



**ESCUELA  
DE ENFERMERÍA  
Y FISIOTERAPIA**



**SAN JUAN DE DIOS**

## **Máster Universitario en Biomecánica y Fisioterapia Deportiva**

### **Trabajo Fin de Máster**

***“Análisis de diferencias en la biomecánica  
de carrera de los dos segmentos de  
carrera a pie de un duatlón sprint  
simulado en deportistas amateurs”***

Alumno: Juan Antonio Fernández Suárez

Tutor: Ricardo Blanco Méndez

**Madrid, julio de 2022**



## **AGRADECIMIENTOS**

Tras un intenso período de trabajo, escribo este apartado de agradecimientos para finalizar mi Trabajo Fin de Master. Ha sido un tiempo de aprendizaje intenso, no solo a nivel científico, sino también a nivel personal. La realización de este trabajo ha constituido una verdadera experiencia para mí, y es por eso que me gustaría agradecer a todas aquellas personas que me han ayudado y apoyado durante este proceso, y a las cuales considero partícipes de mi aprendizaje.

Doy así las gracias a mi tutor en este trabajo, D. Ricardo Blanco; a mis compañeros de clase, con quienes he crecido como profesional a lo largo de esta etapa; a Herminio José García-Riaño, por su ayuda voluntaria y desinteresada; y a mi familia, que me apoya en todos mis proyectos.

A todos vosotros..., ¡Gracias!

## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. RESUMEN .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>2. ABSTRACT: .....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>3. GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS .....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>4. ÍNDICE DE IMÁGENES .....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>5. ÍNDICE DE TABLAS .....</b>  | <b>10</b> |
| <b>6. ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>7. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA .....</b>                                       | <b>15</b> |
| 7.1. CRECIMIENTO DEL DEPORTE AMATEUR.....   | 15        |
| 7.2. LA CARRERA A PIE Y LAS LESIONES .....  | 15        |
| 7.3. INVESTIGACIÓN EN DUATLÓN.....  | 16        |
| 7.4. IMPORTANCIA DE LA BIOMECÁNICA DE CARRERA.....  | 16        |
| 7.4.1. PARÁMETROS BIOMECÁNICOS QUE COMPROMETEN EL RENDIMIENTO<br>Y EL RIESGO DE LESIÓN..... | 17        |
| 7.5. LA EDAD EN DEPORTES DE RESISTENCIA.....  | 20        |
| 7.6. REEDUCACIÓN DE LA CARRERA .....  | 21        |
| 7.7. ANÁLISIS DE LA CARRERA.....  | 21        |
| 7.8. SENSORES RUNSCRIBE® .....  | 22        |
| 7.9. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....  | 23        |
| <b>8. OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>9. HIPÓTESIS.....</b>  | <b>26</b> |
| <b>10. METODOLOGÍA.....</b>   | <b>27</b> |
| 10.1. DISEÑO DEL ESTUDIO .....  | 27        |
| 10.2. SUJETOS DE ESTUDIO .....  | 27        |
| 10.3. CÁLCULO DEL TAMAÑO MUESTRAL.....  | 28        |
| 10.4. VARIABLES .....   | 30        |
| 10.5. DISEÑO DE INTERVENCIÓN.....   | 31        |
| 10.6. TEMPORALIDAD DEL ESTUDIO .....  | 32        |

|  |           |
|--|-----------|
| 10.7. HIPÓTESIS OPERATIVAS:.....                     | 33        |
| 10.8. RECOGIDA DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO ..... | 37        |
| 10.9. CONSIDERACIONES ÉTICAS .....                   | 40        |
| <b>11. RESULTADOS .....</b>                          | <b>41</b> |
| 11.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO .....                     | 41        |
| 11.2. ANÁLISIS INFERENCIAL .....                     | 53        |
| 11.3. VARIABLE INDEPENDIENTE “SEXO” .....            | 58        |
| 11.4. VARIABLE INDEPENDIENTE “EDAD” .....            | 63        |
| <b>12. DISCUSIÓN .....</b>                           | <b>72</b> |
| <b>13. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....</b>             | <b>76</b> |
| <b>14. CONCLUSIONES .....</b>                        | <b>77</b> |
| <b>15. LISTADO DE REFERENCIAS .....</b>              | <b>78</b> |
| <b>16. ANEXOS.....</b>                               | <b>82</b> |
| ANEXO 1:.....  | 82        |
| ANEXO 2:.....  | 83        |
| ANEXO 3:.....  | 84        |
| ANEXO 4:.....  | 85        |
| ANEXO 5:.....  | 86        |

## 1. RESUMEN

**Introducción:** los deportes de resistencia, entre los que se encuentra el duatlón, son cada vez más comúnmente practicados por la población amateur; y presentan un elevado índice de lesiones. Mientras otros deportes han sido estudiados para tratar de reducir el riesgo de lesión en estos deportistas, en el duatlón apenas se encuentran estudios de investigación. Uno de los factores que influyen en este riesgo lesional es la biomecánica de carrera, la cual se puede valorar sin necesidad de un laboratorio especializado, por medio de sensores de movimiento, como es el caso de los sensores Runscribe®. El objetivo de este estudio es analizar las diferencias biomecánicas que puedan existir entre el segundo segmento de carrera y el primer segmento de carrera de un duatlón sprint amateur, para valorar la influencia que pueda tener el segmento de ciclismo en la biomecánica de carrera; dicho análisis se realiza a través de la utilización de sensores Runscribe®.

**Metodología:** el presente estudio piloto transversal cuasiexperimental cuantitativo recoge información de una muestra de 10 sujetos (8 hombres y 2 mujeres). Se trata de duatletas amateurs, que han aceptado participar voluntariamente en el estudio firmando el consentimiento informado y cumplen con los criterios de inclusión. Los datos de estos sujetos se obtuvieron mediante la realización por parte de los mismos de un duatlón sprint simulado (5km carrera, 20km ciclismo, 2,5km carrera), de forma individual, y portando los sensores Runscribe®. Posteriormente se realiza el análisis estadístico de los datos a través del programa estadístico IBM SPSS Statistics®, versión 26.0.

**Resultados:** en un duatlón sprint, la biomecánica de carrera del segundo segmento de carrera a pie no se ve modificada con respecto a la del primer segmento de carrera como consecuencia del segmento de ciclismo, salvo por la disminución de los grados de pronación de tobillo. Se han observado diferencias en la biomecánica del grupo de hombres respecto al de mujeres. No existe correlación entre la edad de los sujetos y las variables biomecánicas del estudio.

**Conclusiones:** no existen diferencias biomecánicas entre los dos sectores de carrera de un duatlón sprint que comprometan el riesgo de lesión o el rendimiento del deportista. El sexo influye en la biomecánica de carrera del un duatleta amateur, mientras que la edad no influye. Se necesitan estudios similares con mayores muestras de sujetos.

**Palabras clave:** “duatlón”, “biomecánica”, “técnica de carrera”, “sensores de movimiento”, “riesgo de lesión”, “rendimiento”.

## 2. ABSTRACT:

**Introduction:** Endurance sports, including duathlon, are becoming more and more common in the amateur population and they have a high injury rate. While other sports have been studied to try to reduce the risk of injury in their participants, little research has been done in duathlon. One of the factors influencing this risk of injury is running biomechanics, which can be assessed without the need for a specialised laboratory, by means of movement sensors, such as the Runscribe® sensors. The aim of this study is to analyse the biomechanical differences that may exist between the second and first running segments of an amateur sprint duathlon, in order to assess the influence that the cycling segment may have on the biomechanics of running; this analysis is carried out using Runscribe® sensors.

**Methods:** This quantitative quasi-experimental cross-sectional pilot study collects information from a sample of 10 subjects (8 men and 2 women). They are amateur duathletes, who have voluntarily agreed to participate in the study by signing the informed consent form and who meet the inclusion criteria. The data from these subjects were obtained by performing a simulated sprint duathlon (5km run, 20km cycling, 2.5km run), individually, and wearing the Runscribe® sensors. Subsequently, the statistical analysis of the data was carried out using the statistical programme IBM SPSS Statistics®, version 26.0.

**Results:** In a sprint duathlon, the running biomechanics of the second running segment is not modified with respect to those of the first running segment, as a consequence of the cycling segment, except for a decrease in the degrees of ankle pronation. Differences in biomechanics were observed in the men's group compared to the women's group. There is no correlation between the age of the subjects and the biomechanical variables of the study.

**Conclusions:** There are no biomechanical differences between the two running sectors of a sprint duathlon that compromise the risk of injury or the athlete's performance. Gender influences the running biomechanics of an amateur duathlete, while age does not. Similar studies with larger samples of subjects are needed.

**Key words:** “duathlon”, “biomechanics”, “running technique”, “motion sensors”, “risk of injury”, “performance”.

### 3. GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

**BRAKING:** Fuerza de frenado resultante del contacto del pie del deportista con el suelo durante la carrera, medida en Gs.

**IMPACT:** Fuerza de impacto resultante del contacto del pie del deportista con el suelo durante la carrera, medida en Gs.

**ITU:** Unión Internacional de Triatlón.

**TRANSICIÓN:** Momento de cambio de disciplina deportiva durante la realización tanto de un duatlón, como de un triatlón.

#### 4. ÍNDICE DE IMÁGENES

|                 |   |           |
|-----------------|---|-----------|
| <b>Imagen 1</b> | Calculadora de Tamaño Muestral GRANMO.*               | Página 28 |
| <b>Imagen 2</b> | Esquema de realización de la prueba de duatlón.*      | Página 31 |
| <b>Imagen 3</b> | Colocación de los sensores de movimiento Runscribe®.* | Página 37 |
| <b>Imagen 4</b> | Recuerdo de Gráficos 9 y 10.*                         | Página 72 |

\*: Imagen de elaboración propia.

## 5. ÍNDICE DE TABLAS

|                 |  |           |
|-----------------|--|-----------|
| <b>Tabla 1</b>  | Cálculo del tamaño muestral para cada variable.*     | Página 29 |
| <b>Tabla 2</b>  | Variables del estudio.*                              | Página 30 |
| <b>Tabla 3</b>  | Cronograma de temporalidad del estudio.*             | Página 32 |
| <b>Tabla 4</b>  | Tabla de recogida de datos.*                         | Página 38 |
| <b>Tabla 5</b>  | Tabla de variables categóricas.*                     | Página 41 |
| <b>Tabla 6</b>  | Tabla de descriptivos variable sexo.*                | Página 41 |
| <b>Tabla 7</b>  | Tabla de descriptivos variable footstrike_pre.*      | Página 42 |
| <b>Tabla 8</b>  | Tabla de descriptivos variable footstrike_post.*     | Página 42 |
| <b>Tabla 9</b>  | Tabla de variables cuantitativas.*                   | Página 43 |
| <b>Tabla 10</b> | Tabla de descriptivos variable edad.*                | Página 44 |
| <b>Tabla 11</b> | Pruebas de normalidad variable edad.*                | Página 44 |
| <b>Tabla 12</b> | Tabla de descriptivos ritmo_pre/ritmo_post.*         | Página 45 |
| <b>Tabla 13</b> | Pruebas de normalidad ritmo_pre/ritmo_post.*         | Página 45 |
| <b>Tabla 14</b> | Tabla de descriptivos cadencia_pre/cadencia_post.*   | Página 46 |
| <b>Tabla 15</b> | Pruebas de normalidad cadencia_pre/cadencia_post.*   | Página 46 |
| <b>Tabla 16</b> | Tabla de descriptivos pronación_pre/pronación_post.* | Página 47 |
| <b>Tabla 17</b> | Pruebas de normalidad pronación_pre/pronación_post.* | Página 47 |
| <b>Tabla 18</b> | Tabla de descriptivos vel_pron_pre/vel_pron_post.*   | Página 48 |
| <b>Tabla 19</b> | Pruebas de normalidad vel_pron_pre/vel_pron_post.*   | Página 48 |
| <b>Tabla 20</b> | Tabla de descriptivos impact_pre/impact_post.*       | Página 49 |
| <b>Tabla 21</b> | Pruebas de normalidad impact_pre/impact_post.*       | Página 49 |
| <b>Tabla 22</b> | Tabla de descriptivos braking_pre/braking_post.*     | Página 50 |
| <b>Tabla 23</b> | Pruebas de normalidad braking_pre/braking_post.*     | Página 50 |

|                 |   |           |
|-----------------|---|-----------|
| <b>Tabla 24</b> | Tabla descriptivos long_zancada_pre/long_zancada_post.*   | Página 51 |
| <b>Tabla 25</b> | Prueba normalidad long_zancada_pre/long_zancada_post.*  | Página 51 |
| <b>Tabla 26</b> | Tabla de descriptivos osc_vert_pre/osc_vert_post.*  | Página 52 |
| <b>Tabla 27</b> | Pruebas de normalidad osc_vert_pre/osc_vert_post.*  | Página 52 |
| <b>Tabla 28</b> | Resumen pruebas de normalidad.*   | Página 53 |
| <b>Tabla 29</b> | Prueba de Wilcoxon ritmo_pre/ritmo_post.*   | Página 54 |
| <b>Tabla 30</b> | Prueba t de Student cadencia_pre/cadencia_post.*  | Página 54 |
| <b>Tabla 31</b> | Prueba de Wilcoxon pronación_pre/pronación_post.*   | Página 55 |
| <b>Tabla 32</b> | Prueba t de Student vel_pron_pre/vel_pron_post.*  | Página 55 |
| <b>Tabla 33</b> | Prueba t de Student impact_pre/impact_post.*  | Página 56 |
| <b>Tabla 34</b> | Prueba t de Student braking_pre/braking_post.*  | Página 56 |
| <b>Tabla 35</b> | Prueba t de Student long_zancada_pre/long_zancada_post*   | Página 57 |
| <b>Tabla 36</b> | Prueba t de Student osc_vert_pre/osc_vert_post.*  | Página 57 |
| <b>Tabla 37</b> | Resultados correlaciones de Pearson y Rho de Spearman entre variable edad y variables dependientes. | Página 64 |

\*: Tabla de elaboración propia.

## 6. ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                   |  |           |
|-------------------|--|-----------|
| <b>Gráfico 1</b>  | Diagrama de barras variable sexo.*               | Página 41 |
| <b>Gráfico 2</b>  | Diagrama de barras variable footstrike_pre.*     | Página 42 |
| <b>Gráfico 3</b>  | Diagrama de barras variable footstrike_post.*    | Página 42 |
| <b>Gráfico 4</b>  | Histograma variable edad.*                       | Página 44 |
| <b>Gráfico 5</b>  | Histograma variable ritmo_pre.*                  | Página 45 |
| <b>Gráfico 6</b>  | Diagrama de caja y bigotes ritmo_post.*          | Página 45 |
| <b>Gráfico 7</b>  | Histograma variable cadencia_pre.*               | Página 46 |
| <b>Gráfico 8</b>  | Histograma variable cadencia_post.*              | Página 46 |
| <b>Gráfico 9</b>  | Diagrama de caja y bigotes pronación_pre.*       | Página 47 |
| <b>Gráfico 10</b> | Diagrama de caja y bigotes pronación_post.*      | Página 47 |
| <b>Gráfico 11</b> | Histograma variable vel_pron_pre.*               | Página 48 |
| <b>Gráfico 12</b> | Histograma variable vel_pron_post.*              | Página 48 |
| <b>Gráfico 13</b> | Histograma variable impact_pre.*                 | Página 49 |
| <b>Gráfico 14</b> | Histograma variable impact_post.*                | Página 49 |
| <b>Gráfico 15</b> | Histograma variable braking_pre.*                | Página 50 |
| <b>Gráfico 16</b> | Histograma variable braking_post.*               | Página 50 |
| <b>Gráfico 17</b> | Histograma variable long_zancada_pre.*           | Página 51 |
| <b>Gráfico 18</b> | Histograma variable long_zancada_post.*          | Página 51 |
| <b>Gráfico 19</b> | Histograma variable osc_vert_pre.*               | Página 52 |
| <b>Gráfico 20</b> | Histograma variable osc_vert_post.*              | Página 52 |
| <b>Gráfico 21</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y ritmo_pre.*    | Página 58 |
| <b>Gráfico 22</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y ritmo_post.*   | Página 58 |
| <b>Gráfico 23</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y cadencia_pre.* | Página 59 |

|                   |   |           |
|-------------------|---|-----------|
| <b>Gráfico 24</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y cadencia_post.*     | Página 59 |
| <b>Gráfico 25</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y pronación_pre.*     | Página 59 |
| <b>Gráfico 26</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y pronación_post.*    | Página 59 |
| <b>Gráfico 27</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y vel_pron_pre.*      | Página 60 |
| <b>Gráfico 28</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y vel_pron_post.*     | Página 60 |
| <b>Gráfico 29</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo e impact_pre.*        | Página 60 |
| <b>Gráfico 30</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo e impact_post.*       | Página 60 |
| <b>Gráfico 31</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y braking_pre.*       | Página 61 |
| <b>Gráfico 32</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y braking_post.*      | Página 61 |
| <b>Gráfico 33</b> | Diagrama de barras sexo y footstrike_pre.*            | Página 61 |
| <b>Gráfico 34</b> | Diagrama de barras sexo y footstrike_post.*           | Página 61 |
| <b>Gráfico 35</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y long_zancada_pre.*  | Página 62 |
| <b>Gráfico 36</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y long_zancada_post.* | Página 62 |
| <b>Gráfico 37</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y osc_vert_pre.*      | Página 62 |
| <b>Gráfico 38</b> | Diagrama de caja y bigotes sexo y osc_vert_post.*     | Página 62 |
| <b>Gráfico 39</b> | Diagrama de caja y bigotes edad y footstrike.*        | Página 63 |
| <b>Gráfico 40</b> | Diagrama de dispersión edad y ritmo_pre.*             | Página 65 |
| <b>Gráfico 41</b> | Diagrama de dispersión edad y ritmo_post.*            | Página 65 |
| <b>Gráfico 42</b> | Diagrama de dispersión edad y cadencia_pre.*          | Página 66 |
| <b>Gráfico 43</b> | Diagrama de dispersión edad y cadencia_post.*         | Página 66 |
| <b>Gráfico 44</b> | Diagrama de dispersión edad y pronación_pre.*         | Página 67 |
| <b>Gráfico 45</b> | Diagrama de dispersión edad y pronación_post.*        | Página 67 |
| <b>Gráfico 46</b> | Diagrama de dispersión edad y vel_pron_pre.*          | Página 68 |
| <b>Gráfico 47</b> | Diagrama de dispersión edad y vel_pron_post.*         | Página 68 |

|                   |   |           |
|-------------------|---|-----------|
| <b>Gráfico 48</b> | Diagrama de dispersión edad e impact_pre.*        | Página 68 |
| <b>Gráfico 49</b> | Diagrama de dispersión edad e impact_post.*       | Página 68 |
| <b>Gráfico 50</b> | Diagrama de dispersión edad y braking_pre.*       | Página 69 |
| <b>Gráfico 51</b> | Diagrama de dispersión edad y braking_post.*      | Página 69 |
| <b>Gráfico 52</b> | Diagrama de dispersión edad y long_zancada_pre.*  | Página 70 |
| <b>Gráfico 53</b> | Diagrama de dispersión edad y long_zancada_post.* | Página 70 |
| <b>Gráfico 54</b> | Diagrama de dispersión edad y osc_vert_pre.*      | Página 71 |
| <b>Gráfico 55</b> | Diagrama de dispersión edad y osc_vert_post.*     | Página 72 |

\*: Gráfico de elaboración propia.

