuando un movimiento se produce en un determinado plano, la articulación se mueve o gira sobre un eje que se encuentra a 90° respecto de dicho plano.

Según Ortiz (2014), existen tres tipos de planos: sagital, pasa desde el frente hasta la espalda del cuerpo creando un lado izquierdo y un lado derecho del cuerpo; frontal, conocido también como plano lateral atraviesa el cuerpo de un lado a otro creando un lado adelante y un lado atrás; y transversal, atraviesa el cuerpo horizontalmente dividiendo el cuerpo en dos segmentos, uno arriba y otro abajo (Figura 4).

**Figura 4. Los tres planos del movimiento. 4a Plano Sagital. 4b Plano Frontal. 4c Plano Transversal**



Fuente: Elaboración propia, 2019.



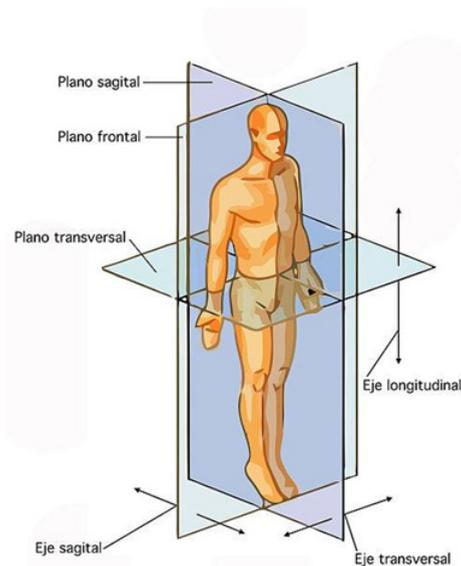
Fuente: Marieb, 2008.

## 2.2. Ejes del cuerpo Humano

Del mismo modo que los planos, se puede observar tres ejes de movimiento. Según Azevedo (2019). El Eje Sagital, se refiere al eje anteroposterior ventrodorsal; es decir, que atraviesa el cuerpo de adelante hacia atrás, en dirección horizontal, y es perpendicular a los planos coronales. El Eje Longitudinal, también denominado craneocaudal

o superoinferior, es de dirección vertical, como una flecha que atraviesa el cuerpo desde el punto más alto del cráneo en dirección a los pies, pasando por el centro de gravedad del cuerpo. El Eje Transverso, también conocido como latero lateral, tiene dirección horizontal. Va desde un lado del cuerpo al otro, perpendicular a los planos sagitales (Figura 5).

**Figura 5. Los tres tipos de ejes del movimiento: Eje anteroposterior, eje vertical y eje transversal**



Fuente: Jones O, 2018.

Se realizan varias grabaciones con un teléfono móvil de la persona de estudio para obtener un video donde el ciclo de la marcha no sea fingido y su desplazamiento sea natural, el video grabado con el móvil se guarda en MP4 (Figura 6). Una vez

concluido, se pasa a la computadora y luego al programa Kinovea, ultimado el análisis, el video se guarda en el formato MKV.

**Figura 6. Secuencia de pasos para el estudio de la pisada. 6a fase de contacto inicial. 6b fase inicial de apoyo. 6c fase media del apoyo. 6d fase final del apoyo. 6e fase previa a la oscilación**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

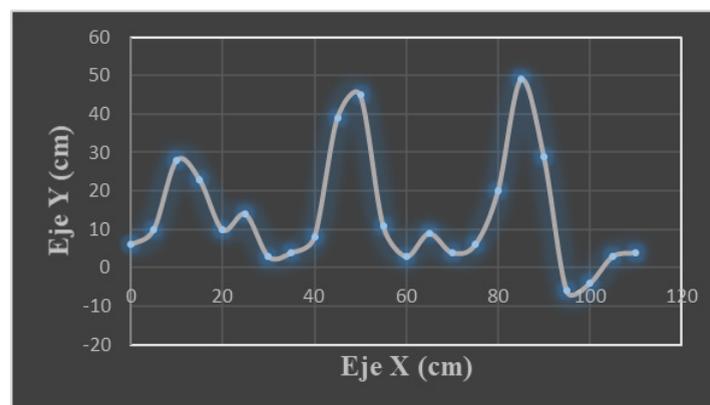
## RESULTADOS

Según Peña et al. (2006) en particular, y debido a la relativa incongruencia de las superficies auriculares, los ligamentos juegan un papel importante en la estabilidad de la rodilla a lo largo de todo el rango del movimiento. Cada ligamento juega un papel distinto en dicha estabilidad restringiendo el movimiento de la rodilla en más de un grado de flexión ante las cargas externas. De esta forma la estabilidad completa de la articulación depende de la contribución de cada uno de los ligamentos de forma individual y de la interacción de uno con otros. Otro componente importante son los meniscos, muchas de estas funciones se realizan gracias a la capacidad de los meniscos de transmitir y distribuir las cargas sobre el platillo tibial. Se presentan, en primer lugar, los valores de las variables que definen las flexiones y extensiones reales en el espacio entre los puntos definidos en la filmación de estos. Posteriormente, se presentan los resultados de las variables escaladas.

