



# Trabajo Fin de Grado

Análisis bibliográfico de las diferencias biomecánicas entre el atletismo y ciclismo entre triatletas y atletas de cada una de las disciplinas

Bibliographic analysis of the biomechanical differences between athletics and cycling between triathletes and athletes of each of the disciplines

Autor/es

**Pablo Melendo Espinosa**

Director/es

**Ricardo Ros Mar**

Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte  
Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

- Huesca 2020 -



## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es analizar, desde el punto de vista biomecánico, que diferencias hay entre los triatletas en el segmento de la carrera a pie y los atletas especialistas de cada una de las pruebas de fondo en atletismo, en segundo lugar las diferencias que hay entre los triatletas en el segmento de ciclismo y los ciclistas. Se ha realizado una revisión bibliográfica de los diferentes artículos encontrados sobre la biomecánica en estos deportes, utilizando diferentes buscadores como Google Scholar, Scopus y PubMed. Las principales conclusiones son que se utilizan diferentes técnicas de carrera a pie, se utilizan diferentes cadencias y la técnica del drafting se utilizan en ambos deportes (ciclismo y triatlón).

## ABSTRACT

The objective of this work is to analyze, from the biomechanical point of view, what differences there are between triathletes in the segment of the running race and the specialist athletes of each of the long-distance athletics tests, secondly the differences that there are between triathletes in the cycling segment and cyclists. A bibliographic review of the different articles found on biomechanics in these sports has been carried out, using different search engines such as Google Scholar, Scopus and PubMed. The main conclusions are that different running techniques are used, different cadences are used and the drafting technique is used in both sports (cycling and triathlon).



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2. ABREVIATURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>3. CONTEXTO.....</b>	<b>8</b>
<b>4. BASES BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>15</b>
<b>5. DIFERENCIAS BIOMECÁNICAS ENTRE EL SEGMENTO DE CARRERA A PIE DE UN TRIATLON Y EL ATLETISMO.....</b>	<b>17</b>
<b>5.1 SEGMENTO DE CARRERA PIE.....</b>	<b>17</b>
<b>5.2 ATLETISMO.....</b>	<b>25</b>
<b>6. DIFERENCIAS BIOMECÁNICAS ENTRE EL SEGMENTO DE CICLISMO DE UN TRIATLON Y EL CICLISMO.....</b>	<b>37</b>
<b>6.1 SEGMENTO CICLISMO.....</b>	<b>37</b>
<b>6.2 CICLISMO.....</b>	<b>43</b>
<b>7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>52</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es el resultado de los conocimientos que he ido adquiriendo durante estos cuatro años cursando CCAFD y de mi experiencia en el triatlón que es el deporte que llevo practicando durante años. De las tres disciplinas del triatlón es la carrera a pie la que más me gusta.

Me han surgido bastantes dudas sobre el entrenamiento en este deporte en el que hay una tendencia a copiar a los deportistas de cada una de las disciplinas que lo componen (natación, ciclismo y carrera a pie).

Me decanté en enfocar mi trabajo de fin de grado en la biomecánica deportiva que ha sido un aspecto que me pareció bastante útil en el campo de la actividad física.

He realizado este trabajo con el objetivo de que me sea útil para mi entrenamiento, me hiciera estar motivado durante la elaboración del trabajo y aumentar mis conocimientos sobre la biomecánica deportiva.

Mi trabajo consiste en realizar un estudio detallado, selectivo y crítico que tiene como objetivo revisar examinar la bibliografía publicada sobre las diferencias de las variables biomecánicas que hay entre la carrera a pie en triatlones de distancia corta con los atletas puros en carreras de fondo de cinco kilómetros hasta veintiún kilómetros y entre el segmento de ciclismo de un triatlón y el ciclismo, si se utilizan las mismas variables biomecánicas en ciclismo que en el segmento del ciclismo de un triatlón. Asimismo, se busca conocer las características de la técnica de los corredores de los diferentes deportes y sus variables biomecánicas. También buscaremos ver si se utilizan las mismas variables biomecánicas en ciclismo que en el segmento del ciclismo de un triatlón.

Además me hubiera gustado realizar un trabajo de campo pero debido a las circunstancias que se han dado por el COVID-19 me ha resultado imposible poder hacer pruebas de campo para analizar el objetivo principal de encontrar las diferencias biomecánicas



que hay entre triatletas en el segmento de la carrera a pie y los atletas puros en carreras de fondo.

## 2. ABREVIATURAS

- **ROM:** Rango de movimiento.
- **BTT:** Bicicleta de montaña
- **V02max:** Consumo máximo de oxígeno.
- **MLSS:** El máximo estado de lactato sostenido.
- **Wmax:** Potencia aeróbica máxima.
- **VAM:** La velocidad aeróbica máxima.
- **CEA:** Ciclo estiramiento acortamiento.
- **Vpeak:** Velocidad con la que se consigue el V02max.
- **VFA:** La velocidad final alcanzada.
- **T-lim:** El tiempo límite.
- **EC:** Economía de carrera.
- **SF:** La frecuencia de la zancada.
- **PSF:** Las frecuencias de zancada preferidas.
- **OSF:** Las frecuencias de zancada óptimas.
- **MHMF:** El momento máximo de flexión de cadera en el plano sagital durante el swing.
- **OK:** Posición de aterrizaje del pie en relación con la rodilla.
- **OH:** Posición de aterrizaje del pie en relación con la cadera.
- **COM:** Las oscilaciones verticales del centro de masa
- **ER:** Economía de carrera.
- **[La]b:** Lactato sanguíneo.
- **vLTP:** La velocidad del punto de giro del lactato.
- **HR:** La frecuencia cardíaca.
- **TD:** La técnica del “drafting”
- **TA:** Triatlón completamente solo.
- **PAM:** La potencia aeróbica máxima.
- **FCC:** La frecuencia de pedaleo elegida libremente.
- **IE:** Índice de efectividad.



- **Cópt:** La cadencia óptima.
- **LGDP:** Llano con postura baja.
- **UHUP:** Ascenso con posición erguida.
- **CMJ:** Salto en movimiento
- **RM:** Repeticiones máximas.

### 3. CONTEXTO

El triatlón es un deporte olímpico de resistencia que consiste en realizar 3 disciplinas deportivas: natación, ciclismo y carrera a pie, que se realizan en orden y sin interrupción entre una prueba y la siguiente. El tiempo que se tarda en cambiar de una disciplina a la siguiente se denomina transición.

Muchos sitúan el origen de esta combinación de deportes en la isla de Hawái, específicamente desde una apuesta entre marines estadounidenses en 1978 que pretendían aclarar qué atleta era el más completo. Sin embargo, ya existen algunas referencias sobre modalidades afines al triatlón desde principios del siglo XX. Especialmente, en Francia existía una prueba conocida como “Los tres deportes” que tenía la esencia del triatlón moderno al combinar la carrera, la natación y el ciclismo. Lo que es seguro es que esta completa modalidad deportiva es parte miembro de los Juegos Olímpicos desde el año 2000, algo que no ha hecho más que aumentar su popularidad.

Hay diferentes tipos de triatlón según la distancia recorrida (Cejuela y cols, 2007):

	<b>NATACIÓN</b>	<b>CICLISMO</b>	<b>CARRERA A PIE</b>	<b>DURACIÓN</b>
<b>Sprint</b>	750 metros	20 kilómetros	5 kilómetros	55 – 90 minutos
<b>Olímpica</b>	1500 metros	40 kilómetros	10 kilómetros	110 -160 minutos
<b>Half Ironman</b>	1900 metros	90 kilómetros	21 kilómetros	240 - 330 minutos
<b>Larga Distancia</b>	3000 metros	120 kilómetros	30 kilómetros	360 - 540 minutos
<b>Ironman</b>	3800 metros	180 kilómetros	42 kilómetros	480 - 900 minutos



Los factores de rendimiento en triatlón son:

- **VO<sub>2</sub>max:** es la capacidad máxima de oxígeno que puede ser utilizada por un deportista en un minuto (Bazán, 2014).
- **Umbral anaeróbico:** es la intensidad de ejercicio más alta en la que se puede mantener un alto consumo de oxígeno, por lo que es la forma más económica de aprovechar al máximo las necesidades energéticas. (Svedahl y MacIntosh, 2003)
- **Frecuencia cardíaca:** es el número de contracciones del corazón o pulsaciones por unidad de tiempo ya que se producen diferencias en los valores de frecuencia cardíaca en los mismo deportistas en ergometrías realizadas en ciclismo y carrera tanto máximas como submáximas (Millet et al., 2009)
- **Los factores antropométricos:** son medidas corporales para determinar el índice de grasa. (Dorado & García, 2014).
- **Los factores tácticos:** son la estrategia de competición que el triatleta va a llevar a cabo. (Dorado & García, 2014).
- **Los factores biomecánicos:** son todos aquellos elementos externos o internos que influyen en el rendimiento, son aquellos en los que nos vamos a centrar en el trabajo (Dorado & García, 2014).

Uno de los deportes que vamos a analizar y comparar con el triatlón es el atletismo que abarca numerosas disciplinas que pueden clasificarse de diferentes formas: por ejemplo, pruebas con presencia de objetos y pruebas con presencia de adversarios (Reis, R. E. y cols, 2016). Nosotros vamos a dividir la pruebas como se conocen popularmente que son los saltos, lanzamientos, pruebas de velocidad, pruebas con implementos, pruebas combinadas y por último las pruebas de resistencia que son en las que nos vamos a centrar en este estudio. Dentro de las pruebas de resistencia hay de medio fondo y de fondo y de gran fondo: las de medio fondo son las de mil quinientos metros y tres mil metros; las de fondo que son desde 5000 hasta la distancia maratón (42,195km) y las de ultra fondo que son todas las carreras que están por encima de la distancia maratón.

El atletismo es considerado el deporte más antiguo del mundo ya que correr, caminar, lanzar y saltar son movimientos naturales en el hombre. La primera referencia histórica al atletismo se remonta al 776 a.C. en Grecia, con una lista de los atletas ganadores de una competencia. pero se vincula el inicio del atletismo a la formación de la Real Federación Española de Atletismo el 27 de marzo de 1920 en Bilbao.

Como en el triatlón, el atletismo tiene una serie de factores de rendimiento (Ogueta-Alday, & García-López, 2016):

- **Factores ambientales** como el aire/viento, temperatura, humedad, altitud y pendiente del terreno.
- **Factores del entrenamiento** que son la resistencia, fuerza, aclimatación al calor, altura.
- **Factores fisiológicos** como el VO<sub>2</sub>max, umbral ventilatorio, economía de carrera, edad, género, fibras musculares, fatiga y raza.
- **Factores psicológicos** como la intervención, dirección de la atención y música
- **Factores biomecánicos** que van a ser en los que nos vamos a centrar que explicaremos y desarrollar más adelante.

El otro deporte que vamos a comparar con el triatlón es el ciclismo. El ciclismo es un deporte que se practica en bicicleta y que engloba diferentes modalidades: carretera, bicicleta de montaña (BTT), pista, bmx y ciclocross. En este caso nos vamos a centrar en la familia del ciclismo de carretera. En el ciclismo de carretera hay diferentes formatos de carreras: las principales y más largas son las grandes vueltas como el Giro D'Italia que duran 3 semanas con etapas de todo tipo desde contrarrelojs, que no suelen durar más de una hora, carreras llanas, etapas de terreno variado, etapas de montaña.....; después están las vueltas pequeñas que pueden durar desde 2-3 días como la Vuelta Aragón hasta una semana como la Vuelta al País Vasco, y luego están las clásicas que son carreras de un día en torno a unos 200-250km como, por ejemplo, la Paris-Roubaix.

La primera carrera fue el 31 de mayo de 1868, en el “Parc de Saint-Cloud” de París, después se realizaron carreras de una ciudad a otra (la primera fue el 7 de noviembre de 1869 “París-Rouen”). Conforme pasaban los años este deporte, fue ganando popularidad y, por ello, en 1896 formó parte por primera vez en los Juegos Olímpicos, tanto en ciclismo de carretera como en pista. Más tarde, en 2008 fue olímpico el BTT y la BMX. A principios del siglo XX aparecieron grandes carreras como el Tour de Francia (1903) y Milán-San Remo (1907). Las mujeres tuvieron que esperar hasta los Juegos Olímpicos de Los Ángeles en 1984 para poder participar en competiciones de carretera (De Lubiano, 2016).

