



**Universidad
Europea Madrid**

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

TESIS DOCTORAL

SERIE: ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTIVA

Análisis de la Competición, Periodización y Predicción del Rendimiento en Pruebas de Resistencia

Programa de Doctorado en Educación
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y Deporte

Iker Muñoz Pérez

Dirigida por:
Dr. Jonathan Esteve Lanao

Madrid, 2013



INFORME Y AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR PARA PRESENTAR LA TESIS DOCTORAL

Por la presente AUTORIZO a la presentación de la Tesis Doctoral de D. Iker Muñoz Pérez, que lleva por título **“Análisis de la Competición, Periodización y Predicción del Rendimiento en Pruebas de Resistencia”**. Quiero manifestar expresamente que el doctorando ha realizado un excelente trabajo de revisión bibliográfica, así como excelente aplicación de los diseños que se plantearon en la presente Tesis Doctoral, demostrando aptitud para la desarrollar el método científico a lo largo de todo el proceso de realización de los estudios de los que se compone esta Tesis. Los 4 estudios han sido presentados en publicaciones internacionales, habiendo sido ya tres de ellos aceptados, y habiéndose presentados tres de ellos en sendos simposios y congresos internacionales. Estos 4 estudios se estructuraron de forma consecutiva en una secuencia lógica que permitiera investigar la temática central de la que es objetivo esta Tesis Doctoral, tratando de responder a los objetivos planteados tras una exhaustiva revisión bibliográfica que originó la inquietud de las hipótesis presentadas. Es por todo ello que considero que esta Tesis Doctoral es ya apta para su presentación.

El Dr D. Jonathan Esteve Lanao Director de la Tesis, de la que es autor D. Iker Muñoz Pérez

AUTORIZA la presentación de la referida Tesis para su defensa en cumplimiento del Real Decreto 1393/2007, de 29 de Octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales y de acuerdo al Reglamento de Enseñanzas Oficiales de Máster Universitario y Doctorado de la Universidad Europea de Madrid RD 1393/2007.

En Villaviciosa de Odón , a 10 de Mayo de 2013

AGRADECIMIENTOS

La necesidad de redactar este apartado me ha hecho retroceder en el tiempo y analizar las causas que me han llevado hasta la redacción de una Tesis Doctoral. Me ha resultado entre curioso e inquietante el darme cuenta como un hecho, a priori tan superfluo, como es el ir a una pista de atletismo con 15 años, ha marcado el devenir de mi vida tan profundamente.

Esto no sé si se lo debo agradecer a mis padres por el “animarme” a continuar practicando actividad física o por mi escasa calidad futbolística, me decantaré por una mezcla de ambas.

Como todo proceso que se precie, existe un principio y un fin. Pero lo realmente interesante sucede, precisamente, en el camino entre estos dos puntos. Por hacer un símil con el mundo del deporte, no hay que quedarse en la marca (aunque ésta sea el objetivo último del proceso) sino en el recorrido que se ha llevado a cabo para la consecución de ésta. La evaluación del proceso, que ha llevado a un determinado rendimiento, permitirá al entrenador una mejor comprensión en la marca del atleta y posibilitará una planificación futura más eficaz.

Siendo completamente sincero, en el camino hacia la redacción de esta Tesis Doctoral no he estado solo y es de obligado cumplimiento el reconocer a todos aquellos que me han ayudado de una forma u otra. Son tantas y tanto lo que debo agradecer que me resulta imposible nombrar a todas las personas que han estado junto a mí, espero que me perdonen.

Los estudios que se exponen en esta Tesis no podrían haber sido realizados sin la ayuda y colaboración desinteresada de los atletas pertenecientes a la Escuela del Corredor de la UEM y a los entrenadores de *All in Your Mind*, Javier España y Diego Moreno, a ellos debo agradecer en gran medida que hoy pueda redactar estas líneas. En especial querría dar las gracias a Jaime García y Santiago Murcia, por participar en 3 de los 4 trabajos de esta Tesis. Ya sé que no siempre os fiasteis de mí chicos, pero no fue tan mal.

Recordar a todos los compañeros de pista, con los cuales he pasado buena parte de mi vida atlética en Santurtzi, mi entrenador Basilio Gutiérrez quien me inicio en este mundo del atletismo.

También han de estar presentes en esta Tesis todas aquellas personas que he entrenado desde mis comienzos en la pista de atletismo de Santurtzi, hasta hoy en día. Compartiendo buenos momentos, algún que otro éxito deportivo y una amistad sincera.

Mostrar toda mi gratitud a Jonathan Esteve-Lanao, director de esta Tesis. No sólo por guiarme en este trabajo, sino por aportarme otros puntos de vista y un mejor saber hacer.

Unas líneas se hacen cortas para expresar mi gratitud a mis compañeros de trabajo y fatigas, sin ellos estoy seguro que no podría aguantar la jornada. Esas “reuniones” en la máquina de café ayudan a sacarme una sonrisa. Sólo me queda daros las gracias (Manu Sánchez, Ibón Presno, Alex Morán e Iván Iturburu).

Aunque esta Tesis tenga un afán sintetizador, tengo que dedicar unas líneas a esa otra pequeña familia que forman los amigos por ello dar las gracias de corazón a Aritz Cubas, Esther Garay, Sergio Gordo, Alex Diez-Andino, Jagoba Mercado e Iñigo Diego (entre muchos otros). Ya sé que en muchos momentos parezco ausente y no nos vemos todo lo que nos gustaría (¡siempre nos quedará San Mamés!) pero los momentos que hemos pasado y pasaremos juntos no los cambio por nada del mundo.