Se analizó el inicio de la marcha de todos los estudiantes, se observa que tienen un impulso distinto, esto podría darse de acuerdo con la contextura de cada persona como el de la fuerza que inicia sus pasos, entre otros se observó también que los pasos variaban de acuerdo con la estatura de cada uno, por lo que se demostró de manera muy clara en los estudios próximamente mostrados. Por último, también existió variaciones de flexión y extensión de la rodilla, al igual que al momento de descanso de la marcha, porque cada uno de los sujetos de estudio en su forma de movilizarse e inmovilizarse fueron muy diferentes al momento de empezar su ciclo de marcha.

Como se observa en la Figura 7, en la marcha hubo una ligera variación en los pasos, ya que al comienzo de su marcha no fue con mucho impulso, su último paso fue disparejo por la falta de espacio que se deseaba, además en observaciones no existió una variación con mayor deformación en cuanto al ciclo de marcha teniendo en cuenta que tiene una alteración ortopédica llamada GENU VARO (piernas arqueadas).

**Figura 7. Flexión y extensión de la rodilla en un ciclo de marcha**

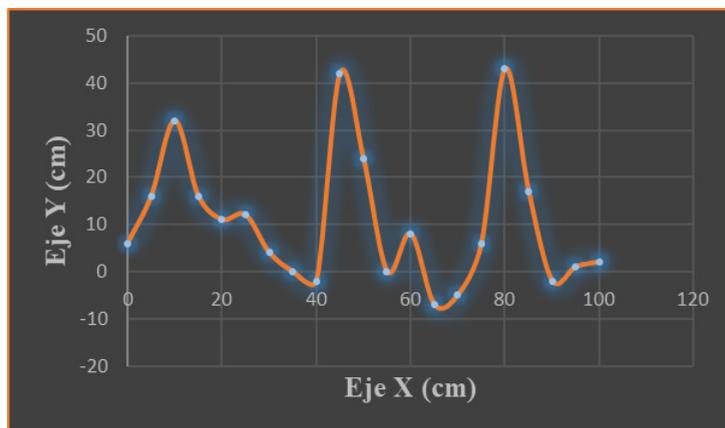


Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la Figura 8, se analizó que la estudiante poseía una mayor precisión al momento de caminar y sus pasos fueron más simétricos; sin embargo, al igual que la Figura 7, se observó una

diferenciación al inicio y al final de la gráfica, que estaría relacionada a la variable de la fuerza que aplicó al iniciar sus pasos en el trayecto.

**Figura 8. Flexión y Extensión de la rodilla en un ciclo de marcha**

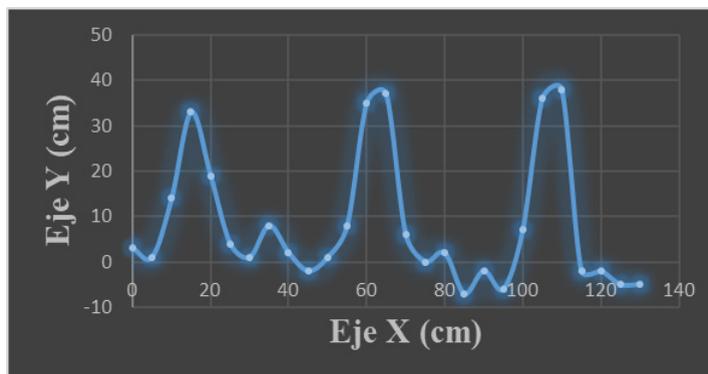


Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la Figura 9 se analizó que los pasos son mayores debido a la contextura física del estudiante, su estatura era la más alta entre los tres estudiantes, en el estudiante hubo simetría en los pasos, pero también existió una ligera diferenciación al principio y final de ciclo de marcha, entre el

trayecto que caminó, la rodilla varió mucho en cuanto a su análisis cinético, porque siendo más detallados, se percibió aunque fuera de una manera sutil, la rodilla tenía un severo ruido al momento de caminar por el respectivo trayecto.

