

**UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA**  
**Facultad de Ciencias de la Salud**  
**Grado en Fisioterapia**  
**Trabajo Fin de Grado**  
**Curso 2023-2024**

**ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA MARATÓN DE  
VALENCIA**



**Universidad  
Europea**

**Autores**

MARIA BLASCO, Julio  
VALERO TERUEL, Carlos

**Tutora**

FIGUEROA MAYORDOMO, María

**Valencia, 2024**

# **ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA MARATÓN DE VALENCIA**

**TRABAJO FINAL DE GRADO PRESENTADO POR:  
Julio María Blasco  
Carlos Valero Teruel**

**TUTORA DEL TRABAJO:  
María Figueroa Mayordomo**

**FACULTAD DE FISIOTERAPIA  
UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA**

**VALENCIA  
CURSO 2023-2024**

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	7
1.1. Historia de la maratón .....	7
1.2. Avances tecnológicos .....	7
1.3. Economía de carrera.....	7
1.4. Variables de carrera.....	8
1.5. Relación FSA con las lesiones.....	8
1.6. Hipótesis y objetivos .....	9
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	9
2.1. Participantes.....	9
2.2. Criterios de inclusión y criterios de exclusión .....	9
2.3. Protocolo toma de datos .....	10
2.4. Procesamiento de datos .....	11
2.5. Variables cualitativas .....	11
2.5.1. FSA .....	11
2.5.2. Inclinación tibia.....	12
2.6. Variables cuantitativas .....	13
2.6.1. Tiempo de contacto.....	13
2.6.2. Tiempo de flexión .....	13
2.6.3. Tiempo de impulso .....	13
2.6.4. Tiempo de vuelo.....	13
2.6.5- Duty Factor.....	13
2.6.6. Cadencia .....	13
2.6.7. Longitud de paso.....	14
2.7. Sesgos .....	14
3. RESULTADOS.....	14
3.1. Variables cualitativas .....	14
3.2- Variables cuantitativas .....	17
4. DISCUSIÓN .....	21
4.1. Limitaciones .....	23
5. CONCLUSIÓN .....	24
6. BIBLIOGRAFÍA .....	25

## LISTADO DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

**RE:** Running Economy.

**FSA:** Foot strike patterns.

**RFS:** Rearfoot support.

**MFS:** Midfoot support.

**FFS:** Forefoot support.

## RESUMEN

**Introducción:** Algunos parámetros relacionados con la técnica de carrera pueden favorecer a una mejor economía de carrera (RE), además, se pueden evitar las lesiones más comunes del running. El objetivo de este trabajo es realizar un estudio transversal de los corredores de la maratón de Valencia 2023. **Material y métodos:** Se realizó un estudio transversal sin intervención de los 50 primeros corredores utilizando 2 cámaras, obteniendo vídeos en 2D del plano sagital de ambos lados. Se dividieron a los corredores en un grupo A (primeros 25 atletas) y un grupo B (segundos 25 atletas), así se pudieron comparar los datos. Para analizar las diferentes variables se utilizó la aplicación Kinovea. **Resultados y discusión:** En cuanto a las variables cualitativas predomina el apoyo de retropié (RFS) con un 48% de frecuencia, en cambio, se encuentran diferencias entre el grupo A (64% apoyo de medio pie (MFS)) y el grupo B (36% de los casos RFS) respecto al tipo de apoyo (FSA). Por otro lado, la tibia vertical predomina con un 74% de frecuencia. Referente a las variables cuantitativas se ha observado una diferencia significativa respecto a los dos grupos en el tiempo de contacto ( $p=0,014$ ); tiempo de impulso ( $p<0,001$ ); tiempo de vuelo ( $p=0,01$ ); duty factor ( $p=0,005$ ); longitud de paso ( $p=0,008$ ). Por otra parte, en el tiempo de flexión ( $p=0,679$ ) y en la cadencia ( $p=0,276$ ) no existe una diferencia significativa entre ambos grupos. **Conclusión:** En resumen, la hipótesis planteada en el estudio se confirma en todas las variables excepto en el caso del FSA en el grupo B, donde predomina el apoyo RFS. Los resultados son útiles para atletas en busca de mejorar su técnica, marcas y prevenir lesiones: apoyo en MFS, tibia vertical, tiempo de contacto 175s, tiempo de flexión 78,7s, tiempo de impulso 96s, tiempo de vuelo 151s, longitud de paso 183cm y 185 p/min.

**Key words:** running economy, foot strike patterns, quantitative variables, qualitative variables, duty factor.

## ABSTRACT

**Introduction:** Some parameters related to running technique can promote better running economy (RE), in addition, the most common running injuries can be avoided. The objective of this work is to carry out a cross-sectional study of the runners of the Valencia 2023 marathon.

**Material and methods:** A cross-sectional study was carried out without intervention of the first 50 runners using 2 cameras, obtaining 2D videos of the sagittal plane from both sides. The runners were divided into group A (first 25 athletes) and group B (second 25 athletes), so the data could be compared. To analyze the different variables, the Kinovea application was used.

**Results and discussion:** Regarding the qualitative variables, rearfoot support (RFS) predominates with 48% frequency, however, differences are found between group A (64% midfoot support (MFS)) and group B (36% of RFS cases) regarding the type of support (FSA). On the other hand, the vertical tibia predominates with 74% frequency. Regarding the quantitative variables, a significant difference was observed with respect to the two groups in contact time ( $p=0.014$ ); impulse time ( $p<0.001$ ); flight time ( $p=0.01$ ); duty factor ( $p=0.005$ ); step length ( $p=0.008$ ). On the other hand, in flexion time ( $p=0.679$ ) and cadence ( $p=0.276$ ) there is no significant difference between both groups. **Conclusion:** In summary, the hypothesis raised in the study is confirmed in all variables except in the case of FSA in group B, where RFS support predominates. The results are useful for athletes looking to improve their technique, marks and prevent injuries: support in MFS, vertical tibia, contact time 175s, flexion time 78.7s, impulse time 96s, flight time 151s, step length 183cm and 185 p/min.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Historia de la maratón

El running ha experimentado cambios significativos a lo largo del tiempo. El primer maratón registrado tuvo lugar en Atenas. El primer maratón olímpico en 1896, lo ganó Spyridon Louis, completándolo en 2 horas, 58 minutos y 50 segundos. Actualmente en la edición de 2023 del Maratón de Chicago, el corredor keniano Kelvin Kiptum batió el récord del Maratón tras finalizar en 2:00:35 (Fernandes, GD y Maldonado, V. 2023).