Pese a pecar de poco original, en este párrafo me gustaría agradecer a mi familia el apoyo que me han dado siempre (aunque en muchos casos mis decisiones no las comprendáis y parezca un tanto distante). En los deportes siempre se tiende a encumbrar a atletas y calificarles de “héroes”, por contra nunca he idolatrado a ninguno de ellos. Lo más parecido que conozco sois vosotros que siempre habéis estado a mi lado. Y sin lugar a dudas esta Tesis, o al menos parte de ella, os corresponde ya que sin vuestro apoyo este trabajo nunca hubiera sido posible. Por ello Aita, Ama y Marta nunca podré devolveros todo lo que me habéis dado, me resultaría imposible.

Dedicar estas últimas líneas a Jessica, estoy completamente convencido que sin su apoyo incondicional, comprensión y ánimo hoy no podría redactar estas palabras. Gracias por aportarme tantas cosas y no pedir nada a cambio.

*“El estado de la duda es incómodo, pero
el estado de la certeza es estúpido”
-Voltaire-*



ÍNDICE

I.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Definición	3
1.2. Evolución histórica del entrenamiento de la resistencia	3
1.3. Factores Determinantes del Rendimiento en pruebas de resistencia	8
1.4. Análisis de la intensidad fisiológica durante la competición.....	26
1.5. Componentes de la carga de entrenamiento	31
1.6. Cuantificación del entrenamiento.....	39
1.7. Distribución óptima de la intensidad	50
1.8. Predicción del rendimiento	58
II.- OBJETIVOS.....	69
2.1. Objetivos	71
2.2. Planteamiento de Hipótesis	71
III.- MÉTODO.....	73
3.1- ESTUDIO 1	78
3.1.1-MUESTRA	78
3.1.2- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA PERIODIZACIÓN Y ENTRENAMIENTO.....	78
3.1.3- TEST FISIOLÓGICOS Y DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE ENTRENAMIENTO.....	79

3.2- ESTUDIO 2	83
3.2.1- APROXIMACIÓN EXPERIMENTAL AL PROBLEMA	83
3.2.2- MUESTRA.....	84
3.2.3- ENTRENAMIENTO Y PERIODIZACIÓN	86
3.2.4- ENTRENAMIENTO DE FUERZA DURANTE EL PERIODO DE INTERVENCIÓN	88
3.2.5- TEST FISIOLÓGICOS Y DE RENDIMIENTO.....	89
3.2.6- CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA DE ENTRENAMIENTO.....	90
3.3- ESTUDIO 3	92
3.3.1- APROXIMACIÓN EXPERIMENTAL AL PROBLEMA	92
3.3.2- MUESTRA.....	92
3.3.3- ENTRENAMIENTO PREVIO A LA INTERVENCIÓN	93
3.3.4- TEST FISIOLÓGICOS Y RENDIMIENTO	94
3.3.5- CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA DE ENTRENAMIENTO DURANTE LA INTERVENCIÓN	96
3.4- ESTUDIO 4	101
3.4.1- MUESTRA.....	101
3.4.2- PROTOCOLO DEL TEST.....	102
3.4.3- MEDICIONES.....	103
3.4.4- COMPETICIÓN	103
3.5- ANÁLISIS ESTADÍSTICO	104
IV.- RESULTADOS	109

4.1-ESTUDIO 1	109
4.1.1- MORTALIDAD EXPERIMENTAL	109
4.1.2- CORRELACIONES ENTRE TEST DE CONDICIÓN FISIOLÓGICA Y RENDIMIENTO EN COMPETICIÓN	109
4.1.3-TIEMPO REALIZADO EN CADA ZONA METABÓLICA DURANTE EL ENTRENAMIENTO Y COMPETICIÓN.....	110
4.1.4-CORRELACIONES ENTRE EL ENTRENAMIENTO Y LA COMPETICIÓN	111
4.2- ESTUDIO 2	114
4.2.1- TEST DE CONDICIÓN FISIOLÓGICA Y 10 KM PRE-INTERVENCIÓN	114
4.2.2- CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA DE ENTRENAMIENTO.....	115
4.3- ESTUDIO 3	121
4.3.1- ADHERENCIA Y CUMPLIMIENTO DEL ENTRENAMIENTO	121
4.3.2- RENDIMIENTO EN COMPETICIÓN	121
4.3.3- TEST FISIOLÓGICOS	122
4.4- ESTUDIO 4	125
V.- DISCUSIÓN	128
VI.- CONCLUSIONES.....	149
VII.- BIBLIOGRAFÍA.....	149
ANEXOS	165
Anexo 1.- Glosario de términos (por orden alfabético)	167
Anexo 2.- Glosario de abreviaturas (por orden alfabético)	169

RESUMEN

La presente Tesis Doctoral estudió la distribución de la intensidad del entrenamiento de pruebas de resistencia, planteando varias manipulaciones de la misma, y observando la relación o correlación con el rendimiento. Además, se estudió el pronóstico del rendimiento en fechas previas a la competición. Para realizar estos objetivos, se plantearon 4 estudios. El estudio 1 tuvo como objetivo específico una descripción de la intensidad de la competición durante un triatlón (distancia IronMan) y describir el entrenamiento realizado en todo el macrociclo orientado a esta competición. Como segundo objetivo de este estudio, se pretendía relacionar el entrenamiento realizado con el rendimiento en competición. Como principal hallazgo de este trabajo se destaca una correlación significativa inversa ($r=-0,92$) entre un mayor porcentaje de trabajo en Zona 1 y la marca en competición, sin que el entrenamiento en zona 2 (zona predominante en competición), tuviera relación positiva con el rendimiento. De hecho, se halló que cuanto más entrenamiento en zona 2 (entre umbrales, intensidad promedio de competición), peor rendimiento se obtenía. Esto ratifica la teoría moderna hacia un entrenamiento cada vez menos orientado a esta zona.