En el ciclismo también hay una serie de factores de rendimiento:

- **Factores fisiológicos:** El ciclismo es un deporte con competiciones de todo tipo por lo que en los equipos ciclistas, tiene que haber con diferentes características fisiológicas. Los ciclistas rodadores juntos a los contrarrelojistas que se caracterizan por su mayor potencia máxima y mayor consumo de oxígeno en términos absolutos (Padilla y col, 1999). También hay que tener en cuenta que las carreras ciclistas no siempre se disputan a máxima intensidad por lo que los valores fisiológicos submáximos son importantes (De Lubiano, G. C. B., 2016).
- **Factores biomecánicos:** el principal objetivo es sacar la máxima potencia de pedaleo para una pedalada y en consecuencia intervienen la eficiencia del pedaleo, la potencia aplicada, la cadencia.... (Cortés Mollá, 2016)

Una vez explicados los tres deportes y sus factores de rendimiento nos vamos a centrar en la biomecánica deportiva. En los últimos años en el ámbito deportivo se ha mejorado mucho el rendimiento, lo que quiere decir que se ha mejorado en todo lo que engloba el entrenamiento a nivel de metodología, de investigación, implicación de los deportistas.... Una de las posibilidades para mejorar el rendimiento es aumentar la eficacia mecánica de los gestos que intervienen en las diferentes especialidades deportivas, en concreto la biomecánica deportiva que es la ciencia que examina las fuerzas internas y externas que actúan sobre el cuerpo humano y el efecto que ellas producen. (Hay, 1978).

Los objetivos que se buscan con la biomecánica, según Suárez, 2002), son el análisis cinemático y dinámico de los movimientos deportivos; la determinación de los factores críticos de eficacia y de efectividad de los movimientos deportivos así como de los implementos deportivos; la selección de nuevos métodos de análisis de los movimientos. A estos García-Fojeda, Biosca, & Válios, (1997) suman la importancia de la biomecánica para evitar las lesiones por sobrecarga corrigiendo su origen.

En la biomecánica se necesita el establecimiento de grandes bases de datos sobre los patrones mecánicos de las diferentes técnicas deportivas con el objetivo de comparar los resultados y de ver qué técnicas son más eficientes. Hay, (1980) identificó unos parámetros mecánicos globales para ciertas técnicas deportivas y para ello Hay y Reid, (1988) proponen que los modelos biomecánicos recogen una secuencia causal de los fenómenos relacionados con los movimientos deportivos: en el primer nivel colocan el objetivo del movimiento; en un segundo nivel, aparecen los parámetros espacio temporales que generan o determinan el objetivo; el tercer nivel son las fuerzas lineales que condicionan los parámetros espacio-temporales y en el cuarto y último nivel se incluyen los factores de movimientos de fuerza que generan las fuerzas lineales.

Para estudiar el movimiento humano, la biomecánica deportiva utiliza dos procedimientos que son el análisis cuantitativo y el cualitativo. El análisis cuantitativo implica la descripción de los movimientos del cuerpo en términos numéricos con lo que se consigue un análisis totalmente objetivo. El análisis cualitativo se basa en la habilidad del entrenador para reconocer los momentos críticos de la ejecución del gesto deportivo que, como vemos, es un análisis subjetivo y para que sea admitido tiene que estar avalado por un estudio cuantitativo José, A. (2009).

Otros científicos como Soriano & Belloch, (2007) establecen otros análisis diferentes: el análisis cinemático del movimiento y el análisis cinético del movimiento. El primero trata de explicar el movimiento sin tener en cuenta las causas que lo producen o afectan y las variables más analizadas están relacionadas con el tipo de desplazamientos, velocidades y aceleraciones, mientras que el análisis cinético del movimiento permite obte-

ner información sobre las causas (cargas mecánicas) que generan el movimiento o las producidas durante el mismo y en estos análisis las variables más medidas son las fuerzas, momentos o presiones que actúan en el cuerpo humano tras su interacción con el medio.

Dentro de la biomecánica deportiva, hay muchos tipos de herramientas y técnicas:

- **Cronoscopios o cronómetro:** Se inicia en un instante de tiempo previamente seleccionado, frecuentemente cuando se inicia el movimiento y se detiene en otro instante de tiempo. Las herramientas que se utilizan son las fotocélulas, que es un elemento que actúa como interruptor al paso a la corriente eléctrica, generando un haz de luz infrarroja y detectando si éste se mantiene o ha sido cortado y normalmente se coordina con un cronómetro u otros dispositivos. Después están las plataformas de contacto que son elementos que funcionan igual que las fotocélulas que se utilizan para registrar los tiempos de vuelo y la altura de los saltos. Por último, los micrófonos que permiten abrir y cerrar un circuito eléctrico que acciona/detiene un cronómetro tras superar un determinado umbral de sonido (Soriano & Belloch, 2007).
- **Fotogrametría:** Hay diferentes tipos de fotogrametría pero la más completa es la tridimensional (3D) que permite obtener información sobre posiciones, dimensiones y actitudes de los deportistas a través de la filmación, medidas y cálculos matemáticos sobre dichas medidas. (Dávila, M. G., 2000).
- **Electrogoniometría:** Se utiliza para medir diferentes segmentos corporales en una posición estática con respecto al rango de movimiento (ROM) de una articulación y se obtienen diferentes resultados a través de la evolución de la posición angular en el tiempo. (Soriano & Belloch, 2007).
- **Electromiografía:** Es un proceso en el cual se estudian los cambios eléctricos que ocurren en el músculo durante o inmediatamente antes de su contracción. Para todo este proceso se necesitan diferentes instrumentos que recogen la actividad eléctrica y que traducen las señales visuales. La recogida de los impulsos eléctricos se realiza mediante unos discos de electrodos metálicos que se ponen encima de la piel o se insertan en el músculo a través de finos cables. (Soriano & Belloch, 2007).

- **Dinamografía:** Esta técnica consiste en medir la fuerza realizada durante una acción determinada, por lo que permite obtener información sobre las cargas mecánicas que generan el movimiento o las que se producen durante la realización de movimiento. (Soriano & Belloch, 2007).
- **Acelerometría:** Nos permite registrar mediante infrarrojos las aceleraciones en un segmento corporal durante la actividad deportiva mediante elementos óseos sobre la superficie de la piel. Normalmente se utiliza para analizar el contacto del pie con el suelo en diversas acciones deportivas, junto con la utilización de una plataforma dinamométrica permite analizar el índice de transmisión del impacto en los diferentes segmentos corporales. (Soriano & Belloch, 2007)
- **Electrodinografía y presurometría:** Consiste en registrar y analizar la distribución de presiones en el apoyo dinámico del cuerpo humano mediante herramientas que utilizan sistemas de medición de presiones. (Soriano & Belloch, 2007)

Anteriormente hemos visto las diferentes mecanismos para evaluar la biomecánica de forma más genérica pero, a finales de los años 70, empezaron a salir los primeros test o instrumentos como el “Jump Measuring Device” que mide la capacidad de salto vertical mediante un sensor electromecánico (Kropelnitski,1974). Otro sistema de análisis es el “System and Metido for Measuring Movement of Objects” que calcula la distancia recorrida, velocidad y altura del salto a través de acelerómetros y sensores de rotación (Hutchings, Gross y Jarpe, 2000).

## 4. BASES BIBLIOGRÁFICAS

Para realizar este trabajo hemos empleado buscadores que permiten localizar documentos de carácter científico como artículos, tesis, libros... Los principales buscadores empleados han sido Google Scholar, Pub Med, Science Direct y Scopus. Por otro lado, hemos buscado artículos de los últimos veinte años pero hemos introducido ciertas referencias bibliográficas de artículos más antiguos debido a que son artículos de referencia, asimismo hemos utilizado tecnicismo de la área de la biomecánica como “cadencia”, “longitud de zancada” que hacen referencia al tema de la revisión bibliográfica.

Para buscar información sobre el triatlón, hemos utilizado Google Scholar y PubMed, en el cual no hemos utilizado ningún tipo de filtros, las palabras claves que hemos utilizado han sido “triathlon”, “biomechanical aspects”, “performance factors”, “stride frequency”, “stride length”... Tras estas búsquedas hemos intentado seleccionar los mejores artículos para conocer la biomecánica de la carrera a pie en el triatlón. Además, dependiendo de los artículos que nos salían en los diferentes buscadores, después también mirábamos en la bibliografía de los artículos para encontrar artículos que nos pudieran servir con el único requisito de que hubieran sido publicados en el 2000 en adelante.

Para la información sobre el atletismo, hemos seguido el mismo proceso que en el triatlón, con los mismos buscadores y sin filtros, pero con las palabras como “economy running”, “stride”, “vertical swing”, “support on the ground”...., en las cuales también nos han aparecido artículos que hacían referencia a los triatletas. Hemos encontrado bastante más información respecto a la biomecánica de los corredores comparada con la de los triatletas, y creemos que puede ser debido a que el triatlón es un deporte mucho más moderno que el atletismo.

En el ciclismo, hemos seguido con los buscadores anteriores y hemos introducido otros nuevos como Scopus y Science Direct, en este caso sí que hemos introducido filtros



como “solo desde el 2018”, “Research articles”. Hemos introducido palabras como “cycling road”, “cadence”, “drafting”. En los buscadores tanto de Scopus como Science Direct no hemos encontrado gran cantidad de artículos pero los encontrados nos han aportado referencias bibliográficas de gran interés para nuestro objetivo.



## 5. DIFERENCIAS BIOMECÁNICAS ENTRE EL SEGMENTO DE CARRERA A PIE DE UN TRIATLON Y EL ATLETISMO.

### 5.1 SEGMENTO DE CARRERA A PIE.

El triatlón es un deporte individual en el cual se realizan tres disciplinas deportivas diferentes que son natación, ciclismo y carrera a pie siempre en el mismo orden. Hay diferentes pruebas, las cuales se modifican en la distancia y duración. Scorcine y cols, (2017) analizaron qué modalidad podía interferir significativamente en el rendimiento final en las diferentes pruebas que hay en triatlón y para ello recogieron los últimos cinco resultados de distancia olímpica, media distancia y de la distancia Ironman de los últimos campeonatos del mundo (2010-2015). Vistos los resultados, concluyeron que para cada tipo de prueba y atleta puede ser una disciplina más determinante que otra pero sin olvidar que los programas de entrenamiento deberían considerar que el triatlón es una única modalidad y, por lo tanto, el plan de entrenamiento tiene que corresponder a las tres disciplinas. Podemos destacar que en las carreras de distancia Ironman para el género masculino la carrera a pie es la modalidad que tiene una correspondencia mayor en el rendimiento final mientras que para el género femenino la más determinante es el ciclismo; sin embargo, en la corta distancia (distancia olímpica) en el género masculino la modalidad que tiene una mayor relación con el rendimiento final es la natación mientras que en el género femenino la carrera a pie y la natación tienen una correlación parecida con el rendimiento final.

A nivel fisiológico, se ha observado que los triatletas poseen valores de consumo de oxígeno máximo ( $\dot{V}O_{2max}$ ) en ciclismo y en natación, aproximadamente, entre un 94%-97% y 74%-86% respectivamente a los valores obtenidos durante un test de carrera a pie (Suriano, & Bishop, 2016). Siempre en la natación el consumo de  $\dot{V}O_{2max}$  es menor que en otros deportes ya que no hay tanta implicación ni impacto de la masa muscu

lar como en otras disciplinas como el atletismo (Suriano, & Bishop, 2016). Además hay otros valores fisiológicos que son muy importantes como elevar el umbral anaeróbico que es el nivel de intensidad del ejercicio en el cual se produce la misma cantidad de lactato que se elimina (Svenson, 1999). El umbral anaeróbico debe estar lo más cercano posible al  $VO_2\text{max}$  y ser capaz de permanecer en sus niveles durante toda la prueba, con el objetivo de aumentar el máximo estado de lactato sostenido (MLSS) (Cejuela Anta y cols, 2007). También podemos medir la potencia aeróbica máxima ( $W_{\text{max}}$ ) que está siempre orientada al ciclismo o la velocidad aeróbica máxima (VAM) que se asocia a la carrera a pie (Suriano & Bishop, 2016). Otro factor fisiológico básico es la economía de carrera que puede ser modificada por el cambio en el gesto técnico. Parece que los triatletas de la actualidad son capaces de obtener valores fisiológicos similares a los atletas que realizan un solo deporte a pesar de que distribuyen su tiempo de entrenamiento entre las tres disciplinas. Se sugiere que las capacidades fisiológicas de los triatletas de la actualidad son similares a las observadas en ciclismo y en carreras debido a los posibles efectos de entrenamiento cruzado entre las dos disciplinas, pero, este efecto no se ha comprobado en el caso de la natación (Suriano & Bishop, 2016).

