

**Temática:** Bibliotecas, recursos tecnológicos y trabajo cooperado en el Sistema Nacional Información de Ciencias Médicas (SNICM).

**Título: Efectividad de un software biomecánico para el análisis de la marcha en los servicios de Rehabilitación**

Effectiveness of biomechanical software for gait analysis in rehabilitation services

**Autores:**

Adrian González Méndez. Licenciado en Tecnología de la Salud perfil Terapia Física y Rehabilitación. Profesor Auxiliar. Investigador Agregado. Universidad de Ciencias Médicas Sancti Spiritus, Cuba. Correo: [adriangm@infomed.sld.cu](mailto:adriangm@infomed.sld.cu) Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9147-9170>

Niraida Márquez del Pozo. Doctora en Medicina. Especialista Primer Grado en Medicina General Integral. MSc. Atención a la mujer. Profesora Asistente. Universidad de Ciencias Médicas Sancti Spiritus, Cuba. Correo: [niraida.ssp@infomed.sld.cu](mailto:niraida.ssp@infomed.sld.cu) Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1932-6513>

Rusanna Maydelis Regalado López. Licenciada en Enfermería. MSc. en Urgencias Médicas. Universidad de Ciencias Médicas Sancti Spiritus, Cuba. Correo: [rusanna2022@infomed.sld.cu](mailto:rusanna2022@infomed.sld.cu) Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2667-3601>

Juan Carlos Mirabal Requena. Dr. Medicina. Especialista Segundo Grado en Medicina General Integral y Primer Grado en Medicina Física y Rehabilitación. MSc. Medicina Bioenergética. Profesor Auxiliar. Investigador Auxiliar. Dirección Provincial de Salud Sancti Spiritus, Cuba. Correo: [juancmirabal@infomed.sld.cu](mailto:juancmirabal@infomed.sld.cu) Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9159-6887>

Adolfo Cruz Carrera. Lic. Educación especialidad Física. MSc. en Educación. Profesor Auxiliar. Universidad de Ciencias Médicas Sancti Spiritus, Cuba. Correo: [adolfocc@infomed.sld.cu](mailto:adolfocc@infomed.sld.cu) Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5126-0238>

## Resumen

**Introducción:** El movimiento corporal humano constituido por patrones y factores motrices, es considerado como un elemento esencial de la salud y el bienestar. El análisis cualitativo y cuantitativo de las características y parámetros de la marcha ha despertado a través del tiempo un gran interés entre investigadores y clínicos, debido a que las alteraciones en los parámetros que la conforman han sido asociadas con factores antropométricos. **Objetivo:** Evidenciar la efectividad de un software biomecánico como modelo para el análisis de la marcha en pacientes afectados que acuden a los servicios de Rehabilitación. **Métodos:** Se realizó un estudio de análisis biomecánico, en el Hospital de Rehabilitación Dr. Faustino Pérez Hernández de Sancti Spiritus por la Universidad de Ciencias Médicas. Estructurado por dos etapas, donde en la primera etapa se valoró los aspectos de funcionamiento del software biomecánico (Kinovea). En la segunda etapa se procedió al trabajo con la muestra de estudio con el software biomecánico. **Conclusiones:** El empleo del software Kinovea en el análisis de los parámetros espaciotemporales de la marcha en sujetos con patología, refleja una excelente fiabilidad test-retest y un buen análisis biomecánico a pacientes en proceso de recuperación.

**Palabras claves:** Software biomecánico, Kinovea y marcha.

## **Introducción**

El movimiento corporal humano constituido por patrones y factores motrices, es considerado como un elemento esencial de la salud y el bienestar, resultado de la interacción de los diferentes dominios y sistemas corporales, que le permitirá al hombre un alto grado de funcionalidad e independencia para la realización de sus actividades de la vida diaria y las actividades básicas cotidianas. Como un componente esencial del movimiento, la marcha, constituye un patrón fundamental de gran complejidad, que estará relacionado con la capacidad de desplazamiento en el espacio, y por ende con la capacidad de interacción del hombre en el ambiente, siendo su alteración capaz de generar una discapacidad temporal o permanente (1).