En el estudio 2 se evaluó el efecto de dos modelos de distribución de la intensidad en relación al modelo trifásico (ejercicios ligero/moderado/intenso) en corredores populares de medio nivel. Los dos grupos debían distribuir su esfuerzo durante un macrociclo entero de manera polarizada en uno de los grupos (77/3/20%) y más orientada a la zona 2 (46/35/19%) en el otro grupo. Se establecieron correlaciones con el rendimiento en competición. Se halló mayor mejora en el grupo que se ejercitó mediante un entrenamiento

polarizado (Zonas 1 y 3) respecto al grupo que entrenó mayoritariamente en zona 2.

En el estudio 3 se centró la atención en el efecto de dos puestas a punto diferentes en las últimas semanas de preparación de corredores populares de alto nivel: una basada en entrenamientos de muy alta intensidad (~105%VAM), y otra basada en entrenamientos a ritmo de competición (~90%VAM). En esta investigación se halló una mejora del rendimiento significativa en ambos grupos mediante adaptaciones fisiológicas distintas (aumento del VO_2 máx en el grupo de alta intensidad vs un mantenimiento de la economía de carrera en el grupo de ritmo competitivo).

Por último, el estudio 4 planteó como objetivo el desarrollo de una ecuación capaz de predecir el rendimiento en pruebas de 10 km en ruta, Media Maratón y Maratón, a partir de la concentración de Lactato sanguíneo. La estimación del rendimiento mediante ecuaciones de regresión múltiple que incluyeron como variable la concentración de lactato sanguíneo a velocidades próximas a las de competición fue capaz de predecir la marca de manera fiable tanto en $\frac{1}{2}$ Maratón ($r^2=0,97$), como en Maratón ($r^2=0,81$).

Esta tesis presenta 3 conclusiones:

- Aunque la competición de un triatlón distancia *IronMan* se realice mayoritariamente a intensidades fisiológicas correspondientes a la Zona 2 del modelo trifásico, la mayoría del tiempo dedicado al entrenamiento se dedica al trabajo en Zona 1.
- Una manipulación en la intensidad de entrenamiento que atienda a un modelo polarizado (mayor énfasis en Zona 1 y Zona 3) puede permitir un mayor rendimiento final en pruebas de 10 km.
- La puesta a punto final parece ser igual de efectiva tanto entrenando las últimas sesiones específicas a ritmo de competición como muy por encima de

éste. Por otra parte, se hallaron correlaciones significativas entre el tiempo de entrenamiento en zona 1 y el rendimiento, y no se hallaron con el tiempo de entrenamiento en zona 2.



ABSTRACT

The current doctoral thesis observed the training intensity distribution in endurance events. Several designs were displayed, observing the relationship or correlation with performance. Moreover, performance prediction was studied close to competition. 4 studies were conducted. The first one studied intensity distribution during both training and competition during an IronMan-distance triathlon. Most of the training was generally conducted in zone 1, but most of the competition was apparently conducted in zone 2. A significant correlation ($r=-0,92$) was found between the percentage of time in zone 1 and the time in competition. Inverse or null correlations were found between performance and zone 2 training.

The second study compared the effect on 10k performance of a Polarized intensity distribution (emphasis in zones 1 and 3) versus a “between-thresholds” intensity distribution. It was found a higher improvement in the group conducting a polarized training distribution. The third study compared two different peaking models (based on high intensity training or race pace training). A significant performance improvement was found in both groups through different physiological adaptations ($VO_2\text{max}$ was improved in the high intensity group vs a maintenance of the running economy was found in the race pace training group).

Finally, the study 4 had the aim of developing an equation capable to predict the performance in competitions over 10km, Half Marathon and Marathon, from the blood lactate concentration. A significant stepwise regression was found for the Half Marathon ($r^2=0,97$) and the Marathon ($r^2=0,81$).

This doctoral thesis obtained 3 conclusions:

- Ironman distance triathlon is conducted mainly in Zone 2, but most of its training is conducted in zone 1.
- A polarized training intensity distribution can lead to a better final performance in 10k road races. Peaking for this distance seems to be as effective at specific race pace as clearly beyond this one. Moreover, significant correlations are found between training in zone and performance, whilst no correlations were found between zone 2 training and performance in Ironman distance triathlon.
- Performance prediction equations were found both for 21k and 42k from metabolic and freely chosen speeds close to race pace.