## **7. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA**

### **7.1. CRECIMIENTO DEL DEPORTE AMATEUR**

La carrera a pie se ha convertido en una forma de actividad física cada vez más popular entre la población general. El running ha sido el método empleado por muchos para combatir la inactividad física, ya que es un deporte que no requiere muchos recursos materiales, ni tampoco asistir a centros deportivos.<sup>1,2</sup> De forma análoga al crecimiento del número de deportistas amateurs que practican la carrera a pie, también se ha observado un creciente interés por otros deportes de resistencia, como el triatlón y el duatlón.<sup>3</sup>

En cuanto al duatlón, se trata de una prueba multideporte de resistencia que involucra la carrera a pie y el ciclismo siguiendo la secuencia: 1ª carrera – ciclismo – 2ª carrera. Este deporte se encuentra regulado por la Unión Internacional de Triatlón (ITU), y aunque las distancias de competición pueden variar, el formato más comúnmente practicado es la modalidad duatlón sprint, la cual consiste en una primera carrera a pie de 5km, 20km de ciclismo y una segunda carrera a pie de 2,5km.<sup>4,5</sup>

### **7.2. LA CARRERA A PIE Y LAS LESIONES**

Si bien es cierto que el ejercicio físico tiene un impacto indudablemente beneficioso para la salud, los deportes de resistencia que involucran la carrera a pie se han caracterizado por un elevado índice de lesiones, que afectan principalmente a las extremidades inferiores.<sup>1</sup> Además, y a pesar de los conocimientos adquiridos en múltiples investigaciones llevadas a cabo en las últimas décadas en materia de prevención para este tipo de lesiones; son varios los estudios de autoinforme que hablan de un mantenimiento o incluso un aumento de la tasa de lesiones en deportistas amateurs.<sup>2,6</sup> Este aumento de la prevalencia de lesiones musculoesqueléticas ha sido asociado con el incremento de deportistas amateurs que eligen los deportes de resistencia que involucran la carrera a pie como hábito deportivo.<sup>7</sup> Numerosos estudios han podido estimar que un 50-70% de corredores amateurs padecen al menos una lesión por sobreuso cada año, entendiéndose en este caso una lesión por sobreuso como una alteración musculoesquelética causada por la práctica de carrera a pie que impide el desarrollo normal de la carrera en parámetros de ritmo de carrera, distancia, tiempo o frecuencia de entrenamientos y con una duración de al menos una semana.<sup>8,9</sup>

En la carrera a pie, las lesiones afectan principalmente a miembros inferiores, siendo la rodilla la articulación más comprometida.<sup>7,10</sup> En cuanto a los factores de riesgo, podemos encontrar una gran variedad: factores intrínsecos, como una edad avanzada, el sexo, haber sufrido una lesión previa, anomalías en la alineación anatómica y/o en la postura del pie, patrones de carga defectuosos...; y factores extrínsecos, como las características del entrenamiento, el tipo de calzado, el tipo de superficie o la práctica de otros deportes además de la carrera a pie.<sup>7,10</sup>

### **7.3. INVESTIGACIÓN EN DUATLÓN**

El estudio de los diferentes ámbitos de un deporte (fisiología, biomecánica, aspectos nutricionales...), facilitan información a los entrenadores y preparadores de cara a la preparación del deportista, para lograr un mayor rendimiento.<sup>3</sup>

A diferencia del triatlón, deporte en el cual cada vez se desarrollan más estudios de investigación; en duatlón el conocimiento científico es escaso, y poco se sabe acerca de estos atletas. Sin embargo estos deportes no son tan similares, pues la presencia de una primera carrera a pie previa al segmento de ciclismo (en lugar del segmento inicial de natación propia del triatlón), puede modificar las estrategias y técnicas de carreras enfocadas al rendimiento del deportista.<sup>11</sup>

### **7.4. IMPORTANCIA DE LA BIOMECÁNICA DE CARRERA**

La carrera a pie es la evolución natural de la marcha con el incremento de la velocidad de desplazamiento. En ella podemos distinguir dos fases principales: una fase de apoyo, delimitada por el contacto inicial del pie con el suelo y el momento de despegue del mismo; y una fase de balanceo, formada por la fase de doble vuelo, en la cual ambas extremidades están en el aire, y una fase de apoyo de la extremidad contralateral. Además, la carrera a pie se caracteriza por ser un movimiento que presenta numerosos grados de libertad, y según el cual los deportistas avanzan empleando técnicas diversas, que presentan variaciones en parámetros biomecánicos tales como el patrón de zancada o la cinemática de los miembros inferiores. Estas alteraciones pueden influir ya no solo en el rendimiento del deportista, sino también en la aparición de lesiones.<sup>9,12</sup> Muchos expertos coinciden al afirmar que son muchos los factores que modifican la mecánica de carrera de un individuo (ritmo de carrera, terreno, peso y altura, calzado...).<sup>13</sup>

Sin embargo, hay varios aspectos de la biomecánica de carrera que se pueden considerar realmente influyentes en la incidencia lesional y en el rendimiento deportivo: los parámetros relacionados con la zancada, los ángulos de movimiento articular de los miembros inferiores, el desplazamiento en el eje vertical de la pelvis (oscilación vertical), los impactos de frenado y la postura tanto del tronco como de la pelvis.<sup>12</sup>

#### **7.4.1. PARÁMETROS BIOMECÁNICOS QUE COMPROMETEN EL RENDIMIENTO Y EL RIESGO DE LESIÓN**

Con respecto a los efectos de impacto y frenado con la superficie sobre la que el deportista corre, cabe centrarse en la fase de apoyo del pie con el suelo, y en cómo tiene lugar este apoyo. Sin embargo, la fase de vuelo también influye en cómo tendrá lugar ese impacto, debido a factores tales como la cadencia de zancada, la longitud de la misma, o la propia velocidad a la que se desplaza el deportista.<sup>13</sup>

##### **Fuerzas de reacción**

En cuanto a las fuerzas de reacción del suelo durante la carrera, nos permiten valorar la carga absorbida por el sistema musculoesquelético, principalmente por los miembros inferiores. Estas fuerzas de impacto provocan a su vez un efecto o fuerza de frenado (braking) del movimiento del deportista que también se verá modificado por otros parámetros tales como el tipo de pisada o la velocidad. Fuerzas de frenado mayores supondrán generar un mayor efecto de propulsión horizontal en el momento del despegue para mantener la velocidad. A su vez, a mayor propulsión, mayor gasto energético de la musculatura implicada; lo que se traduce en un aumento del coste metabólico de la actividad. Al mismo tiempo, un aumento de las fuerzas de impacto y frenado implicarán mayores exigencias musculares en contracción excéntrica y de las estructuras pasivas.<sup>12,14</sup>

Durante la carrera, la magnitud de las fuerzas de impacto oscilan entre 1,5 a 5 veces el peso corporal, variando en función de distintos parámetros como la velocidad, la masa del sujeto, la región plantar de contacto con el suelo, el calzado o la superficie, entre otros. Varios estudios avalan que el aumento de esta magnitud de fuerzas se ve relacionado con un mayor índice lesional, demostrando que sujetos que presentan mayores fuerzas de impacto vertical sufren más lesiones musculoesqueléticas por sobreuso en extremidades inferiores.<sup>8,15</sup>

Se puede decir por tanto, que un aumento de las fuerzas verticales de impacto se asocia no solo con un mayor gasto energético (y en consecuencia una reducción del rendimiento); sino también con una mayor tasa de lesiones, como el aumento del riesgo de sufrir fracturas de estrés en la tibia, o lesiones que afectan a la articulación de la rodilla. Mientras tanto, una correcta alineación del vector de fuerzas resultante de la suma de fuerzas de reacción provocadas, facilitará la reducción de los momentos articulares, requiriendo menor gasto energético muscular, y repercutirá positivamente sobre el riesgo de lesión.<sup>12,14,15</sup>

### **Patrón de pisada**

Se pueden distinguir tres patrones de pisada distintos correspondientes a la región plantar de apoyo del pie. De este modo tenemos apoyo en antepié (apoyo en región de los metatarsos, apoyo en mediopie (con un apoyo en una región intermedia entre los metatarsos y la región posterior del pie), y un apoyo en retropié, con un contacto inicial del calcáneo con el suelo.<sup>13</sup> El apoyo en retropié se ha visto asociado con un mayor índice de lesión por sobreuso, como fracturas tibiales por estrés o fascitis plantar. Esto se debe a que un aterrizaje de talón aumenta las fuerzas de impacto vertical, que provoca un mayor gasto energético, y un mayor riesgo de lesión.<sup>4,8,9,14</sup>

El patrón de apoyo de retropié está asociado a mayores fuerzas de reacción absorbidas por las extremidades con respecto al apoyo de mediopie o antepié, y se ha observado que modificar este patrón podría modificar dichas fuerzas de impacto.<sup>4,9,14,16</sup> De hecho, a lo largo de la evolución humana, la carrera de nuestros antepasados se correspondía con un apoyo de antepié y mediopie, y se piensa que la tendencia hacia el apoyo de retropié ha ido desarrollándose por el uso de calzado con amortiguación, provocando una entrada modificada del pie en contacto con el suelo, que aumenta las fuerzas de colisión.<sup>7</sup>

### **Movimiento de pronación**

Otro factor a tener en cuenta es la pronación que experimenta el pie previa a la fase de apoyo y durante la misma. Son varios los estudios que han considerado su influencia en las lesiones por sobreuso, de tal forma que los sujetos con mayores tasas de lesión tienen una predisposición hacia una sobrepronación tanto estática como en movimiento. Del mismo modo, la velocidad angular con la que la articulación del tobillo

se dirige hacia la pronación durante la carrera también ha sido probada, de tal modo que una mayor velocidad de pronación también se relaciona con una mayor incidencia de lesión.<sup>7,8,13,17</sup>

No obstante, el movimiento de pronación no deja de ser un mecanismo protector que reduce las fuerzas de impacto durante la carrera, y solo aumentaría el riesgo de lesión en sujetos cuyos los rangos de pronación excedan los límites fisiológicos comunes o si se produce en momentos del ciclo de zancada en los que ha de corregirse, como por ejemplo la fase de despegue.<sup>8,13</sup>

### **Oscilación vertical**

La oscilación vertical consiste en el grado de desplazamiento que realiza el centro de gravedad corporal en un eje vertical durante la carrera a pie. Un mayor desplazamiento vertical del centro de masas aumenta las fuerzas de reacción del suelo, reduciendo el vector de fuerzas horizontal.<sup>12</sup>

Una menor oscilación vertical se relaciona con un menor impacto articular, y en consecuencia con un menor efecto de frenado, favoreciendo el avance hacia delante del deportista. En base a esto, podemos decir que una menor oscilación vertical mejora el rendimiento del deportista y reduce el riesgo de lesión al reducir la magnitud de las fuerzas absorbidas por el sistema musculoesquelético.<sup>12</sup>

### **Cadencia de carrera y longitud de zancada**

La cadencia de carrera, definida como el número de pasos por minuto, es otro factor que puede afectar al rendimiento deportivo y al riesgo de lesión. Está relacionada con la longitud de zancada, de tal forma que a igual ritmo de carrera, un aumento de la cadencia reducirá la longitud de zancada.<sup>15,18</sup>

La cadencia también se relaciona con las fuerzas de reacción del suelo, la oscilación vertical y las cargas absorbidas por los sistemas articulares. Así, se ha demostrado que un aumento de la cadencia de un 10% con respecto al ritmo habitual de un deportista, manteniendo el ritmo de carrera (que a su vez implica una disminución proporcional en la longitud de zancada), reduce significativamente las fuerzas de reacción, y en consecuencia, la energía que absorben la articulación de la rodilla (en

mayor medida) y la articulación de la cadera. La explicación a esto radica en que una mayor cadencia aproxima el punto de contacto del talón con el suelo con respecto al centro de gravedad, y por tanto una menor velocidad en el desplazamiento vertical del mismo. También se ha podido observar que disminuye la flexión máxima de la rodilla en el momento del apoyo, y también la aproximación máxima y rotación interna de cadera, parámetros que se encuentran relacionados por el riesgo de padecer dolor femoropatelar anterior o síndrome de la banda iliotibial.<sup>14,15,18</sup>

Un aumento superior al 10% de la cadencia media sin modificar el ritmo de carrera, también implica una reducción de las fuerzas de impacto; sin embargo puede afectar al rendimiento al tratarse de una adaptación más difícil para el deportista, y que implica mayores exigencias metabólicas al aumentar el consumo de oxígeno y/o la frecuencia cardíaca, lo cual con aumentos de cadencia de entre un 5% y un 10% no ocurre.<sup>18</sup>

Por consiguiente, un aumento de hasta un 10% del ritmo de pasos, con la correspondiente reducción proporcional de la longitud de zancada, manteniendo constante la velocidad, proporciona mejoras sobre el riesgo de lesión y el rendimiento sin comprometer el gasto metabólico.<sup>15,18</sup>

## **7.5. LA EDAD EN DEPORTES DE RESISTENCIA**

Otro aspecto a tener en cuenta en el momento de analizar la biomecánica de carrera de un duatleta es su edad. La edad condiciona la aparición de cambios y adaptaciones en la morfología y fisiología de un deportista, lo cual puede influir sobre el gasto metabólico que éste experimenta durante la práctica deportiva. El envejecimiento influye sobre el ritmo medio de carrera de distintos deportes de resistencia (carrera a pie, esquí de fondo...), de tal forma que los atletas de mayor edad muestran una velocidad de carrera más uniforme que atletas más jóvenes, lo que supone una mejor gestión del esfuerzo.<sup>5,11</sup>

Por otro lado, el mayor nivel de rendimiento se alcanza a partir de los 25 años cuando hablamos de deportes de resistencia. Esto difiere de lo que ocurre en deportes de velocidad, donde el mayor rendimiento se alcanza entre 20 y 25 años.<sup>11</sup>

Por todo ello, las estrategias relacionadas con los ritmos de carrera difieren entre aquellos deportistas más jóvenes y otros más veteranos, independientemente de que su objetivo sea el mismo. De este modo, y trasladado al duatlón, hay estudios que han comprobado que los duatletas de menor edad son proporcionalmente más rápidos en el primer segmento de carrera a pie, así como en las transiciones que tienen lugar entre segmentos. Por su parte, los duatletas veteranos invierten menos tiempo en los sectores de ciclismo y en el segundo sector de carrera a pie.<sup>11</sup>

## **7.6. REEDUCACIÓN DE LA CARRERA**

Por tanto, la actuación sobre las cargas absorbidas por el sistema musculoesquelético a través de distintos parámetros biomecánicos supone un abanico de estrategias orientadas hacia la prevención de lesiones, ya que modificar la biomecánica de carrera puede ayudar a reducir la tasa de lesiones en deportistas que realicen carrera a pie, al reducir las energías absorbida por músculos y articulaciones principalmente de miembros inferiores.<sup>4,10,18</sup>

Surge así el concepto de reeducación de la carrera, el cual mediante tres pasos busca reducir este tipo de lesiones: el primer paso sería identificar patrones de biomecánica incorrectos (desde el punto de vista de prevención de lesiones) que puedan aumentar la carga de las estructuras musculoesqueléticas. El segundo paso consiste en establecer si estas anomalías en la técnica pueden ser modificadas. El tercer y último paso, va encaminado a introducir dichas modificaciones en caso de que sean posibles, y fomentar el aprendizaje neuromotor para mantener los cambios establecidos a largo plazo.<sup>4,10</sup>

La realización de estos estudios biomecánicos supone una estrategia eficaz en la reducción de las cargas de impacto y en consecuencia, para la mejora del rendimiento y para reducir el riesgo de lesión. Permiten tanto a deportistas como a entrenadores o equipo médico obtener información acerca de hábitos de entrenamiento modificables.<sup>8,9,10,12</sup>

## **7.7. ANÁLISIS DE LA CARRERA**

Hasta el momento, el análisis de la marcha y de la carrera se ha realizado habitualmente en ámbitos de laboratorio. Pero la mayoría de deportistas realizan sus entrenamientos al aire libre y no lo hacen en una cinta, ni mucho menos en un laboratorio

con marcadores fijados al cuerpo, y ante la observación de otras personas que los analizan. Es por ello que los resultados obtenidos por estos análisis no siempre pueden generalizarse a la marcha normal que sigue el individuo examinado.<sup>17,19</sup>

Correr en cinta puede modificar parámetros como la cadencia (aumento), tiempo y longitud de zancada (disminución), flexión de rodilla (disminución), flexión dorsal de tobillo (aumento), al compararse con los mismos parámetros en una carrera en exterior sobre superficie de tierra.<sup>17</sup>

Además, estos estudios solo se centran en unos pocos pasos de la carrera (5-15 normalmente), mientras que el número de pasos que un deportista puede dar por kilómetro son muchos más, y a lo largo de la carrera pueden aparecer cambios en la mecánica del patrón de carrera.<sup>19</sup>

Teniendo esto en cuenta, el uso de sensores que el deportista pueda portar durante la carrera en un entorno exterior, resulta interesante para la recogida de información de forma continua sobre cada paso durante la práctica deportiva. Y a pesar de que la fiabilidad del uso de diferentes modelos de sensores portátiles ha sido catalogada como de buena a excelente en comparación con sistemas de análisis de movimiento en 3D, el uso de estos sensores en estudios biomecánicos no está muy extendido.<sup>17,19</sup>

### **7.8. SENSORES RUNSCRIBE®**

Los sensores RunscribeTM®, diseñados por Scribe Labs, California (EEUU), consisten en pequeños dispositivos portátiles de recogida de datos sobre la biomecánica de la marcha y carrera de un deportista, quien portará un sensor en el dorso de cada zapatilla, y un tercer sensor a nivel de la base sacra. Esto permite al deportista realizar una carrera cómoda y libre, en contraste con la colocación de numerosos marcadores colocados en un estudio de laboratorio.<sup>17,19</sup>

Se ha comprobado en varios estudios que estos sensores poseen una fiabilidad aceptable y una validez concurrente de buena a excelente, al ser comparados con los análisis tridimensionales realizados en un laboratorio; y han mostrado una validez aparente al ser probados en distintas superficies y ritmos de carrera. También han sido comparados con otros sensores de movimiento similares del mercado, obteniendo una

mayor precisión en los resultados. No obstante, se debe interpretar con precaución los resultados, ya que los estudios de laboratorio siguen siendo más precisos en la medición de los distintos parámetros.<sup>17,19,20,21</sup>

Los sensores de movimiento Runscribe® pueden ser de gran ayuda no solo para la recogida de información acerca de la biomecánica de carrera de un deportista a través de datos cinéticos, cinemáticos y espacio-temporales; sino también para seguir su evolución durante un proceso de reeducación de la carrera, al permitir evaluar los cambios observados durante el proceso.<sup>19</sup>

## **7.9. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

La incidencia de lesiones en deportistas amateurs que practican deportes de resistencia que implican la carrera a pie sigue siendo muy elevada a pesar de la gran cantidad de estudios de investigación enfocados a la prevención de este tipo de lesiones, que han sido llevados a cabo en años recientes.

Algunos deportes de resistencia que implican la carrera a pie, como el atletismo, el trail-running, el cross-country o el triatlón han sido objeto de numerosos estudios enfocados a la prevención de lesiones, analizando diferentes factores de riesgo tales como el volumen de entrenamiento, el calzado empleado por los deportistas, la alimentación o la biomecánica a través de la técnica de carrera. Sin embargo, éste no es el caso del duatlón, de porte del cual se ha investigado muy poco hasta la fecha, pero que sin embargo ha crecido notablemente en los últimos años, debido al aumento de deportistas amateurs que lo practican.

Se considera pues importante, el avance del conocimiento científico en este deporte, enfocado tanto a la mejora del rendimiento, como a la prevención de posibles lesiones en los deportistas que lo practican.

## 8. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- **Objetivo principal:**

- Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre las variables recogidas en el estudio entre el primer y segundo segmento de carrera en duatletas amateurs.

- **Objetivos específicos:**

- Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre el ritmo medio de carrera entre el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
- Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la cadencia de carrera entre el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
- Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre el grado de pronación entre el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
- Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la velocidad máxima de pronación entre el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
- Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la fuerza vertical de impacto entre el primer y el segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
- Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la fuerza de frenado entre el primer y el segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.

- Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la región plantar de contacto inicial con el suelo durante la carrera entre el primer y el segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
- Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la longitud de zancada entre el primer y el segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
- Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la oscilación vertical entre el primer y el segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
- Analizar la influencia de la edad en los resultados del estudio.
- Analizar la influencia del sexo en los resultados del estudio.

## **9. HIPÓTESIS**

“El segmento de ciclismo en duatlón afecta a la biomecánica de carrera de deportistas amateurs durante el segundo segmento de carrera con respecto al primero, en un duatlón sprint”.

## **10. METODOLOGÍA**

### **10.1. DISEÑO DEL ESTUDIO**

Se trata de un estudio piloto cuasiexperimental, cuantitativo y transversal, en el que se ha recogido información de variables relacionadas con la biomecánica y técnica de carrera en dos momentos de la prueba de duatlón, para posteriormente compararlos. Se realizó una primera medición durante el primer segmento de carrera, y una segunda medición durante el segundo segmento de carrera. Existe un único grupo muestral sobre el que se realiza la recogida de datos y se han analizado por tanto variables relacionadas.

### **10.2. SUJETOS DE ESTUDIO**

La población diana del estudio se corresponde con duatletas amateurs mayores de 18 años que no presenten ningún tipo de lesión en el momento de recogida de los datos o se encuentren en un proceso de recuperación lesional. Los sujetos no deben presentar alteraciones cognitivas que les impidan comprender las normas que se les explican. Por último deberán firmar el consentimiento informado de aceptación de participación en el estudio. (ANEXO 1)

En cuanto al tipo de muestreo, algunos sujetos han sido introducidos en el estudio por voluntad propia de participación, y a partir de entonces se ha realizado un muestreo en bola de nieve, en el que a través de unos sujetos, otros han sido también invitados a participar de forma voluntaria en el estudio. Se trata de un estudio piloto, para el cual no se ha realizado un cálculo muestral exacto necesario. Hubo un único grupo de sujetos para el estudio, por lo que no ha sido necesario ningún tipo de aleatorización.

Criterios de inclusión:

- Practicar duatlón de forma amateur.
- Ser mayor de edad.
- Sujetos que accedan voluntariamente a participar y firmen el consentimiento informado.

Criterios de exclusión:

- Ser menor de edad.
- Sujetos que presenten alguna lesión que les impida desarrollar la prueba a nivel competitivo o que estén en proceso de recuperación.

- Sujetos con alteraciones cognitivas que les impidan comprender las normas necesarias para la realización del estudio.
- Sujetos que no firmen el consentimiento informado.

En cuanto al número de participantes, se trata de un estudio piloto, en el que se ha intentado captar al mayor número posible de sujetos de estudio. 12 deportistas accedieron a participar en el estudio, aunque 2 de ellos finalmente no pudieron participar por presentar patologías en el momento de las mediciones.

### 10.3. CÁLCULO DEL TAMAÑO MUESTRAL

Se ha realizado un estudio piloto por la imposibilidad de alcanzar el tamaño muestral mínimo necesario, cuyo cálculo se muestra a continuación, realizado por medio de la “Calculadora de Tamaño muestral GRANMO”, en su versión 7.12.

Previo al cálculo del tamaño muestral, se han fijado los siguientes parámetros:

- Nivel de confianza: 95%, por tanto Riesgo Alfa 0,05 ( $\alpha=0,05$ )
- Error Beta o riesgo Beta : 20% ( $\beta=0,2$ ).
- Coeficiente  $Z\alpha$ : 1,96 (al tener un nivel de confianza del 95%).<sup>22</sup>
- Proporción prevista de pérdidas de seguimiento: 0,15.

The image shows the GRANMO sample size calculator interface. At the top, it says "Calculadora de Tamaño muestral GRANMO" and "Versión 7.12 Abril 2012". There are language selection buttons for "Català", "Castellano", and "English". The main section is titled "Medias : Medias apareadas (repetidas en un grupo)". It contains several input fields: "Riesgo Alfa" with radio buttons for 0.05 (selected), 0.10, and "Otro"; "Tipo de contraste" with radio buttons for "unilateral" and "bilateral" (selected); "Riesgo Beta" with radio buttons for 0.20 (selected), 0.10, 0.05, 0.15, and "Otro"; "Desviación estándar de las diferencias:"; "Diferencia mínima a detectar:"; and "Proporción prevista de pérdidas de seguimiento:" with a text input field containing "0.15". Below these fields are buttons for "calcula", "Limpia resultados", "Limpia todo", "Selecciona todo", and "Imprimir". On the right side, there is a sidebar menu with "Proporciones" and "Medias" sections. The "Medias" section is expanded, showing options: "Dos medias independientes", "Medias apareadas (repetidas en un grupo)" (highlighted in green), "Observada respecto a una de Referencia", "Medias apareadas (repetidas en dos grupos)", "Estimación Poblacional", "Análisis de la varianza", and "Potencia de un contraste". At the bottom, there is a footer with text: "Desarrollado por: Jaume Marrugat", "Mantenido por: Joan Vila", "Adaptación web: Antaviana", and "Los autores no se hacen responsables de las consecuencias de su uso." It also includes logos for "IMIM", "MAR", "FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL", and "CIBERCv".