La marcha es el resultado de una correcta coordinación entre músculos, tendones y articulaciones de las extremidades inferiores, para soportar el peso del cuerpo y desplazarlo en una determinada dirección. Se puede describir mediante un patrón cíclico en el que intervienen el sistema nervioso central y las respuestas sensoriales. Un ciclo de marcha o zancada, está definido como el tiempo o el espacio transcurrido entre el apoyo del talón de un pie y el apoyo del talón del mismo pie en el siguiente paso. Cada ciclo se divide en dos fases: la de apoyo (60 - 62 % del tiempo de cada ciclo) y la de balanceo (38 - 40 % del tiempo en cada ciclo) (2).

El análisis del movimiento humano y más concretamente de la marcha ha interesado a muchos desde tiempos remotos, existiendo referencias al respecto por parte de Aristóteles, Leonardo da Vinci, Hipócrates entre otros (3).

Otro pionero fue Eadweard Muybridge, fotógrafo e investigador inglés quien realizó importantes aportes al estudio del movimiento a partir del año 1860, mediante el uso de la fotografía seriada, la cual utilizó inicialmente para estudiar el galope de los caballos y determinar si en algún momento se mantenían sus cuatro patas separadas del suelo. Posteriormente realizó estudios en otros animales y en seres humanos. Marey realizó también estudios de movimiento en base a la fotografía y desarrolló un sistema simple para el análisis de presiones plantares. Con el tiempo los sistemas se fueron

perfeccionando, junto con la introducción de sistemas computacionales y el mayor desarrollo informático, para lograr obtener los modernos y sofisticados sistemas disponibles en la actualidad (3).

La exploración de la marcha dentro del proceso de evaluación del movimiento corporal humano, constituye una herramienta fundamental que revela las posibilidades motoras, la capacidad para llevar a cabo diferentes actividades cotidianas y el nivel de interacción social dentro del marco de los factores contextuales de cada individuo (1).

El análisis cualitativo y cuantitativo de las características y parámetros de la marcha ha despertado a través del tiempo un gran interés entre investigadores y clínicos, debido a que las alteraciones en los parámetros que la conforman han sido asociadas con factores antropométricos, procesos o cambios normales relacionados con el proceso de envejecimiento, o como consecuencia de alteraciones biomecánicas a causa de diferentes patologías, además de estar relacionadas con las alteraciones de otras estructuras corporales, que pueden generar desequilibrio musculares y ocasionar la alteración de la disposición corporal (1).

El laboratorio de análisis de movimiento permite el análisis de diferentes tipos de movimientos humanos; no obstante, el mayor desarrollo se ha enfocado en estudiar la marcha (3).

Las aplicaciones del laboratorio de marcha en el campo clínico se remontan a la década de 1960 en Norteamérica, con la creación del primer laboratorio de análisis de movimiento en el Hospital Shriners de San Francisco, por el Dr. David Sutherland, para estudiar las alteraciones biomecánicas de niños con parálisis cerebral. El Dr. Sutherland, cirujano ortopedista observó cómo había cambiado el panorama epidemiológico a consecuencia de los progresivos avances en la medicina a partir de la década de los años 40. Estos cambios determinaron la drástica disminución de las enfermedades infecciosas y la erradicación de la poliomielitis por el descubrimiento de los antibióticos y la creación de la vacuna anti polio (3).

Soares Leite define de la Biomecánica como el estudio de diferentes áreas relacionadas con el movimiento del ser humano y los animales, considerando entre otras cosas el

funcionamiento de los músculos, tendones, ligamentos, cartílagos y huesos, además de las cargas y sobrecargas de estructuras específicas, y otros factores que influyen en el desempeño. Mientras que para Ramón puede definirse de muchas maneras entre las cuales destaca que es la ciencia que examina las fuerzas internas y externas que actúan sobre el cuerpo humano y el efecto que ellas producen (4).

Un análisis biocinemático tiene elementos específicos que permiten abordar estudios minuciosos de un gesto técnico con el fin de llegar a una ejecución apropiada. Por tratarse de una rama de la biomecánica, el análisis biocinemático permite describir el movimiento en seres humanos, sin tener en cuenta las fuerzas que actúan, en función del ángulo o la posición relativa de las articulaciones (5).

En los servicios de Rehabilitación de la provincia de Sancti Spiritus no se cuenta con sistemas tecnológicos que permita un análisis profundo y exacto de la marcha a los pacientes que por diversas patologías. En la actualidad se observa con la visión del personal de los servicios las dificultades que puedan presentar los pacientes a la hora de deambular, sin elementos que den una precisión de los movimientos de miembros inferiores, por lo que se desconoce con exactitud que parte de los miembros inferiores no trabaja adecuadamente o que grupo muscular necesita un trabajo diferenciado para resolver ciertas dificultades de la marcha.