El auge de las competiciones de larga distancia se ha acompañado de un incremento en las lesiones vinculadas a la carrera, alcanzando hasta el 85 % de corredores principiantes que sufren alguna lesión en un año determinado. Investigaciones previas han empleado un programa de reentrenamiento de la marcha con éxito para disminuir la carga de impacto, la cual se ha asociado con diversas dolencias relacionadas con la carrera. Sin embargo, es importante destacar que adoptar una pisada más suave no garantiza necesariamente la prevención de lesiones al correr (Chan, Z. Y., et al. 2017).

## 1.2. Avances tecnológicos

Actualmente, existen avances tecnológicos que ayudan a los atletas a mejorar sus marcas personales y batir récords. Según Hoogjamer, w., et al, (2019) se ha demostrado que un modelo experimental de zapatilla diseñada para maratones disminuyó el gasto metabólico durante la carrera en un promedio del 4% para los 18 participantes del estudio, en comparación con dos modelos de zapatillas de carrera reconocidas. Aunque se observaron algunas variaciones en las mediciones biomecánicas, estas fueron mínimas y no lograron explicar la eficiencia metabólica mejorada.

## 1.3. Economía de carrera

Para obtener un alto rendimiento de carrera es importante el análisis y descripción de la técnica utilizada por los deportistas de élite. Esto ayuda a entrenadores y atletas a realizar estrategias para mejorar la eficacia mecánica, e incluso, para prevenir lesiones (Campo, J., et all. 2013).

El término economía de carrera o Running Economy (RE) hace referencia al gasto energético necesario para recorrer una distancia específica a una velocidad submáxima. Existe una relación íntima entre la técnica de carrera, la RE y el rendimiento deportivo. Por ello, la técnica de carrera tiene un impacto importante en la variabilidad de la RE y el rendimiento. Por lo tanto, los corredores y entrenadores deberán centrarse en variables específicas de la técnica para conseguir una mejora de la RE. Se busca mejorar el movimiento de la pelvis, lo que en última instancia contribuye a optimizar la eficiencia en la carrera y, por ende, a mejorar el rendimiento atlético (Folland, J. P., et al, 2017).

Según Folland, J.P., et al, (2017) cita cinco elementos de la cinemática que pueden tener un impacto en la RE y el rendimiento atlético: la longitud de la zancada, los ángulos de las extremidades inferiores, el desplazamiento vertical del cuerpo (oscilación vertical), las alteraciones en la velocidad horizontal durante el contacto con el suelo (frenado) y la orientación del tronco y la pelvis (postura).

#### **1.4. Variables de carrera**

Una de las variables más importantes para mejorar la economía de carrera es la cadencia, es decir, la cantidad de pasos que puede realizar un deportista por minuto. Se ha demostrado que la cadencia óptima es de 180p/m. Por otro lado, se sabe que aumentar la cadencia reduce la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno (Quinn, T. J., et al, 2021).

Dentro de las múltiples variables examinadas en las carreras de larga distancia, la forma en que el pie toca el suelo es un aspecto crucial que ha sido ampliamente estudiado, generando debates constantes. Se identifican principalmente tres tipos de apoyo (FSA): aquellos que impactan con el talón o parte posterior (RFS), los que golpean en el mediopié (MFS) y los que apoyan con el antepié (FFS) (Patoz, A., et al. 2022).

Se ha evidenciado que la técnica de apoyo RFS no es la más eficaz para el RE, debido a un aumento de la pérdida energética y que no aprovecha adecuadamente la energía elástica musculotendinosa. Utilizar el MFS o FFS podría reducir hasta la mitad el trabajo mecánico total durante una carrera, especialmente a velocidades elevadas (Hayes, P., & Caplan, N. 2012).

En el estudio de Hanley, B. et al, (2019) se observó que los atletas de élite mantienen una técnica de aterrizaje constante durante toda la carrera. Esto implica que se podría analizar esta variable en un solo momento para comprender la práctica de estos atletas destacados. Además, no se encontraron diferencias significativas en esta variable entre los atletas más rápidos y los más lentos.

#### **1.5. Relación FSA con las lesiones**

Se ha demostrado que el MFS es la técnica óptima para carreras de larga distancia, además, reduce el impacto vertical de la tibia, una de las variables más asociadas a lesiones en la carrera (Barnes, A., et al. 2015). La técnica de carrera MFS se relaciona directamente con un mejor rendimiento y una mejor RE (Folland J.P., et al. 2017).

La transición de la pisada RFS a la pisada en MFS se realiza para reducir riesgos de lesiones al correr (Napier C, et al., 2015). Esta adaptación es una estrategia común y efectiva en la recuperación de corredores lesionados, al disminuir la carga en áreas específicas del pie y la pierna, mejorando así la biomecánica y favoreciendo un proceso de recuperación más seguro y eficiente (Gámez-Paya, J., et al. 2021).

### **1.6. Hipótesis y objetivos**

Las hipótesis del estudio es que los corredores de élite van a correr con un apoyo MFS y con la tibia verticalizada. Además, van a llevar una cadencia igual o superior a 180 pasos por minuto, con el tiempo de flexión más corto que el tiempo de impulso.

El objetivo principal del estudio es realizar un análisis biomecánico de los corredores de élite de la Maratón de Valencia, en la edición 2023.

Los objetivos específicos son analizar:

- Variables cualitativas: FSA e inclinación de la tibia.
- Variables cuantitativas: longitud de zancada, tiempo de contacto, tiempo de flexión, tiempo de impulso, tiempo de vuelo, duty factor, cadencia y longitud de zancada.

## **2. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1. Participantes**

Los datos se recogieron en la maratón de Valencia el día 03/12/2023. La hora de salida fue a las 8:15h con un tiempo soleado, una temperatura de 7°C a la hora de la salida, humedad de 64% y un viento de 10 km/h. Se decide analizar a los primeros 50 corredores de los 26.251 que han acabado la maratón. Los 40 primeros atletas de esta edición han acabado en un tiempo inferior a 2:10:00, de los cuales 14 han bajado de 2:06:00. Dentro de estos atletas se encuentra Sisay Lemma con el dorsal 6, quién batió el récord de la maratón de Valencia con un tiempo de 2:01:48. También se encuentra Tariku Novalés con el dorsal 19, quién ha batido el récord de España con un tiempo de 2:05:48.

