

# Prácticas de Biomecánica de la Actividad Física y del Deporte

## Análisis biomecánico de la carrera de larga distancia



Alba Herrero-Molleda

Juan García-López

Marina Gil-Calvo

Raúl Alberto Barba-Martín

Ángel Pérez-Pueyo

Carlos Gutiérrez-García



Alba Herrero-Molleda, Juan García-López, Marina Gil-Calvo,  
Raúl Alberto Barba-Martín, Ángel Pérez-Pueyo y  
Carlos Gutiérrez-García

# Prácticas de Biomecánica de la Actividad Física y del Deporte: Análisis biomecánico de la carrera de larga distancia

Prácticas de biomecánica de la actividad física y del deporte : análisis biomecánico de la carrera de larga distancia / Alba Herrero-Molleda [et al.] . – León : Universidad de León, Servicio de Publicaciones, 2023.

1 recurso en línea (21 p.)

Título tomado de la portada del PDF. –Referencias: p. 14

ISBN 978-84-19682-37-6

1. Biomecánica. 2. Carreras a pie. I. Herrero-Molleda, Alba. II. Universidad de León. Servicio de Publicaciones.

612.76:796.422.16

796.422.16:612.76

Edita: UNIVERSIDAD DE LEÓN. Servicio de Publicaciones

ISBN: 978-84-19682-37-6



Atribución No Comercial Sin Derivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato bajo los siguientes términos:

**Atribución:** Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar 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 usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

**No Comercial:** Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

**Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o crea a partir del material, no podrá distribuir el material modificado.



En esta colección de Prácticas de Biomecánica de la Actividad Física y del Deporte utilizaremos el masculino genérico por razones de facilidad de lectura y economía lingüística. Salvo que se manifieste lo contrario, todas las menciones en tal género representan siempre a hombres y a mujeres.

Portada: Corredor. Imagen creada a través de una herramienta de generación de imágenes por medio de inteligencia artificial.

León, 2023



Esta editorial es miembro de UNE, lo que garantiza la difusión y comercialización de sus publicaciones a nivel nacional e internacional.

# 1

## Introducción

La carrera a pie es una de las actividades deportivas más antiguas de las que se tiene constancia y una de las escasas pruebas que componían los Juegos Olímpicos de la antigüedad. Hasta mediados del siglo XX, su práctica se manifestó fundamentalmente en un ámbito competitivo. A partir de entonces, también comenzó a desarrollarse a nivel recreativo, aumentando su popularidad progresivamente hasta el punto de que, hoy en día, millones de personas la practican a nivel global, cubriendo distancias desde los 5 km a la maratón (Scheerder et al., 2015). Tomando como ejemplo España, del total de población que realizó actividad física en el año 2021, el 15% practicó running o carrera a pie, mientras que, a nivel federado, 85.539 personas tenían una licencia en la Real Federación Española de Atletismo (Ministerio de Cultura y Deporte, 2022; Consejo Superior de Deportes, 2022). El éxito de esta actividad está relacionado con su simplicidad y accesibilidad, ya que prácticamente no se necesita material e instalaciones para poder practicarla. Sus efectos positivos sobre la salud, así como las interacciones sociales y las experiencias lúdicas que aporta a cualquier nivel y edad, son otros de los principales motivos de su elevada popularidad (Boullosa et al., 2020).

Al igual que sucede en cualquier modalidad deportiva, los practicantes de carrera a pie están expuestos a sufrir molestias o lesiones derivadas de su práctica. Actualmente, se acepta que el 50% de los corredores se lesionan, al menos, una vez al año, y que el 25% se lesionan en un momento dado (por ejemplo, en una determinada carrera). (Fields et al., 2010). En este sentido, investigaciones realizadas en el campo de la biomecánica deportiva han señalado que el volumen de entrenamiento y diversas variables biomecánicas (i.e., patrón de pisada, pronación del pie, etc.) son los principales factores relacionados con las lesiones (Rixe et al., 2012). Por ello, cualquier corredor en general, y, en mayor medida, el profesional en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, debería conocer las variables biomecánicas fundamentales de la carrera, para así poder determinar y corregir posibles desajustes, con el doble objetivo de mejorar su rendimiento y prevenir posibles lesiones (Glazier & Mehdizadeh, 2019). En esta práctica aprenderás a realizar un análisis biomecánico de la carrera de larga distancia, que podrás aplicar a deportistas de diferentes modalidades.

# 2

## Resultados de aprendizaje

Al finalizar esta práctica serás capaz de...

- Analizar las principales variables biomecánicas del plano frontal y sagital de un corredor.
- Proponer los ajustes pertinentes, en función de los resultados obtenidos, que permitan mejorar los indicadores biomecánicos analizados.

# 3

## Fundamentación teórica

Como se ha mencionado en el apartado anterior, la carrera es una actividad físico-deportiva de elevada exigencia para el sistema musculoesquelético humano. Por ello, es necesario

realizar un análisis biomecánico que permita determinar si existen anomalías en la biomecánica de la carrera (i.e., valores excesivos o grandes diferencias entre los hemicuerpos derecho e izquierdo). Estas anomalías pueden deberse a déficits técnicos (e.g., baja frecuencia de zancada, incorrecta inclinación del tronco, mal uso de los brazos), déficits musculoesqueléticos (e.g., falta de flexibilidad, fuerza) o un uso inadecuado de materiales (e.g., calzado, ortesis). El éxito del análisis biomecánico de la carrera consistiría en saber seleccionar los cambios pertinentes en las variables anteriores.

Para llevar a cabo el análisis, el deportista deberá correr en un tapiz rodante o en una pista de atletismo a su ritmo de entrenamiento o competición. En ambos casos, tras 4-5 minutos de calentamiento, se realizarán dos grabaciones del deportista desde los planos sagital y frontal posterior, a una velocidad de 120 o 240 fotogramas por segundo (fps) y con una duración aproximada de 5 a 8 segundos. Es importante que el deportista lleve ropa que se ajuste lo más posible a su figura (e.g., licra), ya que esto permitirá identificar posteriormente las referencias anatómicas con exactitud y, con ello, realizar un análisis más exacto de las diversas variables. Posteriormente, durante el análisis de los vídeos, todas las mediciones deberán realizarse por triplicado, debiendo calcular la media de los datos obtenidos para lograr una mayor precisión.

A continuación, se explicará de manera detallada el procedimiento a seguir para analizar las diferentes variables de los planos sagital y frontal del corredor (Souza, 2016).