Imagen1: Calculadora de Tamaño Muestral GRANMO (elaboración propia).

En la calculadora de Tamaño muestral GRANMO, para nuestro tipo de estudio hemos seleccionado el cálculo para “Medias apareadas (repetidas en un grupo)”. Para este método de cálculo eran necesarias las desviaciones estándar ( $\sigma$ ) de los datos de las variables recogidas en la primera carrera (medición “pre”); así como las diferencias mínimas a detectar (d). Estas últimas, se corresponden con las diferencias entre los resultados de la medición de cada variable en el primer segmento de carrera, con respecto a la medición de dicha variable en el segundo segmento; siempre y cuando existan diferencias significativas. En caso de que las diferencias entre las variables no sean significativas, se toma como valor “d” un 10% de la media de la variable en el primer segmento de carrera (pre).<sup>22</sup>

Se realizó el cálculo del tamaño muestral para cada una de las variables dependientes del estudio en el momento de la primera carrera, y posteriormente se seleccionó como tamaño muestral del estudio el mayor de todos los obtenidos. (ANEXO 4)

| Variable         | Desviación estándar ( $\sigma$ ) | Dif. mín. a detectar (d) | Tamaño muestral |
|------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------|
| Ritmo_pre        | 24,957                           | 24,02                    | 10              |
| Cadencia_pre     | 8,644                            | 17,95                    | 3               |
| Pronación_pre    | 7,061                            | 0,56*                    | <b>1469</b>     |
| Vel_pron_pre     | 148,75                           | 96,13                    | 23              |
| Impact_pre       | 2,4567                           | 0,91                     | 68              |
| Braking_pre      | 2,1791                           | 1,052                    | 40              |
| Long_zancada_pre | 0,2150                           | 0,282                    | 6               |
| Osc_vert_pre     | 1,0902                           | 0,688                    | 24              |

Tabla 1: Cálculo del tamaño muestral para cada variable (elaboración propia).

Con estos resultados, se puede decir que el tamaño muestral mínimo necesario para un estudio de este tipo, con las variables mencionadas, es de al menos 1469 sujetos.

## 10.4. VARIABLES

| <u>VARIABLE</u>               | <u>DESCRIPCIÓN</u>   | <u>TIPO DE VARIABLE</u>    | <u>MEDIDA</u> | <u>UNIDAD</u>             | <u>¿CÓMO MEDIR?</u> |
|-------------------------------|--|----------------------------|---------------|---------------------------|---------------------|
| ID                            | ID sujeto.   | Independiente Cualitativa  | Ordinal       | ---                       | Aleatorización      |
| SEXO                          | Sexo.  | Independiente Cualitativa  | Nominal       | 0=hombre<br>1=mujer       | Cuestionario        |
| EDAD                          | Edad en años.  | Independiente Cuantitativa | Escala        | Años                      | Cuestionario        |
| RITMO CARRERA                 | Ritmo medio de carrera.  | Dependiente Cuantitativa   | Escala        | Min/km                    | Sensor GPS GARMIN   |
| CADENCIA                      | Cadencia media de carrera.   | Dependiente Cuantitativa   | Escala        | Pasos/min                 | Sensores RUNSCRIBE® |
| PRONACIÓN                     | Ángulo (en grados) de pronación  | Dependiente Cuantitativa   | Escala        | °                         | Sensores RUNSCRIBE® |
| VELOCIDAD DE PRONACIÓN MÁXIMA | Máxima velocidad de pronación (°/s) durante el primer sector de carrera. | Dependiente Cuantitativa   | Escala        | °/s                       | Sensores RUNSCRIBE® |
| IMPACT Gs.                    | Fuerza vertical de impacto al contacto del pie con el suelo.             | Dependiente Cuantitativa   | Escala        | Fuerza G                  | Sensores RUNSCRIBE® |
| BRAKING Gs.                   | Fuerza de frenada del pie con el suelo.                                  | Dependiente Cuantitativa   | Escala        | Fuerza G                  | Sensores RUNSCRIBE® |
| FOOTSTRIKE TYPE               | Región plantar de contacto inicial del pie con el suelo.                 | Dependiente Cualitativa    | Ordinal       | 0=HEEL<br>1=MID<br>2=FORE | Sensores RUNSCRIBE® |
| LONGITUD DE ZANCADA           | Longitud media de zancada en metros.                                     | Dependiente Cuantitativa   | Escala        | m                         | Sensores RUNSCRIBE® |
| OSCILACIÓN VERTICAL           | Movimiento vertical total durante el ciclo de marcha (max-min) en cm.    | Dependiente Cuantitativa   | Escala        | cm                        | Sensores RUNSCRIBE® |

Tabla 2: Variables del estudio (elaboración propia).

Estas variables han sido seleccionadas para el estudio porque son variables relacionadas con la biomecánica de carrera que han sido probadas como influyentes tanto en el rendimiento como en la incidencia lesional de deportistas que realizan carrera a pie, y por tano de duatletas.

También están incluidas las variables sexo, edad y grupos de edad, para recoger información acerca de cuál es el perfil de cada sujeto, ya que estas variables también pueden afectar al rendimiento y a la incidencia lesional del deportista de resistencia.

## 10.5. DISEÑO DE INTERVENCIÓN

Tras la cumplimentación de un cuestionario previo,<sup>(ANEXO 3)</sup> los sujetos deben recorrer 5km de carrera a pie (primer segmento de carrera). Tras esto, realizarán un segmento de ciclismo de 20km (segmento de ciclismo). Por último, completarán un segundo segmento de carrera a pie de 2,5km (segundo segmento de carrera).

Se han realizado dos recogidas de datos; sin embargo, ambas ocurren en el mismo día, a lo largo de la realización de la prueba (durante el primer segmento de carrera -primera medición-, y durante el segundo segmento de carrera -segunda medición-). Por tanto este estudio tiene un carácter transversal.



Imagen 2: Esquema de realización de la prueba de duatlón (elaboración propia).

El estudio se realizó en circuitos de carrera llanos al aire libre, donde los sujetos han completado 5km de carrera a pie, 20km de ciclismo en ruta y 2,5km de carrera a pie. Aunque cumple con distancias oficiales marcadas por la Unión Internacional de Triatlón (ITU) para pruebas de duatlón sprint,<sup>4,5</sup> las mediciones no han sido tomadas en competiciones oficiales, sino que se trata de duatlones simulados. Esto quiere decir que cada participante ha completado estas distancias a ritmo de competición, pero de forma individual y sin encontrarse participando en una prueba deportiva propiamente dicha.

## 10.6. TEMPORALIDAD DEL ESTUDIO

|   | NOVIEMBRE 2021 | DICIEMBRE 2021 | ENERO 2022 | FEBRERO 2022 | MARZO 2022 | ABRIL 2022 | MAYO 2022 | JUNIO 2022 | JULIO 2022 |
|---|----------------|----------------|------------|--------------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| CIN-17  |                |                |            |              |            |            |           |            |            |
| BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA Y DISEÑO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN |                |                |            |              |            |            |           |            |            |
| CIN-18  |                |                |            |              |            |            |           |            |            |
| COMITÉ DE ÉTICA   |                |                |            |              |            |            |           |            |            |
| RECOGIDA DE DATOS   |                |                |            |              |            |            |           |            |            |
| ANÁLISIS DE DATOS   |                |                |            |              |            |            |           |            |            |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS Y TOMA DE CONCLUSIONES                 |                |                |            |              |            |            |           |            |            |
| PRESENTACIÓN DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER                        |                |                |            |              |            |            |           |            |            |
| INICIO DE BÚSQUEDA DE PUBLICACIÓN DEL ESTUDIO                 |                |                |            |              |            |            |           |            |            |

Tabla 3: Cronograma de temporalidad del estudio (elaboración propia).

Para la recogida de datos, todas las variables de cada sujeto, mencionadas en la tabla de variables, han sido recogidas el mismo día, incluida la cumplimentación del cuestionario. Sin embargo, el proceso de recogida de datos ha durado varios meses, ya que cada sujeto ha sido evaluado en días diferentes, pues solo se disponía de un único equipo de recogida de datos.

### **10.7. HIPÓTESIS OPERATIVAS:**

- Hipótesis operativa para el objetivo: “Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre las variables recogidas en el estudio, entre el primer y segundo segmento de carrera en duatletas amateurs”.
  - Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas entre las variables recogidas en el estudio durante el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  - Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Hay diferencias significativas entre las variables recogidas en el estudio durante el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  
- Hipótesis operativa para el objetivo: “Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre el ritmo medio de carrera entre el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs”.
  - Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas entre el ritmo de carrera del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  - Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Hay diferencias significativas entre el ritmo de carrera del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  
- Hipótesis operativa para el objetivo: “Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la cadencia de carrera entre el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs”.
  - Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas entre la cadencia de carrera del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  - Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Hay diferencias significativas entre la cadencia de carrera del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.

- Hipótesis operativa para el objetivo: “Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre el grado de pronación entre el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs”.
  - Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas entre el grado de pronación del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  - Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Hay diferencias significativas entre el grado de pronación del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  
- Hipótesis operativa para el objetivo: “Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la velocidad máxima de pronación entre el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs”.
  - Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas entre la velocidad máxima de pronación del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  - Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Hay diferencias significativas entre la velocidad máxima de pronación del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  
- Hipótesis operativa para el objetivo: “Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la fuerza vertical de impacto entre el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs”.
  - Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas entre la fuerza vertical de impacto del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  - Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Hay diferencias significativas entre la fuerza vertical de impacto del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.

- Hipótesis operativa para el objetivo: “Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la fuerza de frenado entre el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs”.
  - Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas entre la fuerza de frenado del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  - Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Hay diferencias significativas entre la fuerza de frenado del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  
- Hipótesis operativa para el objetivo: “Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la región plantar de contacto inicial con el suelo durante la carrera entre el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs”.
  - Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas entre la región plantar de contacto inicial con el suelo durante el primer y el segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  - Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Hay diferencias significativas entre la región plantar de contacto inicial con el suelo durante el primer y el segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  
- Hipótesis operativa para el objetivo: “Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la longitud de zancada entre el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs”.
  - Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas entre la longitud de zancada del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  - Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Hay diferencias significativas entre la longitud de zancada del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.

- Hipótesis operativa para el objetivo: “Analizar la influencia del segmento de ciclismo sobre la oscilación vertical entre el primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs”.
  - Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas entre la oscilación vertical del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  - Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Hay diferencias significativas entre la oscilación vertical del primer y segundo segmento de carrera a pie en duatletas amateurs.
  
- Hipótesis operativa para el objetivo: “Analizar la influencia de la edad sobre los resultados del estudio”.
  - Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas en los resultados del estudio en función de la edad de los sujetos.
  - Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Hay diferencias significativas en los resultados del estudio en función de la edad de los sujetos.
  
- Hipótesis operativa para el objetivo: “Analizar la influencia del sexo sobre los resultados del estudio”.
  - Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas en los resultados del estudio en función del sexo de los sujetos.
  - Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Hay diferencias significativas en los resultados del estudio en función del sexo de los sujetos.

## 10.8. RECOGIDA DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La recogida de datos se realiza mediante el uso de sensores de movimiento Runscribe<sup>®</sup>, que recogen la información y posteriormente la envían a la aplicación de smartphone Runscribe, al mismo tiempo que se almacena en la base de datos de la página web de este sistema. El sistema Runscribe<sup>®</sup> se compone de 3 sensores de análisis de movimiento: dos de ellos van colocados cada uno de ellos en el dorso de cada pie respectivamente; y el tercer sensor va colocado a nivel de la base del sacro. De esta forma recogen datos sobre la cinemática y cinética de la carrera a pie, así como datos espacio-temporales.<sup>19</sup>

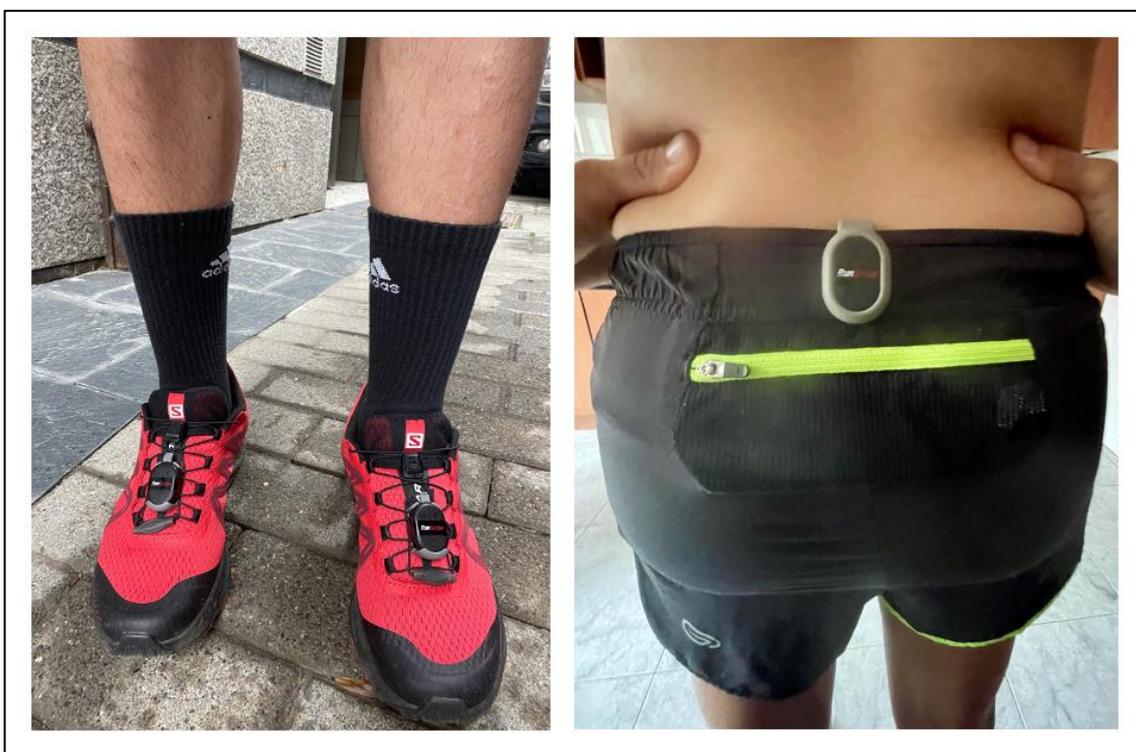


Imagen 3: Colocación de los sensores de movimiento Runscribe<sup>®</sup> (elaboración propia).

Una vez colocados los sensores, ya se puede iniciar la prueba para la recogida de los datos. El deportista comienza con el primer segmento de carrera a pie, durante el cual los sensores van recogiendo datos correspondientes a múltiples parámetros de biomecánica de carrera. Una vez finalizados los 5km, se retiran los sensores y el sujeto inicia inmediatamente el segmento de ciclismo de 20km; tras el cual se vuelven a colocar los sensores para la recogida de datos del segundo segmento de carrera a pie, esta vez con una distancia de 2,5km.

Durante la realización de la prueba, el examinador puede ir viendo ciertos datos desde la aplicación de Runscribe® para smartphone mediante conexión inalámbrica bluetooth. Una vez finalizada la prueba, los sensores se enlazan con dicha aplicación, transfiriendo todos los datos a la base de datos de la aplicación y a la web. Desde ambas plataformas se pueden consultar todos los datos acerca de los diferentes parámetros, así como elaborar documentos de informe en formato PDF para su difusión. A través de estos documentos se seleccionan los datos correspondientes a las variables de estudio y se recogen en un documento Excel para proceder al análisis estadístico.

Los datos son recogidos de aquellos sujetos voluntarios del estudio que cumplen con los criterios de inclusión planteados anteriormente, y que no cumplen ninguno de los criterios de exclusión. En caso de producirse algún imprevisto durante la realización de la prueba que ponga en peligro la seguridad del deportista, o bien pueda alterar la medición de los datos, se detiene la prueba.

Para la recogida de los datos necesarios para el estudio, los cuales son extraídos de la base de datos almacenada en la web, se ha elaborado la siguiente tabla:

| ID | Sexo | Edad | Ritmo |   | Cadencia |    | ° Pronación |      | Vel. Pron. |      | Impact |      | Braking |      | Footstr. |      | Long. zancada |      | Osc. Ver. |      |
|----|------|------|-------|---|----------|----|-------------|------|------------|------|--------|------|---------|------|----------|------|---------------|------|-----------|------|
| N  | -    | -    | 1     | 2 | 1°       | 2° | (1°)        | (2°) | (1°)       | (2°) | (1°)   | (2°) | (1°)    | (2°) | (1°)     | (2°) | (1°)          | (2°) | (1°)      | (2°) |

Tabla 4: Tabla de recogida de datos (elaboración propia).

Como se puede observar, cada variable presenta dos celdas, una para los datos correspondientes a la primera carrera a pie (1°), y otra celda para los datos de la segunda carrera (2°). Una vez recogida esta tabla en documento Excel, se introduce en el programa de análisis estadístico.

Para el análisis estadístico de los datos se utiliza el programa de análisis de datos IBM SPSS Statistics®, versión 26.0. para iOS. A excepción de las variables sexo, edad y categorías de edad, el resto de variables son medidas en dos momentos distintos del estudio, antes y después del segmento ciclista, por lo que se dispone de variable “PRE” y “POST” de cada una de ellas. En este estudio se considera un intervalo de confianza del 95%, lo que a su vez supone un nivel de significación de 0,05. Por tanto, en el análisis estadístico son considerados efectos estadísticamente significativos, aquellos que presenten un resultado del valor de significación “p” menor o igual a 0,05 ( $p \leq 0,05$ ).

En primer lugar, a través de este programa se lleva a cabo el estudio descriptivo de los datos obtenidos, los cuales se acompañan de una prueba de normalidad para valorar si la distribución de la muestra es normal o no normal. La prueba de normalidad empleada en este estudio es Shapiro Wilk, ya que es la comúnmente empleada en estudios en los cuales el tamaño muestral es inferior a 30 sujetos.

Considerando el valor de significación obtenido de la prueba de normalidad, caben dos opciones: si el valor de  $p > 0,05$  se considera que la muestra sigue una distribución normal para dicha variable; en caso de que el valor de  $p \leq 0,05$  se considera que en ese caso la muestra no presenta una distribución normal.

Posteriormente al estudio descriptivo de las variables del estudio, así como de su normalidad, se procede a realizar el análisis estadístico para valorar las posibles diferencias estadísticas entre los resultados obtenidos en el primer segmento de carrera y los obtenidos en el segundo segmento de carrera. Se trata por tanto de un estudio para muestras relacionadas. Por tanto, en caso de que sigan una distribución normal el método utilizado es la prueba t de Student para muestras relacionadas, y en caso de que no sigan una distribución normal se emplea la prueba de Wilcoxon.

## **10.9. CONSIDERACIONES ÉTICAS** <sup>(ANEXO 5)</sup>

El presente estudio respeta los principios y recomendaciones éticas recogidos en la última actualización de la Declaración de Helsinki y Tokio, sobre procedimientos de investigación clínica en seres humanos. Para ello, este estudio se realiza bajo la aprobación de un Comité Ético, a través de la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia San Juan de Dios, correspondiente a la Universidad Pontificia de Comillas.

Este estudio garantiza cumplir los 4 principios éticos principales:

- Principio de beneficencia: por los resultados obtenidos en anteriores estudios, y los conocimientos obtenidos por medio de ellos, se puede suponer que el procedimiento realizado puede traducirse en beneficios posteriores para la salud de los sujetos.
- Principio de no maleficencia: el procedimiento seguido en este estudio no debería resultar adverso, no obstante, el equipo de investigación del estudio es responsable de supervisar la seguridad de los sujetos durante la realización de las pruebas, y el estudio debe detenerse en caso de que dicha seguridad se vea alterada.
- Principio de autonomía: todos los participantes del estudio lo hacen de forma voluntaria y sin ningún tipo de coacción, tal y como se recoge en el consentimiento informado necesario para la inclusión en el estudio. Además, en caso de querer abandonar el estudio, podrán rellenar un formulario de revocación del consentimiento informado, abandonando libremente el estudio cuando lo deseen. <sup>(ANEXOS 1 y 2)</sup>
- Principio de justicia social: para la selección de los participantes del estudio, no se aplica ningún tipo de discriminación entre aquellos individuos que se presenten voluntarios; siempre y cuando cumplan con los criterios de inclusión necesarios para el correcto desarrollo del estudio.

## 11. RESULTADOS

### 11.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Se procede a realizar el análisis descriptivo de cada una de las variables en función del tipo de variable en cada caso (categórica o cuantitativa). De este modo podemos observar los datos de cada una de las variables recogidas en nuestra muestra de sujetos.

#### Variables categóricas

Las variables cualitativas o categóricas del estudio son las siguientes:

| NOMBRE          | DESCRIPCIÓN  | TIPO DE VARIABLE          | MEDIDA  | UD.                                   | MEDIR               |
|-----------------|--|---------------------------|---------|---------------------------------------|---------------------|
| Sexo            | Sexo   | Independiente Cualitativa | Nominal | 0=H<br>1=M                            | Cuestionario        |
| Footstrike_pre  | Región plantar de contacto inicial del pie con el suelo en la 1ª carrera | Dependiente Cualitativa   | Ordinal | 1=Retropié<br>2=Mediopié<br>3=Antepié | Sensores Runscribe® |
| Footstrike_post | Región plantar de contacto inicial del pie con el suelo en la 2ª carrera | Dependiente Cualitativa   | Ordinal | 1=Retropié<br>2=Mediopié<br>3=Antepié | Sensores Runscribe® |

Tabla 5: Tabla de variables categóricas (elaboración propia).