I.-INTRODUCCIÓN

1.- INTRODUCCIÓN

1.1. Definición

La resistencia ha sido definida de numerosas formas, sintetizando los conceptos clave de éstas, se pueden exponer ciertas características que pueden definir la resistencia (Esteve-Lanao, Cejuela y Menenedez de Luarca, 2010) :

- Capacidad física y menta (Bompa, 2003; Zintl, 1991).
- Capacidad para retrasar la fatiga y sus efectos (Friel, 2009).
- Mantenimiento de un esfuerzo sin que disminuya la intensidad de trabajo, o la facultad de recuperarse rápidamente después de un esfuerzo físico o psíquico (Maughan, 1992; Zintl, 1991).
- En ella influye la interacción de los sistemas de producción de energía o potencia (Gastin, 2001).
- Su factor clave es el tiempo (Péronnet, 2001)

Debido a que el objeto de estudio de esta tesis doctoral son los deportes de resistencia cíclicos (entendiendo por cíclicos aquellos que mantienen una intensidad de esfuerzo similar y continuada durante la competición), nos referiremos al término de “resistencia” como la capacidad individual de desarrollar y mantener una intensidad fisiológica determinada cuya vía metabólica predominante sea la aeróbica.

1.2. Evolución histórica del entrenamiento de la resistencia

Los primeros medios de entrenamiento de la resistencia fueron la marcha (caminar) y el trote. Métodos continuos en cualquier caso, cuya evolución

consistió en desarrollar una mayor duración, con esporádicas variaciones de la intensidad. Ya en la antigua civilización griega, en el ámbito militar, se produjeron los primeros entrenamientos de resistencia. En esta época se sitúan también los primeros esfuerzos por organizar el entrenamiento una práctica sistemática y planificada. Así, en el s.II antes de nuestra era, en Grecia se distribuían las cargas de entrenamiento en ciclos llamados “tetra”. Éstos se asemejarían a los microciclos de la época actual, su estructura era la siguiente: día 1 entrenamiento suave, día 2 entrenamiento muy intenso, día 3 entrenamiento muy suave o descanso y día 4 entrenamiento a intensidades moderadas (Hegedüs, 1984).

Realizando un salto sustancial en el tiempo, en la Inglaterra de principios del s.XIX, surgen las recomendaciones de realizar ciclos de entrenamiento de cuatro semanas (incluyendo una de descanso). En 1930 Pihkala, publico junto con otros entrenadores un libro en el cual se promulgaban varias normas de entrenamiento (Hegedüs, 1984):

1. Necesidad ondulatoria de las cargas, debe existir una alternancia entre trabajo y recuperación para conseguir los resultados esperados.
2. Cuanto mayor sea la intensidad del entrenamiento, menor ha de ser el volumen del mismo.
3. El entrenamiento debe partir de lo global y general hacia lo específico.

Estas normas, aunque anteriores en el tiempo, van en concordancia con los principios del entrenamiento deportivo propuestos por Tudor Bompa (2003) desde la década de los '90 del s.XX.

Con la llegada de los Juegos Olímpicos de la era moderna (JJOO) y el surgimiento del fenómeno del “record”, las distancias de competición tanto de carrera a pie como otras pruebas de resistencia fueron estandarizándose, en medidas exactas (ya sea en función de distancia recorrida en un tiempo dado, o en tiempo empleado en recorrer una distancia determinada), hasta llegar a las que hoy en día conocemos como pruebas del calendario olímpico (sujetas a una homologación y estandarización de registros en última instancia de dependientes de la Federación Internacional de Atletismo Amateur (IAAF) Tabla 1.2.1.

A este auge de las pruebas de resistencia más tradicionales (la carrera a pie principalmente), debe añadirse un nuevo fenómeno deportivo como el Triatlón, incluido en el calendario Olímpico desde Sídney 2000. Se Caracteriza por la unión de tres disciplinas independientes bajo una misma competición (Natación, Ciclismo y Carrera a pie).

Tabla 1.2.1 Pruebas atléticas de fondo presentes en el calendario Olímpico y Campeonatos del mundo	
Pista cubierta	
800 ml	
1500 ml	
3000 ml	
Pista al aire libre	
800 ml	
1500 ml	
3000 m obstáculos	
5000 ml	
10000 ml	
En Ruta	
1/2 Maratón (21097 m)	(*)
Maratón (42195 m)	
100 km	(*)
Campo a través (*)	

(*) Estas pruebas no aparecen en el calendario de los JJOO, pero sí en el de sus respectivas federaciones internacionales. También existen otro tipo de distancias, pero debido a su menor relevancia no han sido incluidas en la Tabla 1.2.1.

No obstante el origen de este deporte como tal, se produjo hace décadas. El primer triatlón que aunó las tres disciplinas (nadar, ciclismo y carrera), se celebró el 25 de septiembre del 1974, en la Isla Fiesta (Mission Bay en San Diego, Estado Unidos). Fue organizado por Jack Johnstone y Don Shanahan, y consistió en 6 millas de carrera a pie, 5 de bicicleta y 500 yardas de natación.

Pero quizá, el convertirse en el deporte que hoy en día atrae a miles de atletas, es debido a una discusión en una cervecería de Honolulu (Hawaii), en la cual se

discutía cual de las pruebas deportivas tradicionales de la ciudad era la más dura (~3800m de natación, 180km en bicicleta o 42,195 km de carrera).

El primer precedente del triatlón en España, se produjo en Castro-Urdiales (Cantabria), el 19 de julio de 1963 (Ballesteros, 1987).

En la Tabla 1.2.2. Se muestra las principales distancias competitivas y sus características específicas, reconocidas por la Unión Internacional de Triatlón (ITU).