### PLANO SAGITAL

La mayoría de las variables analizadas en este plano se relacionan con el rendimiento del corredor, aunque algunas de ellas tengan también influencia directa en la prevención de lesiones. Es importante destacar que solo debe analizarse la pierna más cercana a la cámara y se debe asumir simetría entre ambas extremidades, salvo que el objetivo sea analizar las diferencias entre los hemicuerpos derecho e izquierdo, en cuyo caso será necesaria una filmación para cada hemicuerpo (i.e., una grabación por cada lado).

➤ **Frecuencia de zancada.** Número de zancadas que da el corredor en un minuto (zpm). Se puede medir utilizando el software Kinovea o manualmente, usando un cronómetro durante la grabación. Para realizar la medición con Kinovea, se registra el tiempo que el corredor tarda en dar dos zancadas (4 pasos) utilizando la herramienta “cronómetro” (Figura 1). Se debe cronometrar desde el contacto del talón con el suelo hasta el contacto dos zancadas después. A continuación, este dato



se utiliza para obtener los hercios (Hz) o número de zancadas por segundo (i.e., 2/tiempo registrado en las dos zancadas), lo que nos permitirá calcular cuántas se realizan en un minuto (i.e., Hz x 60). En caso de medir la frecuencia de zancada durante la grabación del vídeo, únicamente deberemos contar el número de zancadas con uno de los dos pies (i.e., derecho o izquierdo) que da el atleta en 30 s y multiplicar por dos este dato. No obstante,

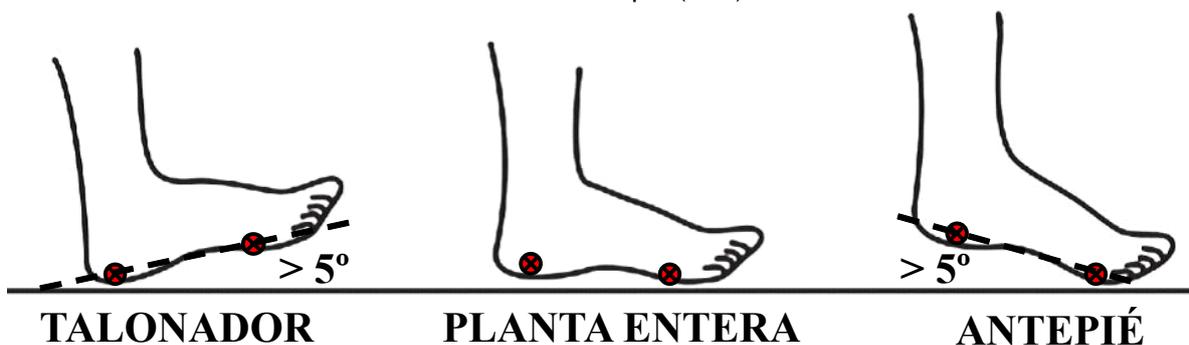
este método no es tan exacto como el citado anteriormente. Lo ideal, con ambos métodos, es que el corredor realice ~90 zpm a ritmo de entrenamiento y 90-100 zpm a ritmo de competición (Ogueta-Alday & García-López, 2016). Una frecuencia excesivamente baja altera la mecánica de carrera, aumentando el impacto y provocando desajustes en variables tanto del plano sagital como del frontal (e.g., excesiva flexión de rodilla en la fase de medio-apoyo, excesiva basculación de la pelvis). Por lo tanto, si se detecta una frecuencia demasiado baja, sería aconsejable realizar entrenamientos de *feedback* en tapiz rodante, con el objetivo de aumentar la misma (Ogueta-Alday et al., 2014).

➤ **Patrón de pisada.** Esta variable se refiere al ángulo que describe la zapatilla con el suelo en el momento de contacto. Para medirlo con Kinovea, se utiliza la herramienta de medidor de ángulos, marcándose la base del talón (calcáneo) y el 5º metatarso en el primer fotograma en el que se observe una deformación de la zapatilla en el contacto con el suelo (Figura 2). También puede medirse en la suela de la zapatilla, a la altura de los citados puntos. Para realizar la medición de manera precisa es importante, en ambos casos, tomar una línea horizontal de la imagen como referencia (*i.e.*, el tapiz rodante, el marco de una puerta ...). Principalmente, se diferencian tres tipos de corredores en función de su patrón de pisada: talonador ( $>5^\circ$ ) planta entera ( $>5^\circ$  a  $>>5^\circ$ ) y antepié ( $>-5^\circ$ ) (Figura 3). En una carrera popular, más del 80-90% de los corredores son talonadores y, el resto, son de planta entera y antepié (Ogueta-Alday & García-López, 2016). Los corredores talonadores presentan más molestias en la espalda y la rodilla, mientras que los corredores de planta entera o antepié las presentan en el tríceps sural y el arco plantar. Se conoce que los patrones de planta entera y antepié son necesarios para correr a velocidades superiores a 20 km/h. Esto se debe a que utilizan aproximadamente un 10% menos de tiempo de apoyo que el patrón talonador, lo cual permite el tiempo de vuelo necesario para conseguir una elevada amplitud de zancada (imprescindible, ya que la frecuencia de zancada puede aumentarse hasta un máximo de ~100 zpm) (Ogueta-Alday et al., 2014). Sin embargo, es un error bastante frecuente intentar cambiar el patrón de pisada a velocidades comúnmente utilizadas en las carreras de larga distancia a nivel recreativo (17 km/h o menos), ya que se desconocen los factores que determinan el patrón de pisada de cada corredor, así como los efectos a medio-largo plazo de este cambio en su sistema musculoesquelético (Ogueta-Alday & García-López, 2016).

Figura 2. Medición del patrón de pisada de un corredor de antepié.