Se describe cada variable por medio de su tabla de descriptivos correspondiente, así como de su diagrama de barras.

#### Sexo

|        |        | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|--------|--------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Hombre | 8          | 80,0       | 80,0              | 80,0                 |
|        | Mujer  | 2          | 20,0       | 20,0              | 100,0                |
|        | Total  | 10         | 100,0      | 100,0             |                      |

Tabla 6: Tabla de descriptivos variable sexo (elaboración propia).

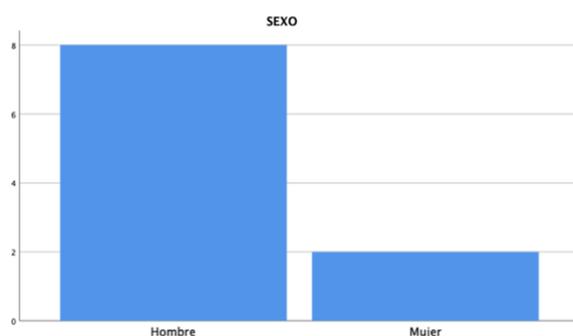


Gráfico 1: Diagrama de barras variable sexo (elaboración propia).

### Footstrike\_pre

|        |          | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|--------|----------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Mediopie | 6          | 60,0       | 60,0              | 60,0                 |
|        | Antepie  | 4          | 40,0       | 40,0              | 100,0                |
|        | Total    | 10         | 100,0      | 100,0             |                      |

Tabla 7: Tabla de descriptivos variable footstrike\_pre (elaboración propia).

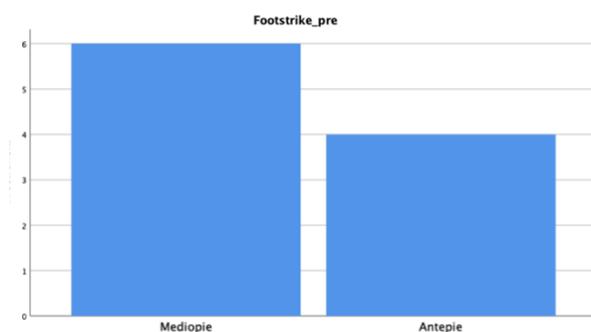


Gráfico 2: Diagrama de barras variable footstrike\_pre (elaboración propia).

### Footstrike\_post

|        |          | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|--------|----------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Mediopie | 6          | 60,0       | 60,0              | 60,0                 |
|        | Antepie  | 4          | 40,0       | 40,0              | 100,0                |
|        | Total    | 10         | 100,0      | 100,0             |                      |

Tabla 8: Tabla de descriptivos variable footstrike\_post (elaboración propia).

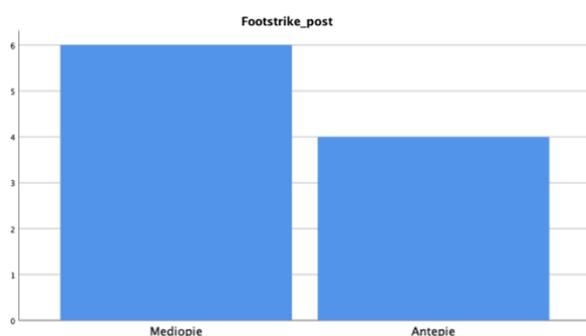


Gráfico 3: Diagrama de barras variable footstrike\_post (elaboración propia).

Con respecto a la variable sexo, como podemos comprobar, el 80% de los sujetos son varones, y el 20% son mujeres. También se observa que tanto en la primera medición como en la segunda, el 60% de los sujetos realizan un contacto inicial con el suelo de mediopié, un 40% contacta con antepié, y no existen sujetos que contacten con retropié.

Esta similitud se debe a que observando los datos en la tabla recogida en Excel se pudo ver que ningún sujeto presentaba modificaciones en la variable tipo de pisada entre el primer (footstrike\_pre) y el segundo (footstrike\_post) segmento de carrera a pie.

### **Variabes cuantitativas**

Las variables cuantitativas del estudio son las siguientes:

| <b><u>NOMBRE</u></b> | <b><u>DESCRIPCIÓN</u></b>                    | <b><u>TIPO DE VARIABLE</u></b> | <b><u>MEDIDA</u></b> | <b><u>UD.</u></b> | <b><u>MEDIR</u></b> |
|----------------------|--|--------------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|
| Edad                 | Edad en años                                 | Indep. Cuanti.                 | Escala               | Años de vida      | Cuestionario        |
| Ritmo_pre            | Ritmo de carrera medio durante la 1ª carrera | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | Seg/km            | Sensores Runscribe® |
| Ritmo_post           | Ritmo de carrera medio durante la 2ª carrera | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | Seg/km            | Sensores Runscribe® |
| Cadencia_pre         | Cadencia media durante la 1ª carrera         | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | Pasos/min         | Sensores Runscribe® |
| Cadencia_post        | Cadencia media durante la 2ª carrera         | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | Pasos/min         | Sensores Runscribe® |
| Pronación_pre        | Grados de pronación en la 1ª carrera         | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | °.                | Sensores Runscribe® |
| Pronación_post       | Grados de pronación en la 2ª carrera         | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | °.                | Sensores Runscribe® |
| Vel_pron_pre         | Velocidad de pronación en la 1ª carrera      | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | °/s               | Sensores Runscribe® |
| Vel_pron_post        | Velocidad de pronación en la 2ª carrera      | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | °/s               | Sensores Runscribe® |
| Impact_pre           | Fuerza de impacto en la 1ª carrera           | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | Fuerza G          | Sensores Runscribe® |
| Impact_post          | Fuerza de impacto en la 2ª carrera           | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | Fuerza G          | Sensores Runscribe® |
| Braking_pre          | Fuerza de frenado en la 1ª carrera           | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | Fuerza G          | Sensores Runscribe® |
| Braking_post         | Fuerza de frenado en la 2ª carrera           | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | Fuerza G          | Sensores Runscribe® |
| Long_zancada_pre     | Longitud de zancada en la 1ª carrera         | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | Metros            | Sensores Runscribe® |
| Long_zancada_post    | Longitud de zancada en la 2ª carrera         | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | Metros            | Sensores Runscribe® |
| Osc_vert_pre         | Oscilación vertical durante la 1ª carrera    | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | cm                | Sensores Runscribe® |
| Osc_vert_post        | Oscilación vertical durante la 2ª carrera    | Dependiente Cuantitativa       | Escala               | cm                | Sensores Runscribe® |

Tabla 9: Tabla de variables cuantitativas (elaboración propia).

Se describe cada variable por medio de su tabla de descriptivos correspondiente, así como de su histograma o diagrama de cajas, en función del resultado de las pruebas de normalidad: si la variable estudiada sigue una distribución normal, se emplea el histograma como método de representación; si en cambio la variable no sigue una distribución normal, se emplea el diagrama de caja y bigotes. El estudio de la normalidad se realiza a través de la prueba de Shapiro-Wilk (<30 sujetos en el estudio).

### Edad

|      | N  | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar |
|------|----|--------|--------|-------|---------------------|
| EDAD | 10 | 23     | 51     | 37,20 | 9,438               |

Tabla 10: Tabla de descriptivos variable edad (elaboración propia).

Pruebas de Normalidad.

|      | Kolmogórov-Smirnov |    |       | Shapiro-Wilk |    |      |
|------|--------------------|----|-------|--------------|----|------|
|      | Estadístico        | gl | Sig.  | Estadístico  | gl | Sig. |
| EDAD | ,176               | 10 | ,200* | ,931         | 10 | ,454 |

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Tabla 11: Pruebas de normalidad variable edad (elaboración propia).

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk es de 0,454. Esto quiere decir que la variable Edad sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos la variable por medio de un histograma.

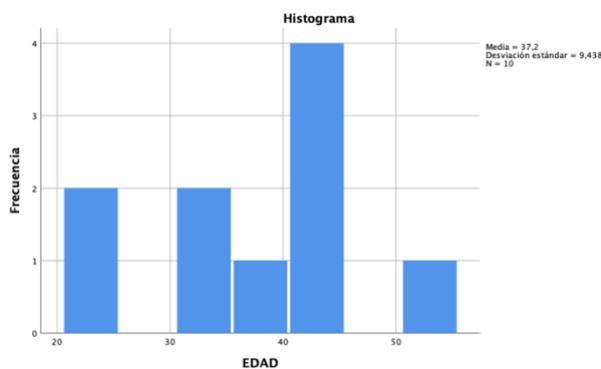


Gráfico 4: Histograma variable edad (elaboración propia).

### Ritmo de carrera

|            | N  | Mínimo | Máximo | Media  | Desviación estándar |
|------------|----|--------|--------|--------|---------------------|
| Ritmo_pre  | 10 | 206    | 294    | 240,20 | 24,957              |
| Ritmo_post | 10 | 206    | 305    | 242,70 | 32,448              |

Tabla 12: Tabla de descriptivos ritmo\_pre/ritmo\_post (elaboración propia).

Pruebas de normalidad.

|            | Kolmogórov-Smirnov |    |      | Shapiro-Wilk |    |             |
|------------|--------------------|----|------|--------------|----|-------------|
|            | Estadístico        | gl | Sig. | Estadístico  | gl | Sig.        |
| Ritmo_pre  | ,271               | 10 | ,036 | ,889         | 10 | ,166        |
| Ritmo_post | ,370               | 10 | ,000 | ,775         | 10 | <b>,007</b> |

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Tabla 13: Pruebas de normalidad ritmo\_pre/ritmo\_post (elaboración propia).

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Ritmo\_pre, es de 0,166. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un histograma.

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Ritmo\_post, es de 0,007. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución no normal ( $p \leq 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un diagrama de caja y bigotes.

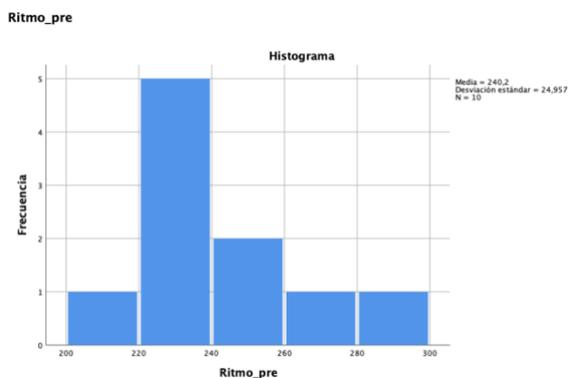


Gráfico 5: Histograma variable ritmo\_pre (elaboración propia).

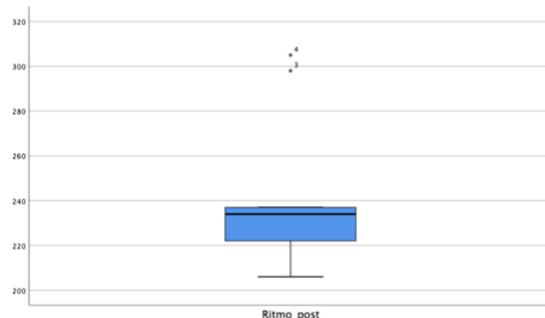


Gráfico 6: Diagrama de caja y bigotes variable ritmo\_post (elaboración propia).

### Cadencia

|               | N  | Mínimo | Máximo | Media  | Desviación estándar |
|---------------|----|--------|--------|--------|---------------------|
| Cadencia_pre  | 10 | 164    | 195    | 179,50 | 8,644               |
| Cadencia_post | 10 | 166    | 196    | 181,40 | 9,663               |

Tabla 14: Tabla de descriptivos cadencia\_pre/cadencia\_post (elaboración propia).

Pruebas de normalidad.

|               | Kolmogórov-Smirnov |    |       | Shapiro-Wilk |    |      |
|---------------|--------------------|----|-------|--------------|----|------|
|               | Estadístico        | gl | Sig.  | Estadístico  | gl | Sig. |
| Cadencia_pre  | ,162               | 10 | ,200* | ,976         | 10 | ,939 |
| Cadencia_post | ,206               | 10 | ,200* | ,920         | 10 | ,357 |

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Tabla 15: Pruebas de normalidad cadencia\_pre/cadencia\_post (elaboración propia).

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Cadencia\_pre, es de 0,939. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un histograma.

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Cadencia\_post, es de 0,357. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un histograma.

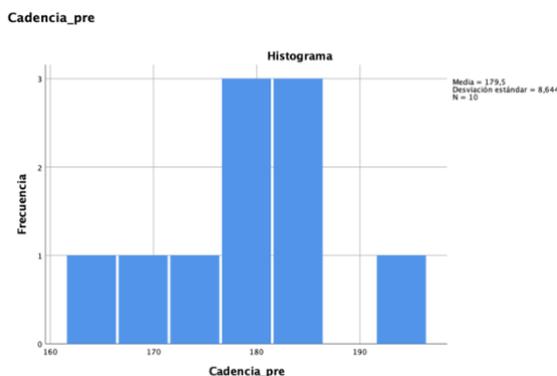


Gráfico 7: Histograma variable cadencia\_pre (elaboración propia).

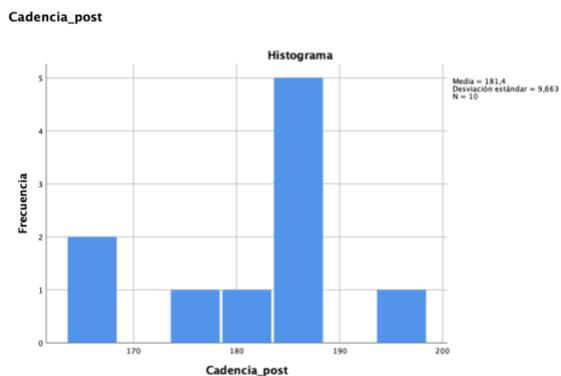


Gráfico 8: Histograma variable cadencia\_post (elaboración propia).

### Grados de pronación

|                | N  | Mínimo | Máximo | Media  | Desviación estándar |
|----------------|----|--------|--------|--------|---------------------|
| Pronación_pre  | 10 | 2,0    | 23,2   | 16,870 | 7,061               |
| Pronación_post | 10 | 1,8    | 22,5   | 16,310 | 7,355               |

Tabla 16: Tabla de descriptivos pronación\_pre/pronación\_post (elaboración propia).

Pruebas de normalidad.

|                | Kolmogórov-Smirnov |    |      | Shapiro-Wilk |    |              |
|----------------|--------------------|----|------|--------------|----|--------------|
|                | Estadístico        | gl | Sig. | Estadístico  | gl | Sig.         |
| Pronación_pre  | ,279               | 10 | ,026 | ,799         | 10 | <b>,014</b>  |
| Pronación_post | ,272               | 10 | ,034 | ,766         | 10 | <b>0,006</b> |

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Tabla 17: Pruebas de normalidad pronación\_pre/pronación\_post (elaboración propia).

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Pronación\_pre, es de 0,014. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución no normal ( $p \leq 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un diagrama de caja y bigotes.

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Pronación\_post, es de 0,006. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución no normal ( $p \leq 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un diagrama de caja y bigotes.

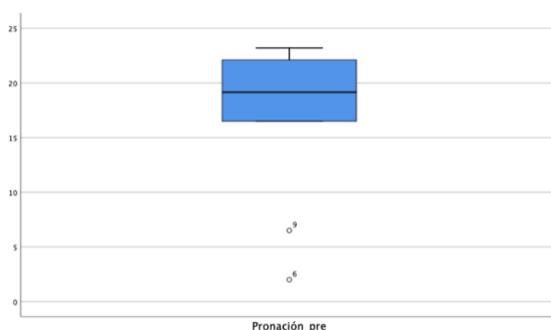


Gráfico 9: Diagrama de caja y bigotes variable pronación\_pre (elaboración propia).

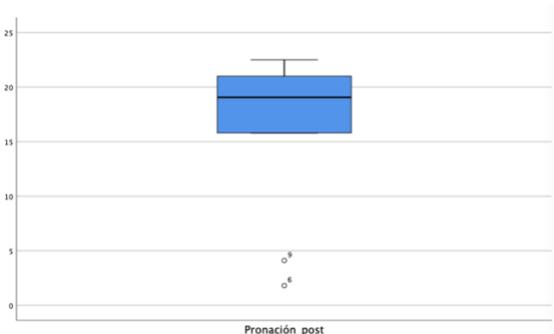


Gráfico 10: Diagrama de caja y bigotes variable pronación\_post (elaboración propia).

### Velocidad de pronación

|               | N  | Mínimo | Máximo | Media   | Desviación estándar |
|---------------|----|--------|--------|---------|---------------------|
| Vel_pron_pre  | 10 | 803    | 1255   | 961,300 | 148,75              |
| Vel_pron_post | 10 | 755    | 1207   | 980,300 | 180,44              |

Tabla 18: Tabla de descriptivos vel\_pron\_pre/vel\_pron\_post (elaboración propia).

Pruebas de normalidad.

|               | Kolmogórov-Smirnov |    |       | Shapiro-Wilk |    |      |
|---------------|--------------------|----|-------|--------------|----|------|
|               | Estadístico        | gl | Sig.  | Estadístico  | gl | Sig. |
| Vel_pron_pre  | ,191               | 10 | ,200* | ,913         | 10 | ,299 |
| Vel_pron_post | ,216               | 10 | ,200* | ,868         | 10 | ,095 |

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Tabla 19: Pruebas de normalidad vel\_pron\_pre/vel\_pron\_post (elaboración propia).

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Vel\_pron\_pre, es de 0,299. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un histograma.

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Vel\_pron\_post, es de 0,095. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un histograma

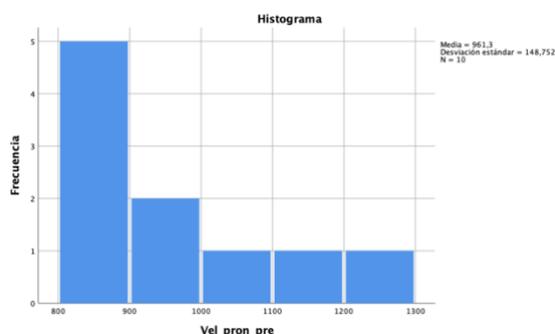


Gráfico 11: Histograma variable vel\_pron\_pre (elaboración propia).

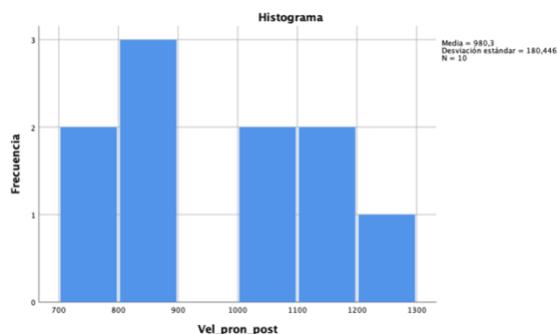


Gráfico 12: Histograma variable vel\_pron\_post (elaboración propia).

### Fuerza de impacto

|             | N  | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar |
|-------------|----|--------|--------|-------|---------------------|
| Impact_pre  | 10 | 5,5    | 12,2   | 9,100 | 2,4567              |
| Impact_post | 10 | 5,9    | 12,6   | 9,130 | 2,3138              |

Tabla 20: Tabla de descriptivos impact\_pre/impact\_post (elaboración propia).

Pruebas de normalidad.

|             | Kolmogórov-Smirnov |    |       | Shapiro-Wilk |    |      |
|-------------|--------------------|----|-------|--------------|----|------|
|             | Estadístico        | gl | Sig.  | Estadístico  | gl | Sig. |
| Impact_pre  | ,156               | 10 | ,200* | ,926         | 10 | ,406 |
| Impact_post | ,146               | 10 | ,200* | ,945         | 10 | ,608 |

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Tabla 21: Pruebas de normalidad impact\_pre/impact\_post (elaboración propia).

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Impact\_pre, es de 0,406. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un histograma.

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Impact\_post, es de 0,608. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un histograma.

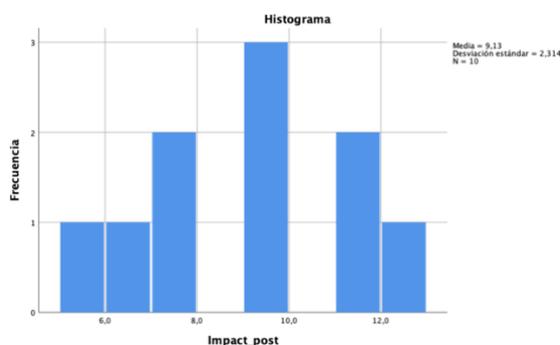


Gráfico 13: Histograma variable impact\_pre (elaboración propia).

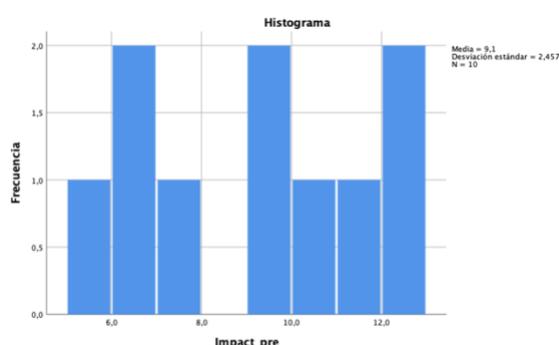


Gráfico 14: Histograma variable impact\_post (elaboración propia).

### Fuerza de frenado

|              | N  | Mínimo | Máximo | Media  | Desviación estándar |
|--------------|----|--------|--------|--------|---------------------|
| Braking_pre  | 10 | 7,8    | 14,8   | 10,520 | 2,1791              |
| Braking_post | 10 | 8,0    | 14,3   | 10,600 | 2,1239              |

Tabla 22: Tabla de descriptivos braking\_pre/braking\_post (elaboración propia).