Lo expuesto constituye a un problema de salud en los servicios de Rehabilitación, su preocupación radica en la alta incidencia del personal que acude al servicio padeciendo de limitaciones a la hora de caminar normalmente.

Por todo lo antes expuesto se decidió realizar este estudio de desarrollo tecnológico con el objetivo de:

**Objetivo General:**

Evidenciar la efectividad de un software biomecánico como modelo para el análisis de la marcha en pacientes afectados que acuden a los servicios de Rehabilitación.

### Objetivos Específicos

1. Determinar los aspectos del funcionamiento del software biomecánico para el análisis de la marcha.
2. Valorar los resultados con la implementación del software biomecánico como elementos de análisis de la marcha en la muestra de estudio.

### Aspectos generales del estudio

Se realizó un estudio de análisis biomecánico, en el Hospital de Rehabilitación Dr. Faustino Pérez Hernández de Sancti Spiritus por la Universidad de Ciencias Médicas. Estructurado por dos etapas, donde en la primera etapa se valoró los aspectos de funcionamiento del software biomecánico (Kinovea). En la segunda etapa se procedió al trabajo con la muestra de estudio.

El **universo** estuvo compuesto por 12 pacientes, en función del cumplimiento de los criterios requeridos. La **muestra** estuvo definida por 5 pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión, lo que se les pidió un consentimiento informado para formar parte del estudio, y aprobado por el Comité de Ética y Consejo Científico de la Universidad de Ciencias Médicas.

El método utilizado para realizar los análisis de marcha es el análisis de sistemas en 2D y 3D, que consiste en capturar en video con una cámara normal el movimiento de la persona en el plano sagital para después medir los diferentes parámetros de la marcha, se colocan marcadores en las prominencias óseas a las personas a analizar; estas son el trocánter mayor (cadera), epicóndilo lateral (fémur), maléolo externo (tobillo) y la punta del metatarso del meñique (metatarso distal) (pie). Estos marcadores sirven de guía para medir los ángulos que formaran las piernas durante la marcha.

En el software libre Kinovea, se identifican, fotograma por fotograma, cada una de las fases y subfases de la marcha; el software permite dibujar en un fotograma los ángulos y cualquier otra línea para las medidas necesarias. Se toman tres ángulos de referencia: uno para la cadera, uno para la rodilla y uno para el talón. Previamente, en el software

debe definirse una distancia de referencia y un origen de coordenadas para que los valores mostrados sean lo más precisos posibles.

Luego de analizar los fotogramas relevantes, el programa permite exportar una hoja de cálculo que presenta en forma de tabla todas las mediciones realizadas en el fotograma correspondiente; estos resultados se organizan para obtener una tabla de los parámetros adicionales de cada marcha y tres tablas correspondientes a cada parte analizada (cadera, rodilla, tobillo). Posteriormente, se realiza una gráfica donde se puede comparar el desplazamiento angular de estos a través del tiempo; este procedimiento se repite para cada prueba de marcha realizada.

### **El procedimiento empleado para dar salida a los objetivos planteados en la presente investigación incluyó:**

- Con relación a determinar los aspectos de funcionamiento del software biomecánico (Kinovea), se procedió a la revisión inicial utilizando la técnica de búsqueda operadores Booleanos como operador de intersección (Y / AND) y operador somatório o de suma lógica (O / OR), en bases de datos indexadas (PubMed, CUMED, LILACS, SCIELO y BIREME), en función del cumplimiento de los siguientes criterios: Software biomecánico, Kinovea y marcha (anexo 1). De los 15 artículos, 9 fueron eliminados de la revisión final por incumplimiento de los criterios establecidos previamente. Finalmente, este trabajo analiza los 6 artículos restantes.
- La valoración de los resultados con la implementación del software biomecánico para el análisis de la marcha en la muestra de estudio, se pidió consentimiento informado a los estudiados, se les tomo videos en la realización de la marcha y se procedió al análisis de los videos filmados con el software biomecánico Kinovea donde se señalaron con marcadores las articulaciones para obtener información en sus movimientos al realizar la marcha.