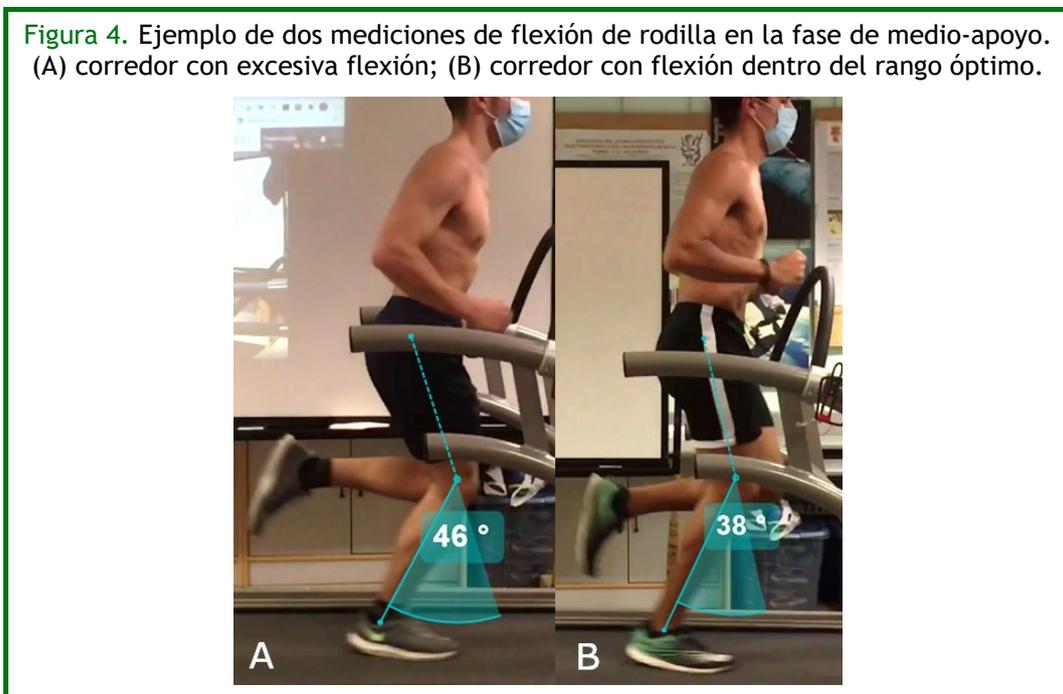
Figura 3. Patrón de pisada de un corredor talonador ( $<5^\circ$ ), de planta entera ( $<5^\circ$  a  $<-5^\circ$ ) y de antepié ( $>-5^\circ$ ).



➤ **Inclinación de la tibia en el impacto.** Esta variable debe analizarse, al igual que el patrón de pisada, en el primer fotograma que muestra el contacto con el suelo. En este instante, la tibia debería llegar lo más vertical posible respecto al suelo, con el objetivo de encontrarse alineada con la fuerza de reacción generada en el mismo (que también es muy vertical). En caso de que la tibia se encuentre demasiado inclinada hacia atrás, pueden producirse efectos negativos derivados del estrés mecánico en la misma (e.g., periostitis tibial). En inglés se utiliza el término “*overstride*” para indicar que la tibia está demasiado inclinada hacia atrás respecto al suelo, lo cual suele estar asociado con una baja frecuencia de zancada o un patrón de pisada excesivamente talonador (Souza, 2016). Aumentar la frecuencia de zancada y/o utilizar un calzado con menor “*drop*” (i.e., diferencia de altura de la mediasuela entre el retropié y el antepié) pueden resultar estrategias efectivas para corregir esta desviación.

➤ **Flexión de rodilla en la fase de medio-apoyo.** Para medir esta variable, se debe localizar el fotograma en el que la rodilla más cercana a la cámara oculta por completo a la otra rodilla durante el apoyo del pie. A continuación, se utiliza la herramienta de medición de ángulos de Kinovea para registrar el ángulo formado entre el trocánter mayor fémur (si se tienen dificultades para localizar este punto, intentar dividir el muslo en dos mitades iguales), el cóndilo femoral externo y el maléolo del peroné (Figura 4B). Si el dato obtenido es superior a 40-45° indica un excesivo hundimiento durante el apoyo (i.e., bajo “*leg stiffness*”) (Souza, 2016), que estaría deteriorando la economía de carrera del corredor por una mayor oscilación vertical del centro de gravedad (Figura 4A). En este caso, puede que el corredor presente un déficit de fuerza muscular en las extremidades inferiores o que utilice una baja frecuencia de zancada. Si se descarta esta segunda opción, sería aconsejable valorar diferentes manifestaciones de la fuerza de las extremidades inferiores (e.g., fuerza máxima, fuerza elástico-reactiva).

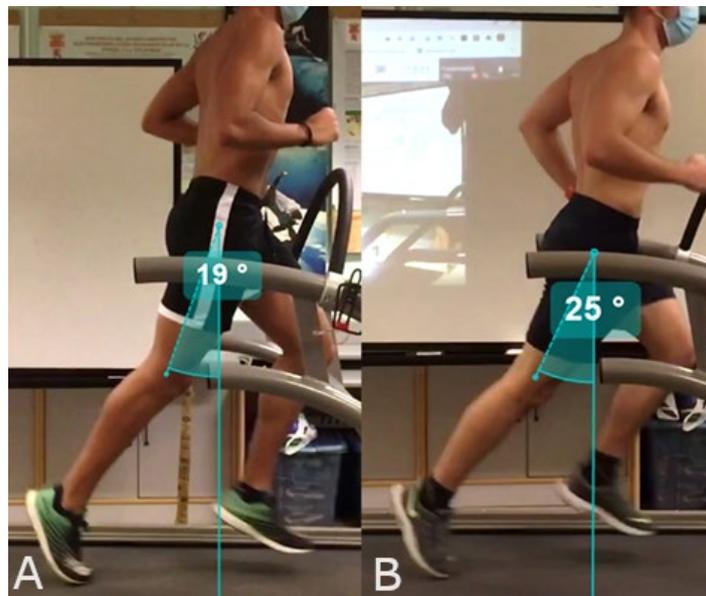
Figura 4. Ejemplo de dos mediciones de flexión de rodilla en la fase de medio-apoyo. (A) corredor con excesiva flexión; (B) corredor con flexión dentro del rango óptimo.



➤ **Extensión de la cadera en el despegue.** Esta variable hace referencia al grado de extensión de la cadera respecto a la vertical en el momento de despegue del suelo. El fotograma de referencia debe ser el primero en el que la zapatilla despega del suelo por completo. Con la herramienta medidor de ángulos de Kinovea, se registra el ángulo generado entre la vertical

(tomando como referencia algún elemento del vídeo, como una puerta) y el cóndilo femoral externo, con el eje en el trocánter mayor del fémur. Es importante marcar con exactitud este último punto, porque afectará al ángulo registrado. El ángulo de extensión de cadera obtenido debe ser  $>20^\circ$ , y aumentará conforme aumente la velocidad de carrera (Figura 5B). Un dato inferior a  $20^\circ$  a velocidad de entrenamiento o competición (Figura 5A) puede deberse a una escasa inclinación del tronco hacia delante (i.e., técnica de carrera inadecuada, el centro de gravedad del corredor sale muy vertical respecto al suelo) o a una falta de movilidad articular en la extensión de cadera (i.e., acortamiento de la musculatura flexora de la cadera, principalmente el psoas ilíaco y/o el recto anterior del cuádriceps) (Souza, 2016). En este segundo caso, sería aconsejable valorar la flexibilidad de los músculos flexores de la cadera (e.g., Test de Ely, Test de Thomas).

Figura 5. Ejemplo de dos mediciones de extensión de cadera en el despegue. (A) corredor con escasa extensión; (B) corredor con extensión óptima.