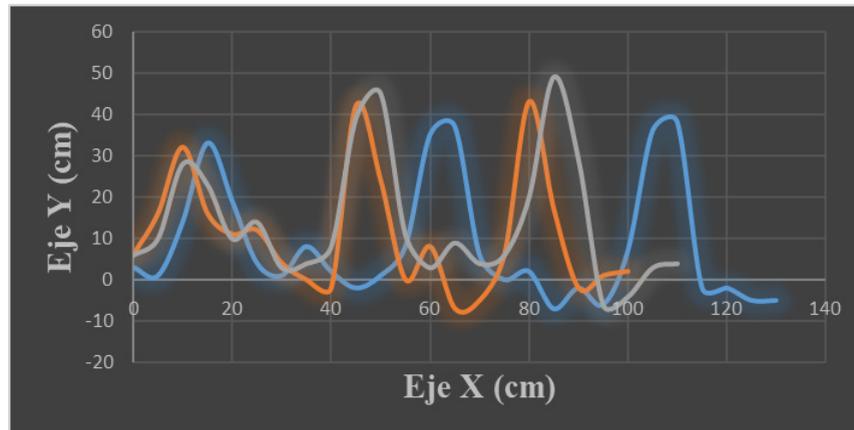
**Figura 9. Flexión y Extensión de la rodilla en un ciclo de marcha**



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se observó que al comienzo de la marcha todos tienen un impulso distinto, esto debió proporcionarse de acuerdo a la contextura de cada persona como el de la fuerza que inicia sus pasos, entre otros los pasos que variaban de acuerdo a la estatura de cada uno, con esto se lo demostró de manera muy obvia en la gráfica

grupal, y por último, también existe variación de flexión de la rodilla al igual que al momento de frenar la marcha, porque cada uno fue diferente al momento de frenar o avanzar en su ciclo de marcha, incluyendo la velocidad con el que fue realizada (Figura 10).

**Figura 10. Flexión y Extensión de la rodilla en un ciclo de marcha grupal**


Fuente: Elaboración propia, 2018.

### b) Ciclo de la marcha

Según las investigaciones de Yáñez (2018), la marcha constituye un proceso complejo, ya que requiere de la interacción y el adecuado funcionamiento de diferentes estructuras y sistemas corporales. Existen dos requisitos básicos que son necesarios para la marcha de cualquier persona, sin importar cuán distorsionada sea debido a alguna patología. Estos requisitos son: el movimiento periódico de cada pie desde una posición de soporte a la siguiente, y fuerzas

de reacción de la superficie aplicadas a los pies suficientes para el soporte del cuerpo. El movimiento periódico de las piernas es la esencia de la naturaleza cíclica de la marcha humana.

En la Figura 11 se muestran los resultados obtenidos en el presente estudio. En primer lugar, se presentarán los resultados de la marcha a velocidad normal, para continuar con los siguientes pasos:

**Figura 11. Evaluación del ciclo de la marcha. 11a sujeto de prueba en reposo. 11b preparación de las plantas de los pies. 11c trayectoria de la caminata.**


Fuente: Elaboración propia, 2018.

Prat y Sánchez (2018) mencionan que durante el ciclo completo de la marcha cada pierna pasa por dos fases: la fase de apoyo y la fase de oscilación.

### 1) La fase de apoyo

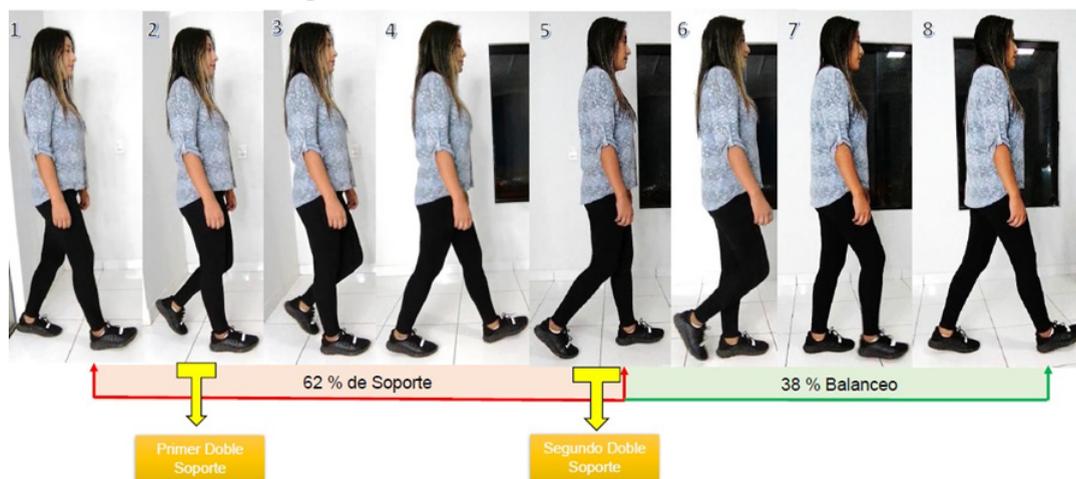
Es aquella en la que el pie se encuentra en contacto con el suelo. Comienza con el contacto inicial y finaliza con el despegue del ante pie. Núñez y Llanos (2007) la duración de esta fase en condiciones normales supone un 60% del ciclo (dependiendo siempre de la velocidad que adopte la persona).