### **2.2. Criterios de inclusión y criterios de exclusión**

Los participantes fueron los primeros 50 corredores que participaron en la maratón de Valencia el día 03/12/2023, es decir, los que hicieron un tiempo igual o inferior a 2:11:53, y que se han analizado correctamente desde las grabaciones obtenidas.

La exclusión ha sido aquel participante el que no se ha visto correctamente por una obstrucción en la visibilidad, y que no haya sido imposible analizar los datos necesarios.

### 2.3. Protocolo toma de datos

Se ha realizado un estudio bidimensional en el plano sagital de la maratón de Valencia, la cual tiene la etiqueta Platino de la World Athletics (WA) y ha sido elegida la mejor maratón de España por la Real Federación Española de Atletismo (RFEA), lo que garantiza un elevado nivel de los atletas. El principal motivo para analizar una carrera oficial reconocida es hacer un estudio detallado de atletas de élite compitiendo en un entorno común y bajo las mismas condiciones.

Se ha elegido el kilómetro 33 en una línea recta de 1 kilómetro donde la calle es amplia y larga. Además, se selecciona el kilómetro 33 para crear una separación entre los corredores, lo que contribuye a obtener imágenes de mayor calidad y evita la formación de un extenso bloque de atletas, lo que dificultaría el análisis. El lugar exacto de la grabación se representa sobre la Figura 1 con una flecha roja.

El día de la maratón se realizaron unas marcas en el suelo para dividir un rectángulo de 4x6 metros, teniendo marcas intermedias cada 2 metros, para posteriormente poder calibrar el espacio. Se pone tape blanco, ya que es asfalto negro, y así poder distinguirlo fácilmente. Se ha realizado una representación esquemática de la zona de grabación en la Figura 2.

Se utiliza una cámara de la marca GoPro modelo serie 9 y un teléfono móvil de la marca Xiaomi modelo 11TPro, a una altura de 80 centímetros desde el suelo. Las dos cámaras son de alta resolución, con las que se grabó a 240 imágenes por segundo a 1080HP. Se han situado las cámaras una enfrente de la otra, en un plano sagital respecto a la carrera, en el centro de la zona de grabación delimitada anteriormente, para tener la mejor visibilidad posible (Figura 2).



Figura 1: Recorrido de la Maratón y lugar de grabación

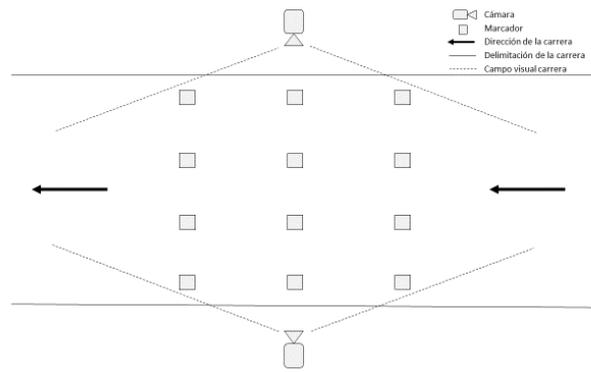


Figura 2: Representación esquemática de la zona de grabación

## **2.4. Procesamiento de datos**

Los vídeos utilizados para el análisis biomecánico se analizaron con la aplicación Kinovea en la versión 0.9.5. Se analizan 2 tipos de variables: cuantitativas y cualitativas. El análisis se realiza con dos observadores independientes, J.M.B. y C.V.T.

Con la muestra de 50 corredores se ha dividido los atletas en dos grupos, grupo A y grupo B. El grupo A estará constituido por los 25 primeros corredores ( $n=25$ ) y el grupo B por los 25 corredores siguientes ( $n=25$ ). Se han comparado variables cualitativas y cuantitativas del grupo A con las del B, para observar si existe alguna diferencia en función del nivel de competición ( $p<0.05$ ).

Se han almacenado todos los datos recolectados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Esta información incluye datos como el tiempo de flexión, el tiempo de impulso, el tiempo de vuelo, el tiempo que lleva dar dos pasos, la longitud de cada paso, el FSA y la inclinación de la tibia. Utilizando las funciones matemáticas disponibles en Microsoft Excel, se han calculado otros datos importantes como el tiempo de contacto, el duty factor y la cadencia.

Se han realizado dos tipos de pruebas, en primer lugar, se ha realizado un chi cuadrado, para analizar si había diferencia entre variables cualitativas; y en segundo lugar se ha realizado una T de student de muestras independientes, para analizar si hay diferencias entre variables cuantitativas entre el grupo A y el grupo B. El valor de significatividad que se ha utilizado es  $p < 0,05$ .

## **2.5. Variables cualitativas**

### **2.5.1. FSA**

Para poder analizar el apoyo que utiliza cada atleta, se observará el FSA que se realiza en la primera fase de carga. Puede haber 3 tipos de FSA: RFS, MFS y FFS.

Durante el RFS, figura 3, el primer contacto con el suelo se realiza con el talón. En el apoyo MFS, figura 4, el primer contacto que se realiza con el suelo es con la parte media del pie. Por otro lado, en el apoyo FFS, figura 5, el primer contacto se realiza con la parte anterior del pie (Hanley B, et al. 2019).



Figura 3. Apoyo RFS



Figura 4. Apoyo MFS



Figura 5. Apoyo FFS

### 2.5.2. *Inclinación tibia*

Respecto a la inclinación de la tibia se pueden encontrar dos posiciones: tibia en extensión y verticalizada. La tibia estará en extensión cuando la rótula se encuentre por detrás del marcador (utilizando Kinovea se ha colocado un marcador perpendicular al suelo que pasa por el calcáneo). En cambio, si la rótula se encuentra por delante de este marcador la tibia estará verticalizada (Souza et al., 2016).



Figura 6. Tibia extendida



Figura 7. Tibia vertical

## 2.6. Variables cuantitativas

Para el análisis de las variables temporales se han medido las diferentes fases de contacto del pie hasta el despegue. Se ha dividido en una primera fase, de frenado o excéntrica, y una segunda fase, de impulso o concéntrica.

### 2.6.1. Tiempo de contacto

El tiempo de contacto es la suma total entre el tiempo de flexión y el tiempo de impulso. Se calcula directamente en el Microsoft Excel al introducir los datos.

### 2.6.2. Tiempo de flexión

Para medir esta fase se ha iniciado un cronometro en la aplicación Kinovea cuando el pie que se analiza del corredor cargue en un primer instante en el suelo. A continuación, se ha detenido el cronometro cuando los fémures de ambas piernas están totalmente paralelos. El tiempo total será la fase de flexión (Pipkin A., et al. 2016).