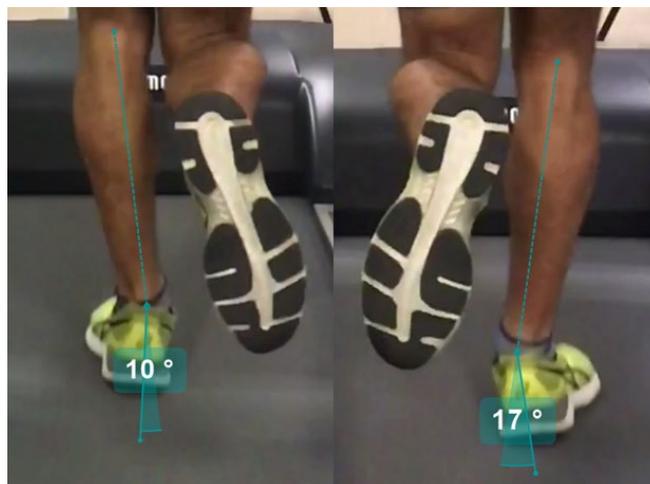
➤ **Inclinación del tronco y apertura de los brazos.** El análisis de estas variables se realiza de manera cualitativa. La inclinación del tronco debe estar en torno a los  $10^\circ$  respecto a la vertical, tomándose como referencia los puntos anatómicos del trocánter mayor del fémur y el vértex. Una inclinación insuficiente suele estar asociada con un exceso de vuelo (i.e., despegue muy vertical) o con el “*overstride*” (i.e., excesivo alargamiento del paso). Una inclinación excesiva estaría asociada con un exceso de gasto energético al correr (i.e., energía extra debida a la activación de los músculos extensores del tronco). Por otra parte, un movimiento no simétrico de los brazos puede ser un indicador de problemas de estabilidad o fuerza durante el apoyo, vinculados a las variables que se analizarán en el siguiente plano.

### PLANO FRONTAL POSTERIOR

La mayoría de las variables analizadas en este plano se relacionan con la prevención de lesiones, aunque algunas de ellas también tendrán incidencia en el rendimiento deportivo. Al contrario que en el plano sagital, en este caso deben analizarse las dos extremidades, ya que pueden existir diferencias importantes entre ambas. Si la diferencia de ángulo entre los hemicuerpos derecho e izquierdo es mayor de  $5^\circ$ , puede considerarse que el comportamiento no es simétrico (i.e., existe asimetría).

➤ **Pronación del pie.** La pronación del pie indica su grado de eversión en el momento de apoyo con el suelo. Para su medición se debe localizar el fotograma en el que el corredor se encuentre en la fase de medio-apoyo (i.e., cuando el talón contrario está más elevado o una rodilla alcanza a la otra). Utilizando la herramienta de medición de ángulos de Kinovea, deben marcarse el tendón de Aquiles (eje) y el hueso poplíteo, y se debe dividir la zapatilla en dos mitades simétricas (Figura 6). Se diferencian tres tipos de corredores en función de su pronación: supinador ( $<5^\circ$ ), pronador neutro ( $5-15^\circ$ ) e hiperpronador ( $>15^\circ$ ) (Souza, 2016). La mayoría de los corredores son pronadores neutros ( $5-15^\circ$ ), ya que la pronación es un mecanismo natural de amortiguación del impacto durante el apoyo, fundamentalmente en los corredores talonadores (80-90% de la población). En los corredores de planta entera y antepié esta amortiguación puede conseguirse gracias a una mayor flexión de rodilla y flexión plantar de tobillo en el momento de impacto con el suelo, por lo que es habitual que este tipo de corredores sean supinadores. No obstante, no debe establecerse una relación directa entre ambas variables, ya que esta solo se cumpliría en dos tercios de los casos analizados. No existe evidencia científica de la necesidad de corregir la pisada de los corredores supinadores. Contrariamente, la hiperpronación se ha asociado con un aumento de lesiones en practicantes de carreras de larga distancia (Ogueta-Alday et al., 2014), pudiendo corregirse mediante la utilización de calzado con mayores elementos de control del pie (i.e., mayor contrafuerte, más densidad de la mediasuela en la cara interna del pie), mediante la utilización de ortesis plantares (i.e., plantillas con soporte del arco plantar, plantillas con resistencia a la pronación) o mediante el entrenamiento de la musculatura intrínseca del pie (i.e., ejercicios de fortalecimiento del pie).

Figura 6. Medición de la pronación de ambos pies de un corredor.



➤ **Basculación de la pelvis.** Se define como el movimiento de basculación de la pelvis respecto a la horizontal en el momento de apoyo con el suelo. Se mide en el mismo fotograma que la variable anterior (i.e., fase de medio-apoyo), utilizando la herramienta de medición de ángulos de Kinovea. Tomando como referencia algún elemento horizontal de la imagen, se ubica el vértice del ángulo en la unión lumbosacra o marca de pantalón, situando el otro marcador en el lado contrario, siguiendo la línea del pantalón. Si existiesen dificultades para determinar con claridad los puntos anteriormente indicados, una referencia indirecta es observar la diferencia de alturas entre la pernera de uno y otro pantalón en la fase de medio-apoyo (Figura 7B). En la fase de medio-apoyo, es importante que la pelvis se encuentre lo más horizontal posible (i.e., no debiendo superar los  $5-6^\circ$  de angulación) (Figura 7A), asegurando que existe una buena estabilidad en el pie y/o un buen

trabajo de los músculos estabilizadores de la cadera. Si, cualitativa o cuantitativamente, se observa una excesiva basculación de la pelvis, es necesario valorar el equilibrio sin calzado (e.g., test de equilibrio en apoyo monopodal) y la fuerza de los músculos abductores de la cadera (e.g., “*Single leg squat*”, test de Trendelenburg) de la pierna que estaba apoyada mientras se producía la excesiva basculación. Si ambas valoraciones fuesen normales, puede considerarse la falta de estabilidad del calzado o la falta de fuerza en la musculatura central del tronco (i.e., Core) como posibles causas de la misma.

Figura 7. (A) medición de la basculación de la pelvis de un corredor; (B) ejemplo de un corredor sin ventana de rodilla.

