

# TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ENTRENAMIENTO Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

**Curso Académico 2017-2018**

**ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA PARA LA MEJORA DE LA  
ECONOMÍA DE CARRERA EN CORREDORES AMATEUR**

*STRENGTH TRAINING TO IMPROVE RUNNING ECONOMY IN AMATEUR  
RUNNERS*

**Autor: DAVID GONZÁLEZ OROZCO**

**Tutor: JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ MARROYO**

Fecha: 2 de Julio de 2018

Vº Bº TUTOR

Vº Bº AUTOR

---

## RESUMEN

---

El propósito de este estudio fue analizar los efectos sobre el rendimiento aeróbico y la economía de carrera de un programa de entrenamiento de fuerza combinado con las actividades recreativas y de entrenamiento habituales de un grupo de corredores amateur. En el estudio participaron 10 sujetos saludables que realizaban actividad física de manera regular. En base a las recomendaciones establecidas en la literatura científica se estableció un programa de entrenamiento de la fuerza. El programa fue llevado a cabo durante 8 semanas. Se realizaron 2 sesiones de entrenamiento de fuerza semanales que combinaban ejercicios de fuerza con sobrecargas y pliometría. Todos los sujetos realizaron diferentes pruebas de valoración antes y después de acabar el programa de entrenamiento. Se valoró la cualidad aeróbica (economía de carrera,  $VO_{2max}$  y umbrales ventilatorios) y la fuerza de la extremidad inferior a través de diversos tests de saltos. No se encontraron mejoras significativas en la economía de carrera ni en las otras variables que se analizaron relacionadas con el metabolismo aeróbico. Únicamente se mejoró la altura de salto con y sin contramovimiento. Posiblemente, la dosis del entrenamiento de fuerza llevado a cabo no fue suficiente para inducir mejoras en el metabolismo aeróbico.

**Palabras clave:** economía de carrera, entrenamiento de fuerza, entrenamiento concurrente, corredores amateur.

---

## ABSTRACT

---

*The aim of this study was to analyze the effects over the aerobic performance and the running economy of a strength training program combined with recreative activities and normal trainings of an amateur runners group. In the study 10 healthy subjects who performed physical activity regularly participated. Based on the recommendations established in the scientific literature, a strength training program was established. The program was carried out for 8 weeks. 2 sessions of strength training per week were executed combining the strength training with overloads and plyometric. All subjects performed different assessment tests before and after completing the training program. The aerobic quality was assessed (running economy,  $VO_{2max}$ , and ventilatory thresholds) and the lower extremity strength through some jumping tests. We didn't find significant improvement in the running economy, neither in other variables analyzed related with the aerobic metabolism. Only increased the jump height with and without countermovement. Likely, the dose of strength training carried out was not enough to induce improvements in aerobic metabolism.*

**Key Words:** running economy, strength training, concurrent training, amateur runners.

---

## **ÍNDICE**

---

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Contextualización .....</b>	<b>4</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>3. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS .....</b>	<b>14</b>
<b>4. METODOLOGÍA .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1. Participantes .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2. Diseño experimental .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2.1. Intervención – Tipo de Pruebas realizadas .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2.2. Programa de fuerza .....</b>	<b>18</b>
<b>4.3. Análisis estadístico.....</b>	<b>22</b>
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>6. DISCUSIÓN .....</b>	<b>27</b>
<b>7. APLICACIONES PRÁCTICAS Y VALORACIÓN PERSONAL .....</b>	<b>30</b>
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>31</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>32</b>
<b>10. ANEXOS .....</b>	<b>35</b>
<b>Anexo I. Modelo de sesión .....</b>	<b>35</b>
<b>Anexo II. Planilla de seguimiento semanal.....</b>	<b>37</b>

---

## 1. INTRODUCCIÓN

---

Conforme al plan de estudios del título oficial de Máster Universitario en Entrenamiento y Rendimiento Deportivo de la Universidad de León (Máster ERD) y de acuerdo al Real Decreto 1393/2017 de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias, para la obtención del título oficial de Máster será necesario la elaboración y defensa pública de un trabajo de fin de Máster (Artículo 15), que en nuestro caso posee una carga lectiva de 9 créditos ECTS. Esta materia obligatoria tiene su mayor carga en el segundo semestre con la intención de que el alumno haya recibido una gran parte de los contenidos formativos previstos en este título de postgrado (FCAFD, 2016).

La realización de este TFM debe poner de manifiesto la consecución de los objetivos de este título de Máster, así como la capacidad del alumno para ejercer profesionalmente dentro del ámbito del entrenamiento y el rendimiento deportivo. Este proyecto desarrollado de forma autónoma bajo la correspondiente supervisión del tutor académico podría enmarcarse como un *“Proyecto de intervención o propuesta metodológica”*, siendo esta una de las modalidades que fija la Normativa para el desarrollo de Trabajos Fin de Máster en los Estudios de Máster Universitario en Entrenamiento y Rendimiento Deportivo de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León (FCAFD, 2016) en su Anexo 1: Directrices Generales en la elaboración del TFM. En nuestro caso, esta modalidad nos exige analizar la problemática o las necesidades de intervención relacionadas con el entrenamiento de fuerza en la carrera a pie, para consecuentemente proponer soluciones adaptadas. Hemos sido capaces de crear nuestra propia propuesta metodológica, la cual se ha puesto en práctica con el objetivo de estudiar los posibles beneficios, siempre acordes a lo que la ciencia nos formula.

Desde el primer momento nos dejaron claro que este trabajo debía tener un carácter u orientación profesional. Esto va acorde con las pretensiones del Máster, con cuya realización se pretende alcanzar una óptima capacitación profesional. La elección del tema vino determinada por varias circunstancias. La primera y tal vez la más importante es que yo soy corredor y tengo bastante experiencia en este deporte; que mejor para hablar de un tema que quién lo practica habitualmente y lo puede poner en práctica. Lo segundo es que la gran parte de los corredores actuales no están concienciados de los beneficios que conlleva realizar con asiduidad entrenamiento de fuerza, tanto para la mejora del rendimiento como para la prevención de lesiones. Este debería ser un aspecto a considerar en la actualidad por muchos de los entrenadores y por los propios corredores, independientemente del nivel en el que se encuentren. Lo tercero y último es la facilidad de la que disponía para poner en práctica la propuesta metodológica ideada. Tenía a mi disposición un grupo de diez sujetos de

características similares comprometidos a llevar a cabo los entrenamientos propuestos y a realizar las pruebas pertinentes, así como un gimnasio totalmente acondicionado para realizar el trabajo de fuerza.

En definitiva, lo que buscamos con este proyecto es plantear un programa de fuerza con unas características concretas extraídas de la bibliografía existente, realizar el seguimiento semanal de nuestro grupo de trabajo, y aprovechando las circunstancias, estudiar la influencia que tiene el trabajo de fuerza en la mejora de la economía de carrera en este tipo de corredores.

La estructura del trabajo sigue una línea clara. Comenzaremos con una breve contextualización y el planteamiento teórico del tema propuesto, para continuar explicando la metodología empleada. En este apartado se hablará de las características del grupo con el que se ha trabajado, de las pruebas realizadas y del programa de fuerza diseñado. Seguidamente se expondrán los resultados obtenidos en base a la estadística correspondiente. Por último, cerraremos con la discusión, las aplicaciones prácticas (de especial relevancia tras la realización de este proyecto) y las conclusiones. Destacar también que en todo momento nos hemos asentado en lo que la bibliografía científica manifiesta.

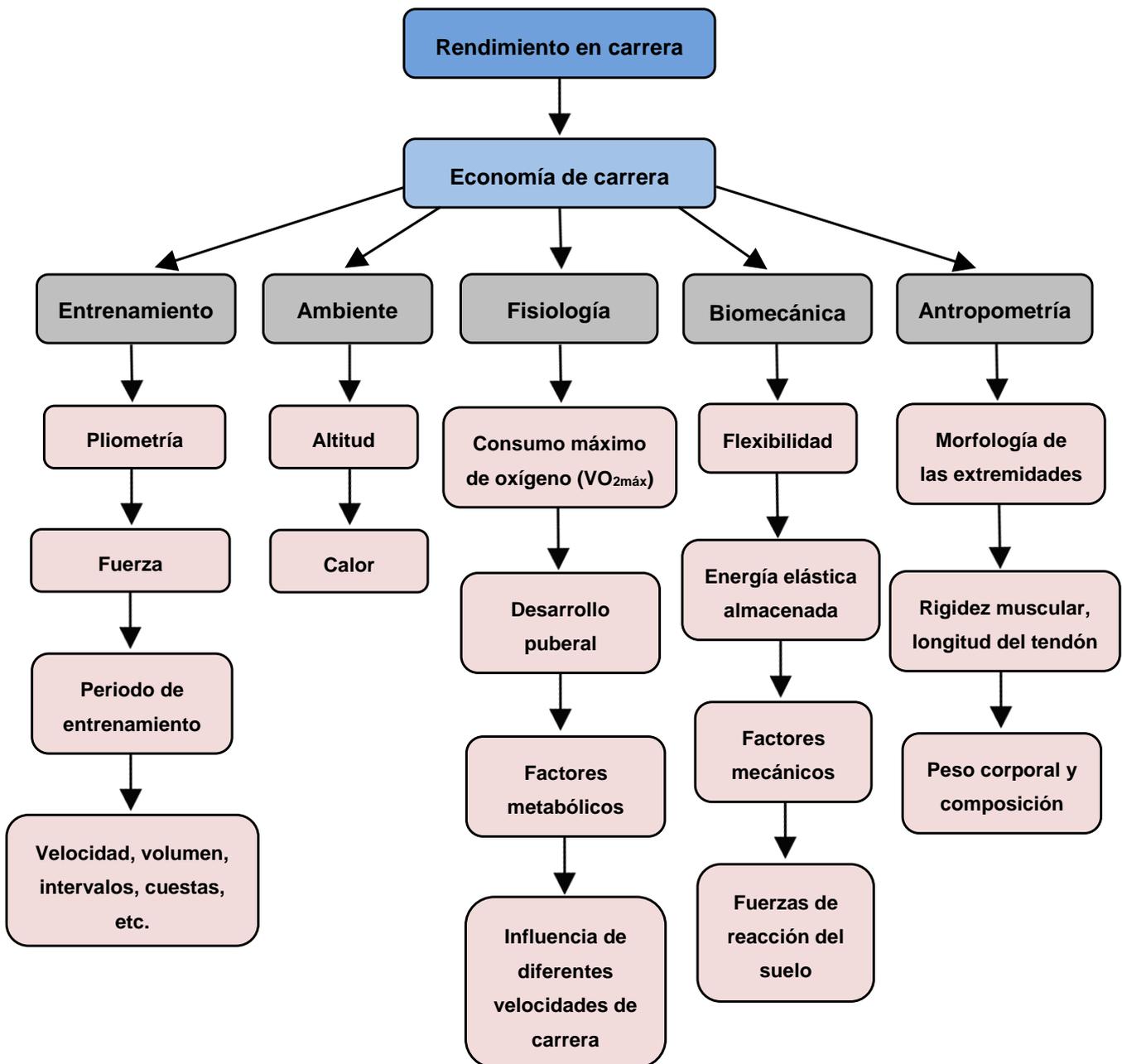
## **1.1. Contextualización**

---

En la última década hemos podido observar un aumento de la popularidad de las carreras a pie. Cada semana existen múltiples carreras repartidas por todos los municipios del territorio español y el resto del mundo. Las modalidades son muy variopintas, diferenciándose en las distancias a recorrer, el terreno, la altitud, el clima, etc.