	Sectores y distancias		
	Natación	Ciclismo	Carrera
Olímpico	1,5 km	40 km	10 km
Medio Ironman (*)	1,9 km	90 km	21,097 km
Ironman (*)	3,8 km	180 km	42,195 km

(*) Distancias no presentes en el programa de los JJOO

Todos estos esfuerzos son de tipo continuo y a una intensidad relativamente constante (salvo en el triatlón olímpico), de modo que el principal sistema energético involucrado en la actividad será el metabolismo aeróbico. El metabolismo anaeróbico tendrá mayor protagonismo al inicio de las pruebas

(Billat, Hamard, Koralsztein y Morton, 2009) o durante fases puntuales de la competición de triatlón olímpico donde por motivos estratégicos o por el perfil del recorrido ciclista se producen cambios de ritmo.

1.3. Factores Determinantes del Rendimiento en pruebas de resistencia

El gran número de factores que componen el rendimiento deportivo en las pruebas de fondo ha sido objeto de estudio de numerosas investigaciones científicas (Basset y Howley, 2000; Brandon, 1995; Dengel, Flynn, Costill y Kirwan, 1989; Lamberts, Lambert, Swart y Noakes, 2012). La actuación final del atleta está determinada desde parámetros genéticos, fisiológicos, ambientales, psicológicos, tácticos y técnicos (Smith, 2003).

Desde un punto de vista fisiológico, se pueden distinguir cuatro factores determinantes del rendimiento en pruebas de fondo (aunque la terminología empleada varía en ocasiones) (Allen, Seals, Hurley, Ehsani y Hagberg, 1985; Billat, Sirvent, Koralsztein y Mercier, 2003b; Deason, Powers, Lawler, Ayers y Stuart, 1991; Tanaka, 1990; Yoshida et al. 1990; Jones, 2000; Saunders, Pyne, Telford y Hawley, 2004; Lucia, et al. 2006):

- Potencia Aeróbica Máxima y Máximo Consumo de Oxígeno (VO_2 máx)
- Eficiencia energética
- Umbral Anaeróbico (y habilidad de mantener un % determinado del VO_2 máx).
- Capacidad y potencia Anaeróbica

Máximo Consumo de Oxígeno (VO_2 máx)

Astrand y Rodahl (1986) definieron el VO_2 máx como la capacidad del organismo de absorber, transportar y consumir oxígeno por unidad de tiempo. La determinación del VO_2 máx se realiza habitualmente con protocolos de medición directos, continuos, a velocidades incrementales y hasta la extenuación del atleta. Doherty, Nobbs y Noakes (2003b) propusieron tres criterios para valorar si el atleta había realizado un esfuerzo máximo: la consecución de una meseta en el VO_2 , definida como un incremento menor a $1,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; un RQ de 1,1 o mayor; una FC final superior al 95% de la FC máxima teórica en función de la edad.

Comúnmente el VO_2 máx se expresa en términos absolutos (unidad por capacidad de tiempo: $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$) o relativos (VO_2 absoluto, dividido entre el peso en kilogramos del atleta: $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

El VO_2 máx es una variable imprescindible del rendimiento en pruebas de fondo (Costill, 1967; Costill, Thomason y Roberts, 1973; Saltin y Astrand, 1967; Wyndham Strydom, van Rensburg y Benade, 1969)(Figura 1.3.1.). En el global de los deportes, se observa cómo tiene que ver también con la masa muscular involucrada (Figura 1.3.2.)

Figura 1.3.1.
Consumo máximo de oxígeno en corredores (Svedenhag y Sjödín, 1984)

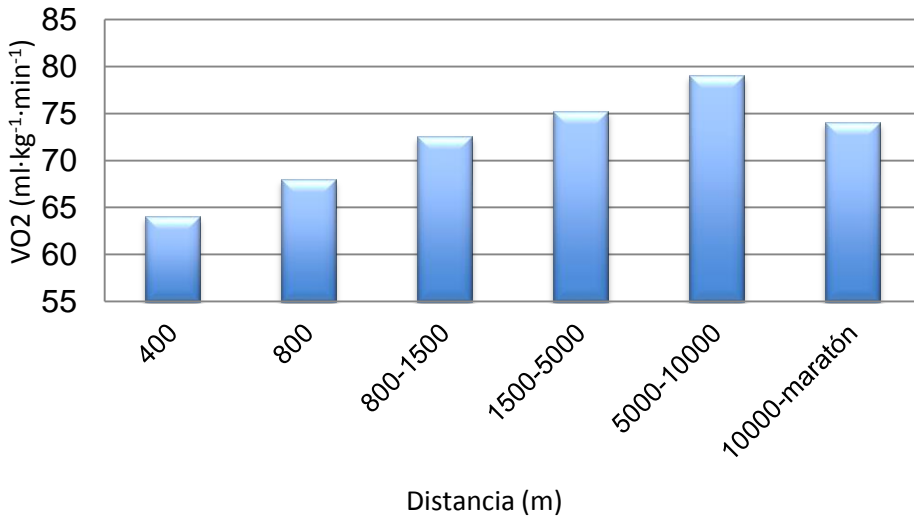
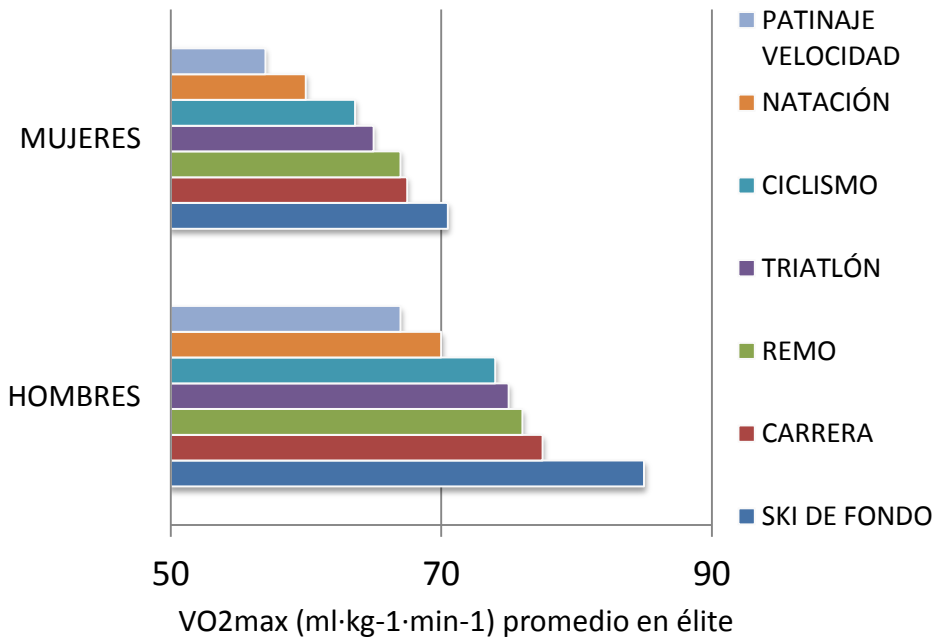