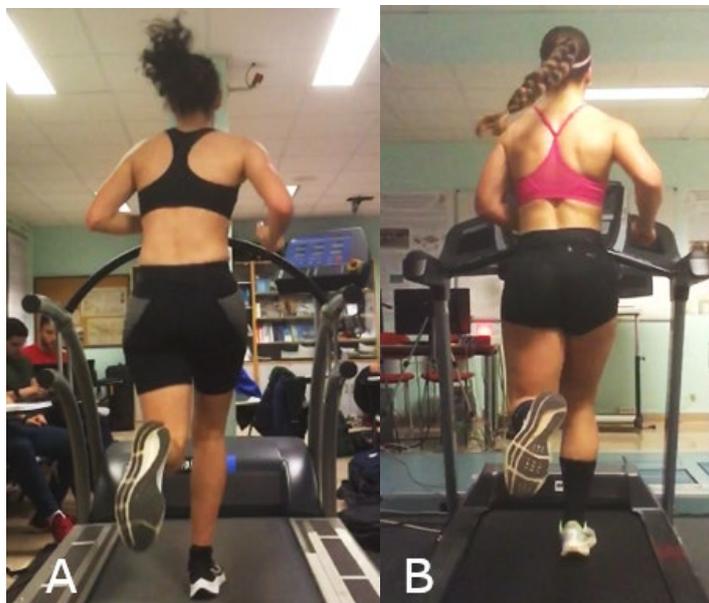


➤ **Ventana de rodilla.** Esta variable se refiere al espacio existente entre ambas rodillas durante la carrera, concretamente en la fase de medio-apoyo. Su análisis se realiza de manera cualitativa, debiendo observarse un espacio entre ambas rodillas (i.e., la ventana de rodilla esté abierta). De esta manera existe una mejor alineación entre las tres principales articulaciones de las extremidades inferiores (i.e., cadera, rodilla y tobillo), lo que favorece que la tensión soportada por la rodilla en los planos frontal y transversal disminuya (i.e., menores momentos de aducción y rotación externa, respectivamente). Una ventana de rodilla cerrada suele asociarse a un exceso en la basculación de la pelvis, por lo que puede deberse a las mismas causas que se han indicado en el apartado anterior (Figura 7B). Si existe una excesiva separación en la alineación de los pies en apoyos sucesivos es probable que la ventana de rodilla no se cierre, pero se observe una excesiva basculación de la pelvis (i.e., el centro de gravedad no cae en la base del pie de apoyo). Adicionalmente, y por su vínculo con el ángulo Q (i.e., ángulo formado por las líneas del fémur y de la tibia), las mujeres practicantes de carrera tienen una mayor tendencia que los hombres a que se cierre la ventana de rodilla. En cualquier caso, durante la carrera de larga distancia, en hombres y mujeres, la ventana de rodilla no debería cerrarse completamente en el apoyo.

➤ **Lateralización del tronco y excesiva separación de los brazos.** En ambos casos, se trata de movimientos estabilizadores durante la carrera. La lateralización del tronco es un movimiento compensatorio que intenta desplazar parte de la masa del tronco (i.e., el centro de gravedad) hacia el pie que está en apoyo, bien por una excesiva basculación de la pelvis (e.g., déficit de estabilidad en el apoyo...), por una excesiva separación en la alineación de los pies en apoyos sucesivos (ver siguiente punto) o por una falta de fuerza en la musculatura central del tronco (i.e., Core) (Figura 8A). La excesiva separación de los brazos, sobre todo

si es asimétrica en ambos apoyos, indica que existe un movimiento para compensar alguno de los déficits que se han indicado anteriormente (Figura 8B).

Figura 8. (A) corredora con lateralización del tronco; (B) corredora con separación de los brazos asimétrica.



➤ *Rotación del pie en el apoyo y alineación de los pies en apoyos sucesivos.* La rotación del pie en el apoyo se refiere a su orientación respecto a la línea de carrera. El pie debe estar rotado externamente de manera que su cara exterior pueda verse durante todo el apoyo, considerándose una anomalía severa cuando está rotado internamente y se puede ver su cara interior (Souza, 2016). En este último caso, se recomienda derivar al corredor a un médico especialista en traumatología. Si la rotación externa es excesiva puede deberse a una falta de fuerza en la musculatura aductora y/o rotadora interna de la cadera. Por otra parte, en sucesivos apoyos los pies deben estar alineados (Figura 9), nunca cruzarse o estar demasiado separados. Para medir esta variable podemos marcar con una línea el centro de la zapatilla durante el apoyo y verificar que el siguiente apoyo coincide sobre esta. Una alineación de los pies en apoyos sucesivos es un indicio de una buena economía de carrera, ya que permite que la trayectoria del centro de gravedad del deportista sufra una menor oscilación medio-lateral.

Figura 9. (A) imágenes superpuestas de corredor con alineación correcta de apoyos sucesivos; (B) corredor con rotación interna del pie anormal durante el apoyo (Imagen de Souza, 2016).



➤ *Dirección y velocidad de rotación del pie en el despegue.* Se sabe poco de estas variables, pero pueden indicar tensión de rotación en el apoyo. Si el fémur genera tensión de rotación interna, la tibia girará externamente y viceversa (Figura 10). La velocidad a la que lo hace puede ser indicativa de la tensión generada en el apoyo.

Figura 10. Ejemplo de corredora con incorrecta dirección y velocidad de rotación del pie en el despegue.



Una vez analizadas todas las variables, es necesario realizar una síntesis de las principales deficiencias identificadas. Posteriormente, se pueden plantear una serie de pruebas (anamnesis, material o cinesiológicas) para determinar el origen de las anomalías observadas.

En el Anexo I se presenta un cuadro resumen de las principales variables a analizar en los planos sagital y frontal posterior al realizar un análisis biomecánico de la carrera de larga distancia.

## 4

## Materiales

Esta práctica está diseñada para grupos de aproximadamente 20 estudiantes, organizados en subgrupos de 4-5 estudiantes. Los materiales necesarios para llevarla a cabo son los que muestra la siguiente tabla.

Para los estudiantes		Para el profesor	
✓ Móvil ( $\geq 120$ fps).	✓ Un ordenador con el software Kinovea por cada subgrupo.	✓ Ordenador.	✓ Trípode.
✓ 20 hojas de registro (Anexo II).		✓ Software Kinovea.	✓ Cinta de correr.
		✓ Proyector y pantalla.	✓ Móvil ( $\geq 120$ fps).

## 5

## Desarrollo

El tiempo previsto para la realización de esta práctica es de 90-100 min, que pueden distribuirse en una única sesión o en dos sesiones de 45-50 min. Trabajaremos en grupos de 4-5 estudiantes, con el objeto de favorecer la participación activa de los estudiantes, el co-

aprendizaje y la agilidad de la práctica. Los estudiantes deben comprometerse a que un componente de cada subgrupo venga a la sesión práctica preparado para correr (*i.e.*, ropa y calzado adecuados). Igualmente, cada grupo debe contar con un teléfono móvil que grabe a una velocidad de, al menos, 120 fps y un ordenador portátil con el software Kinovea instalado. Las partes de la sesión son las siguientes:

**1 Parte inicial (duración aproximada: 30 min):** Presentación de la práctica, de los resultados de aprendizaje y explicación de la estructura de la sesión. División de la clase por grupos y grabación de un compañero de cada grupo desde los planos sagital y frontal, con ayuda del profesor (siguiendo las indicaciones del apartado teórico). Es conveniente haber leído previamente la fundamentación teórica de la práctica, ya que esto facilitará su seguimiento y comprensión.