El rendimiento prolongado en carrera de media y larga distancia depende de una gran serie de factores. Referente al análisis que hacemos en este trabajo, podríamos definir la economía de carrera (RE) como uno de los factores que nos ayudan a predecir el rendimiento en este tipo de carreras (Balsalobre, Santos y Grivas, 2016; Ogueta y García, 2016; Saunders, Pyne, Telford y Hawley, 2004). Este factor fisiológico es definido por Balsalobre et al. (2016) como “el  $\text{VO}_2$  en estado estable requerido a una determinada velocidad submáxima”. Saunders et al. (2004) lo definen como “el gasto energético o el  $\text{VO}_2$  consumido a una velocidad de carrera determinada”. Teniendo en cuenta la masa corporal (BM) podemos tener claro que los corredores con una buena RE usan menos energía y por lo tanto menos oxígeno que los corredores con una peor RE a la misma velocidad de carrera (Saunders et al., 2004; Saunders et al., 2006). Existe una alta variabilidad interindividual de la RE debido a factores biomecánicos, factores fisiológicos (p. ej. tipo y distribución de fibras musculares, aumento de

mitocondrias y enzimas oxidativas, etc.), edad, sexo o factores antropométricos (Figura 1). Además, podemos tener claro que la RE está influenciada en gran parte por el tipo de entrenamiento que se aplique, incluyendo aquí el entrenamiento de fuerza (Balsalobre et al., 2016; Saunders et al., 2004), objeto de estudio en este trabajo. Sin embargo, en la clasificación que hacen Ogueta y García (2016) sobre los factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo, la economía de carrera se identifica como un factor fisiológico más de los que depende el rendimiento competitivo (Figura 2).



**Figura 1.** Factores que afectan a la economía de carrera. Extraído y traducido de Saunders et al. (2004).

Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo				
1. Ambientales	2. Entrenamiento	3. Fisiológicos	4. Biomecánicos	5. Psicológicos
1.1. Aire/viento	2.1. Resistencia	3.1. $VO_{2max}$	4.1. Antropometría	5.1. Intervención
1.2. Temperatura	2.2. Fuerza	3.2. Umbral ventilatorio	4.2. Leg-stiffness	5.2. Dirección atención
1.3. Humedad	2.3. Aclimatación calor	3.3. Economía carrera	4.3. Flexibilidad	5.3. Música
1.4. Altitud	2.4. Altura	3.4. Edad	4.4. Patrón de pisada	
1.5. Pendiente terreno		3.5. Género	4.5. Calzado	
		3.6. Fibras musculares	4.6. Osteosis plantares	
		3.7. Fatiga	4.7. Parámetros e-t	
		3.8. Raza		

**Figura 2.** Factores que afectan al rendimiento de las carreras de fondo (Ogueta y García, 2016).

Además, el trabajo de fuerza y de movilidad resulta provechoso en la prevención de lesiones y en la vuelta a la competición tras la aparición de estas. Una lesión supone una problemática en el proceso de entrenamiento-competición, ya que implica su modificación o incluso su interrupción temporal. Las lesiones suelen ser frecuentes debido a que el correr es una actividad donde la cantidad de impactos es elevada y la técnica en muchos de los casos no es lo más idónea posible. Si los entrenamientos de resistencia y las competiciones se asientan sobre un trabajo de fuerza correctamente ejecutado muchas de las lesiones, independientemente del tipo que sean (por sobreuso, traumáticas, etc.), se podrían evitar.

A pesar de saber científicamente que el entrenamiento de fuerza mejora el rendimiento de la carrera a pie, tanto los corredores como muchos entrenadores no son conscientes todavía de los beneficios potenciales que puede traer realizar este tipo de entrenamiento, siempre y cuando se lleve a cabo con seguridad y bajo unas directrices marcadas por la ciencia.

## 2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

Podemos tener claro que cualquier mejora en la RE se asocia con un mayor rendimiento en carrera, debido a la alta correlación existente entre ambos. Conocedores de esto, se suelen buscar técnicas de entrenamiento que ayuden a mejorar la RE, teniendo siempre en cuenta los medios de los que se dispone (Saunders et al., 2016). Una de estas técnicas de entrenamiento es el trabajo de la fuerza. Son muchos los estudios que han demostrado la mejora que produce el entrenamiento de fuerza en la RE (Millet, Jaouen, Borrani, y Candau, 2002; Saunders et al., 2006; Spurrs, Murphy y Watsford, 2003; Støren, Helgerud, Støa y Hoff, 2008; Taipale et al., 2010). Balsalobre et al. (2016) pudieron observar con la realización de

sus metaanálisis el efecto beneficioso y significativo que tiene el entrenamiento de fuerza sobre la RE en corredores de media y larga distancia altamente entrenados. Pudieron observar un cambio promedio en la RE de  $-2,32 \pm 2,07$  ml/kg/min (disminución del  $\text{VO}_2$  para una misma velocidad submáxima tras la intervención de fuerza). Rønnestad y Mujika (2014) en su revisión dejan claro el efecto beneficioso que tiene el entrenamiento de fuerza en el rendimiento de corredores y ciclistas entrenados (mejora de la economía de trabajo, capacidad anaeróbica, umbral de lactato, fuerza máxima, tasa de desarrollo de la fuerza, velocidad máxima y retraso en la aparición de la fatiga o su reducción). La práctica única de entrenamiento de resistencia requiere una baja producción de fuerza, e incluso en la carrera en cuesta no se induce la máxima activación muscular de la piernas, es decir, que proporciona un estímulo diferente al del entrenamiento específico de fuerza (Taipale et al., 2010); de ahí la importancia de entrenar simultáneamente la resistencia y la fuerza para generar aumentos en la producción de fuerza rápida.

Son muchos los estudios que han analizado la influencia que tiene el entrenamiento de fuerza en disciplinas de resistencia. Centrándonos en la carrera podemos destacar diversos proyectos: Millet et al. (2002) examinaron los efectos del entrenamiento de resistencia en combinación con el entrenamiento de fuerza máxima (entrenamiento concurrente). Después del periodo de entrenamiento el grupo que realizaba entrenamiento de resistencia y de fuerza mejoró la fuerza máxima (1 RM en media sentadilla), RE (6,9%) y potencia de salto (altura de salto) en comparación con el grupo que únicamente realizaba entrenamiento de resistencia. No se obtuvieron mejoras en el consumo de oxígeno ( $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ), ni en la cinemática del  $\text{VO}_2$  en ambos grupos. Estos autores discutieron que las características del entrenamiento de fuerza máxima ( $\geq 90\%$  1 RM) puede que no sean las óptimas para mejorar la rigidez musculotendinosa, favorable en ejercicios donde se da un ciclo de estiramiento-acortamiento máximo (CEA), como por ejemplo los saltos. Saunders et al. (2006) en su estudio hallaron que la práctica de pliometría y el trabajo de fuerza con sobrecargas mejoró la RE a 18 km/h en un 4,1% en corredores altamente entrenados en comparación con el grupo control. No encontraron cambios significativos en la ventilación (VE),  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , frecuencia cardiaca (FC), coeficiente respiratorio (CR) y lactato (Lac) lo que sugiere que la mejora de la RE no es el resultado de una disminución del costo respiratorio o un cambio en el sustrato energético utilizado. Spurrs et al. (2003) realizaron un estudio similar. La combinación de entrenamiento pliométrico y de su entrenamiento de carrera habitual mejoró la RE en cada una de las velocidades medidas (12, 14 y 16 km/h) y el rendimiento en prueba de carrera de 3 km (2,7%), con respecto al grupo control que realizó únicamente su entreno de carrera normal. Tampoco se registraron cambios en el  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , ni en el umbral de lactato, pero sí en el salto con contramovimiento (CMJ), aumentando la altura de salto. Las mejoras nombradas por estos

autores parecen ser el resultado de un aumento en la rigidez musculotendinosa (stiffness) de la parte inferior de la pierna lo que conduce a una mejor potencia reactiva de esta musculatura y a la disminución del costo energético durante la carrera. Støren et al. (2008) aplicaron un programa de fuerza máxima de 8 semanas combinado con su entrenamiento de resistencia habitual. Este tipo de entrenamiento de fuerza permitió mejorar la RE (5,0%), el tiempo hasta el agotamiento a la velocidad aeróbica máxima (VAM) (21,3%), la 1 RM (33,2%) y la velocidad de desarrollo de la fuerza (26,0%), en comparación con el grupo control, el cual no exhibió cambios en ninguno de estos parámetros. No se encontraron cambios en el  $VO_{2máx}$  ni en el peso corporal. Discutieron que era razonable esperar primeramente adaptaciones y cambios neurales en los patrones de reclutamiento muscular (reclutamiento, activación y sincronización más óptima de las motoneuronas y de las fibras musculares) como principal respuesta al entrenamiento de fuerza máxima, ya que una posible respuesta hipertrófica a este tipo de trabajo sería fácilmente detectable. Esta hipertrofia conllevaría una ganancia de la masa muscular y consecuentemente un aumento del peso del cuerpo que lastraría la carrera. También incrementaría el área que ocupa la sección transversal de la fibra muscular lo que perjudica la difusión de los nutrientes y la eliminación de los productos de deshecho y la producción excesiva de calor de la célula muscular (Aagaard y Andersen, 2010; Rønnestad y Mujika, 2014). El entrenamiento simultáneo de resistencia y fuerza atenúa de forma efectiva la respuesta hipertrófica muscular que se da en mayor medida con el entrenamiento exclusivo de fuerza con cargas moderadas o altas (Aagaard y Andersen, 2010; Taipale et al., 2010). Taipale et al. (2010) llevaron a cabo un estudio con 28 corredores recreativos durante un periodo de preparación de una maratón dividiéndoles en tres grupos, (a) grupo de entrenamiento de fuerza máxima, (b) grupo de entrenamiento de fuerza explosiva y (c) grupo de entrenamiento en circuito (con el propio peso corporal). Además, todos ellos realizaron una cantidad similar de entrenamiento de resistencia (sesiones y km). Se produjeron mejoras significativas en la RE a 10 y a 12 km/h durante todo el estudio (28 semanas) en el (a) grupo de entrenamiento de fuerza máxima ( $p < 0,01$ ). Con el (b) grupo de entrenamiento de fuerza explosiva solo se produjeron mejoras significativas en RE a 10 km/h desde la semana - 6 (periodo preparatorio) hasta la semana 8 (periodo de intervención específico) ( $p < 0,05$ ). No se observaron mejoras significativas de la RE a cualquier velocidad en el (c) grupo de entrenamiento en circuito. Se mostraron también aumentos significativos de la velocidad en el  $VO_{2máx}$  ( $vVO_{2máx}$ ) en todos los grupos. Las características de los programas de entrenamiento de fuerza desarrollados en estos estudios se especifican más en profundidad en la Tabla 1.