Hay estudios que establecen que la carrera después de la bici tiene unas respuestas fisiológicas específicas como establecen Quigley & Richards, (1996) en sus estudios. Respecto a la biomecánica, hay estudios que establecen que no hay diferencias biomecánicas (Millet y cols, 2000) frente a otros estudios que sí que establecen diferencias en ciertas variables biomecánicas (Elliot y Ackland, 1981; Williams, Snow y Agruss, 1991; Morgan, Martin, Baldini y Krahenbuhl, 1990). Uno de los problemas a la hora de hacer los estudios es la poca especificidad de los test que se realizan con valores de lactato y frecuencia cardiaca que están por debajo de los de competición. Además, los triatletas son deportistas que practican varios deportes seguidos y O'toole y Douglaas, (1995) afirmaron que tienen una economía de esfuerzo en el segmento de natación bastante pobre comparada con los nadadores y Kohrt, Morgan, Bates y Skinner, (1987) establecen que sucede lo mismo en la carrera a pie; por lo que los triatletas son una población

idónea para examinar las alteraciones en la técnica de carrera sobre la cinemática y economía de la carrera ya que hay muchos estudios sobre una única variable pero pocos estudian la técnica global en el periodo de aprendizaje. Al evaluar el rendimiento se ha visto que todas las disciplinas son bastante importantes, pero se ha observado que algunos triatletas disminuyen un 10% su velocidad en el segmento de la carrera a pie respecto a su marca solo corriendo y también una coordinación deteriorada cuando se pasa del ciclismo a correr (Mejías, 2010).

El objetivo principal de la investigación Mejías, (2010) es averiguar cuál es el perfil técnico de los triatletas durante la competición y para ello, se investigaron diferentes variables biomecánicas: los tiempos de apoyo, la oscilación vertical de la cadera y la frecuencia de las zancadas. Los tiempos de apoyo y vuelo en relación a la frecuencia de zancada, los tiempos de vuelos permanecieron constantes durante toda la carrera encontrando cierta evolución en los tiempos de apoyo, la cual provoca una modificación en los porcentajes relativos en los tiempos de vuelo. Los tiempos de apoyo más bajos se encontraron en la primera vuelta y los tiempos de vuelo mostraron sus valores más elevados en la última vuelta, y sobretodo los deportistas de nivel internacional y de género masculino mostraron tiempos mayores de vuelo posiblemente debido a la mayor velocidad en el segmento de la carrera a pie. La oscilación vertical de la cadera se mostró constante en los triatletas de mayor nivel encontrándose aumentos en los de menor nivel y los niveles más altos se correspondieron a las chicas y a los deportistas de nivel nacional lo cual podría deberse a llevar una velocidad menor de carrera. La distancia de la cadera al apoyo permaneció constante a lo largo de las vueltas en todos los grupos, mientras que la rodilla apoyada en el momento del despegue no mostró una tendencia en el segmento de carrera y los deportistas de nivel internacional junto a los chicos mostraron valores más bajos debido a llevar una velocidad más alta de carrera, ya que el deportista no tiene tiempo suficiente para extender más la pierna, ya que el movimiento tiene que realizarse en un periodo de tiempo mínimo, pero los ángulos de los tobillos no mostraron ninguna tendencia clara durante la competición y los cuatro grupos presentaron valores similares por lo que parece que no representan una variable que pueda inci

dir sobre el rendimiento biomecánico del triatleta. En conclusión, los resultados que observó Mejías, (2010) fueron que los tiempos de vuelos permanecieron constantes, la oscilación vertical de cadera se mostró constante en deportistas mayor nivel mientras que en los de menor nivel sufrió alguna oscilación. Además esta tesis doctoral es de una gran validez ya que se cogió una muestra bastante grande, un total de 64 deportistas, los cuales competían en Copas del Mundo, Campeonato de España Elite. También se utilizó una tecnología avanzada, en concreto, cámaras en 2d que tienen un margen de error bastante reducido en las coordenadas (x,y) en el análisis biomecánico, que se realiza en el plano antero-posterior del triatletas, una vez cada vuelta.

Brick (1996) recomienda terminar el segmento de ciclismo con un desarrollo corto y una cadencia alta y empezar a correr con una frecuencia de zancada baja y buena amplitud mientras que Gottschal & Palmer, (2002) establece que terminar con alta cadencia en el ciclismo conlleva a correr con frecuencia alta debido al efecto de “perservación” que hace referencia a que en las actividades rítmicas realizadas durante un largo tiempo se tiende a continuar de forma involuntaria con el mismo patrón de frecuencia. Esto podría explicar la baja frecuencia llevada por los atletas ya que en el ciclismo no se llevó una frecuencia demasiado alta.

Hace unos años Calamejías y cols, (2008) estudiaron la variación de la longitud de zancada a lo largo del segmento de la carrera que tiende a disminuir de forma significativa probablemente debido a la fatiga, por lo que el ciclismo previo parece no afectar en gran medida a la biomecánica de la carrera posterior. Además establecen que hay diferencias significativas entre géneros en determinadas variables biomecánicas: longitud de la zancada, frecuencia de zancadas, altura de la cadera, distancia de la cadera al apoyo, ángulo del tobillo apoyado y del tobillo libre en el despegue y ángulos entre muslos en el apoyo que pueden ser explicadas por las diferencias de estatura y por las variables angulares por la diferencia de fuerzas que hay entre géneros. A estas conclusiones se llegó gracias a 20 muestras en las que había tanto hombres como mujeres y de un nivel parecido, los

dos de Copa del Mundo. Para ello se utilizó una cámara de video colocada de forma perpendicular a la dirección de la carrera de los deportistas y a unos 200 metros de la zona de transición, el análisis de la cinemática se llevó a cabo con la técnica experimental de la fotogrametría 2D y el análisis biomecánico fue bastante preciso ya que se basó en el modelo de Klausser en el que incluye diez puntos articulares: la cadera, rodilla, tobillo, talón y la puntería del pie tanto de la pierna derecha como de la izquierda.

Dallam & cols, (2005) emplearon la misma técnica que Romanov y Robson en 2003, en la que la postura del cuerpo tiene que estar en forma de S al golpear el pie para almacenar energía elástica; después el pie medio tiene que estar debajo del centro de masa para minimizar el tiempo de interrupción de la inercia y el tiempo de contacto, luego también tiene que sacar el pie hacia arriba una vez que haya tocado el pie en el suelo. En el tren superior establece un uso mínimo de los brazos según sea necesario para el equilibrio y un pequeño grado de inclinación hacia adelante. Con el objetivo de evaluar el cambio de la técnica de la carrera y cómo reaccionaba en la cinemática y en las economía de carrera en triatletas. Como hemos dicho anteriormente, no hay muchos estudios que examinen la relación que hay entre un conjunto de variables biomacánicas y su relación con la economía de carrera, por lo que este estudio pretende crear un modelo técnico que valga para todos los corredores y luego que cada uno lo adapte dependiendo de sus características anatómicas y fisiológicas de cada uno. En los sujetos que participaron en este estudio les modificaron la velocidad de zancada (frecuencia) y además una reducción en la oscilación vertical, que las velocidades de zancada fueron muy similares a las elegidas por los corredores, pero el aumento de la velocidad de zancada supuso una reducción de la longitud de la zancada y por la reducción de las oscilación vertical reducida. Este estudio y otros muchos estudios como Cavagna, Williems y Franzetti, (1991) concluyeron que cambiar la longitud o frecuencia a corto plazo provoca un aumento del consumo submáximo de oxígeno.

Claramente, los triatletas corren más despacio en el parcial de 10km de un triatlón en comparación con 10km aislados, las modificaciones en la economía de carrera hacen

hincapié en la longitud de la zancada, la extensión de la rodilla durante el apoyo en el suelo y el ángulo de la rodilla en la fase aérea, además en triatletas novatos se observa una pérdida de coordinación durante la carrera. Todo esto es debido a la cadencia de pedaleo que se lleva del ciclismo a la carrera a pie y de la fuerza que se realiza en el ciclismo, mientras que en el caso de los juniors no está claro. Sin embargo otros autores indican que la longitud o la frecuencia de paso no cambian durante la carrera después del ciclismo así como la oscilación vertical de la cadera o tobillo tampoco sufren modificaciones. Durante las contracciones excéntricas, la fatiga disminuye la energía almacenada en la estructura muscular y disminuye la eficiencia de los movimientos del ciclo estiramiento acortamiento (CEA), otros autores dicen que disminuye la longitud del paso durante la carrera del triatlón y se atribuye a la fatiga muscular del ciclo anterior.

Algunos autores como Hauswirth y cols, (2001) observaron una postura más inclinada hacia adelante que afectó a la eficiencia de la carrera y este cambio puede deberse a modificaciones de la contracción muscular abdominal y lumbar al pasar de la bici a correr. Tras realizar pruebas con dieciséis triatletas en las que se les modificaba la técnica a una velocidad de cuatro minutos el kilómetro y cuatro minutos y medio el kilómetro con fatiga y no fatiga, el 20% de los corredores demostraron que la longitud de la zancada autoseleccionada era más larga que la óptima. Estos triatletas, tras realizar el entrenamiento durante 3 semanas y tras recibir “feedback” de manera visual, pudieron reducir su longitud de zancada a la óptima y ser más económicos. Se demuestra así que no todos los participantes no pudieron reducir esa longitud de la zancada y esto puede ser debido a la corta experiencia en el correr; por ello, se recomienda que estos cambios se vayan introduciendo cuando el deportista el sujeto ya tenga cierta experiencia.

Rendos y cols, (2013) reclutaron a un total de 28 participantes, 14 con menos de dos años de experiencia y 14 con más de dos años de experiencia de ambos sexos y sin ningún tipo de lesiones ni operaciones, para realizar la comparación de la cinemática de la carrera a pie en el plano sagital después de 30 minutos de carrera a pie sin ejercicio previo con un protocolo de ciclismo de 30 minutos más una transición de carrera a pie y,

como objetivo secundario, comparar la magnitud de los cambios en el plano sagital durante la carrera de transición de aquellos individuos con menos de dos años de experiencia en triatlón con otros con dos o más años de experiencia en triatlón y observaron un aumento en el ángulo de extensión de la columna y un aumento en el ángulo de inclinación pélvica anterior, también en la flexión de la cadera y una disminución del ángulo de extensión de la cadera desde el inicio. Conclusión: en el plano sagital a nivel cinemático hay variaciones en la carrera a pie después del ciclismo que dio sobretodo ángulos máximos de cadera más altos, la pelvis más rotada y un aumento de la extensión de la columna vertebral. Además de haber un aumento de la inclinación anterior de la pelvis, una disminución de la máxima extensión de la cadera también se encontró un aumento en la flexión máxima de la cadera en el segmento de la carrera a pie de un triatlón. Estos cambios pueden ser debidos al nivel de cada triatleta y esto puede aumentar el riesgo de lesiones en las extremidades inferiores de los triatletas.

En una revisión bibliográfica sobre los factores de rendimiento en el triatlón sprint Cejuela Anta y cols, (2007) concluyeron que el factor más importante era la amplitud o longitud ya que nos permite llevar una velocidad mayor durante el segmento de la carrera a pie ya que la frecuencia se disminuye por la fatiga. Además tener una estabilizada, automatizada y buena técnica de carrera nos va a permitir un aumento del rendimiento. Para ello propone una continua elevación de la cadera, el paso pélvico (adelantamiento de la cadera) menos avanzado, braceo menos acentuado, mayor amortiguación debido al cansancio acumulado, una propulsión más lenta y una mayor inclinación del tronco hacia delante.

Tras haber leído estudios con diferentes puntos de vista sobre las variables biomecánicas de la carrera a pie en el triatlón, hemos elegido los trabajos en los que han participado una gran cantidad de sujetos y hemos llegado a las siguientes conclusiones.

- Los estudios clásicos en neurociencia han demostrado que las personas que realizan una actividad rítmica durante un período largo de tiempo continuarán invo-

- Voluntariamente este patrón de movimiento, perseveración, y esta explica que en deportes que engloban a varios deportes a la vez, los deportistas comenzarán voluntariamente la disciplina con una frecuencia bastante similar a la disciplina anterior.
- Hay diferencias significativas entre géneros en determinadas variables biomecánicas que las determinan las diferencias de estatura y las variables angulares.
- Hay diferencias biomecánicas entre deportistas de diferente nivel, determinadas fundamentalmente por la fuerza específica que tienen los triatletas.
- Hay una disminución de la coordinación en triatletas novatos.
- La longitud de zancada autoseleccionada no es la misma que la longitud óptima.
- La variación de la longitud de zancada a lo largo del segmento de la carrera tiende a disminuir de forma significativa, probablemente debido a la fatiga.
- El entrenamiento de técnica se debería centrar en obtener una oscilación vertical de la cadera, una mayor distancia de la cadera al apoyo, un menor ángulo de la rodilla libre durante el despegue y unos tiempos de vuelos mayores y esto daría resultado a un aumento de la frecuencia de zancada y un aumento de la velocidad.
- La técnica que se propone es una continua elevación de la cadera, paso pélvico (adelantamiento de la cadera) menos avanzado, braceo menos acentuado, mayor amortiguación debido al cansancio acumulado, una propulsión más lenta y una mayor inclinación del tronco hacia delante.