Figura 1.3.2.
VO₂máx en diferentes deportes de resistencia: datos de los/as valores promedio en cada población en nivel elite (Esteve-Lanao y Cejuela, 2010)



Pero no se puede asegurar que a mayor VO_2 máx, mayor rendimiento en pruebas de fondo. Es necesario alcanzar un consumo mínimo elevado pero no por ello el éxito en pruebas de resistencia está asegurado.

Es preciso recordar que el VO_2 máx tiende a una estabilización después de varios años de entrenamiento sistemático (Kenney y Hodgson, 1985).

En los niveles de élite, la consecución de una mejora del VO_2 máx es muy difícil, ya que tanto desde un punto de vista genético hasta otro de grado de entrenamiento el VO_2 máx no puede seguir incrementándose indefinidamente (Legaz Arrese, Serrano Ostáriz, Jcasajús Mallén y Munguía Izquierdo, 2005), por consiguiente la mejora en el rendimiento depende de más factores.

Así pues, la capacidad de mantener una velocidad próxima o igual a la velocidad asociada al VO_2 máx (vVO_2 máx), es un factor que incide directamente en el rendimiento. Sobre esta variable, el entrenamiento sí puede incidir y provocar nuevas adaptaciones que provoquen una mejora en el rendimiento, dado que sobre ella influyen otros factores, como la economía de esfuerzo, que es susceptible de mejora durante más años.

Eficiencia energética

La economía de movimiento es vital en todos los deportes de resistencia, pero su importancia ha sido principalmente estudiada durante la carrera y el ciclismo en ruta.

La economía de movimiento se define como la potencia metabólica relativa o la energía necesaria para ejecutar un trabajo determinado (Shephard y Astrand,

2007). La potencia metabólica, habitualmente, se mide mediante el VO_2 (normalmente expresada de manera relativa), por lo tanto la idea subyacente en este proceso es: cuanta menos energía se necesite para ejecutar una actividad, más económico es el movimiento. De esta manera, el concepto de economía de movimiento está íntimamente relacionado con el $VO_{2\text{máx}}$ y el Umbral Anaeróbico (UAN).

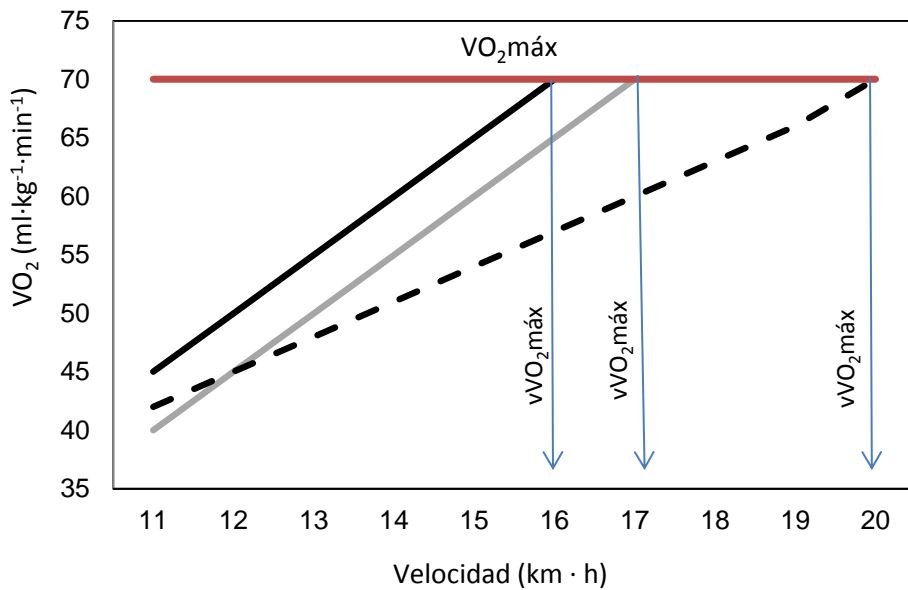
Los factores que afectan a la economía de movimiento se pueden dividir en dos categorías: los extrínsecos (factores ambientales, factores relacionados con la superficie y factores relacionados con el material) y los intrínsecos (Factores cineantropométricos, psicológicos, biológicos, cinéticos y cinemáticos) (Shephard y Astrand, 2007). Algunos susceptibles de poder ser entrenados y otros no.