Gómez-Molina, Ogueta, Camara, Stickley y Garcia (2018) estudiaron los efectos que tiene el entrenamiento concurrente de pliometría y de resistencia en corredores principiantes sobre

los parámetros espaciotemporales de la carrera (tiempo de contacto y de vuelo, frecuencia y longitud de paso), algo poco estudiado hasta el momento. Se analizaron también diferentes variables fisiológicas ( $VO_{2m\acute{a}x}$ , FC y RE). El grupo de resistencia + pliometría ( $n = 14$ ) llevó a cabo 8 semanas de entrenamiento concurrente (dos sesiones por semana). En comparación con el grupo control ( $n = 11$ ), el grupo de resistencia + pliometría redujo la frecuencia de paso e incrementó el tiempo de vuelo (mayor longitud de paso) mientras el tiempo de contacto permaneció constante a la misma velocidad de funcionamiento. En ambos grupos se observaron mejoras de velocidad máxima,  $VO_{2m\acute{a}x}$ , velocidad en el umbral aeróbico o umbral ventilatorio 1 (VT1) y velocidad en el umbral anaeróbico o umbral ventilatorio 2 (VT2), pero no se encontraron efectos en la RE entre pre y post intervención. El grupo de entrenamiento concurrente mejoró más la velocidad máxima y el  $VO_{2m\acute{a}x}$ .

Todas estas mejoras de las que se ha hablado son propiciadas por adaptaciones del sistema neuromuscular (mecanismos de adaptación tanto espinales como supraespinales) como el aumento del stiffness muscular, reclutamiento y sincronización de unidades motoras y coordinación intra- e intermuscular (Aagaard y Andersen, 2010; Beattie, Kenny, Lyons y Carson, 2014). Aagaard y Andersen (2010) y Rønnestad y Mujika (2014) señalan también que otros mecanismos que ayudan a mejorar el rendimiento en carrera a largo plazo cuando se da la intervención del entrenamiento de fuerza, es el aumento de la proporción de fibras musculares tipo IIA (fibras intermedias; menos fatigables y con gran capacidad de producir alta potencia contráctil) y la reducción de la proporción de fibras tipo IIB (fibras rápidas), las ganancias de fuerza máxima y de la tasa de desarrollo de la fuerza (capacidad de desarrollo de fuerza rápida) en ausencia de hipertrofia. Observaron que el entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza con atletas de alto nivel no influía en la capacidad de perfusión muscular (densidad capilar), al menos cuando el entrenamiento de fuerza se extiende hasta las 20 semanas. Esto debería estudiarse con individuos no entrenados o atletas noveles, ya que no existe un consenso claro. En cuanto a la duración de estas mejoras solamente un estudio de todos los analizados habla de ello. Taipale et al. (2010) observaron que las mejoras generales de fuerza y potencia obtenidas con el entrenamiento de fuerza de 14 semanas se mantienen por encima de los valores de preentrenamiento tras otras 14 semanas donde se produce un desentrenamiento de la fuerza ( $\approx 1$  sesión/semana) y un aumento del volumen y la intensidad del entrenamiento de resistencia.

El entrenamiento pliométrico invoca adaptaciones neurales específicas tales como una mayor activación de las unidades motoras mejorando la capacidad del músculo de generar potencia al favorecer el ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA). Este tipo de entrenamiento también tiene el potencial de aumentar la rigidez del sistema músculo-tendón, lo que permite que

nuestro sistema muscular almacene y utilice la energía elástica de manera más efectiva (Saunders et al., 2004; Saunders et al., 2006). Estas adaptaciones podrían ayudar a mejorar la RE al generar más fuerza muscular sin un aumento proporcional del requerimiento de energía metabólica y sin fomentar la hipertrofia muscular. También indicar la necesidad de poseer como corredor unos óptimos niveles de flexibilidad lo cual puede beneficiar a la RE, siempre y cuando no se comprometa en exceso el grado de rigidez muscular necesario para maximizar el almacenamiento y la utilización de la energía elástica producida (Saunders et al., 2004).

Los métodos de trabajo de la fuerza son múltiples y variados. Nos decantaremos por uno o por otro en función de nuestro objetivo y en función de la modalidad deportiva que se practique. En el caso de la carrera se busca la producción más rápida posible de la fuerza y la mejora de la capacidad de producir tiempos de contactos cortos.

Se ha estudiado que el trabajo de fuerza con sobrecargas y ejercicios pliométricos realizado tanto de manera aislada como combinada permite obtener mejoras en diferentes variables relacionadas con el desempeño neuromuscular (Folland y Williams, 2007; Sáez de Villarreal, Requena, Izquierdo y González-Badillo, 2013). Beattie et al. (2014) hablan principalmente de 3 tipos de entrenamiento de la fuerza aplicables en corredores para la mejora del rendimiento: 1. Fuerza máxima (70-90% de 1 RM y pocas repeticiones, entre 2 y 5), 2. Fuerza explosiva (30-60% de 1 RM, alta velocidad de ejecución y repeticiones entre 3 y 10), 3. Fuerza reactiva o pliometría (Ciclo estiramiento-acortamiento, CEA). Para la ejecución de estos tres tipos de trabajo es necesario la familiarización previa. Es por ello, que en corredores que se inician en el entrenamiento de fuerza se deberían proponer programas de fuerza genéricos (p. ej. circuitos, ejercicios más analíticos), e incluir poco a poco tareas de fuerza reactiva (tener en cuenta la progresión básica de trabajo de pliometría, comenzar con volúmenes bajos) (Beattie et al., 2014) con el objetivo de ir dominando progresivamente la técnica de los ejercicios. En los corredores habituados a este tipo de trabajo la carga y la velocidad de ejecución podrán incrementarse de manera progresiva a lo largo de la temporada. Rønnestad y Mujika (2014) han diferenciado entre el trabajo de fuerza para carrera y ciclismo. La combinación de entrenamiento de resistencia con el trabajo de fuerza máxima o fuerza explosiva puede mejorar el rendimiento en la carrera, mientras que en el ciclismo hay una evidencia más convincente de que la combinación de entrenamiento de resistencia con entrenamiento de fuerza máxima puede ayudar a mejorar del rendimiento. En ambas disciplinas el trabajo de fuerza, ya sea explosiva o máxima (según corresponda), debe ejecutarse con la máxima velocidad durante la fase concéntrica.

En cuanto a los programas de entrenamiento de la fuerza podemos contemplar múltiples tipos. Balsalobre et al. (2016) en su metaanálisis concluyen que un programa de entrenamiento de fuerza que contemple ejercicios de sobrecarga con intensidades bajas a altas y ejercicios pliométricos realizados 2-3 veces por semana durante 8-12 semanas, puede resultar una estrategia apropiada para mejorar la RE en los corredores altamente entrenados de media y larga distancia. Cuatro de los cinco estudios que analizaron utilizaron intensidades de entrenamiento bajas a moderadas (40-70% de 1 RM), y todos utilizaron un volumen de entrenamiento bajo a moderado (2-4 ejercicios de sobrecarga para los miembros inferiores - 1-3 series de 4-10 repeticiones, 2-6 ejercicios pliométricos sin carga -  $\leq 200$  saltos y 5-10 esprines cortos - 20-150 metros), evitando en todo momento llegar al fallo. La duración de los entrenamientos varió de 15 a 90 minutos. Rønnestad y Mujika (2014) hablan de realizar 2-3 series de entre 4 y 10 repeticiones de los ejercicios que se propongan con aproximadamente 2-3 minutos de descanso entre series. Debe ser necesario que los atletas hayan desarrollado la técnica de levantamiento adecuada con cargas más ligeras para comenzar a efectuar los ejercicios con cargas más pesadas y a alta velocidad. Teniendo en cuenta que es imprescindible que los corredores trabajen la resistencia, se debe buscar la correcta proporción entrenamiento de resistencia:entrenamiento de fuerza. Balsalobre et al., (2016) hablan de una relación general entrenamiento de resistencia:entrenamiento de fuerza de 3:1, es decir, por cada tres sesiones de resistencia una de fuerza. Esto supone que aproximadamente el 30% de las sesiones totales son de fuerza, con la intención de evitar en la medida de lo posible las interferencias que se producen por la realización simultánea de entrenamiento de resistencia y de fuerza.

En la Tabla 1 se muestran algunos de los estudios que han analizado los efectos que el entrenamiento de fuerza tiene en la economía de carrera en atletas de diferente nivel (Millet et al., 2002; Saunders et al., 2006; Spurrs et al., 2003; Støren et al., 2008; Taipale et al., 2010). Se exponen las características de los programas de entrenamiento utilizados en estos estudios.

**Tabla 1.** Características de los programas de entrenamiento de fuerza.

Estudio	Nivel de los atletas*	Tipo de programa	Ejercicios/Contenidos del programa	Semanas de intervención	Sesiones por semana	Duración de la sesión
Millet et al. (2002)	7 triatletas altamente entrenados	SOB	SOB (curl de isquiotibial, press de pierna en prensa, press sentado, sentadilla paralela, extensión de rodilla y elevación de talón; 2 series de calentamiento + 3-5 series/3-5 reps/ $\geq$ 90% 1RM).	14	2	Hasta completar el total de reps. fijadas
Spurrs et al. (2003)	8 corredores moderadamente entrenados	PLI	PLI (60-180 multisaltos/rebotes/hops en plano horizontal y vertical (mínimo tiempo de contacto))	6	1 <sup>o</sup> -3 <sup>o</sup> semanas → 2 sesiones 4 <sup>o</sup> -6 <sup>o</sup> semanas → 3 sesiones	Hasta completar el total de reps. fijadas
Saunders et al. (2006)	7 corredores altamente entrenados	PLI/SOB	PLI (saltos alternos, salto a una altura, saltos con un solo pie, CMJ, saltos de valla y saltos de tijera; 1-2 series/6-15 reps; 36-180 saltos totales); SOB (press de pierna y curl de isquiotibial; 1-2 series/6-10 reps).	9	3	30 min
Støren et al. (2008)	4 corredores y 4 corredoras bien entrenados	SOB	Fuerza máxima Media sentadilla (4 series de 4 RM)	8	3	Hasta completar el total de reps. fijadas

Taipale et al. (2010)	28 corredores recreativos (n = 11 fuerza máxima; n = 10 fuerza explosiva; n = 7 entrenamiento en circuito).	SOB/ PCOR	Preparación de un maratón Periodo preparatorio: 2-3 series/10-15 reps/50-70% 1 RM Periodo específico: según grupo de trabajo Periodo de reducción de fuerza: según grupo de trabajo	6 – periodo preparatorio 8 – periodo de intervención específico 14 – periodo de reducción de fuerza	1 - 2	Hasta completar el total de reps. fijadas
-----------------------	---	--------------	--	---	-------	---

PLI = entrenamiento pliométrico; SOB = entrenamiento con sobrecargas; PCOR = entrenamiento con el propio peso corporal; CMJ = salto con contramovimiento; reps = repeticiones; RM = repetición máxima; \*se contabilizan únicamente los sujetos que realizan el entrenamiento de fuerza, no los del grupo control, en caso de que exista.