## 5.2 ATLETISMO

El atletismo es una disciplina deportiva de las más antiguas que hay, podemos considerar que el atletismo es un deporte clásico, ya que sus inicios se remontan a 1920. También podemos establecer que el atletismo es un deporte bastante completo en el cual hay pruebas de salto, pruebas de lanzamiento, pruebas de resistencia, pruebas de velocidad y pruebas combinadas. En este caso nos vamos a centrar en las pruebas de resistencia, dentro de estas hay muchas subdisciplinas pero nos vamos a centrar desde pruebas de cinco kilómetros hasta pruebas de veintidós kilómetros. Estas disciplinas tienen unos factores de rendimiento específicos que determinan el rendimiento en ella. Los factores de rendimiento en carreras de resistencia en carreras de fondo están los factores ambientales que pueden ser el aire, la temperatura, humedad...; factores del entrenamiento como la resistencia, la fuerza...; los factores fisiológicos como pueden ser el VO<sub>2</sub>max, umbral ventilatorio...; factores biomecánicos como la antropometría, el leg-stiffness, flexibilidad...; factores psicológicos como la música, dirección atención... (Ogueta-Alday, & García-López, 2016).

En primer lugar nos vamos a centrar en los factores fisiológicos, la economía del esfuerzo junto al consumo de oxígeno y el umbral anaeróbico son los principales factores del rendimiento en deportes de resistencia. El VO<sub>2</sub>max que se puede llegar a conseguir mediante una prueba incremental máxima, a una determinada velocidad se consigue llegar al VO<sub>2</sub>max que la denominaremos VAM o Vpeak (Peserico y cols, 2019). El Vpeak podrá ser mantenida durante unos 3-7 minutos (García y cols, 2018). Respecto al VO<sub>2</sub>max hay muchas preguntas, una de ellas es evaluar el tiempo límite (T-lim) en el campo para establecer diferencias en la capacidad de resistencia entre hombres y mujeres adultos jóvenes con una capacidad física alta y por otro lado fue analizar la relación entre la velocidad final alcanzada (VFA) y T-lim para ello García y cols, (2018) realizaron mediante un test, concretamente el UNCa Test se basa en que los sujetos corran sobre el perímetro de un hexágono, cada lado del hexágono, tiene una distancia de 20 metros. La anulación de los lados es de 120°. La velocidad es impuesta por una señal sonora, en

cada vértice del hexágono hay una zona de 2 metros en la cual el sujeto se deberá en contrar al momento de escucha el jeep sonoro del test. La velocidad inicial del test es de 8,0km/h y la etapa dura 3 minutos. Luego se incrementa a 10,0km/h durante 2 minutos.

El objetivo de estas primeras dos etapas es estandarizar una entrada en calor específica. Sin interrupción, a partir de aquí la velocidad se incrementa a razón de 1km/h cada 1 minuto, hasta la fatiga y para el tiempo límite se utilizó una bicicleta y una pista de atletismo de 400 metros y consistió en que el individuo se pusiera al Vpeak que fue marcada por el ciclista y hasta que no pudiera ir más tiempo a esa velocidad y se encontraron que la distancia recorrida o el tiempo que puedes manifestar la VFA o la VAM son los que definen el potencial del deportista; El T-lim es una criterio válido para establecer volúmenes de trabajos individuales; Hay una gran variabilidad del Tlim a una misma VFA; No fue diferente entre sexos el Tlim y la correlación entre VFA y T-lim fue baja.

Por otro lado la economía de carrera es la capacidad de requerir el menor gasto energético para una determinada duración e intensidad del esfuerzo (Arrese, 2013). Para mejorar este factor de rendimiento en deportistas recreacionales la realización de entrenamientos tanto periodizado como controlado producirá mejoras en la economía de carrera (EC) a lo largo del tiempo, esto deberá ir acompañado de la introducción de entrenamientos intervalos (2-3 sesiones semanales) irá en progresión y siempre combinándolos con entrenamientos continuos. Además si hay una proporción superior de entrenamiento intervalo al entrenamiento de baja intensidad no conllevaría una mejora en la EC. En cuanto a los deportistas entrenados, la relación entre sesiones de alta intensidad y de baja intensidad es fundamental para la EC. Las intensidades cercanas al  $VO_{2max}$  producen mejoras en la EC pero no provocaría mejoras en la EC realizar entrenamiento a intensidades del  $VO_{2max}$  ya que es imposible realizar una carga de entrenamiento de suficiente volumen como para mejorar la EC. El incremento del volumen puede ser el principal de la mejora de la economía, además de cambios biomecánicos (Mayoralas y cols, 2018).

Según estudios como Champman, Laymon, Wilhte and Stager (2011); Kyröläinen Belli y Komi, (2001) establecen que la economía está influenciada por variables biomecánicas sobre todo las que están relacionadas con el contacto con el suelo. Según Kram y Taylor, 1990, establecieron que los tiempos de contacto con el suelo están relacionado con un consumo de oxígeno más alto mientras que Gregor y Kirkendall, (1978) que establecieron que los que tenían pequeñas oscilaciones verticales, junto a los que tenían zancadas más largas (Tartaruga y cols, 2012), los que tenían cambios menores en la velocidad durante el contacto con el suelo (Kaneko, Ito, Fuchimoto, Shishikura y Toyooka, 1985) se han relacionado con corredores más económicos. Se ha visto que la economía de carrera ha diferentes intensidades durante el ejercicio todavía no se ha entendido bien su comportamiento, hay estudios donde dice que al aumentar la velocidad producía un aumento de las fuerza verticales mientras que se reducía el tiempo de contacto con el suelo (Weyand, Sternlight, Bellizzi & Wright, 2000). Por otro lado, se ha relacionado un menor tiempo de contacto con un coste mayor metabólico según Kraam y Taylor, (1990) por lo que se debe encontrar una fórmula de aumentar la velocidad con el menor coste metabólico, todo esto depende que variables biomecánicas vamos a modificar dependiendo de las distancia que vamos a correr, por ello en este estudio las variables biomecánicas que se van a analizar son el tiempo de contacto con el suelo, tiempo de oscilación, longitud y frecuencia de zancada, ángulo de zancada y la distribución de diferentes subfases Durante el contacto de la economía de carrera en corredores recreativos y bien entrenados.

En resumen hay muchos factores biomecánicos que afectan a la carrera, los podríamos dividir en dos, intrínsecos que son aquellos que dependen del funcionamiento del individuo y dentro de estos están los espacio-temporales que son parámetros relacionados con los cambios, con el tiempo de contacto con el suelo y las longitud de la zancada, luego están los de las cinemática que son patrones de movimientos como los ángulos de las articulaciones de las extremidades inferiores, después la cinética que son las fuerzas que causan movimiento, como la fuerza de reacción y por último los patrones neuromusculares como pueden ser los nervios y músculos que hacen referencia a la activa

ción y coactivación de los músculo. Por otro lado están los factores extrínsecos que estos no dependen del individuo como puede ser el calzado, la superficie para correr.... (Moore, 2016)

En primer lugar la frecuencia de zancada y la longitud de zancada, según De Ruyter y cols, (2013) la frecuencia de zancada en corredores novatos fue aproximadamente un 8% menor que la frecuencia de zancada óptima, mientras que los entrenados fue un más cercana a la óptima un 3%. La frecuencia optima en corredores individuales puede ser diferente a cada una, de maneras que podemos establecerse a una determinada velocidad, cuando se lleve la mínima frecuencia cardiaca ver que frecuencia lleva y esa será la frecuencia óptima.

Respecto al tema de la frecuencia nos pueden surgir diferentes cuestiones como el coste metabólico junto a la frecuencia de zancadas y la rigidez cambian durante una carrera continua de una hora; *¿Las frecuencias de zancadas preferidas de los corredores están optimizadas para minimizar el costo metabólico a pesar de la fatiga al final de una hora de carrera?* Para ello Hunter & Smith, (2000) llevaron a cabo una carrera de una hora en cinta casi al máximo esfuerzo posible a una velocidad constante, donde se midieron las frecuencias de zancada preferidas y óptimas (PSF Y OSF) y se midieron al principio y al final de la carrera y aumentaron entre un 4% al principio y un 8% al final de las zancadas preferidas, la fuerza vertical se determinó por la rigidez vertical y de la pierna y el consumo de oxígeno aumentó durante la carrera. En general, la frecuencia de zancada disminuyó significativamente al final de la carrera de una hora, la rigidez vertical y de las piernas no cambió de las condiciones iniciales a las finales, pero las respuestas algo diferentes en la rigidez vertical y de la pierna se deben quizás a los cambios relativamente pequeños de la rigidez de la pierna en comparación con la rigidez vertical para cambios equivalentes de frecuencia de zancada. Además los cambios descendentes de la frecuencia de zancada con fatiga introdujeron un factor potencialmente perturbador en el proceso de optimización. El protocolo del estudio requería que los corredores demostraran un mayor paso de frecuencia por encima de la frecuencia preferida en la

condición fatiga. Por lo tanto, los corredores eran claramente capaces de desarrollar una mayor rigidez y, por lo tanto, una mayor frecuencia. Pero esto se lograría solo con un mayor costo metabólico por encima de la condición preferida. Mantener una frecuencia y rigidez constantes a lo largo de la hora habría aumentado el costo de correr más del 3% observado. Solo podemos especular sobre las conexiones en esta relación: tal vez mantener la rigidez del complejo músculo-tendón requeriría que los corredores recluten fibras musculares rápidas adicionales en comparación con el estado de activación inicial. Esto puede proporcionar una explicación para el aumento del costo metabólico observado durante las carreras de fatiga prolongadas. Además, la rigidez reducida observada para algunos de los corredores puede influir en la magnitud del almacenamiento elástico de energía durante la postura. Tal ajuste que afecta el ciclo de estiramiento-acortamiento también puede afectar negativamente el costo de la carrera. in embargo, como los datos de este experimento demuestran claramente, esto no implica que para un corredor individual, el aumento de la rigidez y en consecuencia la frecuencia mejorará la economía. La optimización de la frecuencia de zancada es quizás una cuestión de equilibrar el almacenamiento elástico de energía contra los costes de acelera las extremidades. La frecuencia de zancada preferida consumía una absorción de oxígeno menor mientras que la óptima consumía más, todo esto podría hacer referencia al coste de esta ajustando todo el rato a la zancada óptima. Finalmente la absorción de oxígeno aumento un 3% durante las carrera, mientras que la frecuencia de zancada disminuyó 1-2%, las respuestas a las fatiga refiriéndonos a los cambios de frecuencia de zancada, rigidez vertical y de piernas fueron bastante variables entre sujetos.

Otro hipótesis que se establece en referencia a la frecuencia de la zancada (SF) entre 85 y 90 zancadas/min son energéticamente menos costosos, *¿qué factores influyen en este estrecho rango de OSF?* En segundo lugar, si los corredores experimentados tienden a usar un rango relativamente pequeño de SF y varían la velocidad principalmente a través de cambios en SL, *¿cuáles son las consecuencias biomecánicas y energéticas de*

diferentes formas de acortar o alargar el paso?. Lieberman y cols, (2015) midieron los efectos en OSF de dos variables clave relacionadas con las posibles compensaciones entre el trabajo interno y externo: el coste del balanceo de la pierna y la posición del pie en el suelo respecto a la cadera y la rodilla. Por otro lado la otra variable considerada aquí es que tan lejos aterriza el pie de un corredor en relación con otras partes del cuerpo al comienzo de la postura. Si los corredores de resistencia tienden a usar un SF relativamente constante, entonces el aumento de la velocidad debe ser el resultado de un SL más largo. Sin embargo, las variaciones en la longitud de la zancada (SL) para una velocidad dada pueden lograrse mediante una fase aérea más larga o desde el aterrizaje con una extremidad inferior más prolongada en la que el pie está más anterior a la cadera (deslizamiento excesivo). Además, existen diferentes estrategias cinemáticas mediante las cuales un corredor puede extender SL a través de la protracción de la extremidad inferior al final de la fase de oscilación. En este estudio se estableció que el momento máximo de flexión de cadera en el plano sagital durante el swing (MHMF) aumentara en proporción la frecuencia de la zancada para una velocidad dada; la segunda hipótesis aumentar los pasos en la frecuencia de la zancada se asociaron con la posición de aterrizaje del pie en relación con la cadera que con las rodilla; en la tercera hipótesis el impulso causado por las fuerzas de frenado dirigidas posteriormente para una velocidad dada aumenta en proporción a la posición de aterrizaje del pie en relación con la cadera (OH); en la cuarta hipótesis los aumentos de la posición de aterrizaje del pie en relación con la rodilla (OK) se asociarían con una extremidad inferior más extendida en el momento del impacto, lo que llevaría a mayores tasas y magnitudes de carga en el pico de impacto del GRF que fue parcialmente apoyada; en la quinta hipótesis que es la que se apoyan los resultados establecen que la OSF está influenciada en parte por la compensación entre los costes del impulso de frenado y el balanceo de las piernas, el OSF está aproximado a 85 zancadas por minuto. Finalmente podemos concluir que con los resultados que hemos obtenido se puede establecer que las mayoría de los corredores probablemente se beneficien de una frecuencia de zancada de 85 zancada por minuto, no solo minimiza el coste de energía sino que también afecta la cinemática de formas que pueden ser relevantes para las lesiones, en particular al reducir los impulsos de frenado, las

oscilaciones verticales del centro de masa (COM), la fuerza de reacción en tierra verticales y las aceleraciones tibiales en el impacto y la carga en la cadera y la rodilla pero no en el tobillo. Si incrementan la longitud de la zancada y quieren mantener la frecuencia de zancada deben aumentar la velocidad y parece que hay beneficios aumenta la longitud de la zancada aumentando la OH sin incrementar la OK, pero aumentar la longitud de la zancada implica una mayor flexión de la cadera en lugar de una extensión de la rodilla ala final de la fase de balanceo, por lo que esto hace que el corredor aterrice con una tibia casi vertical y con el tobillo debajo de la rodilla y estos aterrizajes hacen que las magnitudes sean más bajas del pico de impacto.