Pruebas de normalidad.

|              | Kolmogórov-Smirnov |    |       | Shapiro-Wilk |    |      |
|--------------|--------------------|----|-------|--------------|----|------|
|              | Estadístico        | gl | Sig.  | Estadístico  | gl | Sig. |
| Braking_pre  | ,176               | 10 | ,200* | ,944         | 10 | ,603 |
| Braking_post | ,139               | 10 | ,200* | ,948         | 10 | ,640 |

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Tabla 23: Pruebas de normalidad braking\_pre/braking\_post (elaboración propia).

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Braking\_pre, es de 0,603. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un histograma.

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Braking\_post, es de 0,640. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un histograma.

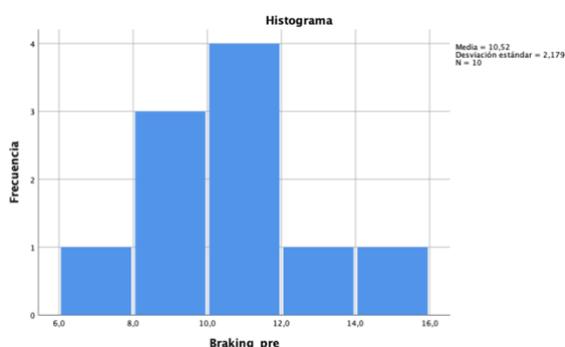


Gráfico 15: Histograma variable braking\_pre (elaboración propia).

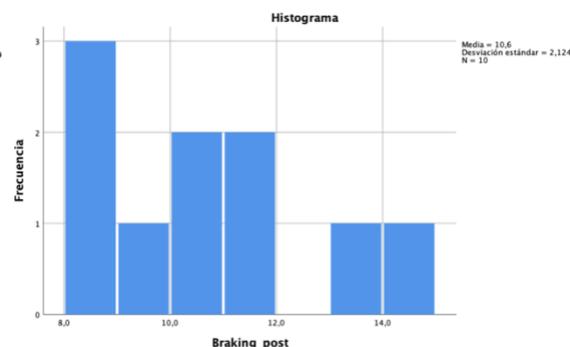


Gráfico 16: Histograma variable braking\_post (elaboración propia).

### Longitud de zancada

|                   | N  | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar |
|-------------------|----|--------|--------|-------|---------------------|
| Long_zancada_pre  | 10 | 2,5    | 3,2    | 2,820 | ,2150               |
| Long_zancada_post | 10 | 2,4    | 3,2    | 2,760 | ,2591               |

Tabla 24: Tabla de descriptivos long\_zancada\_pre/long\_zancada\_post (elaboración propia).

Pruebas de normalidad.

|                   | Kolmogórov-Smirnov |    |       | Shapiro-Wilk |    |      |
|-------------------|--------------------|----|-------|--------------|----|------|
|                   | Estadístico        | gl | Sig.  | Estadístico  | gl | Sig. |
| Long_zancada_pre  | ,155               | 10 | ,200* | ,965         | 10 | ,838 |
| Long_zancada_post | ,239               | 20 | ,112  | ,917         | 10 | ,336 |

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Tabla 25: Pruebas de normalidad long\_zancada\_pre/long\_zancada\_post (elaboración propia).

El nivel de significación  $p$  en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Long\_zancada\_pre, es de 0,838. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un histograma.

El nivel de significación  $p$  en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Long\_zancada\_post, es de 0,336. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un histograma.

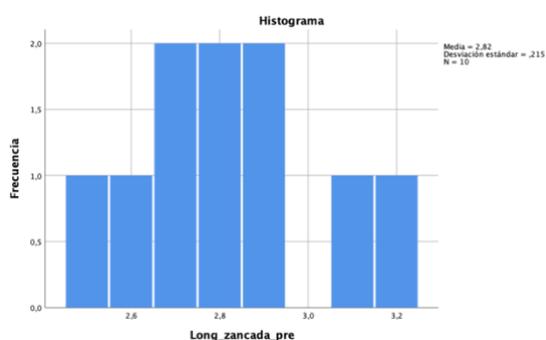


Gráfico 17: Histograma variable long\_zancada\_pre (elaboración propia).

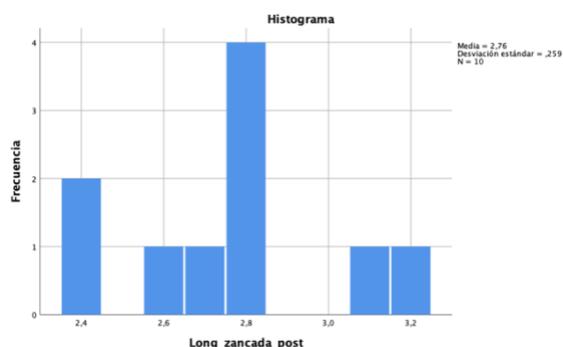


Gráfico 18: Histograma long\_zancada\_post (elaboración propia).

### Oscilación vertical

|               | N  | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar |
|---------------|----|--------|--------|-------|---------------------|
| Osc_vert_pre  | 10 | 4,8    | 8,2    | 6,880 | 1,0902              |
| Osc_vert_post | 10 | 5,0    | 8,6    | 6,790 | 1,2096              |

Tabla 26: Tabla de descriptivos osc\_vert\_pre/osc\_vert\_post (elaboración propia).

Pruebas de normalidad.

|               | Kolmogórov-Smirnov |    |       | Shapiro-Wilk |    |      |
|---------------|--------------------|----|-------|--------------|----|------|
|               | Estadístico        | gl | Sig.  | Estadístico  | gl | Sig. |
| Osc_vert_pre  | ,174               | 10 | ,200* | ,928         | 10 | ,454 |
| Osc_vert_post | ,195               | 10 | ,200* | ,933         | 10 | ,480 |

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Tabla 27: Pruebas de normalidad osc\_vert\_pre/osc\_vert\_post

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Osc\_vert\_pre, es de 0,454. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un histograma.

El nivel de significación p en la prueba de Shapiro-Wilk para la variable Osc\_vert\_post, es de 0,480. Esto quiere decir que dicha variable sigue una distribución normal ( $p > 0,05$ ) en nuestra muestra de sujetos. Por tanto, representamos esta variable por medio de un histograma.

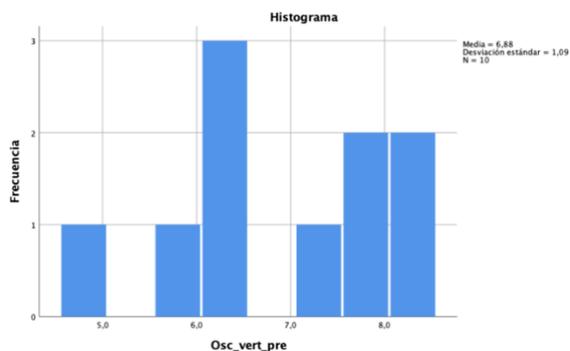


Gráfico 19: Histograma variable osc\_vert\_pre (elaboración propia).

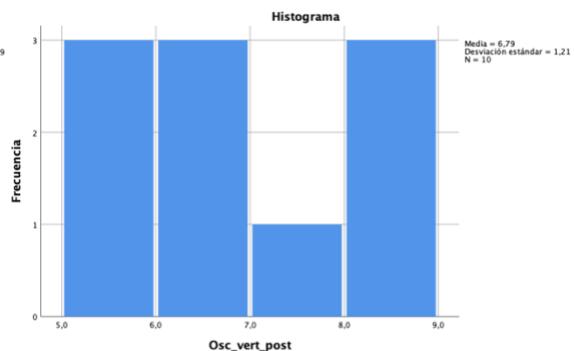


Gráfico 20: Histograma variable osc\_vert\_post (elaboración propia).

## 11.2. ANÁLISIS INFERENCIAL:

Tras haber realizado el análisis descriptivo de las variables del estudio, así como el estudio de su normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk (muestra < 30 sujetos), se procede a la realización del análisis inferencial. De este modo, se empleará la Prueba t de Student para muestras relacionadas en caso de que las variables de estudio sigan una distribución normal, y se empleará la Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas, en aquellas variables que no cumplan el principio de normalidad.

A continuación se incluye una tabla que agrupa los resultados de las pruebas de normalidad de cada variable.

| VARIABLE          | Kolmogórov-Smirnov |    |       | Shapiro-Wilk |    |             |
|-------------------|--------------------|----|-------|--------------|----|-------------|
|                   | Estadístico        | gl | Sig.  | Estadístico  | gl | Sig.        |
| Edad              | ,176               | 10 | ,200* | ,931         | 10 | ,454        |
| Ritmo_pre         | ,271               | 10 | ,036  | ,889         | 10 | ,166        |
| Ritmo_post        | ,370               | 10 | ,000  | ,775         | 10 | <b>,007</b> |
| Cadencia_pre      | ,162               | 10 | ,200* | ,976         | 10 | ,939        |
| Cadencia_post     | ,206               | 10 | ,200* | ,920         | 10 | ,357        |
| Pronación_pre     | ,279               | 10 | ,026  | ,799         | 10 | <b>,014</b> |
| Pronación_post    | ,272               | 10 | ,034  | ,766         | 10 | <b>,006</b> |
| Vel_pron_pre      | ,191               | 10 | ,200* | ,913         | 10 | ,299        |
| Vel_pron_post     | ,216               | 10 | ,200* | ,868         | 10 | ,095        |
| Impact_pre        | ,156               | 10 | ,200* | ,926         | 10 | ,406        |
| Impact_post       | ,146               | 10 | ,200* | ,945         | 10 | ,608        |
| Braking_pre       | ,176               | 10 | ,200* | ,944         | 10 | ,603        |
| Braking_post      | ,139               | 10 | ,200* | ,948         | 10 | ,640        |
| Long_zancada_pre  | ,155               | 10 | ,200* | ,965         | 10 | ,838        |
| Long_zancada_post | ,239               | 10 | ,112  | ,917         | 10 | ,336        |
| Osc_vert_pre      | ,174               | 10 | ,200* | ,928         | 10 | ,454        |
| Osc_vert_post     | ,195               | 10 | ,200* | ,933         | 10 | ,480        |

Tabla 28: Resumen pruebas de normalidad (elaboración propia).

## Ritmo de carrera

La variable ritmo\_pre sigue una distribución normal ( $p=0,166$ ), mientras que la variable ritmo\_post no sigue una distribución normal ( $p=0,007$ ). Por tanto, la prueba empleada para el análisis inferencial de estas variables será la prueba de Wilcoxon.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Si  $p > 0,05$  se acepta  $H_0$ , que sostiene que no hay diferencias significativas.

Si  $p \leq 0,05$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ : hay diferencias significativas.

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| N total                             | 10     |
| Estadístico de prueba               | 24,000 |
| Error estándar                      | 8,434  |
| Estadístico de prueba estandarizado | ,178   |
| Sig. asintótica (prueba bilateral)  | ,859   |

La prueba de Wilcoxon da como resultado un nivel de significación  $p=0,859$  ( $p > 0,05$ ); por tanto, se acepta la hipótesis nula, que sostiene que no hay diferencias significativas entre la variable ritmo\_pre y la variable ritmo\_post.

Tabla 29: Prueba de Wilcoxon ritmo\_pre/ritmo\_post (elaboración propia).

## Cadencia

La variable cadencia\_pre sigue una distribución normal ( $p=0,939$ ), mientras que la variable ritmo\_post también sigue una distribución normal ( $p=0,357$ ). Por tanto, la prueba empleada para el análisis inferencial de estas variables será la prueba t de Student para muestras relacionadas.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Si  $p > 0,05$  se acepta  $H_0$ , que sostiene que no hay diferencias significativas.

Si  $p \leq 0,05$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ : hay diferencias significativas.

|       |                              | Diferencias emparejadas |                  |                      |   | t      | gl | Sig. (bilateral) |
|-------|------------------------------|-------------------------|------------------|----------------------|---|--------|----|------------------|
|       |                              | Media                   | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | 95% de intervalo de confianza de la diferencia<br>Inferior Superior |        |    |                  |
| Par 1 | Cadencia_pre - Cadencia_post | -1,900                  | 3,695            | 1,169                | -4,543 ,743   | -1,626 | 9  | ,138             |

Tabla 30: Prueba t de Student cadencia\_pre/cadencia\_post (elaboración propia).

La prueba t de Student para muestras relacionadas da como resultado un nivel de significación  $p=0,138$  ( $p > 0,05$ ); por tanto, se acepta la hipótesis nula, que sostiene que no existen diferencias significativas entre las variables cadencia\_pre y cadencia\_post.

## Grados de pronación

La variable pronación\_pre no sigue una distribución normal ( $p=0,014$ ); la variable pronación\_post tampoco sigue una distribución normal ( $p=0,006$ ). Por tanto, la prueba empleada para el análisis inferencial de estas variables será la prueba de Wilcoxon.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Si  $p > 0,05$  se acepta  $H_0$ , que sostiene que no hay diferencias significativas.

Si  $p \leq 0,05$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ : hay diferencias significativas.

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| N total                             | 10     |
| Estadístico de prueba               | 6,000  |
| Error estándar                      | 8,411  |
| Estadístico de prueba estandarizado | -1,962 |
| Sig. asintótica (prueba bilateral)  | ,050   |

La prueba de Wilcoxon da como resultado un nivel de significación  $p=0,05$  ( $p \leq 0,05$ ); por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa: existen diferencias significativas entre las variables pronación\_pre y pronación\_post.

Tabla 31: Prueba de Wilcoxon pronación\_pre/pronación\_post (elaboración propia).

## Velocidad de pronación

La variable vel\_pron\_pre sigue una distribución normal ( $p=0,299$ ), mientras que la variable vel\_pron\_post también sigue una distribución normal ( $p=0,095$ ). Por tanto, la prueba empleada para el análisis inferencial de estas variables será la prueba t de Student para muestras relacionadas.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Si  $p > 0,05$  se acepta  $H_0$ , que sostiene que no hay diferencias significativas.

Si  $p \leq 0,05$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ : hay diferencias significativas.

|       |                              | Diferencias emparejadas |                  |                      |  |          | t     | gl | Sig. (bilateral) |
|-------|------------------------------|-------------------------|------------------|----------------------|--|----------|-------|----|------------------|
|       |                              | Media                   | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | 95% de intervalo de confianza de la diferencia |          |       |    |                  |
|       |                              |                         |                  |                      | Inferior                                       | Superior |       |    |                  |
| Par 1 | Vel_pron_pre - Vel_pron_post | -19,000                 | 85,740           | 27,113               | -80,335  | 42,335   | -,701 | 9  | ,501             |

Tabla 32: Prueba t de Student vel\_pron\_pre/vel\_pron\_post (elaboración propia).

La prueba t de Student para muestras relacionadas da como resultado un nivel de significación  $p=0,501$  ( $p > 0,05$ ); por tanto, se acepta la hipótesis nula, que sostiene que no existen diferencias significativas entre las variables vel\_pron\_pre y vel\_pron\_post.

### Fuerza de impacto vertical (Impact)

La variable impact\_pre sigue una distribución normal ( $p=0,406$ ), mientras que la variable impact\_post también sigue una distribución normal ( $p=0,605$ ). Por tanto, la prueba empleada para el análisis inferencial de estas variables será la prueba t de Student para muestras relacionadas.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Si  $p > 0,05$  se acepta  $H_0$ , que sostiene que no hay diferencias significativas.

Si  $p \leq 0,05$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ : hay diferencias significativas.

| Prueba de muestras emparejadas |                          |        |                  |                      |  |          |       |    |                  |
|--------------------------------|--------------------------|--------|------------------|----------------------|--|----------|-------|----|------------------|
| Diferencias emparejadas        |                          |        |                  |                      |  |          |       |    |                  |
|                                |                          | Media  | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | 95% de intervalo de confianza de la diferencia |          | t     | gl | Sig. (bilateral) |
|                                |                          |        |                  |                      | Inferior                                       | Superior |       |    |                  |
| Par 1                          | Impact_pre - Impact_post | -,0300 | ,8220            | ,2599                | -,6180   | ,5580    | -,115 | 9  | ,911             |

Tabla 33: Prueba t de Student impact\_pre/impact\_post (elaboración propia).

La prueba t de Student para muestras relacionadas da como resultado un nivel de significación  $p=0,911$  ( $p > 0,05$ ); por tanto, se acepta la hipótesis nula, que sostiene que no existen diferencias significativas entre las variables impact\_pre e impact\_post.

### Fuerza de frenado (braking)

La variable braking\_pre sigue una distribución normal ( $p=0,603$ ), mientras que la variable braking\_post también sigue una distribución normal ( $p=0,640$ ). Por tanto, la prueba empleada para el análisis inferencial de estas variables será la prueba t de Student para muestras relacionadas.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Si  $p > 0,05$  se acepta  $H_0$ , que sostiene que no hay diferencias significativas.

Si  $p \leq 0,05$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ : hay diferencias significativas.

| Prueba de muestras emparejadas |                            |        |                  |                      |  |          |       |    |                  |
|--------------------------------|----------------------------|--------|------------------|----------------------|--|----------|-------|----|------------------|
| Diferencias emparejadas        |                            |        |                  |                      |  |          |       |    |                  |
|                                |                            | Media  | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | 95% de intervalo de confianza de la diferencia |          | t     | gl | Sig. (bilateral) |
|                                |                            |        |                  |                      | Inferior                                       | Superior |       |    |                  |
| Par 1                          | Braking_pre - Braking_post | -,0800 | ,7885            | ,2494                | -,6441   | ,4841    | -,321 | 9  | ,756             |

Tabla 34: Prueba t de Student braking\_pre/braking\_post (elaboración propia).

La prueba t de Student para muestras relacionadas da como resultado un nivel de significación  $p=0,756$  ( $p > 0,05$ ); por tanto, se acepta la hipótesis nula, que sostiene que no existen diferencias significativas entre las variables braking\_pre y braking\_post.

### Longitud de zancada

La variable long\_zancada\_pre sigue una distribución normal ( $p=0,838$ ), mientras que la variable long\_zancada\_post también sigue una distribución normal ( $p=0,336$ ). Por tanto, la prueba empleada para el análisis inferencial de estas variables será la prueba t de Student para muestras relacionadas.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Si  $p > 0,05$  se acepta  $H_0$ , que sostiene que no hay diferencias significativas.

Si  $p \leq 0,05$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ : hay diferencias significativas.

| Prueba de muestras emparejadas |                                      |       |                  |                      |  |          |       |    |                  |
|--------------------------------|--------------------------------------|-------|------------------|----------------------|--|----------|-------|----|------------------|
| Diferencias emparejadas        |                                      |       |                  |                      |  |          |       |    |                  |
|                                |                                      | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | 95% de intervalo de confianza de la diferencia |          | t     | gl | Sig. (bilateral) |
|                                |                                      |       |                  |                      | Inferior                                       | Superior |       |    |                  |
| Par 1                          | Long_zancada_pre - Long_zancada_post | ,0600 | ,1174            | ,0371                | -,0240   | ,1440    | 1,616 | 9  | ,140             |

Tabla 35: Prueba t de Student long\_zancada\_pre/long\_zancada\_post (elaboración propia).

La prueba t de Student para muestras relacionadas da como resultado un nivel de significación  $p=0,140$  ( $p > 0,05$ ); por tanto, se acepta la hipótesis nula, que sostiene que no hay diferencias significativas entre las variables long\_zancada\_pre y long\_zancada\_post.

### Oscilación vertical

La variable osc\_vert\_pre sigue una distribución normal ( $p=0,454$ ), mientras que la variable osc\_vert\_post también sigue una distribución normal ( $p=0,480$ ). Por tanto, la prueba empleada para el análisis inferencial de estas variables será la prueba t de Student para muestras relacionadas.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Si  $p > 0,05$  se acepta  $H_0$ , que sostiene que no hay diferencias significativas.

Si  $p \leq 0,05$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ : hay diferencias significativas.

| Prueba de muestras emparejadas |                              |       |                  |                      |  |          |      |    |                  |
|--------------------------------|------------------------------|-------|------------------|----------------------|--|----------|------|----|------------------|
| Diferencias emparejadas        |                              |       |                  |                      |  |          |      |    |                  |
|                                |                              | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | 95% de intervalo de confianza de la diferencia |          | t    | gl | Sig. (bilateral) |
|                                |                              |       |                  |                      | Inferior                                       | Superior |      |    |                  |
| Par 1                          | Osc_vert_pre - Osc_vert_post | ,0900 | ,4630            | ,1464                | -,2412   | ,4212    | ,615 | 9  | ,554             |

Tabla 36: Prueba t de Student osc\_vert\_pre/osc\_vert\_post (elaboración propia).

La prueba t de Student para muestras relacionadas da como resultado un nivel de significación  $p=0,554$  ( $p > 0,05$ ); por tanto, se acepta la hipótesis nula, que sostiene que no existen diferencias significativas entre las variables osc\_vert\_pre y osc\_vert\_post.

Tras la realización del análisis estadístico, se comprueba que la variable pronación\_pre (grados de pronación durante el primer segmento de carrera), y la variable pronación\_post (grados de pronación durante el segundo segmento de carrera), presentan diferencias significativas. El resto de variables no presentan diferencias significativas.

### 11.3. VARIABLE INDEPENDIENTE “SEXO”

En este estudio, se dispone de una muestra de 10 sujetos, de los cuales 8 son hombres y 2 son mujeres. El reducido tamaño de la muestra supone una limitación del estudio; así como también lo es el reducido número de mujeres en relación con el de hombres. Sin embargo, a continuación se procede al estudio de la relación que existe entre la variable sexo con respecto a las variables dependientes del estudio. Para ello se presentan los diagramas de caja y bigotes correspondientes al estudio de la variable sexo (variable categórica) con las variables dependientes cuantitativas. Se presenta un gráfico de barras para la representación de la variable sexo con respecto al tipo de pisada (variable dependiente categórica).