La RE resulta un mejor predictor del rendimiento que el  $VO_{2m\acute{a}x}$  en corredores de alto nivel, ya que en este tipo de corredores los valores de  $VO_{2m\acute{a}x}$  son elevados y homogéneos (Bosquet, Leger y Legros, 2002; Saunders et al., 2004). Existe una considerable variabilidad interindividual de la economía tanto en la carrera (RE) como en el ciclismo en sujetos con un  $VO_{2m\acute{a}x}$  similar, por ello es probable que cualquier mejora en la economía se asocie con un mejor rendimiento en resistencia a largo plazo (Rønnestad y Mujika, 2014). Se ha podido observar que existe una relación inversa entre el  $VO_{2m\acute{a}x}$  y la economía de funcionamiento tanto en la carrera como en el ciclismo (Hunter et al., 2005; Lucía, Hoyos, Pérez, Santalla y Chicharro, 2002) y que “los atletas con menor  $VO_{2m\acute{a}x}$  lo pueden compensar con una mejor economía” (Ogueta y García, 2016, p. 288). Otro aspecto a tener en cuenta es que el  $VO_{2m\acute{a}x}$  aumenta aproximadamente hasta los 20 años, y posteriormente va disminuyendo de manera progresiva con el paso de la edad (menos de 1% al año, y más si no se hace un trabajo específico). Al contrario, se ha podido observar que la economía de carrera mejora con la edad (Midgley, McNaughton y Jones, 2007; citado en Ogueta y García, 2016, p. 288).

El umbral anaeróbico o umbral ventilatorio 2 (VT2) tiende a tomarse como un valor representativo del nivel de entrenamiento aeróbico. El VT2 “hace referencia a la máxima intensidad de esfuerzo que un sujeto puede mantener de manera prolongada en el tiempo” (Ogueta y García, 2016, p. 287). Por lo tanto, un deportista con un VT2 más alto va a poder mantener en el tiempo una velocidad de carrera más elevada que la de sus contrincantes, lo

que supone un mayor rendimiento. A su vez, este umbral es dependiente de la economía de carrera. Una mejora de esta va a provocar un incremento del umbral anaeróbico (Bosquet et al., 2002).

Aún en día se pasa por alto el papel del entrenamiento de fuerza en la prevención y rehabilitación de lesiones musculoesqueléticas (Shaw, Shaw, Brown, y Shariat, 2016). Atendiendo a esto, podemos determinar que el trabajo de fuerza en todas sus manifestaciones (concéntrico, excéntrico e isométrico) queda definido como una medida de prevención primaria de estas (Casáis, 2008). La propia práctica de la carrera conlleva implícito el riesgo de que se produzca alguna lesión deportiva (tanto la etiología como el tipo de lesión son múltiples). Es obligación de los propios corredores y entrenadores minimizar este riesgo. En primer lugar debería buscarse el equilibrio armónico entre los diferentes grupos musculares favoreciendo la función fijadora de las articulaciones (Casáis, 2008). Por ejemplo, atendiendo al ratio isquiosurales/cuádriceps, podemos saber que la musculatura de la cadena posterior (isquiosurales) es más débil que la musculatura de la cadena anterior (cuádriceps). Este desequilibrio es un factor que incrementa el riesgo de lesión de la extremidad inferior, más vulnerable aún cuando nos encontramos en fatiga. Otras adaptaciones promovidas por el entrenamiento de fuerza que podrían ayudar en la prevención y la rehabilitación de lesiones musculoesqueléticas serían el aumento de la integridad estructural y la fuerza de unión de ligamentos, tendones, cartílagos articulares y tejido conectivo que rodea las fibras musculares (Shaw et al., 2016).

---

### **3. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS**

---

#### **▪ OBJETIVOS**

##### **○ Objetivos generales**

- ✓ Diseñar un programa de entrenamiento de fuerza de 8 semanas basándose en la bibliografía científica existente y adaptado a las características y necesidades de los participantes.
- ✓ Analizar los efectos que tiene el entrenamiento de fuerza sobre la cualidad aeróbica en la carrera.

○ **Objetivos específicos**

- ✓ Conocer la influencia que tiene la aplicación de un entrenamiento de fuerza de 8 semanas en la economía de carrera,  $VO_{2max}$  y los umbrales ventilatorios.
- ✓ Determinar los efectos del programa de fuerza realizado sobre la capacidad de salto de los corredores.

▪ **COMPETENCIAS**

A continuación se reflejan las competencias relacionadas con la elaboración de este Trabajo de Fin de Máster (TFM). Estas han sido seleccionadas entre todas las que se proponen en la Guía Docente de esta asignatura final del Máster (FCAFD, 2017).

○ **Competencias específicas**

- ✓ Elaborar, presentar y defender ante una Comisión de Evaluación, un trabajo original realizado individualmente, en el que se sinteticen y manifiesten las competencias adquiridas en las enseñanzas de Máster recibidas.

○ **Competencias generales y transversales**

- ✓ Aplicar las más novedosas metodologías de entrenamiento de manera sistemática y adaptada a las necesidades de un deportista/grupo, programando actividades de preparación en función de las particularidades y requerimientos de una disciplina deportiva concreta.
- ✓ Cuantificar y controlar cargas de entrenamiento y competición, como base para planificar de manera científica los estímulos de preparación y programas de ejercicio encaminados a la mejora del rendimiento.
- ✓ Gestionar y liderar grupos humanos manifestando empatía y habilidad en las relaciones interpersonales.
- ✓ Desarrollar la capacidad de adaptación y resolución de problemas, trasladando los conocimientos adquiridos a nuevos contextos, diferentes situaciones y casos prácticos.
- ✓ Manejar la bibliografía científica específica, utilizando herramientas de búsqueda y acceso a documentación especializada.
- ✓ Manifestar compromiso ético y motivación por la calidad y búsqueda de la excelencia en el desarrollo de actividades profesionales.

○ **Competencias básicas**

- ✓ Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.
- ✓ Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones (y los conocimientos y razones últimas que las sustentan) a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

---

## **4. METODOLOGÍA**

---

### **4.1. Participantes**

---

En el estudio participaron diez sujetos varones físicamente activos (media  $\pm$  *SD*: edad 20.4  $\pm$  2.2 años, peso 78.4  $\pm$  8.2 kg, altura 180.8  $\pm$  6.3 cm). Los sujetos realizaban antes del estudio 3-4 días de actividad física recreacional (aproximadamente 60 min por día). Únicamente dos de los sujetos realizaron previamente al estudio un entrenamiento específico de carrera, el resto normalmente participaba en deportes colectivos, deportes de raqueta o practicaba senderismo. Salvo un participante, ninguno había tenido experiencia directa con el entrenamiento específico de la fuerza del tren inferior. Todos los sujetos participaron de manera voluntaria en el estudio y firmaron el consentimiento informado antes de empezar el mismo.

El lugar de residencia era algo común a todos los participantes (concretamente, la Residencia Juvenil Infanta Doña Sancha, en la ciudad de León), por lo que los hábitos alimenticios fueron similares, y el seguimiento del entrenamiento semanal de los sujetos resultó más fácil. La disponibilidad de gimnasio con amplio material dentro de esta residencia hizo más factible la puesta en práctica del programa de fuerza.

### **4.2. Diseño experimental**

---

Todos los sujetos fueron sometidos a un periodo de entrenamiento de fuerza de unas 8 semanas de duración. El entrenamiento consistió en la realización de un trabajo específico de fuerza con sobrecargas y multisaltos. Además, este entrenamiento se compaginó con la actividad física habitual de los sujetos. Una semana antes y una semana después de iniciar y acabar el programa de entrenamiento, respectivamente, los sujetos fueron sometidos a diversas pruebas de laboratorio para valorar su calidad aeróbica y la fuerza de la extremidad

inferior. Se realizó un test incremental hasta el agotamiento para valorar la capacidad aeróbica máxima y la resistencia aeróbica de los sujetos. Previamente a la realización de este test los sujetos efectuaron un test submáximo a 10 y 12 km/h para determinar la economía de carrera. En otra sesión de valoración se determinó la fuerza de la extremidad inferior a través de diferentes test de saltos. Todos los test fueron realizados a la misma hora del día (11 a 14 h) y bajo las mismas condiciones (20-22°C, 10-20% humedad relativa). Además se estandarizó el calentamiento previo a los test realizados. Este consistió en 5 minutos de carrera continua a 8-10 km/h seguido de 5 minutos de movilidad articular y estiramientos.

#### **4.2.1. Intervención – Tipo de Pruebas realizadas**

Se llevaron a cabo tres tipos de pruebas de laboratorio para valorar la cualidad aeróbica y la fuerza de la extremidad inferior, realizadas antes y después de la intervención de fuerza. El protocolo de valoración quedó estipulado de antemano para ambos momentos de evaluación (pre y post).

- **Prueba incremental máxima** – Se trata de una prueba de carrera realizada en tapiz rodante (HP Cosmos Pulsar; HP Cosmos Sports and Medical GMBH, Nussdorf-Traunstein, Germany) donde se aumentó la velocidad hasta el agotamiento volitivo de los sujetos. La velocidad inicial se estableció a 6 km·h<sup>-1</sup> y cada minuto se incrementó en un 1 km·h<sup>-1</sup> hasta que los participantes no pudieron mantener la velocidad fijada. La pendiente de la cinta permaneció constante a un 1% a lo largo de la prueba. La frecuencia cardiaca fue registrada cada 5 s (Polar Team; Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Además, se registraron los valores de RPE, utilizando la escala de Borg de 0 a 10, en los últimos 10 s de cada escalón y se monitorizaron los gases respirados respiración a respiración (Medisoft Ergocard; Medisoft Group, Sorinnes, Belgium). Los valores de consumo máximo de oxígeno fueron aquellos de mayor valor cuando los datos se promediaron cada 30 s. Por último, se determinaron los umbrales ventilatorios atendiendo a la metodología descrita por Davis (1985). El umbral ventilatorio fue considerado como el punto donde tanto el equivalente del O<sub>2</sub> y la presión end-tidal del O<sub>2</sub> se incrementaron por primera vez. El umbral de compensación respiratoria (RCT) o umbral anaeróbico se determinó cuando se produjo un incremento del equivalente ventilatorio del O<sub>2</sub> junto con el del CO<sub>2</sub> y un descenso de la presión end-tidal del CO<sub>2</sub>.
- **Prueba submáxima** – Consistió en correr (HP Cosmos Pulsar; HP Cosmos Sports and Medical GMBH, Nussdorf-Traunstein, Germany) a dos velocidades, 10 y 12 km·h<sup>-1</sup>, durante 3 min dejando un tiempo de recuperación de 3 min entre ambas

intensidades. Durante toda la prueba se analizaron respiración a respiración los gases respirados (Medisoft Ergocard; Medisoft Group, Sorinnes, Belgium) y la FC cada 5 s (Polar Team; Polar Electro Oy, Kempele, Finland). La RPE fue registrada en los últimos 10 s de cada minuto de prueba utilizando la misma escala que en la prueba incremental. Los datos analizados se promediaron cada 1 min y los valores alzados durante el último minuto de prueba fueron utilizados para el análisis posterior. La economía de carrera fue analizada en ambas velocidades ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ ) y se consideró también para el análisis el mejor valor obtenido.