Otras de las variables biomecánicas importantes en la carrera a pie va a ser el coste metabólico de los brazos, Arellano & Kram, (2014) estudió que manera era más eficiente de mover los brazos, planteaba diferentes maneras de mover los brazos, la primera dejar los brazos detrás de la espalda de una manera relajada, la segunda sosteniendo los brazos sobre el pecho y en la tercera dejar los brazos encima de la cabeza.

Según Hammer y cols., (2010) establecieron que la función del balanceo del brazo cuando corremos es contrarrestar el momento angular generado por las piernas cuando se mueven sobre el eje vertical, además Hopperr, (1964) además de ayudar a mantener la postura y el equilibrio el movimiento del brazo puede ayudar a aumentar la reacción vertical del suelo y así produciendo un rebote mucho más rápido.

*¿El balanceo ayuda a la economía de carrera?* Hay cierta controversia en este aspecto por lo que el objetivo principal del estudio fue reexaminar los efectos de balancear el brazo sobre el gasto energético cuando corremos y buscamos la base biomecánica para cualquier gasto energético mayor con el movimiento del brazo. En este estudio parten de la idea que mover los brazos ayuda a reducir el gasto energético respecto a si no los mueves, pero plantean diferentes maneras de mover los brazos, la primera dejar los brazos detrás de la espalda de una manera relajada, la segunda sosteniendo los brazos sobre el pecho y en la tercera dejar los brazos encima de la cabeza. A parte esto también estu

diaremos otras variables a parte del consumo como la rotación de la pelvis y de los hombros.

Al final las conclusiones que podemos encontrar son que el movimiento del brazo reduce la potencia metabólica durante la carrera humana, además cuando el movimiento del brazo está restringido los deportistas aumentan la amplitud de las rotaciones de hombro y pelvis que esto dan la explicación a un mayor consumo de la potencia metabólica, por lo que balancear los brazos de una amañerada normal proporciona beneficios biomecánicos como en el consumo metabólico durante la carrera.

Por otro lado Arellano & Kram, (2011) planteó Correr sin balancear el brazo aumenta el costo energético mientras que Pontzer et al. (2009) establece que el balanceo de brazos no interfiere en el coste energético, esto es debido a que la muestra del estudio era muy pequeño y que el número de pasos que se analizaban era muy pequeño. Además hay un aumento de la frecuencia de la zancada de un 2,5% cuando se produce balanceo de los brazos respecto a cuándo no hay.

Finalmente hay artículos que establecen que técnicas de correr más económicas que otras, pero primero tenemos que hablar de las fases que tiene la carrera a pie.

En la carrera a pie hay dos grandes frases, una es la postura y la otra el balanceo. En la fase de postura se subdivide en las fases de absorción y propulsión y la fase de oscilación inicial y la fase de oscilación terminal, mientras que en la fase de balanceo hay un periodo de doble flotación, donde ninguna extremidad está en contacto con el suelo, hay que añadir que en ciertos casos la fase de balanceo la dividen en 3 subfases debido al trabajo muscular y el movimiento articular que se producen en esas fases y estas son el balanceo inicial, balanceo medio y balanceo tardío. La fase de postura tiene que durar menos del 50% del ciclo de carrera, un aumento de las velocidad debe ir seguido de un aumento de la longitud de la zancada y posteriormente un aumento de la frecuencia. Además si aumentamos la velocidad, debe haber una reducción de la fase de postura y un aumento del tiempo de la fase de balanceo y también se produce una modificación en



la pisada, modificando la parte con la que contacta el suelo en vez de contactar en la parte media o posterior del pie contacta directamente con los dedos ( Thordarson, 1997). Ojeda y cols, (2017) establece la técnica de carrera que proponía Herrero, F. M. (2012), que planteaba apoyar o cargar la mayoría del peso del cuerpo en la base de los dedos en cada pisada, para que entre en juego la mecánica del tobillo; Separar los dedos de los pies ligeramente para aumentar la base de sustentación de cara al despegue del pié en cada zancada; Inclinar el tronco ligeramente hacia delante, para provocar un desequilibrio del cuerpo; Levantar los talones hacia los glúteos al despegar los pies impulsando el suelo hacia atrás; Levantar las rodillas ligeramente hacia delante para ampliar la distancia de zancada; Mantener una ligera contracción de abdomen para reforzar el trabajo de toda la cadena muscular delantera que participa en la carrera; Coordinar la respiración de manera rítmica con los pasos; Mantener los brazos flexionados y las manos cerca del pecho facilitando el movimiento rítmico de todo el cuerpo.

Por otro lado Moore, (2016) propone que la frecuencia de zancada y la longitud de las zancada están determinadas por la velocidad de carrera. Los corredores parecen elegir una frecuencia de zancada o una longitud de zancada que sea económica y a este ajuste innato y subconsciente de la biomecánica de carrera se conoce como autooptimización. La longitud más económica es un 3% más corta que su longitud o frecuencia preferida. Cuando aparece la fatiga , reducen su frecuencia de zancada en comparación con un estado no fatigado y se acercan a su frecuencia o longitud más económica, todo esto hablando en atletas entrenados. En atletas populares la diferencia entre su longitud o frecuencia preferida a la más económica hay entorno a una diferencia del 8% y por lo tanto generalizar el principio de un rango de longitud de zancada óptimo para todo los corredores debe hacerse con precaución ya que la auto-optimización parece ser una adaptación fisiológica resultante de una mayor experiencia. La reducción del desplazamiento vertical mejora la economía de carreras (ER) al reducir el coste metabólico asociado con el apoyo del peso corporal y además se reduciría un impulso vertical menor

Ojeda y cols, (2017) estableció su punto de vista respecto a la técnica de la carrera a pie para ello cogió a 97 corredores de todos los niveles quienes fueron al laboratorio dos veces. En la primera sesión se les realizó una serie de medidas antropométricas de todo el cuerpo y correr durante 30 minutos con la máscara requerida para las mediciones respiratorias.

En la segunda sesión, se incluyeron las mediciones de la masa y la altura del cuerpo, una evaluación de las composición corporal a través de la absorciometría de rayos X de energía dual una prueba de carrera incremental en cinta rodante y un protocolo incremental discontinuo submáximo de etapas de 4 minutos, seguido inmediatamente por un protocolo continuo realizado hasta el agotamiento volitivo. Durante el protocolo de carrera submáxima, hubo grabaciones de cinemática tridimensional de cuerpo completo utilizando un sistema automático de captura de movimiento, gases respiratorios para determinar el costo de energía y lactato sanguíneo ( $[La]_b$ ) para determinar la velocidad del punto de giro del lactato (vLTP).

Además en la carrera incremental se empezó a 8km/h los hombres y las mujeres a 7km/h. Con incrementos de 1km/h y la inclinación de la cinta fue del 0%. El protocolo submáximo consistió en 4 minutos de carrera a cada velocidad, seguido de 30sg de descanso durante el cual se obtuvo una muestra de sangre para ver el lactato. Llego a la conclusión de la importancia de minimizar el frenado, reducir la velocidad mínima de la pelvis y, por lo tanto, fluctuaciones en la velocidad horizontal para optimizar la ER y el rendimiento. Es posible que la oscilación vertical de la pelvis refleje mejor la rigidez de la pierna durante la fase de postura, mientras que la oscilación vertical del CM puede ser sensible y, por lo tanto, potencialmente confundida por los movimientos de los brazos, el tronco y la cabeza. Además el hallazgo de que las medidas de resultado mejoradas se relacionaron con un desplazamiento vertical reducido de la pelvis durante el contacto con el suelo es completamente consistente con la idea de que minimizar la oscilación vertical y tener una pata más rígida son beneficiosas para ER y rendimiento.

Mantener la postura del tronco estable en los planos sagital y horizontal durante el movimiento de carrera se relacionó con una mejor economía y, en menor medida, con el rendimiento, destacando la influencia perjudicial de estos movimientos extraños.

Se recomienda que los corredores y entrenadores estén atentos a los parámetros de zancada y ángulos de extremidades inferiores en parte para optimizar el movimiento de la pelvis y mejorar el rendimiento.

En resumen, tras haber comparado diferentes variables biomecánicas y ver diferentes puntos de vista de ellas en el atletismo en pruebas de fondo todo ello desde el ámbito científico y con gran variedad de sujetos utilizados en las pruebas experimentales. En conclusión nos quedamos con diferentes aspectos de cada uno que consideramos los más importantes.

- Debemos elegir una técnica de carrera que sea lo más económica posible, ya que la economía de carrera es un factor de rendimiento muy importantes para las pruebas de atletismo de fondo.
- Para mejorar la economía de esfuerzo en atletas entrenados del volumen total un 80% tiene que ser de baja intensidad mientras que el 20% tiene que ser de alta intensidad y recomendable incluir intensidades similares a las propias de competición que esto es recomendable para deportistas recreaciones como entrenados.
- Hay diferencias significativas entre géneros en determinadas variables biomecánicas
- Hay diferencias biomecánicas entre deportistas de diferente nivel.
- Respecto a la frecuencia de zancada, en corredores novatos fue aproximadamente un 8% menor que la frecuencia de zancada óptima, mientras que los entrenados fue más cercana a la óptima un 3%.
- Correr con zancadas más largas o menores a lo preferido es energéticamente más costoso.
- Correr sin balancear los brazos produce un aumento del coste energético.
- Una técnica de carrera económica establece desde una perspectiva empírica una técnica de carreras económica podría ser el objetivo de acortar los tiempos de



- contacto con el suelo manteniendo la frecuencia de zancada ya que facilita una mayor rigidez de las piernas, ángulos de zancada más grandes y tiempos de giro más largos, pero esto puede aumentar la oscilación vertical y fomentar una mayor actividad muscular durante la propulsión. La longitud de la zancada autoseleccionada 3% más corta, menor oscilación vertical parecen beneficiar la economía de esfuerzo

## 6. DIFERENCIAS BIOMECÁNICAS ENTRE EL SEGMENTO DE CICLISMO DE UN TRIATLÓN Y EL CICLISMO.

### 6.1 SEGMENTO DE CICLISMO

El segmento del ciclismo en el triatlón varía según la distancia del triatlón que se realice. El aspecto más importante que diferencia a unos triatlones de otros es el “drafting” (‘ir a rueda’): en los triatlones de media y larga distancia el ciclista tiene que ir sin hacer “drafting” mientras que en los triatlones de distancia corta puede realizarlo o no. Otros aspectos que hay que tener en cuenta son la duración del segmento y la orografía del terreno que por lo general es llana. Por último, la importancia que tiene el segmento de ciclismo no es la misma en todos los triatlones teniendo mucho más peso en los de media y larga distancia que en los de corta, lo que no quiere decir que no haya que entrenar igualmente (Scorcine y cols, 2017)

Como ya hemos dicho, en triatlones de corta distancia se permite el “drafting”, que consiste en ir detrás de un compañero con el objetivo de reducir la resistencia aerodinámica que nos impide avanzar más rápido (Shirasaki y cols, 2017). Siguiendo la línea de autores como Hauswirth, (1999) que sostiene que el ir en grupo (“drafting”) reduce el gasto energético, Hauswirth y cols, (2001) compararon el coste de energía alternando triatlón de “drafting” alternativo y triatlón de “drafting” continuo, las diferencias fisiológicas (frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno, flujo espiratorio, lactato), la evolución de las velocidades de pedaleo y zancada (cadencia) y las diferencias en el rendimiento posterior de la carrera a pie entre los dos protocolos establecidos. En el estudio participaron diez triatletas que tenían que hacer un triatlón sprint en dos sesiones diferentes, en una iban alternativamente delante y detrás de otro ciclista y rotaban cada 500 metros y la otra donde el triatleta iba detrás continuamente de un ciclista profesional cuya tarea era reproducir todos los tiempos divididos registrados durante la situación alternativa. El primer hallazgo del estudio fue que se obtiene un alto beneficio durante una posición de reclutamiento continuo detrás de un ciclista en comparación con el “drafting” alternativo, esto también se puede deber a la cadencia ya que los triatletas

que realizaron el triatlón detrás de otro corredor llevaban una cadencia de 85 rpm mientras que los que se iban alternando llevaban una cadencia de 102 rpm y en todos se apreció una absorción menor de oxígeno.