### 2) La fase de oscilación

Es aquella en la que el pie se encuentra en el aire, al tiempo que avanza, como preparación para el siguiente apoyo. Para los estudios de Viladot et al. (2005), esta fase tiene lugar desde el instante de despegue del ante pie hasta el siguiente contacto con el suelo. La duración de esta fase es de un 40% del ciclo.

Según estudios de Kottke et al. (1995), la duración de estas fases es relativa pues, como se mencionó, depende fuertemente de la velocidad, de forma que cuando aumenta la velocidad aumenta la proporción de la fase de oscilación frente a la fase de apoyo de manera que desaparece la fase de doble apoyo iniciando así la carrera (Figura 12).

**Figura 12. Fases del ciclo de la marcha**



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuando se realizó el ciclo de la marcha se procedió a realizar secuencias de pasos que detalladas más adelante. Una zancada está formada por dos intervalos de apoyo bipodal y dos de apoyo monopodal, uno por cada pie. Según los estudios de Jacobs (1972) y Murray (1966) la zancada derecha empieza con el contacto inicial del pie derecho con el suelo y termina con el contacto inicial consecutivo del pie derecho con el suelo.

La zancada izquierda comienza con el contacto inicial del pie izquierdo con el suelo y termina con el contacto inicial consecutivo del pie izquierdo con el suelo.

Para dicha evaluación, se procedió a realizar los diferentes cálculos (Tabla 2) que se tomaron del sujeto de prueba para sacar un promedio estándar.

**Tabla 2. Cálculos de la zancada**

EVALUACIÓN DEL PASO LARGO O ZANCADA				
	1° Zancada	2° Zancada	3° Zancada	Promedio
Zancada Izquierda	104,3	116,7	93	<u>104,6</u>
Zancada Derecha	84	118,5	114,3	<u>105,6</u>

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Un paso corto, según estudios de Aguilar et al. (2011), es una distancia lineal en metros desde el contacto inicial de una extremidad hasta el mismo evento de la otra extremidad (Tabla 3).

**Tabla 3. Cálculos del paso corto**

EVALUACIÓN DEL PASO CORTO				
	1° Paso	2° Paso	3° Paso	Promedio
Longitud Izquierda	45	58,5	56	<u>53,2</u>
Longitud Derecha	60	58,5	36,5	<u>51,6</u>

Fuente: Elaboración propia, 2019.

• **Ancho de paso o Amplitud de base:** la distancia entre ambos pies, generalmente entre los talones, que representa la medida de la base de sustentación y equivale a 5 a 10 centímetros, relacionada directamente con la estabilidad y el equilibrio (Tabla 4). Como la pelvis debe desplazarse hacia el lado del apoyo del cuerpo para mantener la estabilidad en el apoyo medio, una base de sustentación estrecha reduce el desplazamiento lateral del centro de gravedad (Cerdeira, 2010).

**Tabla 4. Cálculos de ancho de paso**

EVALUACIÓN DEL ANCHO DE PASO				
	1° Paso	2° Paso	3° Paso	Promedio
Ancho Izquierda	16,5	11,5	13	<u>13,6</u>
Ancho Derecha	14,5	11,6	17,3	<u>14,5</u>

Fuente: Elaboración propia, 2019.

• **Ángulo del paso o ángulo de la marcha:** (Tabla 5): se refiere a la orientación del pie durante el apoyo. El eje longitudinal de cada pie forma un ángulo con la línea de progresión (línea de dirección de la marcha); normalmente, está entre 5° y 8° (Daza, 2007).

**Tabla 5. Cálculos del Ángulo de paso**

EVALUACIÓN DEL ÁNGULO DE PASO			
	1° Paso	2° Paso	Promedio
Ángulo Izquierda	4,7°	4,5°	<u>4,6°</u>
Ángulo Derecha	5°	4,5°	<u>4,7°</u>

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Entre las patologías más sobresalientes que se mencionan:

**- Alteraciones del pie**

**a) Pie Plano:** Cuando se produce una pérdida o hundimiento del arco plantar y se apoya la planta completamente sobre el suelo. Con frecuencia se acompaña de alteraciones en la normal alineación del talón, siendo lo más frecuente el desplazamiento hacia fuera del mismo o valgo.