- **Test de saltos** – Se adaptó la batería de saltos realizada por Gómez-Molina et al. (2018) en su estudio. Después de un periodo de familiarización de unos 5 minutos para garantizar una técnica de salto adecuada, los sujetos realizaron tres pruebas de saltos para determinar la fuerza de la extremidad inferior: 1) tres saltos con contramovimiento (Countermovement Jump – CMJ), 2) tres saltos desde una posición de sentadilla estática con un ángulo de flexión de rodilla en torno a  $90^\circ$  (Squat Jump – SJ) y 3) unos 10 segundos, 12-15 saltos con las rodillas tan estiradas como sea posibles (Repeat Jump – RJ; “salto de tobillo”). Los registros se llevaron a cabo sobre una plataforma de contacto láser (SportJUMP System PRO®, DSD Inc., León, Spain) y un software específico (SportJUMP 3, DSD Inc., León, Spain) permitió el análisis de la altura de salto (cm) y el tiempo de contacto (ms).

Para la medición del RJ fue necesario adecuarse al ritmo marcado por un metrónomo (100 bpm). Para ello, los sujetos empezaron a saltar adaptando el ritmo de salto a la frecuencia marcada durante los 3-4 primeros saltos. Estos primeros saltos fueron excluidos del análisis.

Se estableció una recuperación de al menos 1 minuto entre cada tipo de salto. Todos los saltos se realizaron con las manos sobre las caderas para evitar la influencia del impulso de los brazos en la ganancia de la altura de salto.

#### **4.2.2. Programa de fuerza**

Su diseño, puesta en práctica y seguimiento semanal son elementos que aportan esa orientación profesional de la que hablábamos en la introducción. Para su diseño se ha hecho alusión a la bibliografía, centrándonos en estudios con una metodología similar y adaptándola a nuestras circunstancias. Basándonos en la literatura científica decidimos combinar el entrenamiento de fuerza con sobrecargas con el del pliometría. Los ejercicios se escogieron siendo conscientes en todo momento de la disciplina deportiva con la que trabajábamos, la

carrera de fondo y medio fondo. De acuerdo con Rønnestad y Mujika (2014) los ejercicios de entrenamiento de fuerza deben involucrar grandes grupos musculares e imitar o guardar similitud con los movimientos específicos del deporte.

Desde el punto de vista biomecánico la carrera es una combinación de movimientos tanto de cadena cinética abierta (fase de oscilación de la zancada) como cerrada (fase de apoyo e impulso), por lo que se deben contemplar ejercicios de ambos tipos de cadena cinética. En nuestro caso hemos dado más importancia a ejercicios multiarticulares de cadena cinética cerrada como son la sentadilla o el hip thrust, siempre presentes en nuestras sesiones de entrenamiento. Otro elemento a tener en cuenta es la alta velocidad de ejecución de los ejercicios con la intención de buscar una mayor activación de las fibras rápidas y adaptaciones de tipo neural (Santos, 2018). Debido a que la carrera es una actividad donde el impulso y el apoyo se realizan alternadamente con una sola pierna y existe fase de vuelo resulta de gran importancia realizar ejercicios unilaterales. En la Tabla 2 podemos observar los distintos ejercicios que se realizaron cada semana, así como las series y repeticiones ejecutadas de cada uno.

Para la cuantificación del peso a levantar, se desestimó el cálculo de la repetición máxima (RM) a pesar de que algunos autores la calculan para los ejercicios utilizados (Støren et al., 2008). Se tomó la decisión de no calcular la RM debido a que los participantes eran principiantes en el trabajo de fuerza y lo que debía primar era el aprendizaje de la correcta ejecución técnica. Además, la RM puede variar considerablemente de una sesión a otra. Debido a que no poseíamos tampoco ningún elemento que nos permitiese medir la velocidad de ejecución (p. ej. encoders) se monitorizó la intensidad del entrenamiento de la fuerza mediante la percepción subjetiva de la velocidad. Este método ha sido estudiado y validado con el ejercicio del press de banca (Herrera, 2013). El incremento progresivo del peso a levantar nos llevó a disminuir las series y las repeticiones en algunos de los ejercicios pero siempre teniendo en cuenta los tiempos de descanso entre series (~ 1-2 min).

**Tabla 2.** Programa de entrenamiento de fuerza (SOB + PLI) de 8 semanas (2 días por semana).

Ejercicios	Semanas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Sobrecarga (SOB)</b>								
Sentadilla	4 x 8	4 x 6	4 x 6	4 x 6	3 x 5	3 x 5	3 x 5	3 x 5
Hip thrust	4 x 8	4 x 6	4 x 6	4 x 6	3 x 5	3 x 5	3 x 5	3 x 5
Split squat/zancada vertical	4 x 15	4 x 6			3 x 6			
Swing de Kettlebell	4 x 15					3 x 8		
Sentadilla búlgara		4 x 6	4 x 6	3 x 6	3 x 6		3 x 5	3 x 5
Lunges			4 x 6					
Curl de isquiotibial (con una pierna)				3 x 6				
Step ups/subida al banco						3 x 8		
Elevación de talón sentado (sóleo)							3 x 8	3 x 8
<b>Pliometría (PLI)</b>								
Salto a una altura	4 x 8							
Jumping lunges	4 x 8					4 x 8		
CMJ	4 x 8	2 x 8					2 x 8	2 x 8
Salto de vallas con pies juntos		6 x 6 saltos	6 x 6 saltos	6 x 6 saltos				
Salto con una pierna		4 x 8	4 x 8	4 x 8	4 x 8	4 x 8		
DJ							2 x 8	2 x 8
Subida de escaleras saltando					8 x 10 saltos			

Series x repeticiones; CMJ = salto con contramovimiento; DJ = Drop jump o salto con caída previa; en ejercicios unilaterales las series se completan para las dos piernas.

La sesión de entrenamiento se dividió en tres partes (Anexo I). Una primera parte (~ 15 min) donde se llevó a cabo el calentamiento dividido en calentamiento general con ejercicios de movilidad articular, activación del core, con el propio peso corporal, estiramientos dinámicos, juegos en grupo, etc., y calentamiento específico con ejercicios de técnica de carrera. Una segunda parte, la parte principal, donde se desarrollaron los ejercicios con sobrecargas y pliométricos, en ese orden. Por último, la parte final o vuelta a calma donde se buscaba la reducción progresiva de la intensidad del esfuerzo con actividades como la carrera suave, elíptica, bicicleta estática, estiramientos pasivos o dinámicos, masaje con foam roller, etc. (a elección del participantes). Decidimos fijar los días y el horario de realización de las sesiones de entrenamiento de fuerza a los lunes y miércoles de 20 h a 21 h. Dos semanas antes del comienzo de la intervención se llevaron a cabo varias sesiones de familiarización con el objetivo de alcanzar una buena técnica de ejecución de los ejercicios que se iban a emplear en el programa. Durante la intervención también se atendió a distintas progresiones en la ejecución de las tareas como por ejemplo la progresión básica de pliometría (antes de saltar es imprescindible aprender a caer/recepcionar).

Resultó primordial llevar a cabo un seguimiento semanal de los participantes para conocer la carga de trabajo que suponía su entrenamiento normal y el entrenamiento de fuerza prescrito. McGuigan y Foster (2004) mostraron que la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) de la sesión es una herramienta de evaluación práctica y precisa que puede ser utilizada por entrenadores y atletas para monitorizar la intensidad del entrenamiento de fuerza. La RPE de la sesión permite al deportista proporcionar información de cuán duro fue el entrenamiento (Figura 3). En base a esto se decidió utilizar la RPE sesión para monitorizar la carga de entrenamiento. Cada sujeto anotó en la planilla que le era entregada semanalmente (Anexo II) el tipo de actividad realizada, el tiempo invertido y la RPE. La calificación de la RPE sesión se tomó aproximadamente 30 minutos después de la finalización del entrenamiento. La carga de cada entrenamiento o competición resultó de la multiplicación del tiempo invertido por el valor de RPE (0-10) dado, expresada en unidades arbitrarias (UA). La carga total de la semana surgía de sumar la carga que había supuesto cada una de las actividades realizadas en esos siete días.

Los participantes cumplieron todas las sesiones establecidas, por lo que se decidió no fijar una tasa de participación.

0	REPOSO TOTAL	
1	MUY SUAVE	
2	SUAVE	
3	MODERADO	
4	ALGO DURO	
5	DURO	
6		
7	MUY DURO	
8		
9	MUY MUY DURO	
10	ESFUERZO MÁXIMO	

Figura 3. Escala modificada de Borg (calificación de la percepción subjetiva del esfuerzo, RPE).

### 4.3. Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar. La normalidad de la muestra se determinó utilizando la prueba de Shapiro-Wilk. Los resultados obtenidos fueron comparados usando la prueba t de Student para muestras relacionadas. Las relaciones entre variables se determinaron mediante el coeficiente de correlación de Pearson. El intervalo de confianza al 90% fue calculado en todas las relaciones obtenidas. Los valores de  $p < 0.05$  fueron considerados como estadísticamente significativos. El software estadístico SPSS+ v.24.0 fue usado para este análisis.

## 5. RESULTADOS

Tras la realización de las pruebas descritas en el apartado anterior (Pre- y Post- programa de fuerza) y el tratamiento de los datos de cuantificación de la carga de entrenamiento se han podido determinar los resultados correspondientes.

La carga de entrenamiento media semanal realizada fue de  $1387.2 \pm 437.9$  UA. El entrenamiento de fuerza realizado supuso aproximadamente el 40% del entrenamiento total ( $520.6 \pm 129.1$  y  $862.9 \pm 430.2$  UA en el entrenamiento de fuerza y el resto de entrenamiento realizado, respectivamente). En la Figura 4 y 5 se muestra la evolución media semanal de la carga de entrenamiento realizada durante las 8 semanas que duró el estudio.