En la carrera a pie hubo mejores resultados en la modalidad que utilizaron el “drafting” comparada con los que iban alternando cada 500 metros. Según los resultados, no hay grandes diferencias en el primer kilómetro ya que muchos triatletas salen a un ritmo más alto que el que pueden llevar, pero luego sí que hay diferencias significativas en los 4 km siguientes. Esto se puede explicar por el hecho de que los deportistas que utilizaron el “drafting” continuo solicitaron una demanda anaeróbica y por lo tanto pudieron mantener el ritmo o aumentarlo en menor medida que los que utilizaron el otro sistema.

Hauswirth y cols, (1999) examinaron la economía de esfuerzo reducida de ir detrás de otro ciclista durante el tramo de bicicleta de un triatlón en condiciones de carrera y compararon la frecuencia cardíaca (HR), el consumo de oxígeno ( $V_{O2max}$ ), el lactato ([La]b) y el rendimiento entre las sesiones de carrera propuestas. Para el estudio se realizaron dos triatlones separados al menos por veinticuatro horas, uno completamente solo (TA) y el otro utilizando la técnica del “drafting” (TD). Los resultados revelaron que el consumo de oxígeno, la frecuencia cardíaca y las concentraciones de lactato en sangre fueron más altos en el TA respecto al TD, que después de ir en bici en grupo se obtenía un aumento de la velocidad en el segmento de la carrera a pie. Con estos resultados se puede concluir que el ir en grupo produce tanto alteraciones fisiológicas como biomecánicas que pueden influir de manera positiva en el rendimiento y esto nos permite conservar energía durante la fase de ciclismo y mejorar en el segmento de carrera a pie.

Shirasaki y cols, (2017) comprobaron que cuando hacemos “drafting” o “ir a rueda” si además siempre vamos detrás de mi compañero que va delante, este se desgasta mucho más. Entonces, dependiendo de la situación que se dé en una carrera, es interesante rotar las posiciones, de tal forma que el que va delante del grupo, tras estar un rato, se abra al

lado izquierdo o derecho y se deje caer hasta el último de la fila o del grupo (relevos). Otro aspecto importante es el espacio que dejamos entre ciclistas ya que si dejamos una distancia u otra la reducción de la aerodinámica será mayor o menor y conforme va aumentando la distancia que hay entre el primer ciclista y el último hay un aumento de la resistencia aerodinámica. Lo mismo ocurre con la distancia lateral. E Kyle, (1979) demostró que la distancia lateral es más importante que la distancia longitudinal que hay entre un ciclista y otro. Este estudio de Kyle lo que busca es ver cómo influye la posición del ciclista en grupos de dos y cuatro ciclistas, cómo afecta ir en grupo en diferentes posiciones y ver los beneficios de las rotaciones. Los resultados fueron que el último ciclista del grupo de dos obtuvo un mayor beneficio de “ir a rueda” que el último del grupo de cuatro. El segundo ciclista debe seguir la línea del primero ya que si no es así, el cuarto ciclista deberá soportar mayor resistencia. En la rotación de los ciclistas, si se realiza bien, el cuarto puede conseguir un beneficio alto del “drafting”; el ciclista que rota debe estar el menor tiempo posible fuera del grupo y ponerse detrás del último ciclista intentando que la distancia lateral también sea la mínima posible y esto va a permitir que cuanto antes estén los ciclistas compactados y unidos menor resistencia aerodinámica sufrirán y, por lo tanto, avanzarán más rápido. Otra de las variables biomecánicas que vamos a considerar es la cadencia de pedaleo. Al igual que ocurre en otros muchos deportes, el nivel de los triatletas cada año es mayor y los entrenamientos tienen que ser más específicos y por ello cada vez hay más investigaciones encaminadas a analizar las posibles modificaciones de las cadencias de pedaleo dentro del segmento de ciclismo y sus efectos sobre la transición a la carrera a pie. La cadencia es la cantidad de pedaladas por una unidad de tiempo que normalmente son minutos (rpm/min).

Hay estudios sobre la cadencia que defienden que es mejor llevar una cadencia más alta mientras que otros defienden que debe ser baja. Los estudios clásicos en neurociencia han demostrado que las personas que realizan una actividad rítmica durante un período prolongado de tiempo continuará involuntariamente este patrón de movimiento (perseveración): este proceso explica que en deportes multidisciplinarios los deportistas comenzarán involuntariamente la disciplina con una cadencia bastante similar a la disciplina

anterior. La justificación del objetivo del estudio fue ver si la cadencia de ciclismo podría influir en la velocidad de la carrera posterior y en la frecuencia de zancada.

Llevaron a cabo tres sesiones de pruebas en días separados, durante la primera sesión (condición de control), los participantes realizaron 30 minutos de ciclismo indoor a su cadencia preferida y luego corrieron 3200 metros a ritmo de competición, durante las otras dos pruebas una se hizo con un 20% de cadencia mayor a la primera y la otra con un 20% menos de cadencia que la primera.

Según los resultados, la cadencia alta ayuda a correr más rápido, en este caso un minuto más rápido que con la cadencia que nosotros elegimos, y esta mejora del tiempo fue lograda gracias a un esfuerzo fisiológico similar mediante un aumento de la frecuencia y sin diferencias en la longitud de zancada y sin desplazamientos angulares de piernas relevantes. Estos resultados nos permite ver que el fenómeno de perseveración influye fuertemente en la frecuencia de pedaleo de la carrera aunque según Hudson, el ciclismo y la carrera dependen de diferentes tasas neuronales debido al ciclo específico de las frecuencias de movimiento pero Taga. G., 1995 afirma que la frecuencia de zancada se basa en tasas neuronales que dependen de los patrones anteriores realizados. (Gottschall & Palmer, 2002)

Mon, (2017) plantea investigar la variabilidad de los parámetros cinemáticos y fisiológicos durante la transición de la carrera a pie realizada inmediatamente después del segmento ciclista atendiendo a modificaciones respecto al pedaleo sentado habitual, modificando la posición ( de sentado a de pie), modificando la cadencia en el pedaleo de pie. Se proponen una serie de posibilidades, se analizan y según los resultados se elige la combinación más adecuada :

- **T1:** 30 min de pedaleo sentado a 50% de la potencia aeróbica máxima (PAM) con cadencias libre + 2km de carrera a pie a la intensidad individual de una competición.
- **T2:** 30 min de pedaleo realizando los primeros 25 min sentado y los últimos 5 min de pie en cicloergómetro a 50% de la PAM con cadencia libre más 2 km de carrera a pie a la intensidad individual de una competición.



- **T3:** 30 min de pedaleo realizando los primeros 25 min sentado y los últimos 5 min de pie en cicloergómetro a 50% de la PAM con cadencia disminuida un 25% sobre la libre en el pedaleo de pie más 2km de carrera a pie a la intensidad individual de una competición.
- **T4:** 30 min de pedaleo realizando los primeros 25 min sentado y los últimos 5 min de pie en cicloergómetro a 50% de la PAM con cadencia incrementada un 25% sobre la libre en el pedaleo de pie más 2 km de carrera a pie a la intensidad individual de una competición.
- **T5:** 30 min de pedaleo realizando los primeros 25 min sentado y los últimos 5 min de pie en cicloergómetro a 50% de la PAM con cadencia incrementada un 25% sobre la libre en el pedaleo de pie más 2 km de carrera a pie a la intensidad individual de una competición
- **T6:** 30 min de pedaleo realizando los primeros 25 min sentado y los últimos 5 min de pie en cicloergómetro a 50% de la PAM con cadencia incrementada un 25% sobre la libre en el pedaleo de pie más 2 km de carrera a pie a la intensidad individual de una competición.

Sin haber una diferencia muy significativa, la más rápida fue la carrera T3 ya que pudieron correr los dos kilómetros más rápido sin aumentar el gasto energético y sin aumentar la producción de lactato. La opción que no se recomienda tanto por la elevación de la FC con el consiguiente incremento del gasto cardiaco como por la mayor producción de lactato es la de pedalear de pie al final del segmento ciclista, además de incrementar la cadencia ya que esto no garantiza una mayor velocidad pero sí un gasto energético elevado que puede perjudicar a los triatletas en los kilómetros finales. Mientras que si competimos en una distancia más larga que la de sprint la opción es disminuir ligeramente la cadencia para reducir el gasto cardiaco y el gasto energético junto con una menor producción de ácido láctico siempre que las intensidades del ciclismo sean bajas y la carrera a pie no demanden un inicio explosivo y según los resultados la mejor sería la T3 ya que pudieron correr los dos kilómetros más rápido sin aumentar el gasto energético y sin aumentar la producción de lactato.

Vercruyssen y cols (2005), investigaron que selección de cadencia era más eficiente llevar durante los últimos minutos de ciclismo dependiendo de las respuestas a nivel metabólico, patrón de zancada y tiempo de ejecución del segmento de la carrera a pe. Para ello ocho triatletas realizaron una prueba de esfuerzo máximo tanto en ciclismo como en carrera para determinar el consumo máximo de oxígeno y el umbral de lactato y además también se realizaron otras tres pruebas combinando ciclismo-carrera. El sector de ciclismo fue de 30 minutos y la carrera se realizó a una determinada velocidad individual y la duración dependía del tiempo que podían aguantar a esa velocidad. Sugirieron que llevar una cadencia baja (73 rpm) reduce el consumo de oxígeno que está asociado a la cadencia óptima en comparación con cadencias más altas (80-90 rpm). También sugirieron que llevar una cadencia baja puede ser beneficioso para la carrera a pie.

Tras la revisión de los artículos mencionados, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- Ir en grupo produce alteraciones fisiológicas que pueden afectar de manera positiva en el rendimiento y ello nos permite conservar energía durante la fase de ciclismo y mejorar en el sector de carrera a pie.
- Si se realiza “drafting” alternativo, el ciclista que rota debe estar el menor tiempo posible fuera del grupo e inmediatamente ponerse detrás del último ciclista. La distancia lateral debe ser mínima también y esto va a permitir que cuanto antes estén los ciclistas compactados y unidos más podrán avanzar.
- La cadencia alta ayuda a correr más rápido, en este caso, un minuto más rápido que con la cadencia libremente elegida y esta mejora del tiempo se logra gracias a un esfuerzo fisiológico similar, un aumento de la frecuencia de zancada y sin diferencias en la longitud de zancada y sin desplazamientos angulares de piernas relevantes (efecto de perseveración).

## 6.2 CICLISMO

El ciclismo, como ya hemos visto en la introducción, es un deporte que presenta muchas modalidades. Para el ciclista es esencial entrenar de manera específica para aumentar el rendimiento en su modalidad. Debemos tener en cuenta los factores fisiológicos del ciclista que son la potencia anaeróbica láctica, el umbral anaeróbico y el VO<sub>2</sub>máx y los factores de rendimiento, la fuerza resistencia específica, economía de esfuerzo, tolerancia del lactato a concentraciones tanto bajas como medias, capacidad aeróbica glucolítica, movilización de grasas, termorregulación, equilibrio hidroelectrico, economía del esfuerzo (Arrese, 2013).

En el ciclismo se utilizan diferentes tácticas para ahorrar energía, y reducir ciertos factores de rendimiento. Una de ellas es ir en “drafting”, que permite a ciclistas inferiores fisiológicamente ir más rápido con un consumo menor de oxígeno yendo detrás de otro ciclista que yendo solos. Algunos estudios científicos sugieren que la reducción de la resistencia cuando se hace “drafting” depende de diferentes factores como el terreno, la calidad y ubicación del ciclista dentro del pelotón.... Hausswirth & Brisswalter, (2008) en su revisión bibliográfica llegaron a estas conclusiones:

- Hay una reducción de oxígeno utilizando el “drafting” y dependiendo del número de personas que utilizan esta táctica es mayor o menor. Yendo a una distancia respecto al ciclista de adelante de 0,2-0,5 metros hay una reducción considerable del consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca y ventilación pulmonar. (Hausswirth et al., 1999). En un grupo de ocho personas es más efectivo que en uno de dos o cuatro ciclistas. Keyle (1979) mostró que podía influir la distancia que hay entre las dos ruedas de los dos corredores, la alineación que hay con el ciclista que va delante de nosotros.
- Hausswirth y col. (1999) vieron que cuando un ciclista “va a rueda” de otro lleva una cadencia mayor que cuando va solo, esto debe de ser debido a una reducción en la activación del músculo vasto lateral por una disminución de la resistencia al viento y una reducción del gasto energético.