**b) Pie Cavo:** Está caracterizado por un aumento del arco del pie. El apoyo de la planta se realiza en menos zonas de los habituales.

**c) Pie Valgo:** Esta alteración se caracteriza por una desviación hacia dentro respecto al eje sagital del cuerpo debido a que se hunde el arco interno y hay un apoyo excesivo en la cabeza del primer metatarsiano (Mitzi, 2016).

**- Alteraciones de la rodilla**

**a) Recurvatum de rodilla:** Es la hiperextensión de rodilla mayor a 10 grados.

**b) Valgo:** Desviación axial frontal que se aleja de la línea media.

**c) Varo:** Desviación axial frontal que se acerca a la línea media (Mitzi, 2016).

**DISCUSIÓN**

**Flexión y extensión de la rodilla**

Para el modelo de seis grados de libertad según Cervero et al. (2005) explica de modo simplificado la cinemática de la articulación. Los modelos basados en estudios por Resonancia Magnética Nuclear (RMN), sin embargo, tratan de acercarnos a una visión mucho más fisiológica del movimiento de la rodilla. Vista la dificultad en entender la biomecánica en general, el intentar añadir los

componentes musculares y ligamentosos, no haría más que complicar la exposición hasta un punto en el que la comprensión podría resultar muy difícil, razón por la que el estudio se centró únicamente en el funcionalismo óseo.

En el estudio del análisis isocinético de la flexo-extensión de la rodilla para Slocker De Arce et al. (2002), se analizaron la fuerza muscular isocinética de la articulación de la rodilla y las variables antropométricas más significativas de los individuos analizados. La muestra fue de 60 sujetos jóvenes voluntarios y sanos (30 hombres, 30 mujeres). Realizaron un estudio comparativo entre extremidad derecha e izquierda y entre sexos, además analizaron las correlaciones entre variables isocinéticas y antropométricas. El factor del sexo determinó diferencias en todas las variables a excepción del perímetro del muslo, siendo estas mayores en los varones. Por último, sus análisis de correlación entre las distintas variables, permitió constatar algunas interdependencias entre las variables morfológicas y de actividad muscular que pueden ser aplicadas en el campo clínico.

Para el análisis de flexión y extensión de la rodilla, se efectuó el estudio en una marcha normal, se tomaron en cuenta los factores de la estatura de cada uno de los estudiantes, en caso de que presentaran algún tipo de observaciones, sea notoria como también al momento de ser evaluados, con el apoyo del programa SkillSpector, el análisis avanzado fue de datos cinemáticos lineales y angulares, como también la representación de los movimientos.

Tomando en cuenta a los autores mencionados, varios factores en los cuales se centraron al momento de estudiar la articulación de la rodilla. Peña et al. (2005), en su publicación, usaron modelos tridimensionales y basaron más su análisis de articulación después de algunos tipos de lesiones ligamentosas. Estos se centraban en cómo la rodilla se articulaba, no dejando de lado los huesos que a estos la conformaban. Para el caso de Cervero et al. (2005), usaron un modelo de seis grados de libertad, los modelos basados en estudios por RMN (resonancia magnética), según ellos, tiene una visión mucho más fisiológica del movimiento de la rodilla. Pero era necesario tanto la ampliación de los estudios biomecánicos como la colaboración con los ingenieros para ampliar su marco de conocimiento con tantas aplicaciones posibles.

En los análisis de Slocker de Arce et al. (2002), se revisaron la fuerza muscular isocinética de la articulación de la rodilla y las variables antropométricas más significativas de los individuos analizados, con ello hicieron sus comparaciones tomando en cuenta factores como la extremidad derecha, la extremidad izquierda y género.

En todos los análisis, se estudió la flexión y extensión de la rodilla, incluso hasta utilizaron maquinarias como ser la resonancia magnética, en algunos casos no fueron tan necesarios algunos datos en cuanto al análisis. Se trabajó utilizando el programa SkillSpector, con ayuda de una cámara -de preferencia nítida- para la grabación, un sitio cualquiera que sea amplió y unos marcadores que resalten en la parte del cuerpo que se analizó.