#### Ritmo de carrera

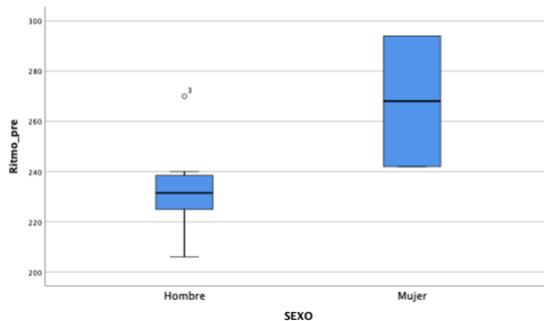


Gráfico 21: Diagrama de caja y bigotes sexo y ritmo\_pre (elaboración propia).

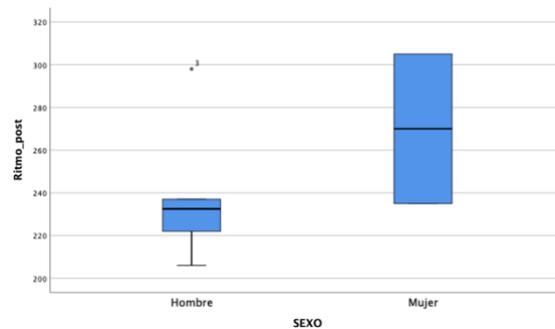


Gráfico 22: Diagrama de caja y bigotes sexo y ritmo\_post (elaboración propia).

Como se puede observar, tanto la variable ritmo\_pre como ritmo\_post, presentan datos más próximos y similares entre la muestra de hombres que en la de mujeres (cuartiles 1 y 3 más próximos), y se observa claramente que el ritmo de los hombres es inferior al de mujeres; esto quiere decir que el número de segundos por km (s/km) de los hombres es menor que el de mujeres, por tanto se desplazan a mayor velocidad. Se observa que hay un caso en los hombres (\*3), que presenta un valor que se sale de lo normal.

## Cadencia

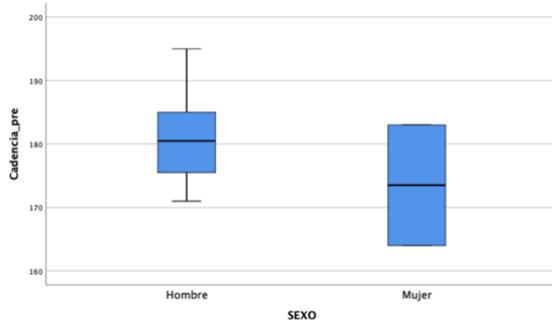


Gráfico 23: Diagrama de caja y bigotes sexo y cadencia\_pre (elaboración propia).

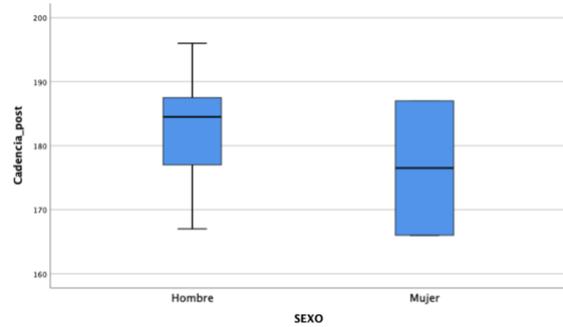


Gráfico 24: Diagrama de caja y bigotes sexo y cadencia\_post (elaboración propia).

Se puede observar que nuevamente, los resultados de los hombres se encuentran más agrupados que los de las mujeres (cuartiles 1 y 3 más próximos). Aunque para esta variable las diferencias no se muestran tan claras (las cajas no se encuentran tan desplazadas entre sí), si que se observa que la media de cadencia tanto en cadencia\_pre como en cadencia\_post, es inferior en el grupo de mujeres con respecto al de hombres.

## Grado de pronación

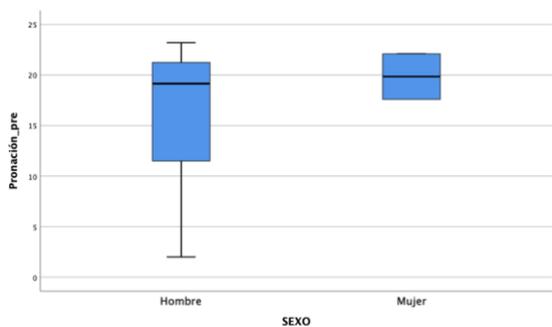


Gráfico 25: Diagrama de caja y bigotes sexo y pronación\_pre (elaboración propia).

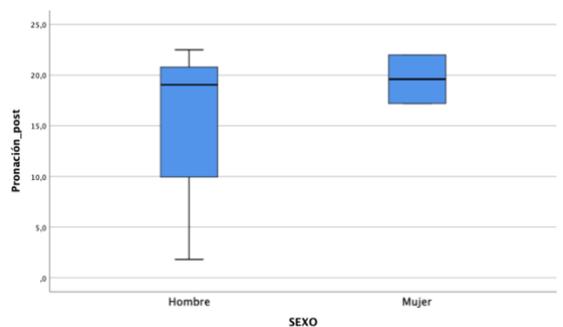


Gráfico 26: Diagrama de caja y bigotes sexo y pronación\_post (elaboración propia).

Este diagrama de caja y bigotes muestra una mayor similitud de resultados en mujeres que en hombres (cajas más pequeñas), tanto en pronación\_pre como en pronación\_post. Aunque el cuartil 1 del grupo de hombres es inferior al de mujeres, se aprecia cierta similitud con respecto a la posición de sus medias y del cuartil 3.

## Velocidad de pronación

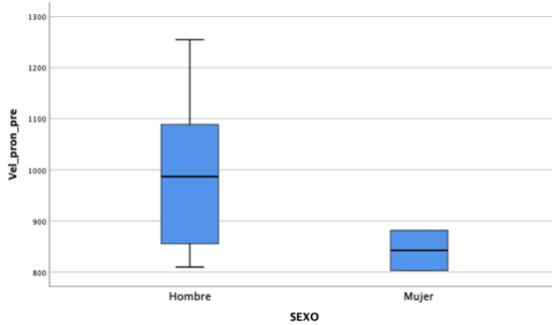


Gráfico 27: Diagrama de caja y bigotes sexo y vel\_pron\_pre (elaboración propia).

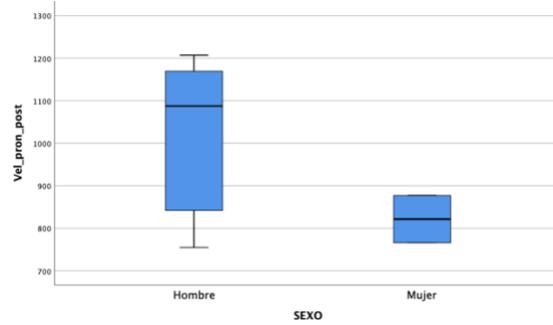


Gráfico 28: Diagrama de caja y bigotes sexo y vel\_pron\_post (elaboración propia).

En este gráfico, se puede observar una tendencia hacia valores inferiores de velocidad de pronación tanto “pre” como “post”, en el grupo de mujeres con respecto al de hombres (cuartiles 1, 2 -media-, y 3, con valores claramente inferiores en el grupo de mujeres). Se observa también que mientras en el grupo de mujeres ambos gráficos se muestran similares en cuanto a valores, el grupo de hombres presenta un aumento del valor de su media y de su cuartil 3.

## Fuerza de impacto

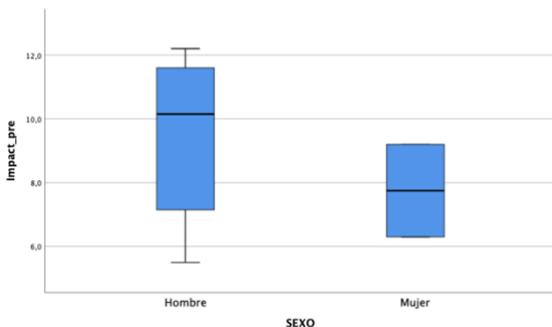


Gráfico 29: Diagrama de caja e bigotes sexo y impact\_pre (elaboración propia).

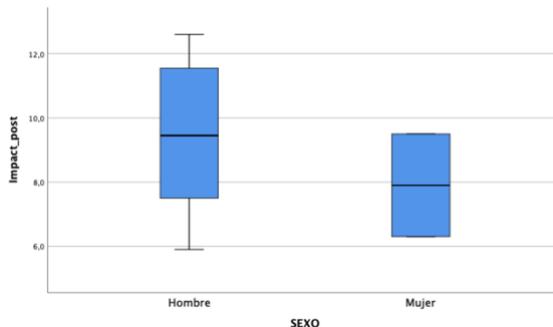


Gráfico 30: Diagrama de caja e bigote sexo y impact\_post (elaboración propia).

Con respecto a impact\_pre e impact\_post, se observa una tendencia hacia valores menores en el grupo de mujeres con respecto al grupo de los hombres: cuartiles 1 y 3, y media presentan valores inferiores. Se aprecia una disminución del valor de la media de impact\_post con respecto a impact\_pre en el grupo de hombres; el grupo de mujeres presenta valores similares.

## Fuerza de frenado

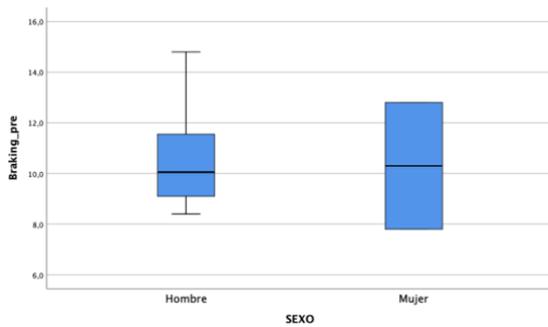


Gráfico 31: Diagrama de caja y bigotes sexo y braking\_pre (elaboración propia).

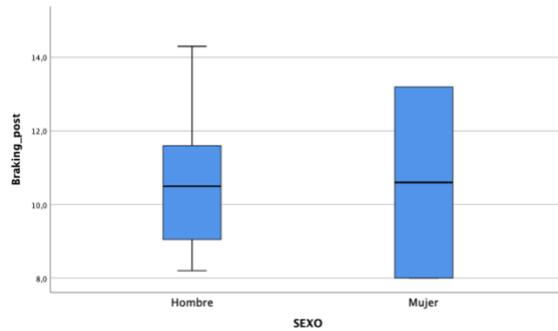


Gráfico 32: Diagrama de caja y bigotes sexo y braking\_post (elaboración propia).

Se observa una mayor agrupación de los datos en el grupo de hombres que en el de mujeres para las variables braking\_pre y braking\_post (mayor proximidad de sus cuartiles 1 y 3). Las medias para ambos grupos presentan valores similares (la línea negra de medias se encuentra en un valor similar).

## Tipo de pisada

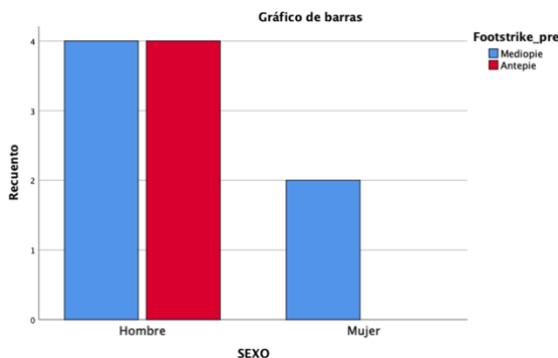


Gráfico 33: Diagrama de barras sexo y footstrike\_pre (elaboración propia).

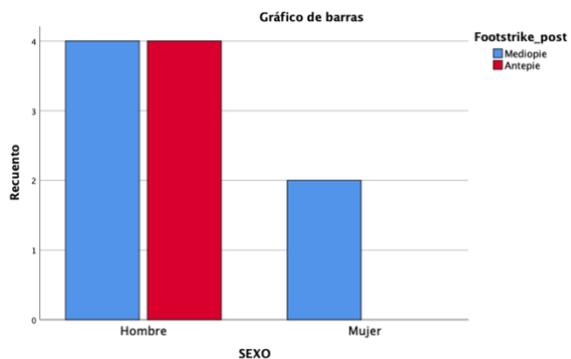


Gráfico 34: Diagrama de barras sexo y footstrike\_post (elaboración propia).

En estos gráficos de barras se muestra la distribución del tipo de pisada entre los grupos de hombres y mujeres. Ambos gráficos son idénticos (footstrike\_pre y footstrike\_post), ya que los datos recogidos de esta variables son exactamente iguales, no ha habido ninguna modificación. Se observa como un 50% de los hombres presenta un apoyo en antepié y el otro 50% presenta un apoyo en mediopié (4 sujetos en cada caso). El grupo de mujeres presenta un 100% de apoyo en mediopié (2 sujetos). No ha habido ningún sujeto en el estudio (ni en hombres ni en mujeres) que presente un apoyo en retropié, y no ha habido ningún sujeto del grupo de mujeres que presente apoyo en antepié.

## Longitud de zancada

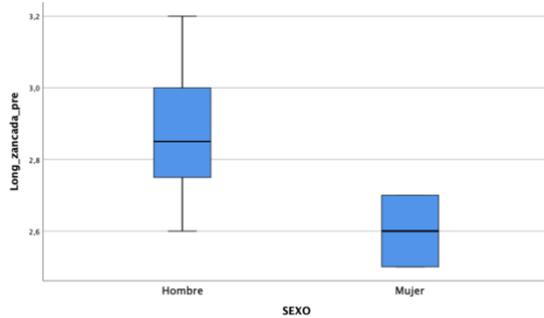


Gráfico 35: Diagrama de caja y bigotes sexo y long\_zancada\_pre (elaboración propia).

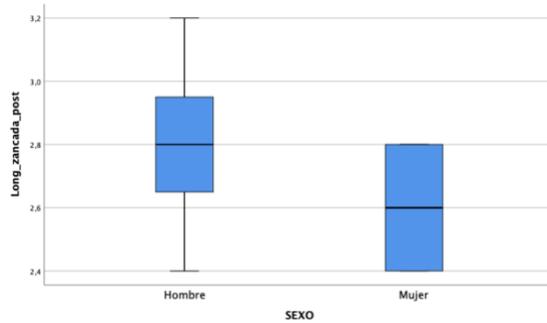


Gráfico 36: Diagrama de caja y bigotes sexo y long\_zancada\_post (elaboración propia).

Con respecto a long\_zancada\_pre y long\_zancada\_post, observamos que el grupo de mujeres presenta resultados menores de longitud de zancada con respecto al grupo de hombres (tanto en los valores de sus cuartiles como en el de la media). Las medias de ambos grupos son parecidas entre long\_zancada\_pre y long\_zancada\_post.

## Oscilación vertical

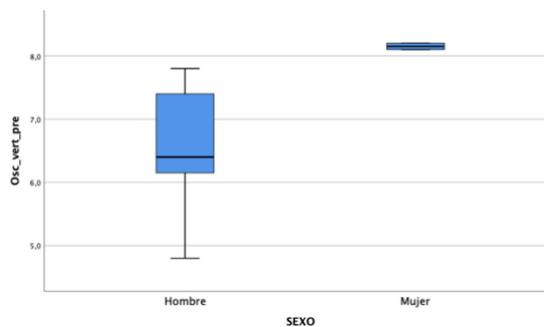


Gráfico 37: Diagrama de caja y bigotes sexo y osc\_vert\_pre (elaboración propia).

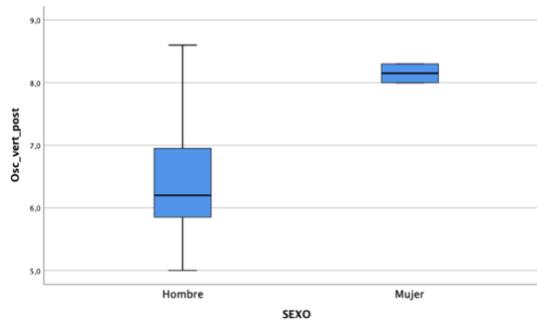


Gráfico 38: Diagrama de caja y bigotes sexo y osc\_vert\_post (elaboración propia).

Se observan resultados mayores de oscilación vertical, tanto en la 1ª carrera como en la 2ª carrera, en el grupo de mujeres con respecto al de hombres. Además, el grupo de mujeres presenta una mayor agrupación de los casos (cuartiles 1 y 3 más próximos), que el grupo de hombres. Los valores de las medias son similares entre osc\_vert\_pre y osc\_vert\_post dentro de cada grupo.

#### 11.4. VARIABLE INDEPENDIENTE “EDAD”

A continuación se procede a analizar la relación de la variable independiente “Edad” con cada una de las variables dependientes del estudio. En primer lugar se estudia esta variable en relación con las variables cualitativas relacionadas con el tipo de pisada, Footstrike\_pre y Footstrike\_post, por medio de su representación en un diagrama de cajas y bigotes. Ambas variables han tenido los mismos resultados en todos los sujetos, por lo que la representación de ambas gráficas es la misma.

##### Tipo de pisada

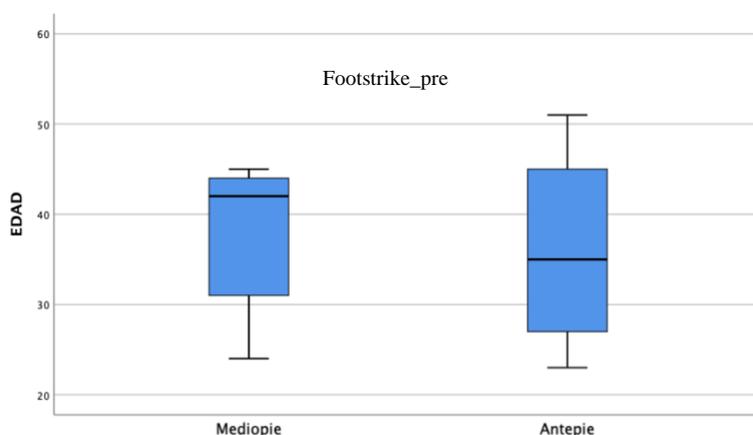


Gráfico 39: Diagrama de caja y bigotes edad y footstrike

En esta gráfica podemos observar una distribución similar de las cajas de mediopie y antepie en función de la edad (cuartil 1 y 3 de ambas cajas tienen valores similares); sin embargo se observa que la media

de corredores de antepie presenta una menor edad que la de los corredores con apoyo en mediopie, es decir, una media de corredores más jóvenes en antepie que en mediopie.

A continuación se procede a valorar la relación de la variable “Edad” con las variables dependientes cuantitativas. Para ello, se realiza un estudio de la correlación de las variables (cuantitativas), y se observa el Diagrama de Dispersión o Nube de Puntos correspondiente a cada variable.

En caso de que se cumpla el principio de normalidad en las variables se toma como referencia el Coeficiente de Correlación lineal de Pearson, en caso contrario se utiliza el Coeficiente de Correlación de Spearman. Como ya se ha estudiado anteriormente, todas estas variables siguen una distribución normal, a excepción de: ritmo\_post, pronación\_pre y pronación\_post, que no siguen una distribución normal, y por tanto se analiza su relación con la variable edad por medio del Coeficiente de Correlación de Spearman.

A continuación se muestra una tabla que muestra el resultado de la correlación de cada variable dependiente cuantitativa con respecto a la variable independiente “Edad”.

|                          |   | <b>EDAD</b> |
|--------------------------|---|-------------|
| <b>Ritmo_pre</b>         | Correlación de Pearson                      | ,339        |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,337        |
| <b>Ritmo_post</b>        | Coefficiente de correlación Rho de Spearman | ,009        |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,980        |
| <b>Cadencia_pre</b>      | Correlación de Pearson                      | -,016       |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,964        |
| <b>Cadencia_post</b>     | Correlación de Pearson                      | ,025        |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,946        |
| <b>Pronación_pre</b>     | Coefficiente de correlación Rho de Spearman | -,365       |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,300        |
| <b>Pronación_post</b>    | Coefficiente de correlación Rho de Spearman | -,426       |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,220        |
| <b>Vel_pron_pre</b>      | Correlación de Pearson                      | ,004        |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,991        |
| <b>Vel_pron_post</b>     | Correlación de Pearson                      | ,039        |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,914        |
| <b>Impact_pre</b>        | Correlación de Pearson                      | ,436        |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,208        |
| <b>Impact_post</b>       | Correlación de Pearson                      | ,363        |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,303        |
| <b>Braking_pre</b>       | Correlación de Pearson                      | -,412       |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,237        |
| <b>Braking_post</b>      | Correlación de Pearson                      | -,394       |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,260        |
| <b>Long_zancada_pre</b>  | Correlación de Pearson                      | -,281       |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,431        |
| <b>Long_zancada_post</b> | Correlación de Pearson                      | -,221       |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,540        |
| <b>Osc_vert_pre</b>      | Correlación de Pearson                      | -,407       |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,243        |
| <b>Osc_vert_post</b>     | Correlación de Pearson                      | -,469       |
|                          | Sig. (bilateral)                            | ,171        |

Tabla 37: Resultados correlaciones Pearson y Spearman edad y dependientes (elaboración propia).

En la tabla se observa que para ninguna variable el nivel de significación bilateral muestra resultados significativos ( $p > 0,05$  en todos los casos). Del mismo modo, en los diagramas de dispersión se puede observar que no se aprecia una actitud de distribución de los puntos en base a una relación entre las variables.

### Ritmo de carrera

- $H_0$ : No existe relación entre la variable ritmo\_pre y la variable edad.
- $H_1$ : Existe relación entre la variable ritmo\_pre y la variable edad.

$p = 0,337 \Rightarrow p > 0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable ritmo\_pre y la variable edad.

- $H_0$ : No existe relación entre la variable ritmo\_post y la variable edad.
- $H_1$ : Existe relación entre la variable ritmo\_post y la variable edad.

$p = 0,980 \Rightarrow p > 0,05$ ; por tanto, se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable ritmo\_pre y la variable edad.