### 2.6.3. Tiempo de impulso

Respecto al tiempo de impulso, se ha iniciado el cronometro en Kinovea cuando ambos fémures del corredor están paralelos (al final de la fase de flexión), y se ha detenido el cronometro en el último instante en el que el pie del corredor contacta el suelo. El tiempo total será la fase de impulso (Pipkin A., et al. 2016).

### 2.6.4. Tiempo de vuelo

En el tiempo de vuelo, se ha iniciado un cronometro en Kinovea en el último momento en el que el pie del corredor contacta contra el suelo (al final de la fase de impulso). El cronometro se ha detenido cuando el pie de la pierna contrario apoya con carga contra el suelo (primer instante de carga). El tiempo total será la fase de vuelo (Ortega D.R. 2019).

### 2.6.5- Duty Factor

El duty factor es una ratio dimensional basado en variables temporales (Hanley B., et al. 2022), para calcularlo se ha utilizado la siguiente fórmula:  $fx = \frac{\text{suma tiempo de contacto}}{\text{suma tiempo de contacto} + \text{tiempo de vuelo}}$ . Además, los corredores son capaces de modificar su duty factor mediante instrucciones verbales relativas a la postura o al tiempo de vuelo (Nijs A., et al. 2022).

### 2.6.6. Cadencia

La cadencia corresponde al número de pasos por minuto. Para poder calcularlo se ha utilizado la siguiente fórmula:  $fx = \frac{2 (\text{pasos}) \times 60 (\text{segundos})}{\text{tiempo total} (\text{segundos})}$ . (Gámez-Paya, et al. 2021).

*2.6.7. Longitud de paso*

Para calcular la longitud de paso se ha utilizado una herramienta de Kinovea para la calibración del espacio, utilizando marcadores colocados en el suelo.

La longitud del paso izquierdo se ha calculado midiendo la distancia entre la punta del pie izquierdo y la punta del pie derecho.

La longitud del paso derecho se ha calculado midiendo la distancia entre la punta del pie derecho y la punta del pie izquierdo (Yumisaca, O. A. O., et al. 2018).

Se ha colocado un marcador en cada punta del pie, y mediante una línea se han unido, gracias a la calibración realizada anteriormente, se muestra la distancia entre ambos puntos, la cual es la longitud de paso.

**2.7. Sesgos**

La recopilación de los datos se ha realizado con dos observadores diferentes, si no ha habido consenso entre ambos en algún dato, ha aparecido un tercer observador, el cual ha dado su visión para tener datos homogéneos.

### 3. RESULTADOS

**3.1. Variables cualitativas**

Respecto a la tabla 1, el FSA puede ser 1, 2 o 3, que respectivamente son RFS, MFS y FFS. Al mismo tiempo, la inclinación de la tibia puede ser 1 o 2, lo cual, el 1 es extendida, y el 2 es vertical. En la tabla se observan los siguientes datos; el tamaño de la muestra (N) que es 100 (dos piernas por corredor); la media del FSA (1.58) y de la inclinación de la tibia (1.74); la media del FSA (2) y de la inclinación de la tibia (2); por último, la desviación estándar de ambas variables cualitativas, FSA (0,606) e inclinación de la tibia (0,441).

	FSA	INCLINACIÓN TIBIA
<b>N</b>	100	100
<b>PERDIDOS</b>	0	0
<b>MEDIA</b>	1.58	1.74
<b>MEDIANA</b>	2.00	2.00
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	0.606	0.441

Tabla 1. Datos de FSA e inclinación de tibia

La tabla 2 aporta los datos sobre las frecuencias de cada tipo de FSA. En el apoyo de RFS se obtuvo una frecuencia de 48%, en el MFS de 46% y en el FFS de 6%.

FSA	FRECUENCIAS	% del Total	% Acumulado
RFS	48	48.0 %	48.0 %
MFS	46	46.0 %	94.0 %
FFS	6	6.0 %	100.0 %

Tabla 2. Frecuencias FSA

La tabla 3 aporta los datos sobre las frecuencias de los dos tipos de inclinación de tibia que se pueden encontrar. En la tibia extendida se observa una frecuencia del 26% y en la tibia vertical del 74%.

INCLINACIÓN TIBIA	FRECUENCIAS	% DEL TOTAL	% ACUMULADO
Extendida	26	26.0 %	26.0 %
Vertical	74	74.0 %	100.0 %

Tabla 3. Frecuencias de inclinación de tibia

En relación con la tabla 4, se observan diferencias del tipo de FSA entre el grupo A y el grupo B.

CLASIFICACIÓN			
FSA	Grupo A	Grupo B	Total
RFS	18	30	48
MFS	32	14	46
FFS	0	6	6
<b>Total</b>	50	50	100

Tabla 4. Datos de contingencia FSA

En la tabla 5 se representa las pruebas de  $\chi^2$  (chi cuadrado), al ser  $p < 0,001$  se confirma que hay diferencia significativa respecto al FSA entre ambos grupos.

	<i>Valor</i>	<i>gl</i>	<i>p</i>
$\chi^2$	16.0	2	<0.001
N	100		

Tabla 5. Pruebas de  $\chi^2$  FSA

En la figura 8 se puede observar la diferencia entre el grupo A y el B respecto al FSA (1=RFS, 2=MFS y 3=FFS).

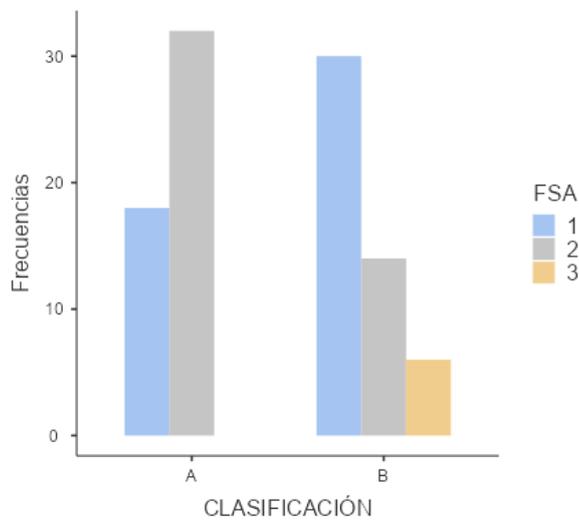


Figura 8. Gráfica comparativa del FSA entre ambos grupos

En relación con la tabla 6, aporta datos sobre los dos tipos de inclinación de tibia en cada grupo, donde se puede observar una mayor prevalencia de la tibia vertical.