La medición de la eficiencia mecánica ha dado pie a la aparición de diferentes metodologías; bien es cierto que todas estas metodologías tienen sus limitaciones y su fiabilidad no puede ser determinada (Anderson, 1996). Los valores en los cuales se representa la eficiencia o economía del ejercicio están afectados por los métodos utilizados para su cuantificación (Cavagna y Kram, 1985; Margaria, 1968; Margaria, Cerretelli, Aghemo y Sassi, 1963).

Lo que parece del todo claro es la necesidad y utilidad de medir la economía a intensidades de competición. Las mediciones más significativas de economía de carrera se producen aquí, más que a velocidades submáximas arbitrariamente elegidas (Jones y Carter, 2000).

Una revisión de Jones y Carter (2000) muestra varios estudios en los cuales sin mejorar el $VO_{2\text{máx}}$ de atletas de diferentes niveles, se mejoró la $vVO_{2\text{máx}}$ mediante una mayor economía de carrera (Figura 1.3.3.).

Figura 1.3.3.
Relación entre Economía y VAM, en 3 sujetos con un mismo $VO_{2\text{máx}}$ (ejemplo hipotético)



Bergh, Sjödin, Forsberg y Svedenhag (1991) definió la economía de carrera como el VO_2 por kilogramo de masa corporal por kilómetro ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$) (Tabla 1.3.4.).

Tabla 1.3.4.

Ejemplo del cálculo de la economía de carrera para un corredor ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$)

- El corredor ha mostrado una economía de 45,9 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ a la velocidad de 14 $\text{km}\cdot\text{h}$
 - Transformamos en ritmo de minutos por kilómetro los 14 $\text{km}\cdot\text{h}$, dividiendo 60 segundos entre 14 (=4,29)
 - Multiplicamos 4,29 por 45,9 = 196,7 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$
-

Este simple cálculo, es de gran utilidad para comparar la economía de diferentes sujetos. Los atletas de mayor nivel poseen una mejor economía de esfuerzo que los atletas de niveles inferiores, pero en todos los niveles (desde élite, sub-élite, bien entrenados y no entrenados) se puede observar corredores más económicos que otros (Morgan et al. 1995).

Nuevos criterios en la medición de la economía han sido propuestos recientemente. Fletcher, Shane, Esau y MacIntosh (2009), compararon la medición de la economía de carrera a intensidades submáximas, mediante 3 velocidades expresadas (2 de ellas) como coste unitario de O_2 , o VO_2 y la tercera, de las 3 mediciones, como coste unitario calórico. Uno de los principales hallazgos de este estudio fue la mayor fiabilidad en la medición de la economía expresada en coste unitario energético ($\text{kcal}\ \text{O}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$). Los autores sugieren la medición del coste unitario calórico como el mejor reflejo del uso energético durante la carrera. En este trabajo queda patente la importancia del cálculo del RQ y su importancia para determinar la economía.

En el ciclismo en ruta la eficiencia energética es medida habitualmente como eficiencia mecánica bruta o *Gross Efficiency* (GE) (Jeukendrup, Craig y Hawley, 2000), o como la relación trabajo realizado-energía invertida (Esteve-Lanao y

Cejuela, 2010). Para la determinación correcta de la eficiencia energética, es deseable realizar cargas constante al ~80% del VO_2 máx, cuya duración debe prolongarse al menos 4 min (preferiblemente 20min). En la Tabla 1.3.5. se expone el cálculo pormenorizado de la eficiencia energética.

Tabla 1.3.5
Gross Efficiency (Jeukendrup et al. 2000)

$$GE (\%) = 60 \cdot (W / 20,934) / VO_2(l/min) / 10$$

W= Potencia mecánica en vatios (W); 20,934= Equivalente calórico de 1l de O2 en julios.

Lo que sí queda patente, es que en corredores o ciclistas de igual o similar VO_2 máx la eficiencia energética es determinante del rendimiento (Brandon 1995; Lucía et al. 2006).

Umbral Anaeróbico (UAN)

Existen diferentes términos para referirse a similares conceptos que habitualmente se engloban como “Umbral Anaeróbico”. Estos son:

- Umbral aeróbico – anaeróbico (Mader et al. 1976)
- Umbral anaeróbico (Kindermann, Simon y Keul, 1979)
- IAT (umbral anaeróbico individual) (Keul et al. 1979)
- Umbral anaeróbico individual (Stegmann, Kindermann, y Schnabel, 1981)
- OBLA (inicio de acúmulo de lactato en sangre) (Sjödín y Jacobs, 1981)
- Umbral ventilatorio 2 (VT2) (Orr, Green, Hughson, y Bennett, 1982)