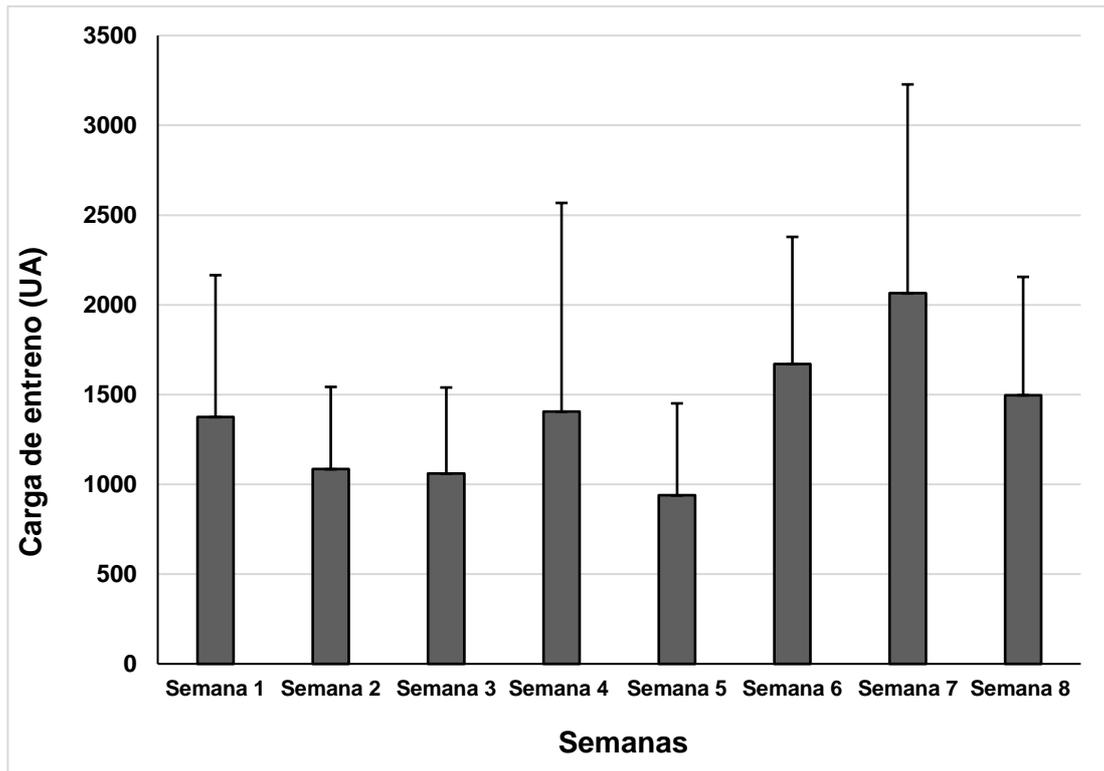


Figura 4. Evolución de la carga de entrenamiento media semanal.

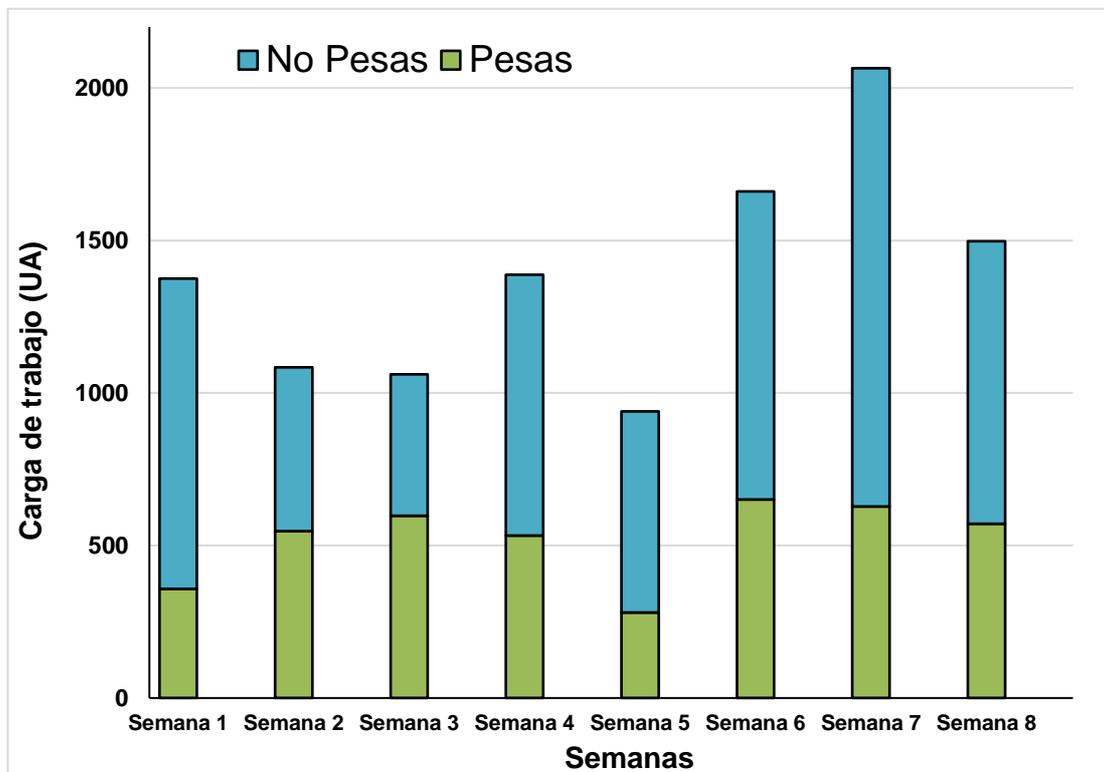


Figura 5. Relación entre la carga media semanal dedicada al entrenamiento de fuerza y el resto de entrenamiento realizado en el estudio.

No se hallaron diferencias significativas en ninguna de las variables relacionadas con el metabolismo aeróbico tras la realización del periodo de intervención. Los valores máximos (Tabla 3), en el umbral anaeróbico (Tabla 4) y aeróbico (Tabla 5) fueron similares en el pretest y postest. Del mismo modo, las variables analizadas en las pruebas submáximas fueron similares (Tabla 6 y 7). La mejor economía de carrera analizada en cada uno de los sujetos no cambió tras el periodo de intervención ( $205.6 \pm 10.4$  y  $209.1 \pm 11.6$  ml/kg/km en el pretest y postest, respectivamente).

Se obtuvieron correlaciones significativas ( $r=-0.73$  [-0.93; -0.31],  $p<0.05$ ) entre el incremento del  $VO_{2max}$  y la mejora de la economía de carrera. Así mismo, la carga de entrenamiento de fuerza se correlacionó con el incremento de la velocidad en el umbral anaeróbico ( $r=0.65$  [0.16; 0.89],  $p<0.05$ ) y la mejora en la economía de carrera de los sujetos ( $r=0.63$  [0.07; 0.89],  $p=0.09$ ). La relación establecida entre la carga total del entrenamiento de fuerza y el porcentaje de mejora en el umbral anaeróbico y la economía de carrera fue definida por las siguientes ecuaciones:

$$y = 0.0022x - 12.073$$

$$y = 0.002x - 11.104$$

donde  $y$  indica el porcentaje de mejora del rendimiento y  $x$  es la carga total de fuerza realizada por los sujetos del estudio.

**Tabla 3.** Valores máximos (media  $\pm$  SD) analizados en las pruebas de esfuerzo realizadas antes y después del periodo de intervención.

	<b>Prueba inicial</b>	<b>Prueba final</b>
<b>Velocidad (km/h)</b>	18.1 $\pm$ 1.5	18.1 $\pm$ 1.4
<b>VO<sub>2máx</sub> (ml/kg/min)</b>	56.5 $\pm$ 6.1	56.9 $\pm$ 5.0
<b>FC (ppm)</b>	196 $\pm$ 5	197 $\pm$ 4

VO<sub>2max</sub>, consumo máximo de oxígeno; FC, frecuencia cardiaca.

**Tabla 4.** Valores (media  $\pm$  SD) en el umbral anaeróbico antes y después del periodo de intervención.

	<b>Prueba inicial</b>	<b>Prueba final</b>
<b>Velocidad (km/h)</b>	14.4 $\pm$ 1.1	14.0 $\pm$ 1.2
<b>% Velocidad máxima</b>	79.9 $\pm$ 3.3	78.6 $\pm$ 2.7
<b>VO<sub>2</sub> (ml/kg/min)</b>	47.2 $\pm$ 4.8	47.5 $\pm$ 4.2
<b>% VO<sub>2</sub>máx</b>	83.6 $\pm$ 3.0	83.5 $\pm$ 3.3
<b>FC (ppm)</b>	183 $\pm$ 5	183 $\pm$ 6
<b>% FC máxima</b>	93.3 $\pm$ 1.5	93.2 $\pm$ 2.5
<b>RPE</b>	6.3 $\pm$ 1.2	6.4 $\pm$ 1.1

**Tabla 5.** Valores (media  $\pm$  SD) en el umbral aeróbico antes y después del periodo de intervención.

	<b>Prueba inicial</b>	<b>Prueba final</b>
<b>Velocidad (km/h)</b>	10.7 $\pm$ 0.9	10.6 $\pm$ 0.8
<b>% Velocidad máxima</b>	59.5 $\pm$ 5.7	59.7 $\pm$ 3.9
<b>VO<sub>2</sub> (ml/kg/min)</b>	36.3 $\pm$ 4.5	37.0 $\pm$ 3.4
<b>% VO<sub>2</sub>máx</b>	64.5 $\pm$ 7.2	65.1 $\pm$ 4.5
<b>FC (ppm)</b>	161 $\pm$ 10	163 $\pm$ 9
<b>% FC máxima</b>	81.9 $\pm$ 4.7	82.7 $\pm$ 4.2
<b>RPE</b>	3.1 $\pm$ 1.1	3.3 $\pm$ 0.8

**Tabla 6.** Variables analizadas (media  $\pm$  SD) en la prueba submáxima a 10 km/h.

	<b>Prueba inicial</b>	<b>Prueba final</b>
<b>VO<sub>2</sub> (ml/kg/min)</b>	36.0 $\pm$ 2.9	35.9 $\pm$ 2.3
<b>% VO<sub>2</sub>máx</b>	64.2 $\pm$ 6.4	63.5 $\pm$ 6.1
<b>Economía (ml/kg/km)</b>	216.2 $\pm$ 17.2	215.4 $\pm$ 13.8
<b>VO<sub>2</sub>máx/Economía (km/h)</b>	15.7 $\pm$ 1.6	15.9 $\pm$ 1.7
<b>FC (ppm)</b>	152 $\pm$ 9	153 $\pm$ 10
<b>RPE</b>	1.9 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 0.9

**Tabla 7.** Variables analizadas (media  $\pm$  SD) en la prueba submáxima a 12 km/h.

	<b>Prueba inicial</b>	<b>Prueba final</b>
<b>VO<sub>2</sub> (ml/kg/min)</b>	41.9 $\pm$ 2.4	42.2 $\pm$ 2.1
<b>% VO<sub>2</sub>máx</b>	74.6 $\pm$ 5.7	74.6 $\pm$ 5.5
<b>Economía (ml/kg/km)</b>	209.4 $\pm$ 12.1	211.2 $\pm$ 10.7
<b>VO<sub>2</sub>máx/Economía (km/h)</b>	16.2 $\pm$ 1.2	16.2 $\pm$ 1.2
<b>FC (ppm)</b>	168 $\pm$ 9	169 $\pm$ 10
<b>RPE</b>	2.9 $\pm$ 0.9	3.2 $\pm$ 1.3

Tanto el CMJ como el SJ mejoraron significativamente ( $p < 0.05$ ) después del programa de entrenamiento realizado (Tabla 8). No se encontraron diferencias significativas en el índice de utilización excéntrica ni en el stiffness.