<b>CLASIFICACIÓN</b>			
<b>INCLINACIÓN TIBIA</b>	<b>Grupo A</b>	<b>Grupo B</b>	<b>Total</b>
Extendida	11	15	26
Vertical	39	35	74
Total	50	50	100

Tabla 6. Datos de contingencia inclinación de tibia

En la tabla 7 se representa las pruebas de (chi cuadrado), al ser  $p > 0,05$  se confirma que no hay diferencia significativa respecto a la inclinación de la tibia entre ambos grupos.

	Valor	gl	p
$\chi^2$	0.832	1	0.362
N	100		

Tabla 7: pruebas de  $\chi^2$  inclinación tibia

En la figura 9, se observa la diferencia entre el grupo A y B respecto a la inclinación de la tibia (1=extendida y 2=vertical). Se puede observar que ambos grupos corren con la tibia verticalizada.

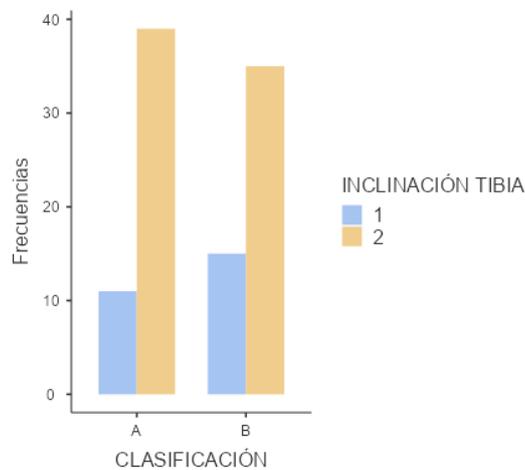


Figura 9. Gráfica comparativa de la inclinación de la tibia entre ambos grupos

### 3.2- Variables cuantitativas

En la tabla 8 se pueden observar una comparación entre el grupo A y el grupo B de las variables cuantitativas: tiempo de contacto, tiempo de flexión, tiempo de impulso, tiempo de vuelo, duty factor, cadencia y longitud de paso. Donde se indican el número de la muestra (50), las muestras perdidas (0), las medias de las variables, la desviación estándar, los valores máximos y mínimos, y el valor P de Shapiro-Wilk. Cabe destacar que en el grupo A solo existe un valor  $p < 0,05$  (cadencia  $p = 0,006$ ); por lo contrario, en el grupo B son todos los valores P inferiores a 0,05 excepto el tiempo de flexión ( $p = 0,514$ ) y la cadencia ( $p = 0,053$ ).

	GRUPO	TIEMPO CONTACTO (ms)	TIEMPO FLEXIÓN (ms)	TIEMPO IMPULSO (ms)	TIEMPO VUELO (ms)	DUTY FACTOR	CADENCIA (pasos/min)	LONGITUD PASO (m)
<b>N</b>	A	50	50	50	50	50	50	50
	B	50	50	50	50	50	50	50
<b>PERDIDOS</b>	A	0	0	0	0	0	0	0
	B		0	0	0	0	0	0
<b>MEDIA</b>	A	175	78.7	96.0	151	0.537	185	183
	B	182	77.9	104	143	0.561	183	176
<b>MEDIANA</b>	A	174	79.0	96.3	149	0.541	185	182
	B	180	77.5	105	145	0.553	182	179
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	A	10.5	6.86	7.22	12.6	0.0295	6.55	9.43
	B	18.6	11.8	10.7	17.7	0.0502	6.47	17.8
<b>MÍNIMO</b>	A	157	64.0	80.5	123	0.484	165	164
	B	151	45.0	87.0	93.0	0.474	172	97.5
<b>MÁXIMO</b>	A	197	93.0	114	175	0.610	198	205
	B	251	110	147	175	0.730	198	194
<b>VALOR P DE SHAPIRO-WILK</b>	A	0.139	0.692	0.412	0.375	0.426	0.006	0.781
	B	< .001	0.514	< .001	0.078	< .001	0.053	< .001

Tabla 8. Datos de variables cuantitativas

En la tabla 9 se realiza una prueba T student de muestras independientes para ver si existen diferencias entre el grupo A y el grupo B. Se puede observar que, en tiempo de contacto, tiempo de impulso, tiempo de vuelo, duty factor y en la longitud de paso hay diferencias. Por lo contrario, en el tiempo de flexión, y en la cadencia no existen diferencias significativas entre ambos grupos. Además, se muestran las diferencias entre las medias de cada grupo para poder saber que grupo está por encima o por debajo de la media, siendo el valor negativo cuando el grupo A tiene valores inferiores al grupo B; y siendo el valor positivo cuando el grupo A es superior al grupo B.

		<i>ESTADÍSTIC O</i>	<i>GL</i>	<i>P</i>	<i>DIFERENCIA DE MEDIAS</i>	<i>EE DE LA DIFERENCIA</i>
<b>TIEMPO CONTACTO (ms)</b>	T de Student	-2.508	98.0	0.014	-7.5800	3.02276
<b>TIEMPO FLEXIÓN (ms)</b>	T de Student	0.415	98.0	0.679	0.8000	1.92972
<b>TIEMPO IMPULSO (ms)</b>	T de Student	-4.581	98.0	< .001	-8.3800	1.82914
<b>TIEMPO VUELO (ms)</b>	T de Student	2.633	98.0	0.010	8.0800	3.06876
<b>DUTY FACTOR</b>	T de Student	-2.899	98.0	0.005	-0.0239	0.00823
<b>CADENCIA (pasos/min)</b>	T de Student	1.119	98.0	0.266	1.4565	1.30142
<b>LONGITUD PASO (m)</b>	T de Student	2.727	98.0	0.008	7.7600	2.84514

Tabla 9. Prueba T para muestras independientes

Se han realizado gráficas descriptivas entre el grupo A y el grupo B, donde se observan diferencias significativas entre ambos grupos. Se han examinado las siguientes variables cuantitativas: tiempo de contacto, donde se observa que en el grupo A hay un menor tiempo de contacto respecto al grupo B (figura 10); tiempo de flexión, donde se observa como en el grupo A el tiempo de flexión se encuentra en un intervalo más pequeño que en el grupo B, en el cual, el tiempo está más repartido (figura 11); tiempo de impulso, donde se observa como en el grupo A el tiempo de impulso es menor respecto al grupo B (figura 12); tiempo de vuelo, donde se observa como, por lo general, el tiempo de vuelo es mayor en el grupo A respecto al grupo B (figura 13); duty factor, donde se observa cómo es menor en el grupo A respecto al grupo B (figura 14); cadencia, donde se observa como la tanto en el grupo A como en el B coincide en un intervalo, pero el grupo A suele tener una cadencia más alta que el grupo B (figura 15); por último, la longitud de paso, donde se observa como en el grupo A la longitud de paso es mayor respecto al grupo B (figura 16).