## **Desarrollo**

### **Kinovea**

Kinovea software libre usado para el análisis de imágenes y videos, podemos mencionar diferentes funciones que cumple el software entre las más importantes tenemos, observar un video y analizarlo, calibrar imágenes o videos para luego tomar medidas, comparación con otros videos (6).

Este software se puede usar en sistemas operativos como Windows XP, Windows Vista y Windows 7, es importante mencionar que no se ha creado una versión que sea compatible con sistemas Mac OS X y GNU/Linux (6).

### **Este software es utilizado en:**

- Comparación entre dos videos de manera simultánea con el fin de hallar diferencias en la ejecución de movimientos.
- Alinear dos videos para ver el mismo movimiento desde diferentes puntos de vista.
- Señalar partes de los videos y añadir comentarios para trabajar con ellos posteriormente.
- Seguir trayectorias de movimiento de objetos o personas.
- Aplicar zoom o acercar la imagen del video un video para ver con mayor claridad alguna parte o región (6).

### **Herramientas**

Observación y control de videos:

Tiene en sus herramientas un explorador de archivos que nos permite navegar por las carpetas de videos del PC de manera fácil y sencilla. Cuenta con herramientas de control de videos con la capacidad de concentrarse en una acción o movimiento específico y luego estudiar cada parte del video fotograma a fotograma y también se puede usar cámara lenta. Este software admite cualquier tipo de archivo de video (6).



### Medición y análisis de videos:

Las herramientas que permiten dibujar permiten entender de mejor manera el vídeo a través del uso de flechas, comentarios con otros contenidos en las posiciones correctas. Las herramientas de trazo de línea y cronómetro permiten calibrar tomar medidas y tiempos (anexo 2) (6).

### Comparación con otros videos:

Este software cuenta con la facilidad de reproducir dos videos simultáneamente usando la herramienta de pantalla dual, se puede sincronizar los videos usando un movimiento común para su comparación. Las opciones de guardado nos permiten almacenar video, imágenes, gráficas en función del tiempo y guardar datos en Excel para procesarlos (6).

### Resultados

El promedio de edad fue de 37,4, el 60% representaron el sexo masculino y el esguince fue la patología que estuvo presente en dos pacientes representando el 40% (Tabla 1).

**Tabla 1.** Variables sociodemográficas de la muestra estudiada

| Variables     | Paciente 1            | Paciente 2        | Paciente 3                              | Paciente 4            | Paciente 5       |
|---------------|-----------------------|-------------------|---|-----------------------|------------------|
| Edad (años)   | 54                    | 23                | 31                                      | 44                    | 35               |
| Sexo          | M                     | F                 | M                                       | M                     | F                |
| Peso (libras) | 192                   | 165               | 167                                     | 181                   | 162              |
| Altura (cm)   | 188                   | 154               | 175                                     | 183                   | 166              |
| Patología     | Esguince (grado1) MID | Condromalacia MID | Fractura de cadera (no desplazante) MII | Esguince (grado2) MID | Gonoartrosis MII |

Fuente: encuesta

MID: Miembro inferior derecho

MII: Miembro inferior izquierdo

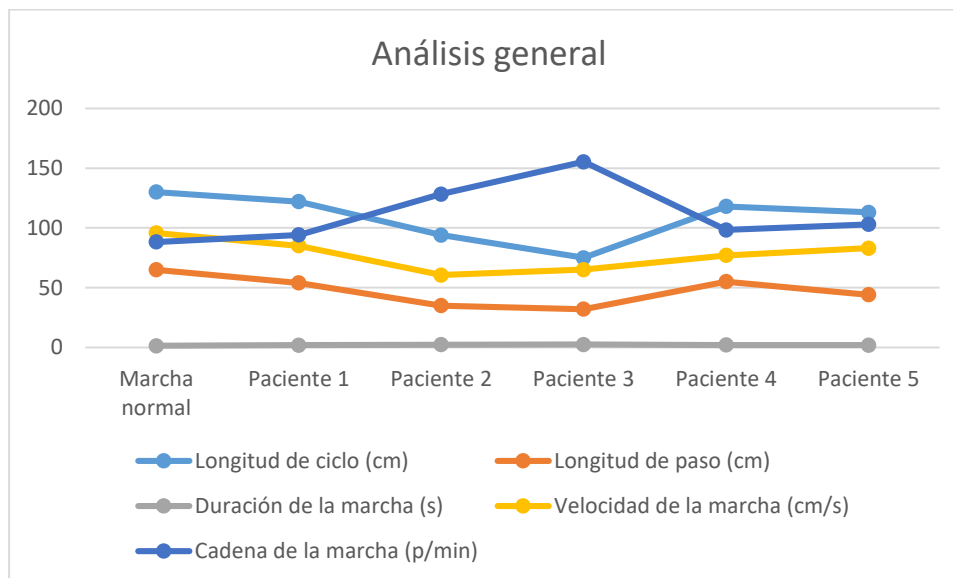
En el análisis de la marcha los dos pacientes que padecían de esguince fueron los que más se acercaron a los parámetros normales en relación a la longitud de ciclo y cadena de la marcha (Tabla 2).