**Tabla 8.** Evolución del salto en el periodo de intervención (media  $\pm$  SD).

	Prueba inicial	Prueba final
<b>CMJ (altura en cm)</b>	33.6 $\pm$ 5.7	37.4 $\pm$ 5.5*
<b>SJ (altura en cm)</b>	28.4 $\pm$ 3.7	30.2 $\pm$ 3.9*
<b>Índice de utilización excéntrica</b>	1.18 $\pm$ 0.08	1.24 $\pm$ 0.11
<b>Stiffness (kN/m)</b>	21.5 $\pm$ 2.8	23.2 $\pm$ 3.7

CMJ, salto con contramovimiento; SJ, salto sin contramovimiento; Índice de utilización excéntrica, ratio entre el CMJ y SJ. \* diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

---

## 6. DISCUSIÓN

---

El presente estudio muestra la influencia que tiene la adhesión del entrenamiento de fuerza al entrenamiento habitual de un grupo de deportistas con poca experiencia en la carrera, es decir, corredores amateur. A diferencia de otros estudios (Millet et al., 2002; Saunders et al., 2006; Spurrs et al., 2003; Støren et al., 2008; Taipale et al., 2010) no encontramos mejoras significativas en la RE entre el pretest y posttest, respondiendo negativamente a nuestra hipótesis de que el entrenamiento de fuerza mejora la RE. Tampoco se encontraron cambios relevantes en los valores máximos (velocidad,  $VO_{2m\acute{a}x}$  y FC), ni en los valores del umbral aeróbico y anaeróbico. Podemos declarar entonces que con este tipo de intervención y este tipo de deportistas no se hallaron diferencias significativas en ninguna de las variables relacionadas con el metabolismo aeróbico. Pensamos que esto es debido a que el estímulo de entrenamiento fue demasiado reducido, quedándose por debajo del mínimo con el que existiría mejora. Teniendo en cuenta las directrices expuestas por Balsalobre et al. (2016) en su metaanálisis donde se habla de hasta 200 saltos por sesión e intervenciones de 8-12 semanas, 2-3 sesiones por semana para atletas altamente entrenados y otros estudios de

entre 8-14 semanas y normalmente 2-3 sesiones semanales con corredores desde moderadamente hasta altamente entrenados (Millet et al., 2002; Saunders et al., 2006; Støren et al., 2008) podemos determinar que la dosis de trabajo (volumen, intensidad y frecuencia) fue escasa o que se estuvo en el límite inferior de la periodización de otros estudios (8 semanas, 2 días/semana). Por ejemplo, nosotros realizábamos únicamente entre 100-120 saltos por sesión sin llegar en ningún momento al techo del que se habla de 200 saltos/sesión. Es importante tener en cuenta que nuestros participantes no tenían experiencia en el entrenamiento de fuerza y eran corredores principiantes, por lo que había que adaptar la intervención a las circunstancias. Si bien, autores como Beattie et al. (2014) hablan de periodos de intervención a largo plazo (> 6 meses) para una transferencia verdaderamente óptima al rendimiento.

Sin embargo, se encontraron mejoras significativas en la altura de salto del CMJ y el SJ ( $p < 0.05$ ), tal como en el estudio de Spurrs et al. (2003). También se observaron correlaciones significativas ( $r = -0.73$  [-0.93; -0.31],  $p < 0.05$ ) entre el incremento del  $VO_{2max}$  y la mejora de la economía de carrera, lo que se corresponde con la relación inversa entre el  $VO_{2max}$  y la economía de funcionamiento de la que hablan Hunter et al. (2005) y Lucía et al. (2002). Así mismo, la carga de entrenamiento de fuerza se correlacionó con el incremento de la velocidad en el umbral anaeróbico ( $r = 0.65$  [0.16; 0.89],  $p < 0.05$ ) y la mejora en la economía de carrera de los sujetos ( $r = 0.63$  [0.07; 0.89],  $p = 0.09$ ). Este hecho evidenció que a los sujetos que el entrenamiento de fuerza les supuso más carga, obtuvieron mayores mejoras de la velocidad en el umbral anaeróbico y la RE. El umbral anaeróbico es, a su vez, dependiente de la RE. Una mejora de esta provoca un incremento de dicho umbral (Bosquet et al., 2002). El stiffness no se incrementó de manera significativa, lo que nos puede ayudar a comprender por qué la RE tampoco mejoró, ya que un buen stiffness de la extremidad inferior se asocia con una mejor RE, por la capacidad de esta de actuar como un “muelle” y aprovechar de manera más eficiente la energía elástica producida en cada zancada.

Bien es sabido que el entrenamiento de resistencia a largo plazo y la maduración mejoran la RE en atletas no entrenados. En cambio, los atletas de resistencia altamente entrenados poseen un margen estrecho de incremento de la capacidad aeróbica, por lo que la mejora de la RE en este grupo puede no ser significativa (Millet et al., 2002). En algunos de los estudios realizados con atletas moderadamente o altamente entrenados se encuentran mejoras en la RE pero no en el  $VO_{2max}$  después de un periodo de entrenamiento concurrente de resistencia y pliometría (Saunders et al., 2006; Spurrs et al., 2003). La diferencia entre estos dos estudios y el presente fue que los sujetos que participaron en ambos trabajos fueron corredores moderadamente o altamente entrenados, mientras que en nuestro estudio los participantes

eran sujetos físicamente activos pero no tenían experiencia previa en el entrenamiento específico de carrera ni de fuerza. Referente a esto se puede indicar que los participantes principiantes con un  $VO_{2m\acute{a}x}$  bajo o medio tiendan a aumentar antes sus valores de  $VO_{2m\acute{a}x}$  que la RE, mientras que en los sujetos moderadamente o altamente entrenados donde el  $VO_{2m\acute{a}x}$  ya es elevado se esperan mayores mejoras de RE (Gómez-Molina et al., 2018; Saunders et al., 2006; Spurrs et al., 2003). Es el caso de alguno de nuestros participantes que en el pretest obtuvieron un valor de  $VO_{2m\acute{a}x}$  bajo o medio que se incrementó en el posttest, empeorando o sin modificar la RE.

Atendiendo al entrenamiento concurrente o simultáneo de resistencia y fuerza existe una fuerte evidencia de que un gran volumen de entrenamiento de resistencia inhibe el desarrollo de la fuerza máxima (empeoramiento de las características neuromusculares), sobre todo al inicio de un régimen de entrenamiento concurrente. Sin embargo, en el caso de la carrera se ha visto que el entrenamiento de fuerza no interfiere en el desarrollo del  $VO_{2m\acute{a}x}$  y que podría ayudar a mejorar el rendimiento en atletas no entrenados, moderadamente entrenados, o altamente entrenados (Millet et al., 2002). Sería necesario encontrar el equilibrio entre las sesiones de resistencia y de fuerza, así como atender a su secuenciación, para evitar en la medida de lo posible la aparición de interferencias (Balsalobre et al. 2016). En nuestro estudio no se observaron en ninguno de los casos descensos significativos del  $VO_{2m\acute{a}x}$  tras el periodo de intervención.

Aunque las lesiones nunca son completamente inevitables debido a la naturaleza físicamente exigente del deporte podemos reducir este riesgo y la gravedad de las posibles lesiones mediante el aumento de la resistencia a la tracción del tejido conectivo, lo cual se puede conseguir con el entrenamiento de fuerza (Shaw et al., 2016). Tanto los entrenadores como los atletas deben tener muy presente el papel que tiene el entrenamiento de fuerza y de movilidad articular en la prevención, rehabilitación y readaptación de lesiones.

Como limitación se podría mencionar la ausencia de un grupo control con características similares a las de nuestros participantes y que realizase actividades deportivas semejantes para poder analizar más a fondo la verdadera influencia que tiene el entrenamiento de fuerza en el rendimiento deportivo.

## **7. APLICACIONES PRÁCTICAS Y VALORACIÓN PERSONAL**

---

La realización de este trabajo me ha dado la posibilidad de conocer más a fondo la metodología empleada en el entrenamiento de fuerza con deportistas de resistencia. Este es un ámbito de gran importancia para mí debido a que en mi vida he estado y sigo ligado a los deportes de resistencia como son el ciclismo y la carrera, por lo que el diseño y la puesta en práctica de este trabajo me ha resultado de gran satisfacción.

Como entrenadores y deportistas debemos tener claro la importancia que tiene el entrenamiento de fuerza correctamente ejecutado en la mejora del rendimiento y en la prevención de lesiones, ya no solo en los deportes de resistencia sino en todos los deportes. En ocasiones solo nos ceñimos al gesto deportivo que implica cada disciplina (p. ej. en ciclismo únicamente montar en bici) pero resulta fundamental realizar de manera complementaria un trabajo de fuerza con la intención de fortalecer la musculatura y corregir la postura o posibles desequilibrios musculares; esto provocará a largo un plazo una mejora del rendimiento y ayudará a evitar posibles lesiones. Por todo esto, se debe seguir concienciado a los entrenadores y atletas de resistencia de la importancia de dedicar parte de sus entrenamientos a la fuerza, algo que se ha empezado a conseguir paulatinamente lo largo de estas dos últimas décadas.

En relación al grupo con el que se ha trabajado, hemos determinado en la discusión que la dosis de trabajo no ha sido la más adecuada para obtener mejoras significativas. Se debería haber realizado un mayor volumen o una mayor intensidad de entrenamiento de fuerza. Consecuentemente, tras la realización del análisis estadístico pudimos determinar teniendo en cuenta la periodización de nuestra intervención (8 semanas, 2 sesiones/semana) que los sujetos a los que les había supuesto más carga el entrenamiento de fuerza, obtuvieron mayores mejoras de la velocidad en el umbral anaeróbico y la RE. Se dedujo que para obtener mejoras significativas en las variables relacionadas con el metabolismo aeróbico, los sujetos deberían haber puntuado cada sesión de fuerza con más de 5,5 puntos en la escala de percepción subjetiva del esfuerzo o que la carga de cada sesión de fuerza hubiera supuesto más de 343 UA (685 UA por semana).

Considero que este trabajo posee una gran aplicación práctica, y será útil en mi futuro laboral ya que en algún momento es posible que trabaje con atletas tanto de élite como de nivel bajo o moderado, o incluso con gente que desee empezar a correr. En todos ellos la fuerza posee un papel fundamental, pero sobre todo en deportistas sin experiencia o de bajo nivel es más fácil obtener mejoras a corto plazo gracias a su aplicación. No obstante, es necesario tener en cuenta una serie de consideraciones. Destacar que antes de que los atletas comiencen a levantar cargas elevadas, nos debemos asegurar de que hayan desarrollado una técnica de

ejecución adecuada con cargas más ligeras. El entrenamiento de fuerza resulta fundamental sobre todo en la pretemporada, sin embargo en el periodo competitivo o de entrenamientos no se debe olvidar este trabajo, aunque el número de sesiones se reduzca por aumentar la prioridad del entrenamiento de resistencia. Rønnestad y Mujika (2014) comentan que en el periodo competitivo con una sesión de entrenamiento de fuerza por semana de alta intensidad valdría para mantener las adaptaciones alcanzadas anteriormente con el entrenamiento de fuerza. El entrenamiento en circuito usando solo el peso corporal durante 10 semanas de entreno se ha visto que es suficiente para estimular las mejoras de fuerza máxima en individuos que no han utilizado previamente el entrenamiento de fuerza (Taipale et al., 2010). Esta puede resultar una herramienta útil para comenzar a trabajar con deportistas sin experiencia en el campo de la fuerza, siempre pendientes de cuidar la ejecución técnica correcta.