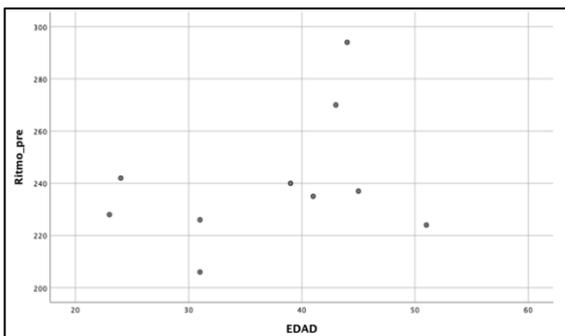


Gráfico 40: Diagrama de dispersión edad y ritmo\_pre (elaboración propia).

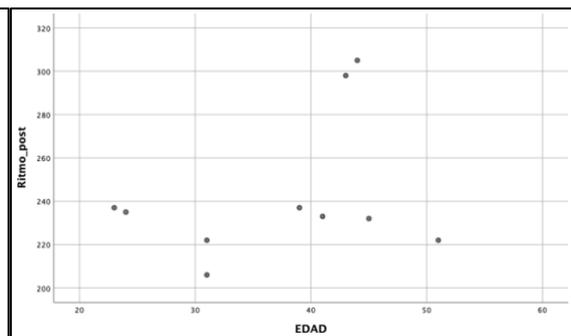


Gráfico 41: Diagrama de dispersión edad y ritmo\_post (elaboración propia).

## Cadencia

- $H_0$ : No existe relación entre la variable `cadencia_pre` y la variable `edad`.
- $H_1$ : Existe relación entre la variable `cadencia_pre` y la variable `edad`.

$p=0,964 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable `cadencia_pre` y la variable `edad`.

- $H_0$ : No existe relación entre la variable `cadencia_post` y la variable `edad`.
- $H_1$ : Existe relación entre la variable `cadencia_post` y la variable `edad`.

$p=0,946 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable `cadencia_post` y la variable `edad`.

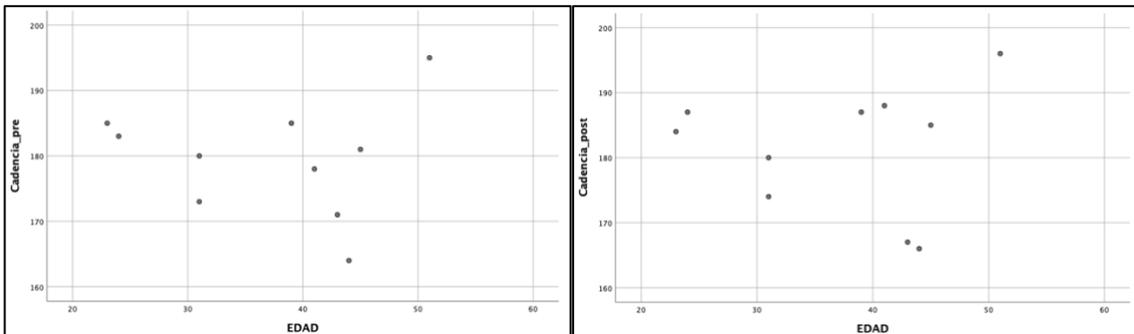


Gráfico 42: Diagrama de dispersión edad y `cadencia_pre` (elaboración propia).

Gráfico 43: Diagrama de dispersión edad y `cadencia_post` (elaboración propia).

## Relación entre la edad y el grado de pronación

- $H_0$ : No existe relación entre la variable `pronación_pre` y la variable `edad`.
- $H_1$ : Existe relación entre la variable `pronación_pre` y la variable `edad`.

$p=0,300 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable `pronación_pre` y la variable `edad`.

- $H_0$ : No existe relación entre la variable `pronación_post` y la variable edad.
- $H_1$ : Existe relación entre la variable `pronación_post` y la variable edad.

$p=0,220 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable `pronación_post` y la variable edad.

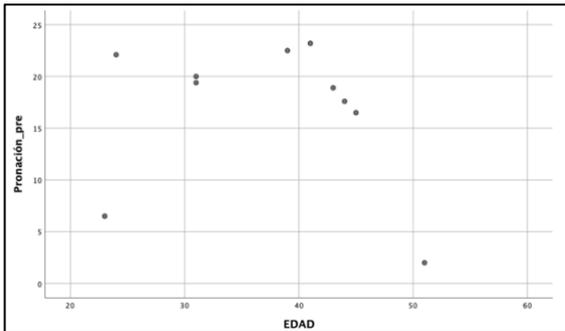


Gráfico 44: Diagrama de dispersión edad y `pronación_pre` (elaboración propia).

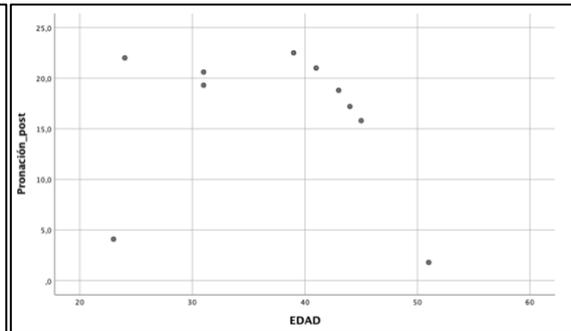


Gráfico 45: Diagrama de dispersión edad y `pronación_post` (elaboración propia).

### Relación entre la edad y la velocidad de pronación

- $H_0$ : No existe relación entre la variable `vel_pron_pre` y la variable edad.
- $H_1$ : Existe relación entre la variable `vel_pron_pre` y la variable edad.

$p=0,991 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable `vel_pron_pre` y la variable edad.

- $H_0$ : No existe relación entre la variable `vel_pron_post` y la variable edad.
- $H_1$ : Existe relación entre la variable `vel_pron_post` y la variable edad.

$p=0,14 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable `vel_pron_post` y la variable edad.

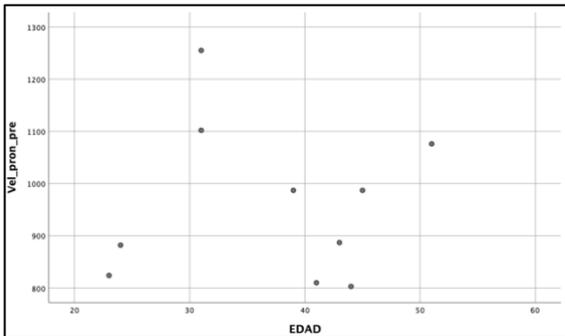


Gráfico 46: Diagrama de dispersión edad y vel\_pron\_pre (elaboración propia).

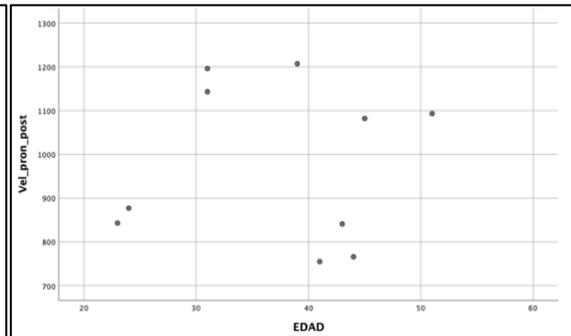


Gráfico 47: Diagrama de dispersión edad y vel\_pron\_post (elaboración propia).

### Relación entre la edad y la fuerza de impacto

- H<sub>0</sub>: No existe relación entre la variable impact\_pre y la variable edad.
- H<sub>1</sub>: Existe relación entre la variable impact\_pre y la variable edad.

$p=0,208 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable impact\_pre y la variable edad.

- H<sub>0</sub>: No existe relación entre la variable impact\_post y la variable edad.
- H<sub>1</sub>: Existe relación entre la variable impact\_post y la variable edad.

$p=0,303 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable impact\_post y la variable edad.

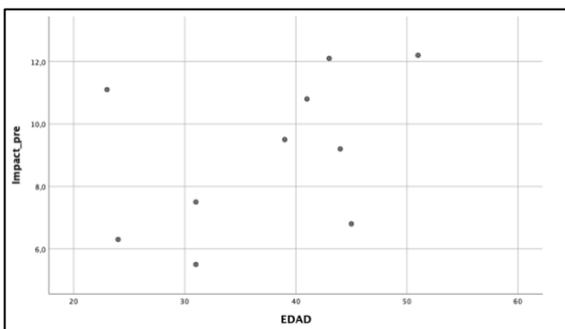


Gráfico 48: Diagrama de dispersión edad e impact\_pre (elaboración propia).

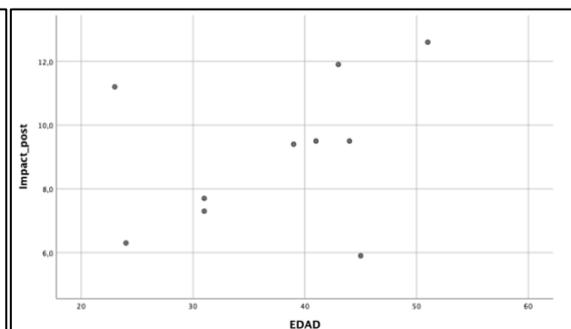


Gráfico 49: Diagrama de dispersión edad e impact\_post (elaboración propia).

## Relación entre la edad y la fuerza de frenado

- H<sub>0</sub>: No existe relación entre la variable braking\_pre y la variable edad.
- H<sub>1</sub>: Existe relación entre la variable braking\_pre y la variable edad.

$p=0,431 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable braking\_pre y la variable edad.

- H<sub>0</sub>: No existe relación entre la variable braking\_post y la variable edad.
- H<sub>1</sub>: Existe relación entre la variable braking\_post y la variable edad.

$p=0,540 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable braking\_post y la variable edad.

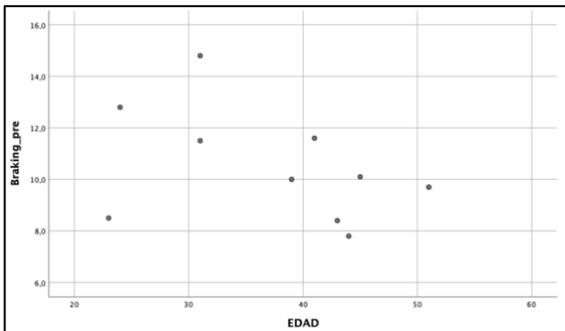


Gráfico 50: Diagrama de dispersión edad y braking\_pre (elaboración propia).

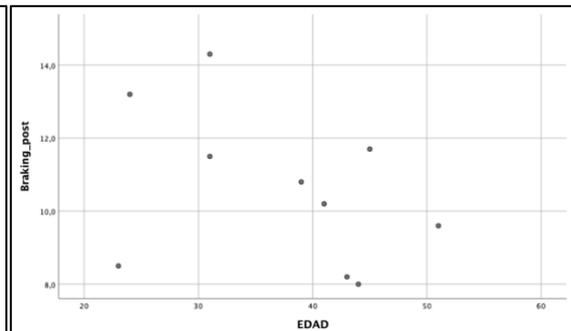


Gráfico 51: Diagrama de dispersión edad y braking\_post (elaboración propia).

## Relación entre la edad y la longitud de zancada

- H<sub>0</sub>: No existe relación entre la variable long\_zancada\_pre y la variable edad.
- H<sub>1</sub>: Existe relación entre la variable long\_zancada\_pre y la variable edad.

$p=0,964 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable long\_zancada\_pre y la variable edad.

- $H_0$ : No existe relación entre la variable `long_zancada_post` y la variable edad.
- $H_1$ : Existe relación entre la variable `long_zancada_post` y la variable edad.

$p=0,946 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable `long_zancada_post` y la variable edad.

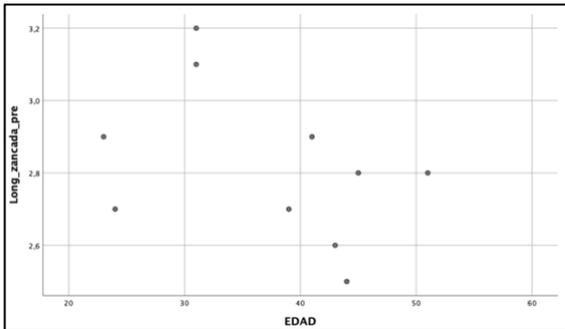


Gráfico 52: Diagrama de dispersión edad y `long_zancada_pre` (elaboración propia).

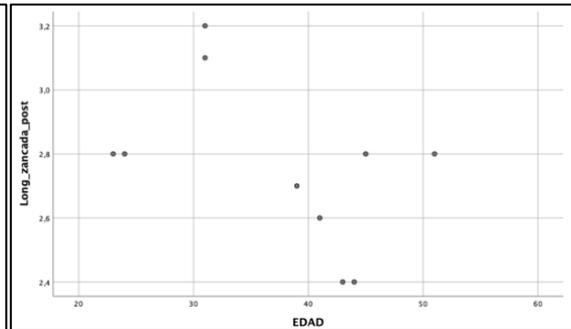


Gráfico 53: Diagrama de dispersión edad y `long_zancada_post` (elaboración propia).

### Relación entre la edad y la oscilación vertical

- $H_0$ : No existe relación entre la variable `osc_vert_pre` y la variable edad.
- $H_1$ : Existe relación entre la variable `osc_vert_pre` y la variable edad.

$p=0,243 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable `osc_vert_pre` y la variable edad.

- $H_0$ : No existe relación entre la variable `osc_vert_post` y la variable edad.
- $H_1$ : Existe relación entre la variable `osc_vert_post` y la variable edad.

$p=0,171 \Rightarrow p>0,05$ ; por tanto se acepta la hipótesis nula, pudiendo decir que no existe relación entre la variable `osc_vert_post` y la variable edad.

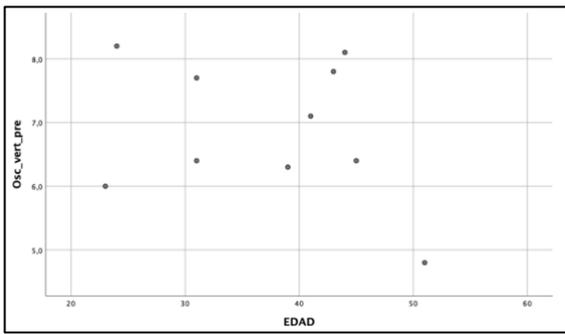


Gráfico 54: Diagrama de dispersión edad y osc\_vert\_pre (elaboración propia).

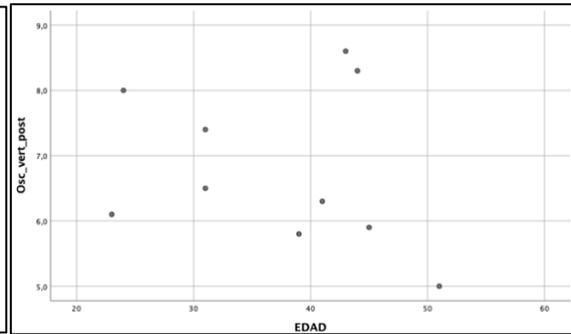


Gráfico 55: Diagrama de dispersión edad y osc\_vert\_post (elaboración propia).

## 12. DISCUSIÓN

Observando los resultados del estudio, y en relación con el análisis inferencial de las diferencias entre los momentos pre y post de cada variable del estudio, se encuentra que solo se encuentran diferencias significativas entre las variables pronación\_pre y pronación\_post ( $p=0,05$ ). En el resto de variables no se han encontrado diferencias significativas.

Con respecto a las diferencias encontradas entre pronación\_pre y pronación\_post, se observa una disminución de los grados de la excursión en pronación durante la 2ª carrera (pronación\_post), con respecto a la 1ª carrera.

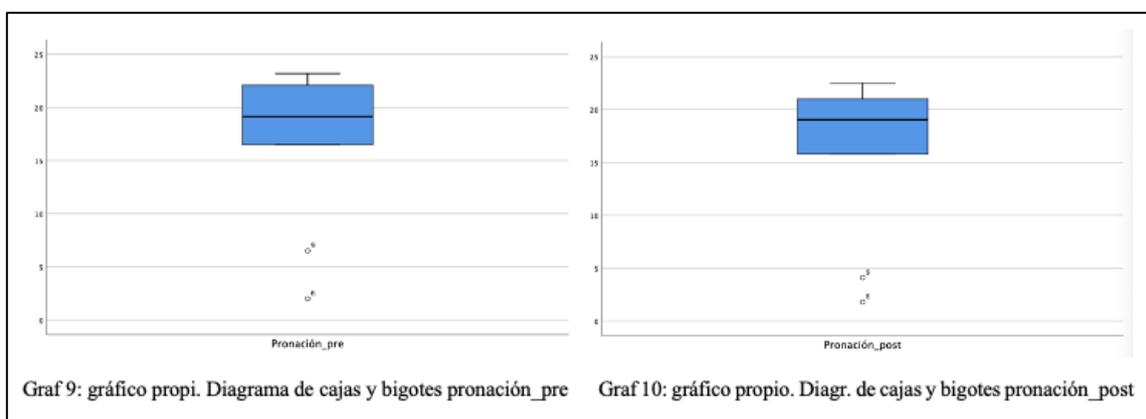


Imagen 4: Recuerdo de Gráficos 9 y 10 (elaboración propia).

Además de en la representación gráfica, esta disminución puede observarse también en la tabla de descriptivos de estas variables, donde la media de la variable pronación\_pre ( $\bar{x}=16,870^\circ$ ), es mayor que la media de pronación\_post ( $\bar{x}=16,310^\circ$ ). Del mismo modo, encontramos diferencias en los valores máximos y mínimos:

- Pronación\_pre: mínimo  $2,0^\circ$  / máximo  $23,2^\circ$
- Pronación\_post: mínimo  $1,8^\circ$  / máximo  $22,5^\circ$

Varios estudios sostienen que la pronación dinámica durante el apoyo en la carrera a pie se relaciona con la incidencia de lesiones, de modo que aquellos individuos con una pronación excesiva son más propensos a sufrir lesiones.<sup>7,8,13</sup> Sin embargo, en investigaciones anteriores, el aumento de las lesiones venía marcado no solamente por el

aumento de los valores absolutos de pronación, sino también por la velocidad de este movimiento (velocidad de pronación),<sup>8</sup> y en el presente estudio no se encuentran diferencias significativas entre vel\_pron\_pre y vel\_pron\_post.

También se ha encontrado una sinergia entre la modificación del patrón de zancada y el aumento del movimiento de pronación, y su relación con el aumento de lesiones.<sup>7,8</sup> Este estudio no presenta diferencias significativas en cuanto a la modificación del patrón de pisada (footstrike\_pre no presenta diferencias significativas con respecto a footstrike\_post).

Finalmente, el movimiento de pronación no deja de ser un mecanismo protector básico para la estabilización articular de las extremidades inferiores y la absorción de las fuerzas de impacto, por lo que valores demasiado bajos pueden aumentar el riesgo de lesión al reducirse la capacidad de absorción articular.<sup>8,13</sup>

En conclusión, los resultados obtenidos en este estudio que muestran diferencias significativas en el movimiento angular de pronación, no parece que puedan influir en una diferencia de incidencia lesional entre la 1ª y la 2ª carrera, al no encontrarse acompañadas de diferencias significativas en ninguna otra variable. No obstante, los valores medios de pronación considerados funcionalmente normales durante la carrera en atletas se encuentran entre 10° y 15° de pronación.<sup>23</sup> Por tanto, las medias obtenidas en el presente estudio, tanto de la variable pronación\_pre (16,870°), como de la variable pronación\_post (16,310°), superan dichos valores de normalidad.

Con respecto al resto de variables, al no encontrar diferencias significativas entre los datos obtenidos en la 1ª carrera y la 2ª carrera para cada una de las demás variables; se puede decir que el riesgo de lesión y el rendimiento, en base a estas variables, no sufre modificaciones en el segundo segmento de carrera con respecto al primer segmento de carrera.

En el estudio de la variable sexo con respecto a las variables dependientes del estudio relacionadas con la biomecánica de carrera, se debe tener en cuenta la muestra del estudio; ya que al tamaño reducido de la muestra ( $n=10$ ), se suma la diferencia de proporciones de los grupos al dividir por sexos: 8 hombres frente a 2 mujeres. Ambas características suponen una clara limitación del estudio. No obstante, cabe señalar las siguientes observaciones.

Se observan diferencias claras en las representaciones gráficas del ritmo de carrera, que muestran que los hombres presentan valores de ritmos de carrera menores que las mujeres, tanto en la 1ª carrera como en la 2ª carrera. Estas variables de ritmo de carrera (ritmo\_pre y ritmo\_post), tienen como unidad s/km (segundos por km), por tanto, a menor valor de ritmo de carrera, menos tiempo empleado en recorrer un kilómetro, lo que significa que los hombres se desplazan a mayor velocidad que las mujeres: mejor rendimiento deportivo.

También se observan diferencias en la cadencia, donde en ambas variables (pre y post), se muestra una cadencia mayor en hombres que en mujeres. Lo mismo ocurre con las variables fuerza de impacto y longitud de zancada.