**Tabla 2.** Análisis de parámetros espaciales estudiados

| Parámetros espaciales         | Marcha normal | Paciente 1 | Paciente 2 | Paciente 3 | Paciente 4 | Paciente 5 |
|-------------------------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Longitud de ciclo (cm)        | 130           | 122        | 94         | 75         | 118        | 113        |
| Longitud de paso (cm)         | 65            | 54         | 35         | 32         | 55         | 44         |
| Duración de la marcha (s)     | 1,36          | 1,89       | 2,21       | 2,45       | 2,03       | 1,83       |
| Velocidad de la marcha (cm/s) | 95,8          | 85         | 60,5       | 65,1       | 77         | 83         |
| Cadena de la marcha (p/min)   | 88,2          | 94,1       | 128,3      | 155,3      | 98,3       | 103        |

Fuente: análisis con el software biomecánico

**Grafica 1.** Análisis de parámetros espaciales estudiados



Fuente: análisis de los datos en Microsoft Excel

En el análisis biomecánico de la marcha por cada miembro inferior de los pacientes se pudo detectar con exactitud la amplitud en ángulo de cada articulación, donde se demostró el déficit angular en la articulación afectada de cada miembro inferior y se comparó con las angulaciones normales por cada movimiento (Tabla 3).

**Tabla 3.** Análisis biomecánico de la marcha por miembros en grados de movimiento

| Biomecánica de la marcha                       | Parámetros normales | Paciente 1 |     | Paciente 2 |     | Paciente 3 |     | Paciente 4 |     | Paciente 5 |     |
|--|---------------------|------------|-----|------------|-----|------------|-----|------------|-----|------------|-----|
|  |                     | MID        | MII | MID        | MII | MID        | MII | MID        | MII | MID        | MII |
| Flexión de cadera                              | 10°                 | 10°        | 10° | 6°         | 10° | 10°        | 4°  | 10°        | 10° | 9°         | 8°  |
| Flexión de rodilla durante el periodo de apoyo | 20°                 | 20°        | 16° | 15°        | 20° | 19°        | 17° | 20°        | 20° | 17°        | 14° |
| Flexión plantar del tobillo                    | 15°                 | 15°        | 11° | 13°        | 14° | 15°        | 13° | 14°        | 7°  | 14°        | 11° |
| Dorsiflexión del tobillo                       | 8°                  | 8°         | 5°  | 7°         | 8°  | 8°         | 7°  | 8°         | 3°  | 7°         | 5°  |

Fuente: análisis con el software biomecánico

MID: Miembro inferior derecho

MII: Miembro inferior izquierdo

### Valoración económica y aporte social.

#### Impacto Económico:

Este software tiene un impacto económico ya que se puede analizar mejor las deficiencias de la marcha en los tratamientos con más detalles, así se trabaja directamente a las necesidades individuales de cada paciente y disminuirá el tiempo de estancia en los servicios, disminuyendo el trabajo en equipos y en corriente.

### **Impacto Social:**

Esta terapia tiene un impacto social pues facilita en gran medida la recuperación de pacientes, trabajando directamente en las necesidades reales de recuperación individualizadas y su reincorporación a su vida social en un tiempo corto.

### **Conclusiones**

El empleo del software Kinovea en el análisis de los parámetros espaciotemporales de la marcha en sujetos con patología, refleja una excelente fiabilidad test-retest y un buen análisis biomecánico a pacientes en proceso de recuperación. Por tanto, el software es una herramienta accesible y de fácil manejo con la que aporta a la evaluación clínica datos objetivos cuando no se dispone de sistemas más sofisticados como son los sistemas de análisis tridimensional del movimiento.