Fitton y cols, (2018) intentaron encontrar la interacción aerodinámica entre los diferentes ciclistas en un velódromo y determinar cómo puede variar el efecto del “drafting” en un grupo dependiendo de la posición en la que estamos. Siguiendo la literatura científica sugieren que la reducción de la resistencia cuando uno hace “drafting” va a depender de diferentes factores como la posición del grupo, la calidad y ubicación del ciclista dentro del pelotón.

Para ello participaron seis ciclistas femeninas de élite que realizaron tanto pruebas individuales como pruebas en equipo en las que se proponían diferentes posibilidades. Se midió el área de arrastre de cada ciclista y a partir de ellas se cuantificaron las reducciones de arrastre de cada deportista. El área de arrastre de cada ciclista se relaciona con la masa y la estatura del ciclista. Según los resultados, las posiciones que más se benefician son la del primer ciclista que está detrás del líder hasta el cuarto, pero el segundo ciclista es el que más se beneficia del “drafting”, mientras que el tercer, cuarto y quinto ciclista del grupo se llevan beneficios parecidos. También se llega a la conclusión de que las reducciones del “drafting” dependen de cada uno de los atletas ya que la masa corporal y las características aerodinámicas ayudan a tener un mayor beneficio del drafting o no del ciclista que va delante de nosotros.

Como establece Hauswirth y cols. (1999), la cadencia es una variable que hay que tener en cuenta a la hora de programar los entrenamientos aunque en los últimos años esta variable no se tiene tanto en cuenta por parte de los entrenadores ya que han aparecido otras variables como la potencia pero eso no quita que no sea importante, todo esto desde mi punto de vista.

La cadencia se puede llevar tanto alta como baja. La cadencia baja corresponde a un acortamiento muscular pero niveles de tensión musculares altas; en cadencias altas la tensión muscular no es tan alta y no hay un acortamiento muscular, por lo que se llega a la conclusión que en la cadencia interviene el reclutamiento de fibras (DiMenna y cols., 2009; Alhquist et al. 1992) y el grado de fatiga neuromuscular (Takaishi y cols, 1994).

Las fibras tipo II se relacionan con cadencias altas (DiMenna y cols., 2009; Sargeant 1994).

Según la literatura científica no está demostrado científicamente qué factores determinan la elección de cadencias altas y tampoco se ha podido demostrar una relación negativa entre las cadencias altas (menos económicas) y la producción de potencia máxima ( $W_{\text{máx}}$ ) y su asociación con el tiempo hasta el agotamiento (Hansen E A., 2006; Har-nish C, 2007). La frecuencia de pedaleo elegida libremente (FCC) está relacionada con la potencia de salida y con salidas de potencia más altas que los ciclistas que prefieren cadencias más altas que las bajas ( Macintosh B Et al., 2000).

Por otro lado, la técnicas de pedaleo se utilizan para realizar la mayor fuerza posible sobre los pedales. Varios estudios han demostrado que mantener una cadencia de pedaleo más baja resulta un aumento de la fuerza efectiva (técnica de pedaleo) y la potencia de salida en comparación cadencias más altas (Burke E R., 1996; Ericson M O, 1988). Además Kautz y cols, y Zameziati y cols, observaron que uno de los efectos de aumentar la intensidad del ejercicio fue que provocaron una mejor técnica de pedaleo Rossato y cols, (2008) se propusieron investigar los efectos que tienen la cadencia y la carga de trabajo en la técnica de pedaleo en ciclistas bien entrenados.

Llegaron a la conclusión de que las cadencias de pedaleo más bajas son más efectivas durante la fase de recuperación y los valores de índice de efectividad (IE) observados sugieren que los ciclistas presentan una técnica de pedaleo en las cadencias elegidas libremente durante periodos de intensidad debido a un mayor EFmean. Conforme aumenta la carga de trabajo hay una reducción de la cadencia libremente elegida.

Emanuele y cols, (2017) partieron de que la cadencia seleccionada libremente (FCC) es bastante individual y se ve afectada por diversos factores como pueden ser la potencia externa, la pendiente de la ruta, el drafting, la fatiga, el entrenamiento, las fibras musculares que predominen en cada uno de los ciclistas, pero muchos estudios han verificado que hay que llevar una cadencia óptima que es la que optimiza las variables fisiológicas

y/o biomecánicas. En este estudio se definió la cadencia óptima (C<sub>ópt</sub>) como la cadencia que corresponde al punto más elevado de relación entre la potencia externa con la cadencia en un nivel de rendimiento que puede ser sostenido para una determinada tarea. El objetivo de este estudio fue comparar la FCC y C<sub>ópt</sub> que se pueden mantener durante un hora y el segundo objetivo fue examinar el efecto en la FCC, C<sub>ópt</sub> y P<sub>máx</sub> que tendría un cambio simultáneo de la pendiente y la postura corporal en un nivel de rendimiento de resistencia correspondiente al MLSS.

Se realizó un análisis de las FCC, C<sub>ópt</sub> y P<sub>máx</sub> en llano con postura baja (LGDP) y en ascenso con posición erguida (UHUP), en el que participaron 7 participantes y se realizaron diferentes pruebas, en total 3 sesiones con 2 días de separación entre ellas para determinar la FCC, el test mínimo de lactado y la C<sub>ópt</sub>. Los resultados que se obtuvieron fueron que la mayoría de los ciclistas experimentados eligieron una cadencia adecuada a la C<sub>ópt</sub>. independientemente del tipo de ciclismo, las FCC y C<sub>ópt</sub> no fueron estadísticamente diferentes, la FCC y C<sub>ópt</sub> fueron significativamente más bajos en UHUP que en LGDP y además la P<sub>máx</sub> fue significativamente mayor en UHUP que en LGDP.

Emanuele y cols, (2017) demostraron que las diferencias en la FCC interindividuales están relacionadas con diferencia en la C<sub>ópt</sub>. Estos resultados mantienen una relación entre la FCC y la C<sub>ópt</sub>, la mayoría de los ciclistas acogen libremente una cadencia cercana a la C<sub>ópt</sub> para minimizar o maximizar la fatiga periférica en una potencia dada. Al comparar el ciclismo en llano con LGDP y el ciclismo en ascenso con UHUP resulta ventajoso utilizar una cadencia más baja y una posición corporal más erguida cuando se realiza el ciclismo de ascenso.

Durante el entrenamiento de ciclismo, la velocidad o la cadencia de pedaleo puede ser manejada para alterar la fuerza muscular que se aplica cuando pedaleamos. Cambiar la transmisión o desarrollo es la única posibilidad que tienen los ciclistas en influir la curva de fuerza-velocidad de la contracción muscular. Paton et al., 2009, vieron cambios en la potencia máxima, VO<sub>2</sub>máx y producción de potencia en una concentración de lactato en sangre a 4mmol fueron significativamente mayores en el grupo de baja cadencia

(60-70rev/min) comparado o comparados con el de alta cadencia (110-120 rev/min) y fue atribuido a una concentración mayor de testosterona en respuesta a las fuerzas de pedaleo más altas del grupo con cadencia baja.

El objetivo de Nimmerichter, Norbert Bachl & Williams, (2014) fue investigar el efecto que tiene un periodo de entrenamiento interválico aplicado durante 4 semanas en entrenamiento en ascenso y en llano con la misma intensidad relativa pero con cadencias diferentes sobre la producción de potencia durante una prueba de contrarreloj de 20 min en ascenso y en llano. Se realizaron tres grupos: uno en ascenso y a 60 rev/min (grupo 1), otro en llano y a 100 rev/min (grupo 2) y el último no realizó ningún entrenamiento interválico durante las 4 semanas (grupo 3 o control), diez días antes realizaron una prueba de esfuerzo progresiva incremental en el laboratorio y dos pruebas de contrarreloj a la potencia máxima que podían desarrollar los deportistas en 20 min en llano y otra en ascenso, y durante las 4 semanas realizaron una sesión de intervalos excepto el grupo control y entre los 7 y 12 días siguientes se volvieron a realizar las pruebas incrementales y las de contrarreloj.

Se demostró que el entrenamiento interválico tanto con cadencias bajas o altas, en llano o en subida durante pruebas progresivas produce un aumento de rendimiento similar al que produce el entrenamiento aeróbico de resistencia continuo mientras que las mejoras de rendimiento observadas en pruebas de contrarreloj de 20 min demuestran las adaptaciones específicas. La magnitud de estas mejoras sugieren la aplicación de mayores fuerzas de pedaleo a través de una cadencia baja que proporciona un estímulo de entrenamiento potencialmente superior con un efecto cruzado en las pruebas de contrarreloj en llano. Los entrenamientos interválicos a cadencias altas en llano probablemente aumentan la producción de potencia en las pruebas de contrarreloj en llano pero no tienen un efecto cruzado en las pruebas de contrarreloj en ascenso.

De Araújo Ruas, Figueira, Denadai & Greco, (2011) quisieron verificar los efectos continuos de esfuerzos de alta intensidad previos al ejercicio aeróbico entre 50 y 100 rpm/

min en el rendimiento de fuerza posterior en diferentes condiciones y comparar el porcentaje de pérdida de fuerza en esas condiciones.

Para ello se realizaron diferentes pruebas, primero se realizó una prueba incremental en el ciclo ergómetro para determinar el inicio de la acumulación de lactato en sangre con una cadencia entre 50-100 rpm/min, en una segunda prueba se realizaron tres series en una prensa de piernas a 45° a una intensidad 10RM, la tercera prueba consistió en realizar tres conjuntos de 10 saltos en movimiento (CMJ) máximos en una plataforma de saltos y por último, una prueba combinada con tres series de 10 repeticiones máximas (RM) en la prensa de piernas seguido de 30 minutos de ciclismo indoor a una cadencia de 50-100 rpm/minuto. El resultado fue que cuando el entrenamiento de fuerza sigue a una sesión aeróbica de alta intensidad el rendimiento de fuerza que se puede realizar disminuye el coste energético y el lactato no sufrieron diferencias en las cadencia utilizada en el trabajo posterior de fuerza. El grado de pérdida de fuerza después del ejercicio aeróbico de alta intensidad puede depender tanto de la cadencia del pedal como de las condiciones de la prueba de fuerza. Cuando el ejercicio de ciclismo aeróbico precede al entrenamiento de fuerza, puede ser beneficioso usar cadencias de pedal bajas para minimizar la pérdida de fuerza.

Tras haber revisado varios estudios a cerca del “drafting” y la cadencia utilizada en ciclismo, hemos podido llegar a las siguientes conclusiones:

- El drafting es una técnica útil para obtener un mayor rendimiento.
- La distancia que tienen que llevar los ciclistas entre ellos para beneficiarse de los efectos del drafting es de 0,2-0,5 metros.
- Se utiliza una mayor cadencia cuando iba realizando drafting.
- El ciclista que más se beneficia es el que va justo detrás del primer ciclista del grupo, pero hasta el cuarto ciclista también todos obtienen un gran beneficio.
- Los beneficios del “drafting” dependen de cada uno de los ciclistas ya que la masa corporal y las características aerodinámicas son determinantes para obtener los mayores beneficios.
- La cadencia baja implica mayor fuerza de pedaleo.





- Es conveniente utilizar una cadencia más baja y una posición corporal más er-  
guida cuando se realiza el ciclismo de ascenso.

## 7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Tras haber analizado tres deportes y compararlos (triatlón, atletismo y ciclismo). En primer lugar, comparando el triatlón con el atletismo, los deportistas tienen diferencias y semejanzas a la hora de correr, lo mismo pasa cuando comparamos a los triatletas con los ciclistas.

Los distintos autores revisados establecen que hay diferencias biomecánicas tanto en atletas como en triatletas de diferentes géneros (masculino y femenino) y deportistas de distinto nivel, cuando hablamos de variables biomecánicas hay que tener cuenta que no podremos recomendar las mismas recomendaciones tanto en deportistas masculinos como femeninos y deportistas de que se están iniciando, tienen un nivel medio o son de alto nivel todo esto se explica por las diferencias de estatura y de la variabilidad de los ángulos de los segmentos corporales y por las diferencias de la fuerza con la que hacen el gesto deportivo.

Por otro lado, en ambos deportes se han encontrado una semejanza que la forma de realizar el gesto deportivo tiene que ser lo más económico posible pero en el triatlón se aconseja una continua elevación de la cadera, paso pélvico (adelantamiento de la cadera) menos avanzado, braceo menos acentuado, mayor amortiguación debido al cansancio acumulado, una propulsión más lenta y una mayor inclinación del tronco hacia delante mientras que en el atletismo se busca acortar los tiempos de contacto con el suelo manteniendo la frecuencia de zancada ya que facilita una mayor rigidez de las piernas, ángulos de zancada más grandes y tiempos de giro más largos, pero esto puede aumentar la oscilación vertical y fomentar una mayor actividad muscular durante la propulsión. La longitud de la zancada autoseleccionada 3% más corta, menor oscilación vertical parecen beneficiar una economía de esfuerzo.