También se pueden diseñar sus propios marcadores sin la necesidad de una impresora 3D, el punto es que se destaque en la ropa al momento de grabarlos. Con todo, los procedimientos correspondientes y un conocimiento básico respecto a la anatomía funcional de la biomecánica podrían soltar un antecedente en cuanto a los datos obtenidos y se puede dar a entender que los datos estén dentro del rango

permitido o como fuera del rango establecido. Es así que, de acuerdo con los resultados obtenidos, se puede llegar a sacar un diagnóstico previo para mandar al paciente a consultar a un fisioterapeuta, podólogo, etc.

### **Ciclo de la Marcha**

El ciclo de la marcha comienza cuando el pie contacta con el suelo y termina con el siguiente contacto con el suelo del mismo pie. Los dos mayores componentes del ciclo de la marcha son: la fase de apoyo y la fase de balanceo. Una pierna está en fase de apoyo cuando está en contacto con el suelo y está en fase de balanceo cuando no contacta con el suelo (Acosta, 2010).

Según Reyes (2013), la marcha humana es un proceso de locomoción en el que el cuerpo humano, en posición erguida, se mueve hacia adelante, siendo su peso soportado alternativamente por ambas piernas. Mientras el cuerpo se desplaza sobre la pierna de soporte, la otra pierna se balancea hacia adelante como preparación para el siguiente apoyo.

La marcha es un proceso aprendido y no el desarrollo de un reflejo innato. Cada persona muestra en su desarrollo unas características propias que están determinadas por diversos factores como las diferencias existentes en la masa y longitud de los distintos segmentos corporales. La adquisición de la marcha tiene una gran importancia en el desarrollo del niño pues le da autonomía para moverse en el espacio, aumenta su campo de visión y le permite coger objetos que antes no estaban a su alcance (Badilla et al., 2011).

Según Moncada y Scaglioni (2009), seleccionó el Skyrunner, que es un dispositivo compuesto por un resorte de fibra de vidrio y una estructura de aluminio que se coloca en las piernas y que permite movilizarse por medio de la caminata, la carrera y saltos. Tal y como cuando se adquiere una bicicleta o unos patines, la persona primero debe pasar por un periodo de aprendizaje motor para lograr el equilibrio y la tensión muscular necesarios para no caerse, y así poder dominar los movimientos con el dispositivo.

Para Collado et al. (2003), el proceso de deambulación está modulado o modificado por muchos factores, tanto extrínsecos como ser: terreno, calzado, vestido, transporte de carga, los intrínsecos son: sexo, peso, altura, edad, físicos, peso, talla, constitución física. Algunas patologías: traumatismos, patología neurológica, musculoesquelética, trastornos psiquiátricos y los cambios que imprimen en el patrón de marcha habitual pueden ser transitorios o permanentes. En algunos casos los factores moduladores de la marcha modifican parámetros de la misma de forma transitoria, en otros casos, cuando éstos inciden sobre el sujeto de manera continuada en el tiempo, esas 18 modificaciones, inicialmente transitorias, pasan a formar parte del patrón de marcha habitual de ese sujeto.

Según investigaciones de López (2012), la articulación de la rodilla tiene que responder a dos exigencias mecánicas contradictorias: movilidad, para permitir desplazamiento del cuerpo y todo tipo de movimientos y estabilidad, para soportar el peso corporal, así como la carga en la fase de apoyo de la marcha. Las lesiones más graves de rodilla suelen producirse por mecanismo indirecto, es decir una torsión de la rodilla que provoque rotura de ligamentos, un mal apoyo al caer, un giro brusco del cuerpo dejando el pie fijo en el suelo.

### Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se realizó un análisis funcional de flexión y extensión de la rodilla, de manera experimental, es así como

se procedió a mencionar cuales son los tipos de articulaciones que se presentan a niveles de la extremidad inferior, como la funcionalidad de cada uno de ellos. Se demostró experimentalmente como fue realizada la evaluación de flexión y extensión de la rodilla, la interpretación que se dio a cada una de las gráficas que les brindaba como resultado de cada estudiante, se realizaron las comparaciones también en cuanto a otros autores, para la forma en que ellos realizaban sus análisis de la articulación de la rodilla, algunos eran más detallados que otros, contaban con unas series de cálculos detallados y gráficos en la que no se requieren tantos procedimientos anteriormente mencionados, en caso de algunos autores; también profundizaron más en las causas que podrían dañar a la rodilla, como el de factores sobre lesiones, géneros, vida sedentaria, deportistas, etc.