### **Recomendaciones**

El Kinovea debe ser considerado como herramienta de trabajo en todos los servicios de Rehabilitación de la Provincia para lograr un mejor análisis biomecánico en los pacientes con harás de perfeccionar el servicio a brindar.

### **Referencias Bibliográficas**

1. Agudelo-Mendoza AI, Briñez-Santamaria TJ, Guarín-Urrego V, Ruiz-Restrepo JP, Zapata-García C. Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. CES Movimiento y Salud. 2013; 1:29-43. Disponible en: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60512264/Marcha20190906-110578ft1wr4libre.pdf?1567827838=&responsecontentdisposition=inline%3B+filename%3DMarcha.pdf&Expires=1676570671&Signature=XCIkc6342BO26nDu6ZmF4OA69frwi5S0dGxy9diwPGUMkxgKo2ayPIOvS20aB1Jb2qxWGlzXUQpDRfZk63a2XeqlhFyYdCMbly4xgSHNhvy3cGxUmG~K4Jj6Fan9s9LzcCndoBjYsuFHmW>

[XdX1RACRxHwa~UeyQPc71wYeyWQgVP5mRqwwHZ~kEKb4Hi5H6KZJmbc92  
iZVyvSDCT6US1f4nJasyKqOyfRAIx2TPwYBQX4Qx90Qw3uqGRB4eSjzDOPtm2  
nP8ACdtTdAHrOpWKjAHtlouqyVs3lugmSH9GPcb7~Gt51nfDGQpOfHWC9oYco  
qL9GcpeP75NH9Q\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(14)70034-3)

2. Haro DM. Laboratorio de análisis de marcha y movimiento. REV. MED. CLIN. Condes. 2014; 25(2): 237-247. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(14\)70034-3](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(14)70034-3)
3. Cerda AL. Manejo del trastorno de marcha del adulto mayor. REV. MED. CLIN. Condes. 2014; 25(2): 265-275. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(14\)70037-9](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(14)70037-9)
4. Sangucho-Hidalgo NP, Rivadeneira-Arias KN, Aguilar-Morocho EK. Biomecánica aplicada a la técnica de salto de longitud de la medallista paralímpica Kiara Rodríguez. sportk. 2022; 11:42. Disponible en: <https://revistas.um.es/sportk/article/view/523841>
5. Muñoz-Vivas OI, Gutiérrez-Galvis AR, Gutiérrez-Casa MV, Collazos-Morales CA. Análisis biocinemática de la fase de vuelo de un volteo simple extendido adelante con medio giro de los gimnastas hombres de la selección Colombia con rueda alemana. Impetus. 2021; 13(2):48-54. Disponible en: <https://revistas.unillanos.edu.co/index.php/impetus/article/view/508>
6. Beltran-Albarracin DA. Validación de Kinovea como herramienta para el análisis de posturas en tareas sedentarias. [Trabajo de integración curricular presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Mecánico] Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2022. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22362>

**Anexos**

**Anexo 1.** Tabla sobre las búsquedas bibliográficas del tema a tratar en algunas bases de datos.

| <b>Base de datos</b> | <b>Búsqueda</b>                        | <b>Límites</b>   | <b>Resultados</b> | <b>Archivos de interés</b>   |
|----------------------|--|--|-------------------|--|
| PubMed               | Software biomecánico, Kinovea y marcha | Clinical trial, Guideline, Review y Randomized controlled trial. | 7                 | 1<br>Se excluyen 6 artículos por no cumplir los criterios de inclusión o no tener relación con el tema a tratar. |
| CUMED                | Software biomecánico, Kinovea y marcha | Clinical trial, Guideline, Review y Randomized controlled trial. | 4                 | 1<br>Se excluyen 3 artículos por no cumplir los criterios de inclusión o no tener relación con el tema a tratar. |
| LILACS               | Software biomecánico, Kinovea y marcha | Clinical trial, Guideline, Review y Randomized controlled trial. | 2                 | 2  |
| SCIELO               | Software biomecánico, Kinovea y marcha | Clinical trial, Guideline, Review y Randomized controlled trial. | 2                 | 2  |
| BIREME               | Software biomecánico, Kinovea y marcha | Clinical trial, Guideline, Review y Randomized.                  | 0                 | 0  |

**Anexo 2.** Medición y análisis de videos por fotogramas en el software biomecánico Kinovea.