En la comparación del segmento del ciclismo de un triatlón con el ciclismo, dos variables biomecánicas que hemos encontrado que influyen en el rendimiento de ambos deportes es el drafting y la cadencia. Se puede concluir que el drafting es una herramienta que nos ayuda a aumentar el rendimiento de los deportistas, mientras que la cadencia en el ciclismo, como ya hemos dicho anteriormente, el ciclismo es un deporte muy completo con carreras llanas, en subida.... No se puede asociar una cadencia mientras que en el triatlón se puede recomendar utilizar una cadencia alta durante el segmento de ciclismo proporcionará un rendimiento mayor en la carrera a pie.

Para finalizar, las conclusiones que hemos sacado han sido las siguientes:

- En la carrera a pie, hay diferencias entre géneros y niveles.
- A la hora de realizar el gesto deportivo tenemos que ser lo más económicos posibles.
- El drafting nos permite aumentar nuestro rendimiento.
- La cadencia que se utiliza en triatlón y ciclismo son totalmente diferentes.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Arellano, C. J., & Kram, R. (2011). The effects of step width and arm swing on energetic cost and lateral balance during running. *Journal of Biomechanics*, 44(7), 1291–1295. doi:10.1016/j.jbiomech.2011.01.002
2. Arellano, C. J., & Kram, R. (2014). The metabolic cost of human running: is swinging the arms worth it?. *Journal of Experimental Biology*, 217(14), 2456-2461.
3. Arrese, A. L. (2013). Manual de entrenamiento deportivo. Paidotribo.
4. Cavagna, G. A., Willems, P. A., Franzetti, P., & Detrembleur, C. (1991). The two power limits conditioning step frequency in human running. *The Journal of physiology*, 437(1), 95-108.
5. Cejuela Anta, R., Pérez Turpin, J. A., Villa Vicente, J. G., Cortell-Tormo, J. M., & Rodríguez Marroyo, J. A. (2007). Análisis de los factores de rendimiento e triatlón distancia sprint. *Journal of human sport and exercise*, Vol. 2, no. 2 (July 2007).
6. Cortés Mollá, J. S. (2016). Estudio de las variables biomecánicas implicadas en el pedaleo en ciclismo y sus interrelaciones. Influencia de la experiencia y el nivel de rendimiento.
7. Dallam, G. M., Wilber, R. L., Jadelis, K., Fletcher, G., & Romanov, N. (2005). Effect of a global alteration of running technique on kinematics and economy. *Journal of sports sciences*, 23(7), 757-764.
8. Dávila, M. G. (2000). Análisis matemático del gesto deportivo mediante fotogrametría tridimensional (3D). In *Las matemáticas del siglo XX una mirada en 101 artículos* (pp. 135-138). Universidad de La Laguna.
9. De Araújo Ruas, V. D., Figueira, T. R., Denadai, B. S., & Greco, C. C. (2011). Effect of cycling exercise at different pedal cadences on subsequent muscle strength. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 9(2), 93-99.
10. De Lubiano, G. C. B. (2016). Perfil fisiológico del ciclista y factores determinantes del rendimiento en el ciclista de ruta (Doctoral dissertation, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea).

11. De Ruijter, C. J., Verdijk, P. W. L., Werker, W., Zuidema, M. J., & de Haan, A. (2013). Stride frequency in relation to oxygen consumption in experienced and novice runners. *European Journal of Sport Science*, 14(3), 251-258. doi: 10.1080/17461391.2013.783627
12. De Suárez, G. R., Lara, L. S., & Canales, Y. R. (2002). Las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en Cumaná (Venezuela): inflación, gerencia y desarrollo. *Revista Venezolana de Gerencia*, 7(19), 390-402.
13. Dorado, A. C., & García, O. G. (2014). Los factores de rendimiento en triatlón como base para la detección de talentos. *Revista Española de Educación Física y Deportes*, (407), 49-60
14. Elliot, B., & Ackland, T. (1981). Biomechanical effects of fatigue on 10,000 meter running technique. *Research quarterly for exercise and sport*, 52(2), 160-166.
15. Emanuele, U., Horn, T., & Denoth, J. (2017). Relación entre la Cadencia Seleccionada Libremente y la Cadencia Óptima en Ciclismo-International Endurance Work Group. *PubliCE*.
16. Fitton, B., Caddy, O., & Symons, D. (2018). The impact of relative athlete characteristics on the drag reductions caused by drafting when cycling in a velodrome. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 232(1), 39-49.
17. Folland, J., Black, M., Handsaker, J., Allen, S., & Forrester, S. (2018). *U.S. Patent Application No. 15/764,851*.
18. García-Fojeda, A., Biosca, F., & Válios, J. C. (1997). La biomecánica: una herramienta para la evaluación de la técnica deportiva. *Apunts. Educación física y deportes*, 1(47), 15-20.
19. García, G. C., Secchi, J. D., Arcuri, C. R., & Santander, M. D. (2018). Evaluación de la resistencia aeróbica a través del tiempo límite medido en campo en ambos sexos. *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*, (183), 35-40.

20. Gregor, R. J., & Kirkendall, D. (1978). Performance efficiency of world class female marathon runners. *Biomechanics VI-B*, 40-45.
21. Gottschall, J. S., & Palmer, B. M. (2002). The acute effects of prior cycling cadence on running performance and kinematics. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(9), 1518-1522.
22. Hansen, E. A., Andersen, J. L., Nielsen, J. S., & Sjøgaard, G. (2002). Muscle fibre type, efficiency, and mechanical optima affect freely chosen pedal rate during cycling. *Acta Physiologica Scandinavica*, 176(3), 185-194.
23. Harnish, C., King, D., & Swensen, T. (2007). Effect of cycling position on oxygen uptake and preferred cadence in trained cyclists during hill climbing at various power outputs. *European journal of applied physiology*, 99(4), 387-391.
24. Hausswirth, C., & Brisswalter, J. (2008). Consequences of drafting on human locomotion: benefits on sports performance.
25. Hausswirth C, Lehenaff D, Dreano P, et al. Effects of cycling alone or in a sheltered position on subsequent running performance during a triathlon. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: 599–604.
26. Hausswirth, C., Vallier, J. M., Lehénaff, D., Brisswalter, J., Smith, D., Millet, G., & Dréano, P. (2001). Effect of two drafting modalities in cycling on running performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(3), 485-492.
27. Hay, J. G., & Reid, J. G. (1988). *Anatomy, mechanics, and human motion*. Prentice Hall
28. Hunter, I., & Smith, G. A. (2000). Effect of fatigue on preferred and most economical stride frequency in treadmill running. *ARCHIVES OF PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY*, 108(1-2), 42-42.
29. Hutchings, L. J., Gross, R., & Jarpe, S. (2000). *U.S. Patent No. 6,122,960*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
30. José, A. (2009). *Biomecánica deportiva y control del entrenamiento* (Vol. 4). Funámbulos Editores.

31. Kaneko, M., Ito, A., Fuchimoto, T., Shishikura, Y., & Toyooka, J. (1985). Influence of running speed on the mechanical efficiency of sprinters and distance runners. *Biomechanics IX-B. Champaign: Human Kinetics*, 307-12.
32. Kohrt, W. M., Morgan, D. W., Bates, B. R. A. D. F. O. R. D., & Skinner, J. S. (1987). Physiological responses of triathletes to maximal swimming, cycling, and running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(1), 51-55.
33. Kyle, C. R. (1979). Reduction of wind resistance and power output of racing cyclists and runners travelling in groups. *Ergonomics*, 22(4), 387-397
34. Kyröläinen, H., Belli, A., & Komi, P. V. (2001). Biomechanical factors affecting running economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(8), 1330-1337.
35. Lieberman, DE, Warrener, AG, Wang, J. y Castillo, ER (2015). Efectos de la frecuencia de zancada y la posición del pie al aterrizar sobre la fuerza de frenado, el torque de la cadera, la fuerza máxima de impacto y el costo metabólico de correr en humanos. *Revista de biología experimental* , 218 (21), 3406-3414.
36. Macintosh, B. R., Neptune, R. R., & Horton, J. F. (2000). Cadence, power, and muscle activation in cycle ergometry. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(7), 1281-1287.
37. Mayoralas, F. G. M., Díaz, J. F. J., Santos-García, D. J., Castellanos, R. B., Yustres, I., & González-Ravé, J. M. (2018). Economía de carrera y rendimiento. Esfuerzos de alta y baja intensidad en el entrenamiento y calentamiento. Revisión bibliográfica. *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*, (184), 108-116.
38. McCole, S. D., Claney, K., Conte, J. C., Anderson, R., & Hagberg, J. M. (1990). Energy expenditure during bicycling. *Journal of Applied Physiology*, 68(2), 748-753.
39. Mejías, A. C. (2010). Análisis biomecánico del segmento de la carrera a pie de la competición en triatlón (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid).

40. Millet, G. P., Millet, G. Y., Hofmann, M. D., & Candau, R. B. (2000). Alterations in running economy and mechanics after maximal cycling in triathletes: influence of performance level. *International journal of sports medicine*, 21(02), 127-132.
41. Mon, F. J. (2017). Efecto en el rendimiento en la carrera a pie en función de los cambios de posición y de la cadencia en el tramo final del ciclismo en triatletas. *Revista Mexicana de Investigación en Cultura Física y Deporte*, 5(7), 131-149.
42. Moore, I. S. (2016). Is there an economical running technique? A review of modifiable biomechanical factors affecting running economy. *Sports Medicine*, 46(6), 793-807.
43. Morgan, D. W., Martin, P. E., Baldini, F. D., & Krahenbuhl, G. S. (1990). Effects of a prolonged maximal run on running economy and running mechanics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(6), 834-840.
44. Nimmerichter, A., Norbert Bachl, R. E., & Williams, C. A. (2014). Efectos del Entrenamiento con Cadencias Bajas y Altas Sobre la Producción de Potencia en Pruebas Contrarreloj Realizadas en Ascenso y en Llano-International Endurance Group. *PubliCE*.
45. Ogueta-Alday, A., & García-López, J. (2016). Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 12(45), 278-308.
46. Ojeda, Á. I., Labrada, Y. F., & Varona, D. A. F. (2017). Los fundamentos técnicos de las carreras de fondo y medio fondo (revisión). *Olimpia: Publicación científica de la facultad de cultura física de la Universidad de Granma*, 14(42), 109-118.
47. O'Toole, M. L., & Douglas, P. S. (1995). Applied physiology of triathlon. *Sports Medicine*, 19(4), 251-267.
48. Peserico, C. S., da Silva, D. F., & Machado, F. A. (2019). Peak running velocity predicts 5-km running performance in untrained men and women. *Arch. med. deporte*, 340-344.



49. Quigley, E. J., & Richards, J. G. (1996). The effects of cycling on running mechanics. *Journal of applied Biomechanics*, 12(4), 470-479.
50. Rendos, N. K., Harrison, B. C., Dicharry, J. M., Sauer, L. D., & Hart, J. M. (2013).
51. Rossato, M., Bini, R. R., Carpes, F. P., Diefenthaler, F., & Moro, A. R. P. (2008). Cadence and workload effects on pedaling technique of well-trained cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 29(09), 746-752
52. Scorcine, C., Pereira, R., Madureira, F., & Colantonio, E. (2017). Contribution of Swimming, Cycling and Running in the Final Performance in Different Distances of Triathlon Races. *MOJ Sports Med*, 1(5), 00027.
53. Shirasaki, K., Yamanobe, K., Akashi, K., & Takashima, W. (2017). Variation of the drafting effect on the trailing rider for different numbers of riders in a cycling group. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 1754337117736617.
54. Soriano, P. P., & Belloch, S. L. (2007). la instrumentación en la biomecánica deportiva. *Journal of Human Sport and Exercise*, 2(II), 26-41.
55. Suriano, R., & Bishop, D. (2016). Características Fisiológicas de los Triatletas- International Endurance Work Group. *PubliCE*.
56. Svedahl, K., & MacIntosh, B. R. (2003). Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Canadian journal of applied physiology*, 28(2), 299-323.
57. Svensson, T. (1999). El almanaque completo de triatlón: la herramienta de entrenamiento y fuente de información esencial para el triatleta y el duatleta. Editorial Paidotribo.
58. Thordarson, D. B. (1997). Running biomechanics. *Clinics in sports medicine*, 16(2), 239-247.
59. Vercruyssen, F., Suriano, R., Bishop, D., Hausswirth, C., & Brisswalter, J. (2005). Cadence selection affects metabolic responses during cycling and subse-



quent running time to fatigue. *British journal of sports medicine*, 39(5), 267-272.

60. Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of applied physiology*, 89(5), 1991-1999.
61. Williams, K. R., Snow, R., & Agruss, C. (1991). Changes in distance running kinematics with fatigue. *Journal of Applied Biomechanics*, 7(2), 138-162.