Me siento muy satisfecho con la realización de este TFM ya que he podido poner en práctica muchos de mis conocimientos siendo partícipe de su alcance, además de darme la posibilidad de enfrentarme a problemas que tal vez me surjan en mi vida laboral. Agradecer plenamente la colaboración de los diez sujetos que participaron en el proyecto y valorar su constancia e implicación, así como la de mi tutor José Antonio Rodríguez Marroyo.

---

## **8. CONCLUSIONES**

---

Tras el diseño y la puesta en práctica del programa de fuerza, la realización de las pruebas pertinentes, la obtención y análisis de los resultados y la comparación con estudios previos podemos concluir que el entrenamiento de fuerza implementado en este estudio (i.e., sobrecargas + pliometría) al entrenamiento habitual realizado por los sujetos no provocó cambios significativos en la economía de carrera ni en ninguna variable vinculada con el metabolismo aeróbico. Sin embargo, de manera individual algunos participantes que mostraron un  $VO_{2max}$  bajo-medio en el pretest, lograron mejoras importantes en esta variable tras la intervención realizada. Este resultado apoya trabajos previos que han informado como los sujetos que presentan una capacidad aeróbica baja, el entrenamiento de fuerza puede ayudar a mejorar su  $VO_{2max}$  antes que cualquier otra variable del rendimiento como la economía de carrera. En conjunto, los resultados de este trabajo resaltan la importancia que tiene la individualización del entrenamiento. En este sentido, posiblemente un aumento del volumen y la intensidad del trabajo de fuerza realizado pudieron haber conllevado mayores mejoras. Son necesarios más estudios que determinen la dosis mínima, las tareas y la combinación de las mismas más idóneas para la mejora de la calidad aeróbica de los corredores.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

---

- ✚ Aagaard, P. y Andersen, J. L. (2010). Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scandinavian journal of medicine and science in sports*, 20(s2), 39-47.
- ✚ Balsalobre, C., Santos, J. y Grivas, G. V. (2016). Effects of strength training on running economy in highly trained runners: a systematic review with meta-analysis of controlled trials. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(8), 2361-2368.
- ✚ Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M. y Carson, B. P. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Medicine*, 44(6), 845-865.
- ✚ Bosquet, L., Leger, L. y Legros, P. (2002). Methods to determine aerobic endurance. *Sports and Medicine*, 32(11), 675-700.
- ✚ Casáis, L. (2008). Revisión de las estrategias para la prevención de lesiones en el deporte desde la actividad física. *Apunts. Medicina de l'esport*, 43(157), 30-40.
- ✚ Davis, J. A. (1985). Anaerobic threshold: a review of the concept and directions for future research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(1), 6–21.
- ✚ Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León. (2016). *Normativa para el desarrollo de Trabajos Fin de Máster en los Estudios de Máster Universitario en Entrenamiento y Rendimiento Deportivo de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León*. Recuperado de [http://docs.wixstatic.com/ugd/0723d1\\_a628fafb935b4449ac5a6042602b051f.pdf](http://docs.wixstatic.com/ugd/0723d1_a628fafb935b4449ac5a6042602b051f.pdf)
- ✚ Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León. (2017). *Guía Docente del Trabajo Fin de Máster*. Recuperado de [https://guiadocente.unileon.es/docencia/guia\\_docent/doc/asignatura.php?any\\_academico=2017\\_18&asignatura=1403777&idioma=cast&doc=N](https://guiadocente.unileon.es/docencia/guia_docent/doc/asignatura.php?any_academico=2017_18&asignatura=1403777&idioma=cast&doc=N)
- ✚ Folland, J. P. y Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, 37(2), 145-168.
- ✚ Gómez-Molina, J., Ogueta, A., Camara, J., Stickley, C. y Garcia, J. (2018). Effect of 8 weeks of concurrent plyometric and running training on spatiotemporal and physiological variables of novice runners. *European journal of sport science*, 18(2), 162-169.

- ✚ Herrera, M. (2013). *Monitorización de la intensidad del entrenamiento de la fuerza mediante la percepción subjetiva de la velocidad*. (Tesis doctoral). Universidad de Valencia, Valencia.
- ✚ Hunter, G. R., Bamman, M. M., Larson-Meyer, D. E., Joanisse, D. R., McCarthy, J. P... y Newcomer, B. R. (2005). Inverse relationship between exercise economy and oxidative capacity in muscle. *European journal of applied physiology*, 94(5-6), 558-568.
- ✚ Lucía, A., Hoyos, J., Pérez, M., Santalla, A. y Chicharro, J. L. (2002). Inverse relationship between VO2max and economy/efficiency in world-class cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(12), 2079-2084.
- ✚ McGuigan, M. R. y Foster, C. (2004). A new approach to monitoring resistance training. *Strength and Conditioning Journal*, 26(6), 42-47.
- ✚ Millet, G.P., Jaouen, B., Borrani, F. y Candau R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO2 kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(8), 1351-1359.
- ✚ Ogueta, A. y García, J. (2016). Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 12(45), 278-308.
- ✚ Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales (BOE nº 260, de 30/10/2007).
- ✚ Rønnestad, B. R. y Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian journal of medicine and science in sports*, 24(4), 603-612.
- ✚ Sáez de Villarreal E., Requena B., Izquierdo M. y González-Badillo, J. J. (2013) Enhancing sprint and strength performance: combined versus maximal power, traditional heavy-resistance and plyometric training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(2), 146-150.
- ✚ Santos, J. (2018). *Entrenamiento de fuerza en deportes de resistencia aeróbica*. Videoconferencia Exercise Physiology and Training. Investigado y leído en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte del País Vasco.
- ✚ Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D. y Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465-485.
- ✚ Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Peltola, E. M., Cunningham, R. B... y Hawley, J. A. (2006). Short-term plyometric training improves running economy in highly

trained middle and long distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 947-954.

- ✚ Shaw, I., Shaw, B. S., Brown, G. A. y Shariat, A. (2016). Review of the role of resistance training and musculoskeletal injury prevention and rehabilitation. *Gavin Journal of Orthopedic Research and Therapy*, 2016, 1-5.
- ✚ Spurrs, R. W., Murphy, A. J. y Watsford, M. L. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 89(1), 1-7.
- ✚ Støren, Ø., Helgerud, J., Støa, E.M., y Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(6), 1089– 1094.
- ✚ Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B... y Häkkinen, K. (2010). Strength training in endurance runners. *International journal of sports medicine*, 31(07), 468-476.

## 10. ANEXOS

### Anexo I. Modelo de sesión

PERÍODO	FECHA	SESIÓN	DURACIÓN
PRINCIPAL	09-16/04/2018	SEMANA 6	50-60 min
<b>OBJETIVO/S</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajar específicamente la fuerza explosiva con una selección de ejercicios que tienen gran influencia o relación con la carrera.</li> </ul>		
<b>TIPO DE TRABAJO</b>	1. Ejercicios ejecutados a alta velocidad con cargas medias/altas.		

**CALENTAMIENTO**

Duración = 10-15 min	Ejercicios con el propio peso corporal (auto-cargas)	Tiempo de ejecución de cada ejercicio ≈ 30" Recuperación entre ejercicios = 10-20"
----------------------	--	---

**1. CALENTAMIENTO GENERAL**

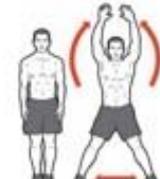
**• Movilidad articular**

Tobillo → Rodillas →  
 Cadera → Hombro →  
 Muñecas → Cuello

**• Carrera con flexo-extensión de hombro**



**• Jumping jacks**



**• Sentadillas**



**• Mountain climbers (variedad)**



**• Andar en cuadrupedia**



**• Estiramientos dinámicos**

**• Juegos (parejas,...)**  
Ej. tres en raya en plancha

**2. CALENTAMIENTO ESPECÍFICO**

**Ejercicios de técnica de carrera**

**• Pasos rusos**



A una y dos piernas

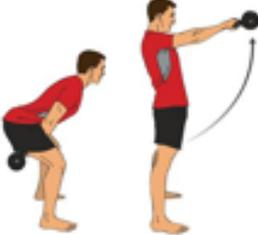
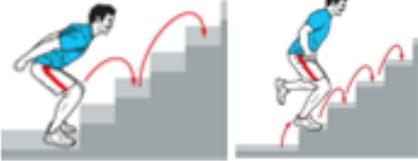
**• Skipping lateral**



**• Pasos de valla (Frontal y Lateral)**



Con extensión de pierna

<b>PARTE PRINCIPAL</b>		
<b>Duración = 30-35 min</b>	<b>- Ejercicios con peso - Pliometría</b>	<b>Ej. con peso = F. explosiva. 5 reps. a alta vel.</b>
<b>1. EJERCICIOS CON CARGAS</b>		
<p>▪ Glute bridge (Puentes) 4 x 30" → progresión</p> 	<p>▪ Sentadilla x 3 F. a alta vel.</p>	<p>▪ Swing de kettlebell x 8 reps.</p> 
<p>▪ Step ups Alternar piernas 3 x 8 con cada pierna</p> 	<p>▪ Hip thrust x 3 F. a alta vel.</p>	
<b>2. EJERCICIOS DE PLIOMETRÍA</b>		
<p>▪ Jumping lunges</p> 	<p>▪ Salto al frente con una pierna</p> 	<p>▪ Subida de escaleras a una y dos piernas</p> 

<b>PARTE FINAL – VUELTA A LA CALMA</b>	
<b>Duración = 10 min</b>	<b>Reducción progresiva de la intensidad del esfuerzo. Act. complementarias</b>
<p>Carrera suave, elíptica, bicicleta estática,...</p> <p>Estiramientos = pasivos (a elección del participante), <b>dinámicos</b>. Liberación miofascial (optativo).</p>	

**Anexo II. Planilla de seguimiento semanal**



TFM DAVID GONZALEZ

**DIARIO DE SEGUIMIENTO**



universidad  
de león

**SUJETO:** \_\_\_\_\_

**SEMANA N°:** \_\_\_\_\_ **Fecha:** \_\_\_\_\_

DÍA DE LA SEMANA	TIPO DE ENTRENAMIENTO	TIEMPO (min)	RPE BORG (1-10)	OBSERVACIONES
Lunes				
Martes				
Miércoles				
Jueves				
Viernes				
Sábado				
Domingo				

\* Tipo de entrenamiento: Pesas/Fuerza ("el que tenemos programado"); No pesas (Running, Elíptica, Partido de fútbol, Tenis,....).