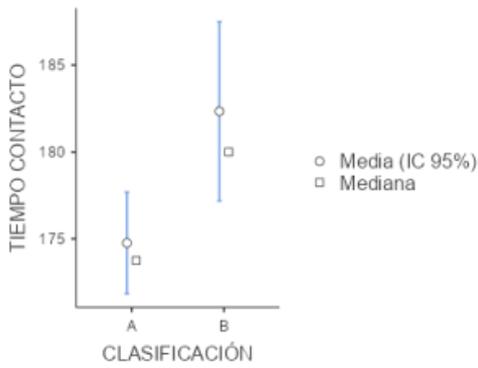


Figura 10. Gráfico de tiempo de contacto

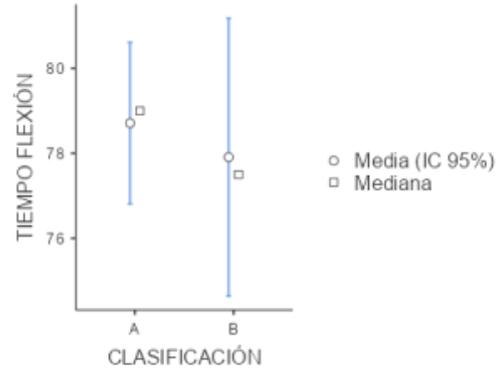


Figura 11. Gráfico de tiempo de flexión

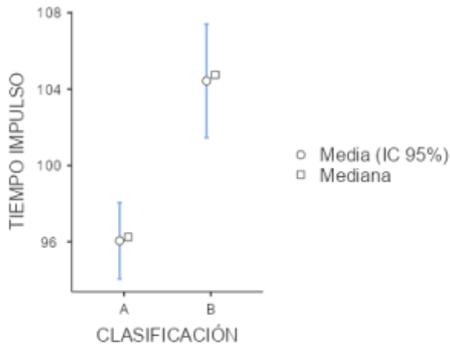


Figura 12. Gráfico del tiempo de impulso

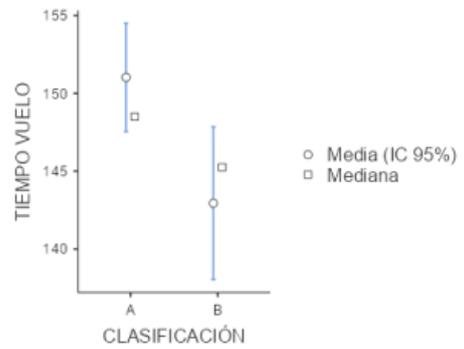


Figura 13. Gráfico del tiempo de vuelo

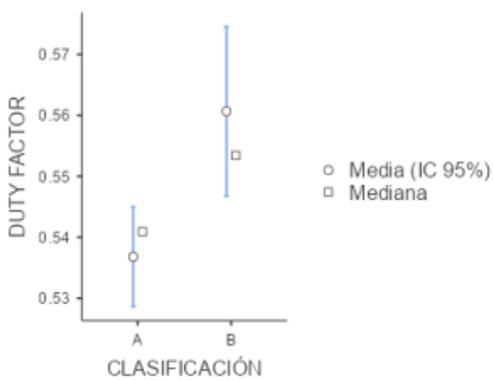


Figura 14. Gráfico del duty factor

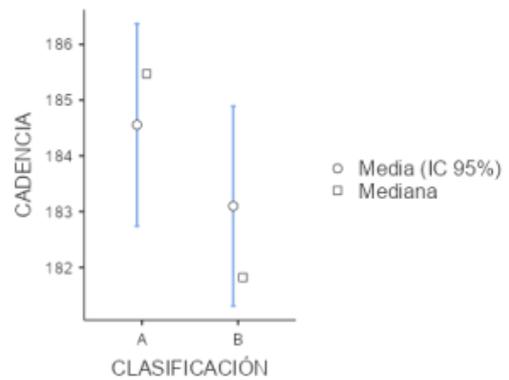


Figura 15. Gráfico de la cadencia

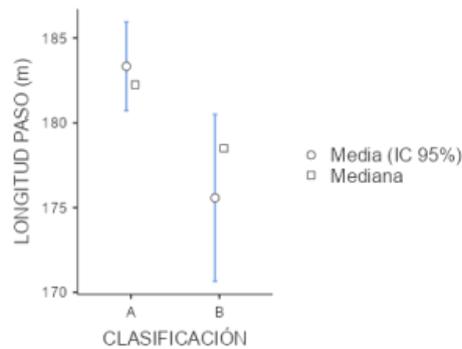


Figura 16. Gráfico de la longitud de paso

## 4. DISCUSIÓN

Todas las variables examinadas en este estudio, tanto las relacionadas con las cualitativas como las cuantitativas, son fundamentales para comprender cómo los atletas de élite mundial alcanzan un rendimiento óptimo y evitan lesiones.

En cuanto al FSA, se ha observado que el apoyo predominante es el RFS, con una frecuencia de 48%, seguido del MFS y FFS con una frecuencia de 46% y 6% respectivamente. Sin embargo, cuando se divide la muestra de 50 corredores en dos grupos de 25 (grupo A y grupo B), se observa un cambio significativo entre ambos grupos. En el grupo A predomina el MFS (32 casos, 64%) con respecto al RFS (18 casos, 36%) y no hay ningún caso de FFS. Por lo contrario, en el grupo B predomina el RFS (30 casos, 60%), con respecto al MFS (14 casos, 28%) y FFS (6 casos, 12%). En comparación con el estudio de Hanley (2019) de la maratón del campeonato mundial de la IAAF de 2017, donde se ha encontrado una mayor proporción de corredores con RFS, existe una concordancia si se compara con la muestra total. En cambio, si se compara el estudio de Hanley (2019) con el grupo A, existe una discrepancia, ya que en dicho estudio se observa un mayor RFS en los primeros puestos y en este estudio se observa una mayor tendencia de MFS en los primeros puestos. Por otro lado, el estudio de Hasegawa, H. (2007) observa una mayor prevalencia de corredores con apoyo de RFS, pero a la hora de dividir en grupos, en el grupo de los primeros corredores aumentó el número de corredores que apoyan con MFS, al igual que ocurre en este estudio. Además, relacionando el FSA con las lesiones, se ha visto que el RFS tiene un mayor riesgo de lesiones por estrés repetitivo los MFS y FFS. (Daoud, A. I. et al 2012).