La marcha normal se ve modificada en la vida cotidiana por muchas y variadas causas, teniendo en cuenta que no todas ellas tienen por qué ser propiamente patológicas como la talla, la edad, el calzado, el terreno, la carga, la actividad de la persona. Por otra parte, se encontró que existen afecciones de distinto origen que llevan a una alteración de alguna parte del ciclo completo de la marcha, el presente estudio se centró en aquellos aspectos que presentan patologías básicas que se pueden definir mediante una pisada, ciclo de marcha mediante el programa Kinovea es de fácil manejo, entendible, tiene diferentes opciones para cualquier estudio en relación con el ciclo de la marcha, una buena grabación depende mucho para el estudio de estas.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, P. (2010). Biomecánica de la marcha. <https://fisiointegracion.files.wordpress.com/2010/05/biomecanica-marcha.pdf>
- Aguilar, M., Moncada, C., Romero, L. & Vega, P. (2011, 11 de mayo). Examen de la marcha [presentación de diapositivas]. Slideshare. <https://es.slideshare.net/anapatriciacaceres/marcha-7929027>
- Azevedo, R. (2019). Planos anatómicos y ejes del cuerpo humano. <https://www.lifeder.com/planos-anatomicos-ejes/>
- Badilla, L., Elordi, F., Espinosa, R. (2011, 17 de junio). Análisis de la marcha. <http://movementsofthehuman.blogspot.com/2011/06/marco-teorico-analisis-de-la-marcha.html>
- Bernabé, A. (11 de diciembre de 2017). La biomecánica de la rodilla. <http://www.tecnica decarrera.com/biomecanica-de-rodilla/>
- Bravo, D. A. Rengifo, C. F. y Agredo W. (2016). Comparación de dos Sistemas de Captura de Movimiento

por medio de las Trayectorias Articulares de Marcha. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 37(2), 149-160.

Caillet, R., (2006). *Anatomía Funcional, Biomecánica*. Recuperado de file:///C:/Users/Celeste/Desktop/PRACTICAS%20Y%20TAREAS%202020/Articulo%20Final%20Metodologia/BIOMECANICA(possible%20articulo)/BIOMECANICA%202018/Cailliet-%20Anatomia%20Funcional,%20Biomecanica.pdf

Cerda, L. (2010). Evaluación del paciente con trastorno de la marcha. *Servicio de Medicina Física y Rehabilitación*, 21(4):326–36.

Cervero, S., Jiménez, P., Gil, E. R., Sánchez, R. y Fenollosa, J. (2005). *Patología del aparato locomotor*, 3-3, 189-200.

Collado, S., Pascual, F., Álvarez, A. y Rodríguez, L. P. (2003). ANÁLISIS DE LA MARCHA. FACTORES MODULADORES. *BIOCIENCIAS*, 1, 4-19.

Chatrenet, Y. (2013). Evaluación clínica y funcional de la rodilla. *Electromagnetic Compatibility*, 34(2), 15-16. [https://doi.org/10.1016/S1293-2965\(13\)64658-7](https://doi.org/10.1016/S1293-2965(13)64658-7)

Daza, J. (2007). Evaluación clínica funcional del movimiento corporal humano. Recuperado de [https://books.google.com.bo/books?id=mbVsjZ82vncC&printsec=copyright&hl=es&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.bo/books?id=mbVsjZ82vncC&printsec=copyright&hl=es&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

De Barros Vilela, G. *MANUAL SKILLSPECTOR*. Recuperado de <http://www.cpaqv.org/biomecanica/manualskillspector.pdf>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. Metodología de la investigación.

JACOBS, N.J. Analysis of the vertical component of force. En: *Journal of Biomechanics* No. 5 (1972); p. 11-34. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(72\)90016-4](https://doi.org/10.1016/0021-9290(72)90016-4)

Jones, O. 6 de enero, 2018. *Anatomical planes*. Recuperado de: [Teachmeanatomy.info](http://Teachmeanatomy.info)

Kinovea. (2018). *Kinovea (versión 0.8.15) [software]*. <https://www.logitheque.com/es/windows/kinovea-21201>

Kottke, F. J., Boxaca, M. C. & Klajn, D. S. Krusen (1995). *Medicina física y rehabilitación*. Recuperado de: [https://www.worldcat.org/title/medicina-fisica-y-rehabilitacion/oclc/1024961960&referer=brief\\_results](https://www.worldcat.org/title/medicina-fisica-y-rehabilitacion/oclc/1024961960&referer=brief_results)

López, M. (2012). *Todo sobre la rodilla (II): Biomecánica*. Recuperado de <https://www.vitonica.com/anatomia/todo-sobre-la-rodilla-ii-biomecanica>