**2 Parte principal (duración aproximada: 60 min):** Una vez terminada la grabación de los videos, los estudiantes los exportarán a sus ordenadores, ya sea en el propio laboratorio o tras desplazarse a un aula de informática. A continuación, el profesor explicará los aspectos fundamentales para el correcto registro de cada variable para que, de forma simultánea, cada grupo las vaya analizando en su ordenador. Los datos obtenidos por cada grupo deberán anotarse en la hoja de registro (Anexo III).

**a) Plano sagital**

1. Frecuencia de zancada.
2. Patrón de pisada.
3. Inclinación de la tibia en el impacto.
4. Flexión de rodilla en la fase de medio-apoyo.
5. Extensión de cadera en el despegue.
6. Inclinación del tronco y apertura brazos.

**b) Plano frontal**

1. Pronación del pie.
2. Basculación de la pelvis.
3. Ventana de rodilla.
4. Lateralización del tronco y excesiva separación de los brazos.
5. Rotación del pie en el apoyo y alineación de los pies en apoyos sucesivos.
6. Dirección y velocidad de rotación del pie en el despegue

*\* En el caso de que sea necesario, podrían plantearse/realizarse pruebas (anamnesis, material o cinesiológicas) para determinar el origen de las anomalías observadas.*

**c) Conclusiones del análisis biomecánico.** A partir de los resultados obtenidos durante el análisis, cada grupo deberá elaborar una síntesis de los aspectos que se hayan considerado como deficientes.

**3 Parte final (duración aproximada: 10 min):** Resolución de dudas y síntesis de la sesión. También se explicarán las condiciones de realización y entrega de la actividad complementaria, así como cualquier otra actividad que pueda proponerse relacionada con la práctica.

6

**Autoevaluación**

Responde a las siguientes preguntas (solo hay una respuesta válida).

Es **CIERTO**, en relación con el análisis biomecánico de la carrera de larga distancia, que:

- a) Puede realizarse con un móvil que grabe a 50 Hz y sin necesidad de Kinovea.
- b) La prueba sólo puede realizarse en tapiz rodante, y no en pista de atletismo.
- c) Podemos analizar el patrón de pisada de ambas piernas grabando desde el perfil derecho.
- d) La velocidad de carrera no es relevante, dejando que el corredor la seleccione sin dar indicaciones.
- e) Son imprescindibles dos grabaciones del corredor (planos sagital y frontal).

Es **FALSO**, en relación con el análisis biomecánico de la carrera de larga distancia, que:

- a) La frecuencia de zancada puede obtenerse con Kinovea o manualmente con un cronómetro.
- b) Son frecuencias normales de entrenamiento (~90 zpm) y de competición (90-100 zpm).
- c) Frecuencias bajas de carrera acentúan el impacto y afectan al resto de variables biomecánicas.
- d) La flexión de rodilla en la fase de medio-apoyo debe ser mayor de 40-45°.
- e) La extensión de cadera en la fase de despegue debe ser mayor de 20°.

*Respuestas correctas al final de la sección Recursos / Para saber más...*

## 7

### Actividad complementaria

Debes elaborar un vídeo, de manera individual, en el que realices el análisis de la carrera a un compañero, amigo o familiar. El vídeo tendrá una duración máxima de tres minutos y constará de cuatro partes diferenciadas, en las que deberás aparecer realizando la actividad:

1. Presentación y explicación de la actividad que se va a realizar.
2. Registro de las variables biomecánicas en el plano sagital.
3. Registro de las variables biomecánicas en el plano frontal.
4. Conclusiones del análisis biomecánico.

En el Anexo III se presenta la escala de evaluación de esta actividad.

## 8

### Recursos / Para saber más...

 Ogueta-Alday, A., & García-López, J. (2016). Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo. RICYDE. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 12(45), 278-308. <https://doi.org/10.5232/ricyde2016.04505>

 Souza, R. B. (2016). An evidence-based videotaped running biomechanics analysis. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*, 27(1), 217-236. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2015.08.006>

 Ejemplo de análisis de la pronación (vídeo)



 Ejemplo de tensión por rotación en la carrera (vídeo)



Respuestas correctas a las preguntas de autoevaluación: e) y d).

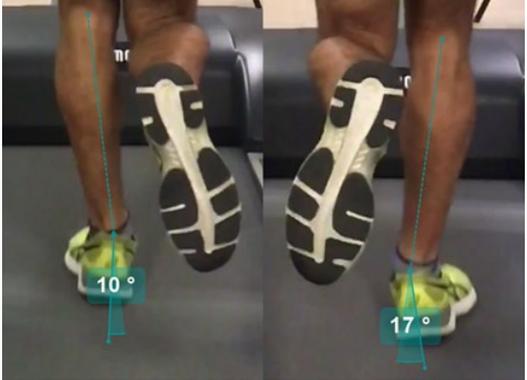
## 9

## Referencias

-  Boullosa, D., Esteve-Lanao, J., Casado, A., Peyré-Tartaruga, L. A., Gomes da Rosa, R., & Del Coso, J. (2020). Factors affecting training and physical performance in recreational endurance runners. *Sports*, 8(3), 35. <https://doi.org/10.3390/sports8030035>
-  Consejo Superior de Deportes. (2022). *Histórico de licencias*. Recuperado de: <https://www.csd.gob.es/es/federaciones-y-asociaciones/federaciones-deportivas-espanolas/licencias>
-  Fields, K. B., Sykes, J. C., Walker, K. M., & Jackson, J. C. (2010). Prevention of running injuries. *Current Sports Medicine Reports*, 9(3), 176-182. <https://doi.org/10.1249/jsr.0b013e3181de7ec5>
-  Glazier, P. S., & Mehdizadeh, S. (2019). Challenging conventional paradigms in applied sports biomechanics research. *Sports Medicine*, 49(2), 171-176. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-1030-1>
-  Ministerio de Cultura y Deporte. (2022). *Encuesta de hábitos deportivos en España 2022*. Recuperado de: <https://www.culturaydeporte.gob.es/servicios-al-ciudadano/estadisticas/deportes/encuesta-habitos-deportivos-en-espana.html>
-  Ogueta-Alday, A., Rodríguez-Marroyo, J. A., & García-López, J. (2014). Rearfoot striking runners are more economical than midfoot strikers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(3), 580-585. <https://doi.org/10.1249/mss.000000000000139>
-  Rixe, J. A., Gallo, R. A., & Silvis, M. L. (2012). The barefoot debate: can minimalist shoes reduce running-related injuries? *Current Sports Medicine Reports*, 11(3), 160-165. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31825640a6>
-  Scheerder, J., Breedveld, K., & Borgers, J. (2015). Who is doing a run with the running boom? The growth and governance of one of Europe's most popular sport activities. En Scheerder, J. et al. (Eds.), *Running across Europe: The rise and size of one of the largest sport markets* (pp. 1-27). Macmillan Publishers Limited.