Los corredores actuales suelen correr con RFS por el desarrollo del drop (diferencia de altura entre el talón y la punta de la suela) en las zapatillas para correr con el talón acolchado, aunque esto produzca una mayor tasa de carga y mayor magnitud del pico de impacto durante la carrera (Ahn, A.N. et al. 2014). Un mayor drop implica que el pie realice contacto primero con la parte trasera de la zapatilla, lo que cambia la forma natural en que el corredor se mueve biomecánicamente. Esto podría argumentar porque aparecen tantos corredores con apoyo RFS a pesar de ser el FSA más lesivo y menos eficiente. Se ha visto que los tiempos en las carreras de larga distancia están mejorando constantemente, por lo que los corredores tienden a adoptar una técnica de alta velocidad (apoyo en MFS y tibia vertical), que podría ofrecer mayores beneficios para la RE. (Larson, P. et al 2011).

Respecto a la variable categórica inclinación de la tibia se ha observado que, en ambos grupos, predomina la tibia vertical con un 74% (39 en el grupo A y 35 en el grupo B) (Tablas 3 y 6). En cambio, la tibia extendida se encuentra en un 26% (11 en el grupo A y 15 en el grupo B) (Tablas 3 y 6). En el estudio de Folland (2017), se ha comentado que una pierna más extendida anteriormente en el momento del apoyo en el suelo se relaciona negativamente con el rendimiento de carrera. Con los datos obtenidos en nuestro estudio, donde predomina la tibia vertical en el grupo A y B, comparándolo con la investigación anterior, tienen una relación directa con el tipo de tibia que favorece un mejor RE.

Por otro lado, acerca de la cadencia, se ha observado que la media de los corredores del grupo A tienen una cadencia de 185 pasos por minuto, y la del grupo B de 183 pasos por minuto (Tabla 8). En el estudio de Gámez-Paya (2021), en la maratón de Tokyo, se observó que la cadencia media de los corredores era de 185,5 pasos por minutos, además, en el estudio de Hanley (2018), la media de la cadencia de los primeros ocho finalistas, en el Campeonato del Mundo de Maratón de Londres 2017, fue de 183,15 pasos por minuto. Esta relación entre los datos que se aportan en diferentes estudios confirma la hipótesis de que la cadencia debe de ser superior o igual a 180 pasos por minuto.

Además, se ha visto que a mayor cadencia se produce una reducción del ángulo de impacto del pie, esto favorece a una transición de apoyo MFS (Wang, J. et al. 2020). Se puede observar una relación directa de ese aumento de la cadencia con un apoyo MFS en este estudio, ya que, aunque no hay una diferencia significativa de la cadencia entre el grupo A (185 pasos por minuto) y B (183 pasos por minuto), existe una tendencia mayor hacia el grupo A, que, a su vez, sí que se observa una diferencia significativa en el FSA entre ambos grupos, siendo el grupo A donde hay más apoyos MFS (32). Por ello una cadencia mayor se relaciona con un apoyo de MFS, lo cual, se puede ver reflejado en los primeros 25 corredores.

Mediante el uso de la herramienta Jamovi (The jamovi project 2022), se ha realizado una comparación entre el grupo A y el grupo B. Se ha observado una diferencia significativa entre ambos grupos en las siguientes variables cuantitativas: tiempo de contacto ( $p=0,014$ ); tiempo de impulso ( $p<0,001$ ); tiempo de vuelo ( $p=0,01$ ); duty factor ( $p=0,005$ ); longitud de paso ( $p=0,008$ ).

En cuanto al grupo A, se observa una media en el tiempo de contacto de 175ms mientras que en el grupo B se observa una media de 182ms. El tiempo de contacto es la suma entre el tiempo de flexión y el de impulso, por lo que esa diferencia se justificaría por un alargamiento de 8ms en el grupo B (104ms) con respecto al grupo A (96ms), ya que en el tiempo de flexión no hay una diferencia significativa entre ambos grupos ( $A=78,7$ ;  $B=77,9$ ). Además, existe una diferencia significativa en el duty factor, (grupo  $A=0,537$ , y grupo  $B=0,561$ ) (Tabla 8). En consecuencia, un menor tiempo de contacto permite una mejor optimización de la RE (Di Michele, et al., 2014).

Existe otra diferencia significativa entre ambos grupos en cuanto a las variables cuantitativas. Respecto a la longitud de paso, el grupo A tiene un promedio de 183cm, mientras que el grupo B tiene un promedio de 176cm.

Cabe destacar que el grupo A al tener un menor tiempo de contacto, menor tiempo de impulso, mayor tiempo de vuelo, y un duty factor más bajo, pasan mayor tiempo volando y menor tiempo en el suelo. Además, longitud de paso es mayor en el grupo A, esto significa que pueden tener una longitud de paso mayor a pesar de estar menor tiempo impulsando.

#### **4.1. Limitaciones**

Al ser una grabación a tiempo real y tener una perspectiva bidimensional, se han tenido diversas limitaciones al obtener datos en el análisis de los vídeos. Al no tener la posibilidad de realizar una grabación tridimensional no hemos podido analizar diferentes parámetros como, por ejemplo, la pronación/supinación del pie y el varo/valgo de rodilla.

Durante el análisis de algunos corredores se han tenido dificultades debido al solapamiento entre los corredores, al haber grupos tan grandes de atletas, y bicicletas que pasaban por la zona. Además, atletas con una supinación/pronación exagerada era más complicado determinar cuál era su FSA.

Por otro lado, para analizar la inclinación de la tibia, algunos corredores que no apoyaban a la altura en la que se encontraban ambas cámaras, era más complicado saber si era una tibia extendida o vertical, por la perspectiva.

También, diversos corredores al utilizar mucho drop en sus zapatillas se podía confundir el apoyo MFS con el RFS, ya que, apoyaban antes con el drop de la zapatilla.

Por último, una mejora metodológica para futuros estudios sería poner cuatro cámaras a diferentes alturas y perspectivas, y así facilitar la obtención de los datos y su análisis.