Tanto la variable cadencia como la variable longitud de zancada se relacionan con el ritmo de carrera de manera que a mayor cadencia y mayor longitud de zancada, aumenta el ritmo.<sup>15,18</sup> La fuerza de impacto se relaciona de igual manera con el ritmo de carrera, ya que a mayor ritmo, mayor será la fuerza de impacto que el suelo ejerza sobre el sujeto en movimiento. Estas afirmaciones se ven por tanto reflejadas en el presente estudio.<sup>12,14</sup>

En cuanto a la pronación, los valores de las variables relacionadas con el movimiento angular de pronación (pronación\_pre y pronación\_post) entre hombres y mujeres son similares. Si se aprecian diferencias en las variables relacionadas con la velocidad de pronación (vel\_pron\_pre y vel\_pron\_post), lo cual es lógico: los hombres se desplazan a una mayor velocidad lineal, por tanto, las velocidades angulares articulares también aumentan, con respecto al grupo de mujeres, sin esto comprometer a los rangos de movimiento.<sup>8</sup>

Los resultados de las fuerzas de frenado en ambos grupos son similares tanto en la primera carrera (braking\_pre) como en la segunda carrera (braking\_post). Esta variable se relaciona directamente con el tipo de pisada, ya que en función del tipo de apoyo durante la pisada, varía la fuerza de frenado experimentada.<sup>4,8,9</sup> En cuanto al tipo de pisada (footstrike\_pre y footstrike\_post), en este estudio ningún sujeto presentó un tipo de pisada en retropié, lo que contrasta con otros estudios realizados en atletas amateurs.<sup>7</sup>

En el grupo de mujeres, el 100% de los sujetos tenían un tipo de pisada en mediopié, mientras que en el grupo de hombres el 50% de sujetos presentó un tipo de pisada en antepié y el otro 50% en mediopié. Observando esta variable de forma independiente, cabría esperar que el grupo de hombres presentase menores resultados de fuerza de frenado, sin embargo los resultados son similares en ambos grupos. Esto es normal y esperado si tenemos en cuenta que los hombres presentan un mayor ritmo de carrera (mayor velocidad), por lo que el impacto contra el suelo es mayor, y además considerando que, habitualmente, el peso de deportistas varones es mayor que el peso de deportistas mujeres.<sup>5</sup>

Finalmente, con respecto a la oscilación vertical, se observa que el grupo de mujeres presenta valores de oscilación vertical mayores en ambos momentos de estudio, tanto en la variable osc\_vert\_pre, como en la variable osc\_vert\_post. Esto es lógico si tenemos en cuenta que menores valores de oscilación vertical son necesarios para desarrollar un mayor ritmo de carrera.<sup>12</sup>

Respecto al estudio de la relación de la variable edad con las variables dependientes del estudio, no se ha encontrado ninguna relación significativa con ninguna de ellas, por lo que en este estudio, parece que la variable edad no influye en los resultados de las variables dependientes ni durante el primer segmento de carrera, ni durante el segundo segmento. Cabe recordar, que se ha demostrado que la edad de pico de máximo rendimiento en deportes de resistencia es superior a la de otros deportes en los que predomina más un componente de velocidad o flexibilidad, y que este pico de rendimiento se puede mantener durante más años en deportes de resistencia.<sup>11</sup>

### **13. LIMITACIONES DEL ESTUDIO**

A pesar de realizar este estudio a través de métodos y estrategias lo más rigurosas posibles, hay una serie de limitaciones que no han podido ser controladas. La principal limitación viene dada por el tamaño muestral, motivo por el cual se ha realizado un estudio piloto, dado el limitado número de participantes de estudio conseguido.

En relación con el tamaño muestral, otra limitación es la desproporción de la muestra en cuanto al sexo de los participantes, un 20% mujeres y un 80% hombres, lo que puede afectar a los resultados del análisis de la variable independiente Sexo sobre las variables dependientes.

Otra de las limitaciones del estudio ha sido la falta de bibliografía acerca del duatlón, teniendo que recurrir también a información basada en estudios de carrera a pie provenientes de atletismo y triatlón.

Por otro lado, se ha tenido que realizar una simulación de una competición de duatlón para cada participante, lo cual puede suponer una limitación, al no tratarse de una competición en sí. Lo ideal sería haber podido recoger los datos en una competición real, pero en este caso, el proceso de colocación de los sensores de movimiento dificultaba el procedimiento.

Finalmente, se podría considerar también una limitación para este estudio la imposibilidad de haber realizado todas las mediciones en un mismo lugar y con condiciones ambientales similares, sabiendo que una temperatura ambiente elevada produce un efecto negativo sobre el rendimiento deportivo en duatletas (se obtienen mejores resultados a 10 grados que a 30 grados).<sup>24</sup>

## 14. CONCLUSIONES

En una prueba de duatlón sprint, el segmento de ciclismo no altera la biomecánica de carrera del segundo segmento de carrera a pie con respecto al primero en deportistas amateurs, por lo que su rendimiento deportivo y su riesgo de padecer una lesión no se ven comprometidos desde el punto de vista biomecánico. No obstante, si se aprecian diferencias aisladas en el grado de pronación del pie, el cual disminuye en la segunda carrera; aunque este factor por sí solo no supone cambios en el rendimiento ni en el riesgo de padecer una lesión.

El sexo femenino presenta ritmos de carrera más lentos que el sexo masculino, lo cual se ve también reflejado en otros parámetros biomecánicos estudiados: cadencia, la longitud de zancada, la velocidad de pronación y la fuerza de frenado o “braking”, presentan valores menores en el grupo de mujeres con respecto al de hombres; la oscilación vertical y la fuerza de impacto son mayores en el grupo del sexo femenino con respecto al masculino. En el grupo de mujeres, un 100% de sujetos presenta un tipo de pisada en mediopié; mientras que en el grupo de hombres el 50% de sujetos pisa en antepié y el otro 50% en mediopié (ningún sujeto del estudio presentó un tipo de pisada en retropié). La variable grados de pronación no difiere entre hombres y mujeres.

En el presente estudio no se encontraron relaciones de significación entre ninguna de las variables dependientes del estudio y la edad de los sujetos; aunque se observa una ligera diferencia entre las medias de edad de los sujetos en función del tipo de pisada, de tal forma que los deportistas que presentan un apoyo en antepié tienden a ser más jóvenes que los que presentan un apoyo en mediopié.

Este estudio consiste en un estudio piloto, en el que la muestra de sujetos no es lo suficientemente grande para considerarse representativa, y existe una gran desproporción entre el tamaño del grupo de hombres y el de mujeres. Por tanto, los resultados de este estudio deben ser considerados con precaución, y van orientados hacia la elaboración de estudios posteriores, que cuenten con una muestra de sujetos más representativa y equilibrada, y que compruebe así el grado de fiabilidad de los resultados obtenidos en el presente estudio.

## 15. LISTADO DE REFERENCIAS

1. Malisoux L, Delattre N, Urhausen A, Theisen D. Shoe Cushioning Influences the Running Injury Risk According to Body Mass: A Randomized Controlled Trial Involving 848 Recreational Runners. *The American Journal of Sports Medicine*. 2020 Dec 26;48(2):473-480. <https://doi.org/10.1177/0363546519892578> [doi]
2. Warne J, Gruber A, Cheung R, Bonacci J. Training and Technique Choices Predict Self-reported Running Injuries: An international study. *Physical Therapy in Sport*. 2021, Mar;48:83-90. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.12.017> [doi]
3. Nikolaidis PT, Villiger E, Knechtle B. Participation and Performance Trends in the ITU Duathlon World Championship From 2003 to 2017. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2021, Apr;35(4):1127-1133. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002851> [doi]
4. Tsuzuki T, Tsukioka K, Naito H. (2019). Changes in the blood redox balance during a simulated duathlon race and its relationship with athletic performance. *Physiological Reports*. 2019, Nov;7(21):e14277. <https://doi.org/10.14814/phy2.14277> [doi]
5. Nikolaidis PT, Villiger E, Vancini R, Rosemann T, Knechtle B. The Effect of Sex and Performance Level on Pacing in Duathlon. *Sports*. 2018, Nov;6(4):152. <https://doi.org/10.3390/sports6040152> [doi]
6. Shapira J, Keren Y, Rinott N, Berkovich Y. (2018) The Relationship between Injuries, Shoes and Style in the Runner's Population. *Harefua*. 2018;157(2):99-103. PMID: 29484865.
7. Costa MEF, Fonseca J, Sobral AI, Cabral KD, Rodrigues MG, Ferreira AP. Prevalence and factors associated with injuries in Recreational runners: a cross-sectional study. *Rev Bras Med Esporte*. 2020, May-Jun;26(3). <https://doi.org/10.1590/1517-869220202603190923> [doi]

8. Hreljac A. Impact and overuse injuries in runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2004, May;36(5):845-849.  
<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000126803.66636.DD> [doi]
9. Florenciano JL, Solé-Casals J, Borràs-Boix X. IMU-Based Effects Assessment of the Use of Foot Orthoses in the Stance Phase during Running and Asymmetry between Extremities. *Sensors*. 2021, May ;21(9):3277.  
<https://doi.org/10.3390/s21093277> [doi]
10. Barton CJ, Bonanno DR, Carr J, Neal BS, MalliarasP, Franklyn-Miller A, Menz HB. Running retraining to treat lower limb injuries: a mixed-methods study of current evidence synthesised with expert opinion. *British Journal of Sports Medicine*. 2016;50(9):513-526.  
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095278> [doi]
11. Nikolaidis PT, Villiger E, Sousa CV, Rosemann T, Knechtle B. The Effect of Aging on Pacing Strategies in Short and Long Distance Duathlon. *Experimental Aging Research*. 2019, Apr;45(3):223-233.  
<https://doi.org/10.1080/0361073X.2019.1609167> [doi]
12. Folland JP, Allen SJ, Black MI, Handsaker JC, Forrester SE. Running Technique is an Important Component of Running Economy and Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2017, Jul;49(7):1412-1423.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001245> [doi]
13. Papagiannaki M, Samoladas E, Maropoulos S, Arabatzi, F. Running-Related Injury from an Engineering, Medical and Sport Science Perspective. *Front Bioeng Biotechnol*. 2020, Sep;8:533391. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.533391> [doi]
14. Almeida MO, Davis IS, Lopes, AD. Biomechanical Differences of Foot-Strike Patterns During Running: A Systematic Review With Meta-analysis. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2015, Sep;45(10):738-755.  
<https://doi.org/10.2519/jospt.2015.6019> [doi]

15. Luedke L, Heiderscheit B, Williams B, Rauh M. Influence of Step Rate on Shin Injury and Anterior Knee Pain in High School Runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2016, Jul;48(7):1244-1250  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000890> [doi]
16. Azevedo APdS, Mezêncio B, Amadio AC, Serrão JC. Correction: 16 Weeks of Progressive Barefoot Running Training Changes Impact Force and Muscle Activation in Habitual Shod Runners. *PLoS ONE*. 2017, Apr;12(4):e0176426.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176426> [doi]
17. Koldenhoven R, Virostek A, DeJong A, Higgins M, Hertel J. Increased Contact Time and Strength Deficits in Runners with Exercise-Related Lower Leg Pain. *Journal of Athletic Training*. 2020, Oct;55(12):1247-1254.  
<https://doi.org/10.4085/1062-6050-0514.19> [doi]
18. Heiderscheit B, Chumanov E, Michalski M, Wille C, Ryan M. Effects of Step Rate Manipulation on Joint Mechanics during Running. *Med Sci Sports Exerc*. 2011, Feb;43(2):296-32. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ebedf4> [doi]
19. Koldenhoven RM, Hertel J. Validation of a Wearable Sensor for Measuring Running Biomechanics. *Digital Biomarkers*. 2018;2(2):74-78.  
<https://doi.org/10.1159/000491645> [doi]
20. García-Pinillos F, Latorre-Román PÁ, Soto-Hermoso VM, Párraga-Montilla JA, Pantoja-Vallejo A, Ramírez-Campillo R, et al. Agreement between the spatiotemporal gait parameters from two different wearable devices and high-speed video analysis. *PLoS ONE*. 2019, Sep;14(9):e0222872.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222872> [doi]
21. Hollis CR, Koldenhoven RM, Resch JE, Hertel J. Running biomechanics as measured by wearable sensors: effects of speed and surface. *Sports Biomechanics*. 2019, Mar;20(5):521-531. <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1579366> [doi]

22. Kumar Anumala S, Beku C, Murthy YSN. Measurement of Reliability in Grip Strength. *International Journal of Healthcare Sciences*. 2013, Oct-Dec;1(1):1-8.
23. Rojano Ortega D, Grao Cruces A, Rodríguez Martín P, Berral de la Rosa FJ. Eversion and inversion Analysis in Athletic Walking. *Apunts*. 2009, oct-dic;98:51-58.
24. Sparks SA, Cable NT, Doran DA, Maclaren DPM. The Influence of Environmental Temperature on Duathlon Performance. *Ergonomics*. 2007, Feb;48(11):1558-1567. <https://doi.org/10.1080/00140130500101254> [doi]
25. Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales. Boletín Oficial del Estado, número 294, (06 de diciembre de 2018). [Referencia: BOE-A-2018-16673]

## 16. ANEXOS

### ANEXO 1:

#### Documento de Consentimiento Informado para participar en el estudio

**ESTUDIO DE ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE  
CARRERA EN DUATLETAS AMATEURS**

Nombre del deportista: DNI:

Nombre del investigador: DNI:

Usted ha sido invitado a participar de forma voluntaria en un estudio de investigación por parte de un equipo de profesionales sanitarios e investigadores, dirigido a duatletas amateurs federados y mayores de edad; cuyo objetivo es el análisis de variables biomecánicas de técnica de carrera, enfocado a la mejora del rendimiento y a la prevención de lesiones.

En este estudio, usted deberá completar de forma individual un duatlón sprint simulado (5km carrera a pie, 20km ciclismo, 2,5km carrera a pie), portando 3 sensores de movimiento Runscribe®, uno colocado en el dorso de cada pie, y otro a nivel del sacro, que recogerán información almacenada posteriormente en un smarthpone para su correspondiente análisis estadístico. En todo momento se velará por la seguridad de cada sujeto, aunque a priori la prueba desarrollada en el estudio no debería afectar negativamente sobre la salud y el rendimiento del deportista.

Además de este consentimiento informado, usted deberá completar un breve cuestionario correspondiente a datos personales. No obstante, la participación en el estudio incluye la protección de todos sus datos personales, que serán únicamente utilizados para la realización del estudio.

DECLARO:

Que he leído el documento informativo y he sido informado acerca de las características del procedimiento, contraindicaciones y comprendo que participo de forma voluntaria pudiendo retirarme del estudio en cualquier momento. Estoy conforme con la información recibida; he podido formular toda clase de cuestiones que he creído convenientes y me han sido aclaradas todas las dudas planteadas.

En consecuencia, presto libremente mi conformidad para participar en el estudio y doy mi consentimiento para el acceso y utilización de mis datos en las condiciones detalladas en este documento.

En Oviedo, a ..... de ..... de 20....

Firma del investigador

Firma del participante

## ANEXO 2:

### Formulario de revocación del consentimiento informado

#### ESTUDIO DE ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE CARRERA EN DUATLETAS AMATEURS

##### Formulación de revocación del consentimiento informado.

D./D<sup>a</sup>. ..... con DNI ..... mediante el presente documento  
deseo revocar el consentimiento informado y por consiguiente mi retirada del estudio.

En ..... a ..... de ..... de 20....

Firma del investigador

Firma del participante

## ANEXO 3:

### Cuestionario inicial

**ESTUDIO DE ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE  
CARRERA EN DUATLETAS AMATEURS**

**CUESTIONARIO INICIAL**

Nombre del deportista:

\_\_\_\_\_

Sexo:  Hombre     Mujer

Peso: \_\_\_\_\_ kg.

Estatura: \_\_\_\_\_ cm.

Fecha de nacimiento: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

De acuerdo con la L.O.P.P.G.D.D. de 5 de diciembre de 2018, se recuerda que el tratamiento de estos datos se destina únicamente a la realización del estudio, y que en ningún otro caso serán compartidos ni divulgados. De este modo, los responsables del tratamiento de estos datos, y cualquier sujeto que, por medio de colaboración en el estudio, tenga acceso a ellos, deben cumplir con el deber de confidencialidad correspondiente al artículo 5.1 del Reglamento Europeo 2016/679.<sup>25</sup>

## ANEXO 4:

### Resultados del cálculo de tamaño muestral.

|  |  |
|--|--|
| Calculadora  | 22/6/22 17:27  |
| <b>Calculadora de Tamaño muestral GRANMO</b>   |  |
| Versión 7.12 Abril 2012  |  |
| <b>Medias : Medias apareadas (repetidas en un grupo)</b>   |  |
| <b>22/06/2022 17:26:12 Medias apareadas (repetidas en un grupo) (Medias)</b>   |  |
| Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral, se precisan <b>24</b> sujetos para detectar una diferencia igual o superior al 0.688 unidades. Se asume una desviación estándar de 1.0902. Se ha estimado una tasa de pérdidas de seguimiento del 15%. |  |
| <b>22/06/2022 17:25:37 Medias apareadas (repetidas en un grupo) (Medias)</b>   |  |
| Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral, se precisan <b>6</b> sujetos para detectar una diferencia igual o superior al 0.282 unidades. Se asume una desviación estándar de 0.215. Se ha estimado una tasa de pérdidas de seguimiento del 15%.   |  |
| <b>22/06/2022 17:24:45 Medias apareadas (repetidas en un grupo) (Medias)</b>   |  |
| Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral, se precisan <b>40</b> sujetos para detectar una diferencia igual o superior al 1.052 unidades. Se asume una desviación estándar de 2.1791. Se ha estimado una tasa de pérdidas de seguimiento del 15%. |  |
| <b>22/06/2022 17:24:05 Medias apareadas (repetidas en un grupo) (Medias)</b>   |  |
| Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral, se precisan <b>68</b> sujetos para detectar una diferencia igual o superior al 0.91 unidades. Se asume una desviación estándar de 2.4567. Se ha estimado una tasa de pérdidas de seguimiento del 15%.  |  |
| <b>22/06/2022 17:23:36 Medias apareadas (repetidas en un grupo) (Medias)</b>   |  |
| Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral, se precisan <b>23</b> sujetos para detectar una diferencia igual o superior al 96.13 unidades. Se asume una desviación estándar de 148.75. Se ha estimado una tasa de pérdidas de seguimiento del 15%. |  |
| <b>22/06/2022 17:22:50 Medias apareadas (repetidas en un grupo) (Medias)</b>   |  |
| Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral, se precisan <b>1469</b> sujetos para detectar una diferencia igual o superior al 0.56 unidades. Se asume una desviación estándar de 7.061. Se ha estimado una tasa de pérdidas de seguimiento del 15%. |  |
| <b>22/06/2022 17:19:43 Medias apareadas (repetidas en un grupo) (Medias)</b>   |  |
| Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral, se precisan <b>3</b> sujetos para detectar una diferencia igual o superior al 17.95 unidades. Se asume una desviación estándar de 8.644. Se ha estimado una tasa de pérdidas de seguimiento del 15%.   |  |
| <b>22/06/2022 17:19:10 Medias apareadas (repetidas en un grupo) (Medias)</b>   |  |
| Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral, se precisan <b>10</b> sujetos para detectar una diferencia igual o superior al 24.02 unidades. Se asume una desviación estándar de 24.957. Se ha estimado una tasa de pérdidas de seguimiento del 15%. |  |
| Desarrollado por: <a href="#">Jaume Marrugat</a>   | Program of Research in Inflammatory and Cardiovascular Disorders |
| Mantenido por: <a href="#">Joan Vila</a>   |  |
| Adaptación web: <a href="#">Antaviana</a>  |  |
| <a href="https://www.imim.es/ofertadeserveis/software-public/granmo/">https://www.imim.es/ofertadeserveis/software-public/granmo/</a>  | Página 1 de 2  |

## **ANEXO 5:**

### **DECLARACIÓN DE HELSINKI – Principios Generales**

- 1) La Asociación Médica Mundial (AMM) ha promulgado la Declaración de Helsinki como propuesta de principios éticos para investigación médica en seres humanos, incluida la investigación del material humano y de información identificables.
- 2) Conforme a la AMM, la Declaración está destinada principalmente a los médicos, pero insta a otros involucrados en investigación médica a adoptar estos principios.
- 3) La Declaración de Ginebra de la AMM vincula al médico con la fórmula “velar solícitamente y ante todo por la salud de mi paciente”, y el Código Internacional de Ética Médica afirma que: “El médico debe considerar lo mejor para el paciente cuando preste atención médica”.
- 4) El deber del médico es promover y velar por la salud, bienestar y derechos de los pacientes, incluidos los que participan en investigación médica. Los conocimientos y la conciencia del médico han de subordinarse al cumplimiento de ese deber.
- 5) El progreso de la medicina se basa en la investigación, que, en último término, debe incluir estudios en seres humanos.
- 6) El propósito principal de la investigación médica es comprender causas, evolución y efectos de enfermedades y mejorar las intervenciones preventivas, diagnósticas y terapéuticas (métodos, procedimientos y tratamientos). Incluso, las mejores intervenciones probadas deben ser evaluadas continuamente a través de la investigación para que sean seguras, eficaces, efectivas, accesibles y de calidad.
- 7) La investigación médica está sujeta a normas éticas que promueven y aseguran el respeto a todos los seres humanos, y protegen su salud y derechos individuales.
- 8) Aunque el objetivo principal de la investigación médica es generar nuevos conocimientos, este objetivo nunca debe tener primacía sobre los derechos y los intereses de la persona que participa en la investigación.
- 9) En investigación médica, es deber del médico proteger la vida, salud, dignidad, integridad, derecho a la autodeterminación, intimidad y confidencialidad de la información personal de los participantes. La responsabilidad de la protección de los participantes de la investigación debe recaer en un médico u otro profesional de la salud, nunca en los participantes, aunque hayan otorgado su consentimiento.

- 10) Los médicos deben considerar las normas y estándares éticos, legales y jurídicos para la investigación en seres humanos en sus propios países, al igual que las normas y estándares internacionales vigentes. No se debe permitir que un requisito ético, legal o jurídico nacional o internacional disminuya o elimine cualquier medida de protección para los participantes establecida en esta Declaración.
- 11) La investigación médica debe realizarse reduciendo al mínimo el posible daño al medio ambiente.
- 12) La investigación médica en seres humanos debe ser llevada a cabo solo por personas con la educación, formación y calificación científica y ética apropiadas. La investigación en pacientes o voluntarios sanos necesita la supervisión de un médico u otro profesional de la salud competente y calificado apropiadamente.
- 13) Los grupos que están subrepresentados en la investigación médica deben tener un acceso apropiado a la participación en la investigación.
- 14) El médico que combina la investigación médica con la atención médica debe involucrar a sus pacientes en la investigación solo en la medida en que esto acredite un justificado valor potencial preventivo, diagnóstico o terapéutico y si tiene buenas razones para creer que la participación en el estudio no afectará de manera adversa la salud de los pacientes que toman parte en la investigación.
- 15) Se debe asegurar compensación y tratamiento apropiados para las personas que son dañadas durante su participación en la investigación.