Marieb, E. (2008). *Anatomía y Fisiología Humana*. España: Pearson Education

Martínez, M. Martínez, V. (2019). ¿Qué es la biomecánica? *BIOMECÁNICA MARTÍNEZ*: Copyright. Recuperado de <https://www.biomecanicamartinez.com/que-es-la-biomecanica/#>

Marco, C. (2018). *Cinesiología de la marcha humana normal*. Recuperado de <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-de-rosario/fisiologia/apuntes-de-clase/marcha-humana/7659269/view>

Mitzi, L. (29 de junio de 2016). *Biomecánica de la marcha patológica MARCHA PATOLOGICA ALTERACIONES DEL PIE*: Slideshare. Recuperado de <https://es.slideshare.net/MitziOficial/biomecnica-de-la-marcha-patolgica-marcha-patologica-alteraciones-del-pie>

Moncada, J. Scaglioni, P. (2009). ESTUDIO DE CASO: ANÁLISIS BIOMECÁNICO Y FISIOLÓGICO DEL SKYRUNNER. *Educación*, 33(1), 145-154. <https://doi.org/10.15517/revedu.v33i1.537>

MURRAY, M.P.; KORY, R.C.; CLARKSON, B.H. y SEPIC, S.B. Comparison of free and fast speed walking patterns of normal men. En: *American Journal of Physical Medicine*. No. 45 (1966); p. 8-24. Núñez, M.

y Llanos, L. F. (2007). *Biomecánica, medicina y cirugía del pie*. Recuperado de: <https://www.iberlibro.com/primer-edicion/Biomec%C3%A1nica-medicina-cirug%C3%ADa-pie-N%C3%BA%C3%B1ez-SamperLlanos-MASSON/18977894832/bd> <https://doi.org/10.1097/00002060-196602000-00002>

- Ortiz, J. (2014, 22 de agosto). Planos y ejes de movimiento [presentación de diapositivas]. <https://es.slideshare.net/jhonfortiz3/planos-y-ejes-corporal>
- Peña, E., Calvo, B. y Doblare, M. (2006). Biomecánica de la articulación de la rodilla tras lesiones ligamentosas. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 22(1), 63-78.
- Peña, E., Calvo, B., Martínez, M. y Doblare, M. (2005). “A three-dimensional finite element analysis of the combined behavior of ligaments and menisci in the healthy human knee joint”. Doi: 10.1016 / j.jbiomech.2005.04.030
- Prat, J.P.P. & Sánchez, J. Biomecánica de la marcha humana normal y patología (Instituto de Biomecánica de Valencia, 2005).
- Reyes, A. (2013, 22 de enero). Marcha [presentación de diapositivas]. <https://es.slideshare.net/AngieReyes/marcha-16121010>
- SkillSpector Create a digital map of any body movement (2018-2019). FDM lib. Recuperado de <https://es.freownloadmanager.org/Windows-PC/SkillSpector-GRATIS.html>
- SportLife, (22 de febrero de 2017). Así funciona la rodilla [Así funciona una de las articulaciones más importantes para el deportista: la rodilla]. Recuperado de <https://www.sportlife.es/salud/articulo/asi-funciona-rodilla>
- Slocker De Arce, J. Carrascosa, F. Fernández, C. Clemente, L. Gómez. (2002). Análisis isocinético de la flexo-extensión de la rodilla y su relación con la antropometría del miembro inferior. *Elsevier*, 36(2), 86-92. [https://doi.org/10.1016/S0048-7120\(02\)73247-7](https://doi.org/10.1016/S0048-7120(02)73247-7)
- Viladot, R., Cohi, O. & Clave, S. (2005). Ortesis y prótesis del aparato locomotor. Recuperado de: <https://www.worldcat.org/title/ortesis-y-protesis-del-aparato-locomotor-vol-3-extremidad-superior/oclc/629051967?referer=di&ht=edition>
- Viladot, A. (noviembre 2003). Anatomía funcional y biomecánica del tobillo y el pie. ELSEVIER. Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-espanola-reumatologia-29-articulo-anatomia-funcional-biomecanica-del-tobillo-13055077>
- Yáñez, S.A. (2018). Estudio Comparativo de Sistemas de Análisis de Marcha Basados en Sensores Inerciales y Cámaras Infrarrojas [tesis de licenciatura, Universidad de Concepción]. Recuperado de: [http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/359/1/Tesis\\_estudio\\_comparativo\\_de\\_sistemas.Image.Marked.pdf](http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/359/1/Tesis_estudio_comparativo_de_sistemas.Image.Marked.pdf)

Derechos de Autor (c) 2020 Celeste B. Arévalo; Cristiam W. Urefia



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

**Atribución:** Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

*Resum en de licencia - Texto completo de la licencia*