## 5. CONCLUSIÓN

Para concluir, como se puede comprobar en el estudio, la hipótesis planteada sobre el patrón de carrera de los corredores de élite se confirma en todas las variables, excepto en el FSA del grupo B, ya que, utilizan un apoyo RFS en su mayoría.

Los resultados obtenidos se pueden utilizar como referencia y comparativa de mejora para cualquier atleta. Para conseguir optimizar la técnica de carrera, mejorar marcas, e incluso, evitar lesiones. Se observa como los 25 primeros corredores de la maratón de Valencia 2023 presentan los siguientes parámetros: apoyo en MFS, tibia vertical, tiempo de contacto 175s, tiempo de flexión 78,7s, tiempo de impulso 96s, tiempo de vuelo 151s, longitud de paso de 183cm y la cadencia de 185 p/min. Por lo tanto, estos datos obtenidos de la media de cada variable del grupo A serían los más eficaces para conseguir una mejor RE.

## 6. BIBLIOGRAFÍA.

Ahn, A. N., Brayton, C., Bhatia, T., & Martin, P. (2014). Muscle activity and kinematics of forefoot and rearfoot strike runners. *Journal of Sport and Health Science*, 3(2), 102-112.

Barnes, A., Paya, J. G., Castelli, A., & Heller, B. (2015, June). Foot strike patterns in runners wearing floating heel, minimalist and conventional footwear. In *33rd International conference on biomechanics in sports* (Vol. 2015, pp. 519-522). International society of biomechanics in sports.

Campos, J., Gámez, J., Encarnación, A., Gutiérrez-Dávila, M., & Rojas, J. (2013). Three dimensional kinematic analysis of the long jump at the 2008 IAAF World Indoor Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 28(3/4), 115-131.

Chan, Z. Y., Zhang, J. H., Au, I. P., An, W. W., Shum, G. L., Ng, G. Y., & Cheung, R. T. (2018). Gait retraining for the reduction of injury occurrence in novice distance runners: 1-year follow-up of a randomized controlled trial. *The American journal of sports medicine*, 46(2), 388-395.

Daoud, A. I., Geissler, G. J., Wang, F., Saretsky, J., Daoud, Y. A., & Lieberman, D. E. (2012). Foot strike and injury rates in endurance runners: a retrospective study. *Med Sci Sports Exerc*, 44(7), 1325-1334.

Di Michele, R., & Merni, F. (2014). The concurrent effects of strike pattern and ground-contact time on running economy. *Journal of science and medicine in sport*, 17(4), 414-418.

Fernandes, GD y Maldonado, V. (2023). El maratón de sub 2 horas está a la vuelta de la esquina: cómo Kelvin Kiptum puede utilizar el drafting para mejorar su impresionante récord mundial.

Folland, J. P., Allen, S. J., Black, M. I., Handsaker, J. C., & Forrester, S. E. (2017). Running technique is an important component of running economy and performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 49(7), 1412.

Gamez-Paya, J., Dueñas, L., Arnal-Gómez, A., & Benítez-Martínez, J. C. (2021). Foot and lower limb clinical and structural changes in overuse injured recreational runners using floating heel shoes: Preliminary results of a randomised control trial. *Sensors*, 21(23), 7814.

Hanley, B., Bissas, A., Merlino, S., & Gruber, A. H. (2019). Most marathon runners at the 2017 IAAF World Championships were rearfoot strikers, and most did not change footstrike pattern. *Journal of biomechanics*, 92, 54-60.

Hanley, B.; Bissas, A.; Merlino, S. Biomechanical Report for the IAAF World Championships 2017: Marathon Men's; World Athletics: Monte Carlo, Monaco, 2018.

Hanley, B., Tucker, C. B., Gallagher, L., Parelkar, P., Thomas, L., Crespo, R., & Price, R. J. (2022). Grizzlies and gazelles: Duty factor is an effective measure for categorizing running style in English Premier League soccer players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, 939676.

Hasegawa, H., Yamauchi, T., & Kraemer, W. J. (2007). Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 888-893.

Hayes, P., & Caplan, N. (2012). Foot strike patterns and ground contact times during high-calibre middle-distance races. *Journal of sports sciences*, 30(12), 1275-1283.

Hoogkamer, W., Kipp, S., & Kram, R. (2019). The biomechanics of competitive male runners in three marathon racing shoes: a randomized crossover study. *Sports Medicine*, 49, 133-143.

Larson, P., Higgins, E., Kaminski, J., Decker, T., Preble, J., Lyons, D., ... & Normile, A. (2011). Foot strike patterns of recreational and sub-elite runners in a long-distance road race. *Journal of sports sciences*, 29(15), 1665-1673.

Nijs, A., Roerdink, M., & Beek, P. J. (2022). Running-style modulation: Effects of stance-time and flight-time instructions on duty factor and cadence. *Gait & Posture*, 98, 283-288.

Napier, C., Cochrane, C. K., Taunton, J. E., & Hunt, M. A. (2015). Gait modifications to change lower extremity gait biomechanics in runners: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*.

Ortega, D. R. (2019). Análisis temporal de las distintas fases del ciclo de carrera en corredores recreacionales. *Trances: Transmisión del conocimiento educativo y de la salud*, 11(6), 891-902.

Patoz, A., Lussiana, T., Breine, B., Gindre, C. y Malatesta, D. (2022). El factor de trabajo y el patrón de pisada no representan un patrón de carrera similar a nivel individual. *Informes científicos*, 12 (1), 13061.

Pipkin, A., Kotecki, K., Hetzel, S., & Heiderscheit, B. (2016). Reliability of a qualitative video analysis for running. *journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 46(7), 556-561.

Quinn, T. J., Dempsey, S. L., LaRoche, D. P., Mackenzie, A. M., & Cook, S. B. (2021). Step frequency training improves running economy in well-trained female runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(9), 2511-2517.

R Core Team (2021). R: A Language and environment for statistical computing. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from MRAN snapshot 2022-01-01).

Souza, R. B. (2016). An evidence-based videotaped running biomechanics analysis. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*, 27(1), 217-236.

The jamovi project (2022). jamovi (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>

Wang, J., Luo, Z., Dai, B., & Fu, W. (2020). Effects of 12-week cadence retraining on impact peak, load rates and lower extremity biomechanics in running. *PeerJ*, 8, e9813.

Yumisaca, O. A. O., Cruz, G. T. O., Chancosi, E. V. C., Rosales, W. V. M., & Vega, H. E. T. (2018). Análisis biomecánico entre sexos de la longitud y frecuencia de la zancada en atletismo de iniciación. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 37(4), 1-8.