**Anexo I.** Cuadro resumen de las principales variables a analizar en los planos sagital y frontal posterior al realizar un análisis biomecánico de la carrera de larga distancia.

PLANO SAGITAL	
<p><b>Frecuencia de zancada</b></p> <p><i>90 zpm a ritmo de entrenamiento y 90-100 zpm a ritmo de competición</i></p>	<p><b>Patrón de pisada e Inclinación de la tibia en el impacto</b></p> <p><i>Patrón de pisada talonador &lt;5°, planta entera &lt;5° a &lt;-5° y antepié &gt;-5°</i> <i>La tibia debe llegar lo más vertical posible respecto al suelo</i></p>
	
<p><b>Flexión de la rodilla en la fase de medio-apoyo</b></p> <p>El grado de flexión obtenido debe ser &lt;40-45°</p>	<p><b>Extensión de la cadera en el despegue</b></p> <p>El grado de extensión obtenido debe ser &gt;20°</p>
	
<p><b>Inclinación del tronco</b></p> <p>La inclinación del tronco debe estar en torno a los 10° respecto a la vertical</p>	<p><b>Apertura de los brazos</b></p> <p>La apertura y el movimiento de los brazos debe ser simétrico</p>

PLANO FRONTAL	
<p><b>Pronación del pie</b></p> <p><i>Supinador (&lt;math&gt;&lt;5^\circ&lt;/math&gt;), pronador neutro (5-15°) e hiperpronador (&gt;15°). No debe haber &gt;5° de diferencia entre ambos pies.</i></p>	<p><b>Basculación de la pelvis</b></p> <p><i>No debe superar los 5-6° de angulación.</i></p>
	
<p><b>Ventana de rodilla</b></p> <p><i>Debe existir un espacio entre ambas rodillas durante el medio-apoyo.</i></p>	<p><b>Lateralización del tronco y excesiva separación de los brazos</b></p> <p><i>Es importante que no existan movimientos anormales o asimétricos durante la carrera.</i></p>
	
<p><b>Rotación del pie en el apoyo y alineación de los pies en apoyos sucesivos</b></p> <p><i>La cara exterior del pie debe verse durante todo el apoyo y los pies deben ir siguiendo una línea en apoyos sucesivos.</i></p>	
	
<p><b>Dirección y velocidad de rotación del pie en el despegue</b></p> <p><i>Puede que el corredor presente tensión por rotación en el apoyo. En el despegue, si el fémur genera tensión de rotación interna, la tibia gira externamente (y viceversa).</i></p>	

Anexo II. Hoja de registro de las principales medidas del plano sagital y frontal.

PLANO SAGITAL				
Frecuencia de zancada		Patrón de pisada e Inclinación de la tibia en el apoyo		
Frecuencia del corredor (zpm)		Talonador	Planta entera	Antepié
		Inclinación de la tibia correcta		Sí
Flexión de la rodilla en la fase de medio-apoyo		Extensión de la cadera en el despegue		
Grado de flexión de la rodilla	>40-45°	Grado de extensión de la cadera	>20°	
	<40-45°		<20°	
Inclinación del tronco		Apertura de los brazos		
Grado de inclinación del tronco	>10°	La apertura y el movimiento de los brazos es simétrico	Sí	
	<10°		No	

PLANO FRONTAL				
Pronación del pie			Basculación de la pelvis	
<i>Supinador</i>	<i>Pronador neutro</i>	<i>Hiperpronador</i>	> 5-6° ( <i>Izquierda</i> )	> 5-6° ( <i>Derecha</i> )
			< 5-6° ( <i>Izquierda</i> )	< 5-6° ( <i>Derecha</i> )
Ventana de rodilla			Lateralización del tronco y excesiva separación de los brazos	
<i>Existente</i>	<i>Inexistente</i>	<i>Existen movimientos anormales o asimétricos</i>	<i>Sí</i>	
			<i>No</i>	
Rotación del pie en el apoyo y alineación de los pies en apoyos sucesivos				
<i>La cara exterior del pie se ve durante todo el apoyo</i>	<i>Sí</i>	<i>Los pies van en línea en apoyos sucesivos</i>	<i>Sí</i>	
	<i>No</i>		<i>No</i>	
Dirección y velocidad de rotación del pie en el despegue				
<i>Se observa rotación del pie en el despegue</i>			<i>Sí</i>	
			<i>No</i>	

**Anexo III.** Escala de valoración para la actividad complementaria de análisis biomecánico de la carrera de larga distancia.

### ANÁLISIS DE LA CARRERA DE LARGA DISTANCIA

Relacionada con la práctica “Análisis biomecánico de la carrera de larga distancia”, se plantea una actividad complementaria, consistente en elaborar un vídeo en el que realizarás un análisis biomecánico a un compañero, amigo o familiar. Este vídeo, que deberás elaborar de manera individual, será evaluado mediante la escala de evaluación diferenciada que figura a continuación y que entregarás cumplimentada (autoevaluada) junto al vídeo. Dispones del presente cuaderno de prácticas como material de apoyo, así como de los vídeos relacionados con la misma. Igualmente, puedes utilizar las tutorías que sean necesarias para aclarar las dudas que tengas. También podrás asistir a un seminario en el que se plantearán las dudas surgidas durante el desarrollo de la actividad.

Nombre y apellidos:

REQUISITOS PARA PROCEDER A LA EVALUACIÓN	Autoev.	Ev. prof.
El estudiante presenta un vídeo, con una duración máxima de 3 min, en el que se explica el desarrollo de la actividad.	Sí / No	Sí / No
El estudiante aparece en el vídeo, pudiendo comprobarse claramente la autoría del mismo.	Sí / No	Sí / No
El vídeo y la rúbrica autoevaluada se entregan en la plataforma Moodle antes de la fecha límite establecida. El vídeo debe tener un tamaño inferior a 50 MB.	Sí / No	Sí / No
El vídeo consta de 4 partes diferenciadas: (1) Presentación y explicación de la actividad que se va a realizar por parte del estudiante, que debe aparecer en el vídeo para comprobar su autoría; (2) Registro de las variables biomecánicas en el plano sagital; (3) Registro de las variables biomecánicas en el plano frontal; (4) Conclusiones del análisis biomecánico. * Realización de otras pruebas: anamnesis, material o cinesiológicas.	Sí / No	Sí / No

ESCALA DE EVALUACIÓN DIFERENCIADA	Autoev.	Ev. prof.
<b>Registro y explicación de las principales variables biomecánicas de la carrera en el plano sagital: frecuencia de zancada, patrón de pisada, inclinación de la tibia en el impacto, flexión de rodilla en el medio-apoyo, extensión de cadera en el despegue, inclinación del tronco y apertura de los brazos.</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
Registra y explica perfecta y razonadamente todas variables biomecánicas del plano sagital, mostrando su foto y la secuencia completa de la zancada, así como la explicación de las mismas (audio), observándose con claridad en el video.	30-25	30-25
Registra correctamente todas las variables biomecánicas del plano sagital, mostrando su foto y la secuencia completa de la zancada, aunque la explicación en el video tiene aspectos mejorables.	24-20	24-20
El registro de algunas variables biomecánicas del plano sagital no está del todo correcto y, aunque de algunas de ellas muestra su foto y secuencia completa de la zancada, la explicación en el video tiene algunos aspectos incorrectos.	19-15	19-15
El registro de la mayoría de las variables biomecánicas del plano sagital no es correcto y, aunque de algunas de ellas muestra su foto y secuencia completa de la zancada, la explicación en el video tiene varios aspectos incorrectos.	14-8	14-8
El registro de la mayoría de las principales variables biomecánicas del plano sagital no es correcto, no muestra su foto y secuencia completa de la zancada, y no hay explicación en el video o es incorrecta.	7-0	7-0

Prácticas de Biomecánica de la Actividad Física y del Deporte: Análisis biomecánico de la carrera de larga distancia

<b>Registro y explicación de las variables biomecánicas de la carrera en el plano frontal: pronación del pie (ambos pies), basculación de la pelvis (derecha e izquierda), ventana de rodilla, lateralización del tronco, excesiva separación de los brazos, rotación del pie en el apoyo (ambos pies), alineación de los pies en apoyos sucesivos (ambos pies).</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
Registra y explica perfecta y razonadamente las principales variables biomecánicas del plano frontal, mostrando su foto y la secuencia completa de la zancada donde han sido analizadas, así como la explicación de las mismas (audio), observándose con claridad en el video.	30-25	30-25
Registra correctamente todas las variables biomecánicas del plano frontal, mostrando su foto y la secuencia completa de la zancada, aunque la explicación en el video tiene aspectos mejorables.	24-20	24-20
El registro de algunas variables biomecánicas del plano frontal no está del todo correcto, y aunque de algunas de ellas muestra su foto y secuencia completa de la zancada, la explicación en el video tiene algunos aspectos incorrectos.	19-15	19-15
El registro de la mayoría de las variables biomecánicas del plano frontal no es correcto, y aunque de algunas de ellas muestra su foto y secuencia completa de la zancada, la explicación en el video tiene varios aspectos incorrectos.	14-8	14-8
El registro de la mayoría de las principales variables biomecánicas del plano frontal no es correcto, no muestra su foto y secuencia completa de la zancada, y no hay explicación en el video o es incorrecta.	7-0	7-0
<b>Identificación, de forma razonada, de las deficiencias biomecánicas observadas en los planos sagital y frontal, así como de proponer posibles soluciones/mejoras en las mismas.</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
Identifica razonadamente los registros biomecánicos más relevantes del caso analizado, extrayendo conclusiones, tomando decisiones fundamentadas y priorizando el orden de los cambios que son necesarios.	20-16	20-16
Identifica la mayoría los registros biomecánicos más relevantes del caso analizado, tomando decisiones fundamentadas sólo en alguno de ellos y no priorizando claramente el orden de los cambios necesarios.	15-11	15-11
No identifica registros biomecánicos que son muy relevantes en el caso analizado, aunque toma decisiones fundamentadas de los que analiza correctamente y prioriza los cambios.	10-6	10-6
No identifica varios registros biomecánicos que son muy relevantes en el caso analizado, por lo que la toma de decisiones no es correcta y/o los cambios propuestos no siguen una priorización.	5-3	5-3
No identifica la mayoría de los registros biomecánicos que son que son relevantes en el caso analizado, por lo que se observan problemas en la toma de decisiones y en la priorización de los cambios propuestos.	2-0	2-0
<b>Conexión de las explicaciones de cada apartado del video y entre los distintos apartados del vídeo.</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
Conecta las explicaciones de cada apartado del vídeo y entre los distintos apartados del mismo de forma fluida y atractiva.	10-9	10-9
La conexión de las explicaciones es buena, aunque hay algún aspecto superfluo.	8-7	8-7
La conexión de las explicaciones es mejorable, pero entendible.	6-4	6-4
La conexión de las explicaciones no es buena, dificultando su comprensión.	3-0	3-0
<b>Calidad de la grabación (imagen y sonido) y del montaje del vídeo.</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
La calidad de la grabación y del montaje del vídeo son destacables.	10-8	10-8
La calidad de la grabación y del montaje son mejorables, pero suficientes para entender correctamente el vídeo.	7-5	7-5

**Prácticas de Biomecánica de la Actividad Física y del Deporte: Análisis biomecánico de la carrera de larga distancia**

La calidad de la imagen, del sonido o el montaje deberían haberse trabajado mucho más. Existen carencias importantes que limitan la comprensión del vídeo.	4-1	4-1
La calidad de la imagen, del sonido de la grabación o el montaje presentan carencias muy importantes, que impiden la comprensión del vídeo.	0	0
<b>* Realización de otras pruebas que ayuden a comprender el origen de los desajustes observados: a) Realiza una anamnesis (historial) de lesiones o práctica físico- deportiva de la persona que corre o comprueba y explica la adecuación del material utilizado (ej. calzado); b) Implementa y explica alguna prueba cinesiológica (ej. movilidad articular, acortamiento muscular, etc.).</b>	20	20
Las pruebas elegidas permiten comprender el origen de los desajustes observados y su explicación es clara y sintética.	20-15	20-15
Aunque las pruebas elegidas permiten comprender el origen de los desajustes observados, su explicación no es del todo clara (tiene información superflua).	14-10	14-10
Las pruebas elegidas son genéricas para observar desajustes en la biomecánica de la carrera, pero no proceden en el caso concreto que analiza, aunque las explica de forma clara y sintética.	9-5	9-5
Las pruebas elegidas no son procedentes en el caso concreto que se analiza o su explicación es incorrecta.	4-0	4-0
<b>CALIFICACIÓN FINAL:</b>		