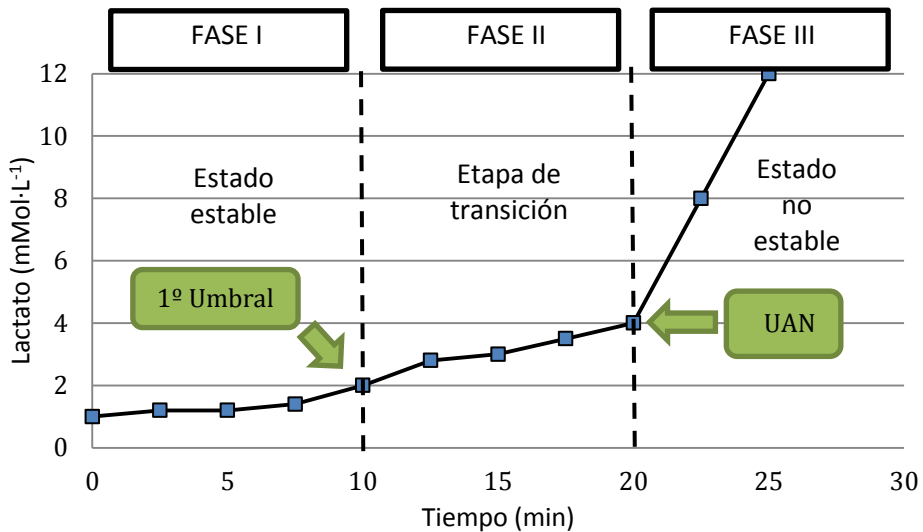
Este umbral representa una zona de entrenamiento en relación a una intensidad metabólica crítica. Su efecto determinante en el rendimiento se halla tanto en la velocidad que se puede desarrollar a esa intensidad, como en la habilidad para mantener un elevado % del $\text{VO}_2\text{máx}$ sin acumular lactato (Billat, 2001a), dado que esta zona umbral se localiza a un elevado % del $\text{VO}_2\text{máx}$. La velocidad a desarrollar estará también condicionada por la economía (Billat, 2001a).

Aunque a principios del s.XX diversos investigadores comenzaron a constatar la existencia de una fase aeróbica y otra anaeróbica durante la contracción muscular, no fue hasta 1927 cuando Douglas aproximó al concepto actual de UAN.

Heck et al. (1985) justificó el valor de $4 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$ como medida aproximada para deportistas de resistencia en el cual se producía el UAN. En 1979 Kindermann y colaboradores hablan de un “primer umbral” del lactato con el criterio de “primer incremento del lactato desde el reposo”, que Mader (1979), y otros muy posteriormente, situarán alrededor de los $2 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$. En 1981 se desarrollo el concepto de IAT por Stegmann y colaboradores.

Estas dos fases diferenciadas y descritas anteriormente, muestran un estado estable del metabolismo celular (próximo a $2 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$) y otro estado no estable (en torno a $4 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$ o intensidad correspondiente a IAT) y por consiguiente una etapa entre ambos denominada de transición (Skinner y McLellan, 1980) (Figura 1.3.6.)

Figura 1.3.6.
Modelo trifásico de Skinner y McLellan (1980)



Aunque tanto los medios de determinación del UAN sean distintos, como la manera de referirse a este mismo, la mayoría de autores coinciden en reconocerlo como un aumento brusco del lactato sanguíneo durante el ejercicio en función de su intensidad y duración. Hasta la fecha, se han utilizado los métodos anteriormente nombrados y otros métodos que establecen intensidades submáximas sin usar el lactato o mediciones espirométricas como el método *Visual deflexion* de la frecuencia cardiaca (Conconi, Ferrari, Ziglio, Droghetti y Codeca, 1982), Dmax (Cheng et al. 1992), pH, saliva, catecolaminas, amonio (Yuan, So, Wong y Chan, 2002), incremento del ritmo respiratorio, percepción, electromiografía, etc.) para determinar el UAN.

Billat et al. (2003b) propone el MLSS (Máximo Estado Estable de Lactacidemia). Definido como la mayor concentración de lactato en sangre e intensidad de

trabajo que puede ser mantenida durante el tiempo sin un continuo incremento de la concentración de lactato sanguíneo.

Ante la multitud de términos propuestos que se refieren a un mismo momento fisiológico, hay que destacar que la elección de uno u otro puede variar y repercutir sobre la selección de cargas entrenantes. Dekerle Baron, Dupont, Vanvelcenaher y Pelayo (2003) apuntaron una sobrestimación del UAN mediante la determinación del VT2 comparándolo con MLSS. Por ello, la elección de MLSS puede ser la mejor opción, con el fin de no sobrestimar intensidades de entrenamiento y las consecuencias que esto podría acarrear para el atleta

En 1987 Péronnet y Thibault, hacen referencia a esta capacidad para mantener un alto % del VO_2 máx. Según estos autores, más que tener en cuenta la velocidad a la cual se da el UAN, hay que prestar atención al % de VO_2 máx al que se da la velocidad (km·h) y el tiempo máximo capaz de mantener esta intensidad.

Péronnet y Thibault describen una caída lineal en la relación entre tiempo de competición y % VO_2 máx sostenido. Cuanto mejor es el nivel en este índice, menor la caída, por tanto, mayor % del VO_2 máx puede mantener conforme la duración de la carrera aumenta (Tabla 1.3.7.).

Tabla 1.3.7.

Ejemplo del cálculo del Índice de Resistencia (Péronnet y Thibault, 1987)

- Corredor A: $v\text{VO}_2\text{máx}$: 17,4km/h, Marca en 10000m: 38min:19s = 15,66km/h; 90% $\text{VO}_2\text{máx}$
- Corredor B: $v\text{VO}_2\text{máx}$: 18km/h, Marca 21000m: 1h:26min:10s= 14,4 km/h; 80% $\text{VO}_2\text{máx}$

$$\text{I.R.} = 100\% \text{VO}_2\text{máx}^* / \text{Ln } 360\text{s} - \text{Ln} (\text{distancia de la prueba} / \text{velocidad de la prueba}^{**})$$

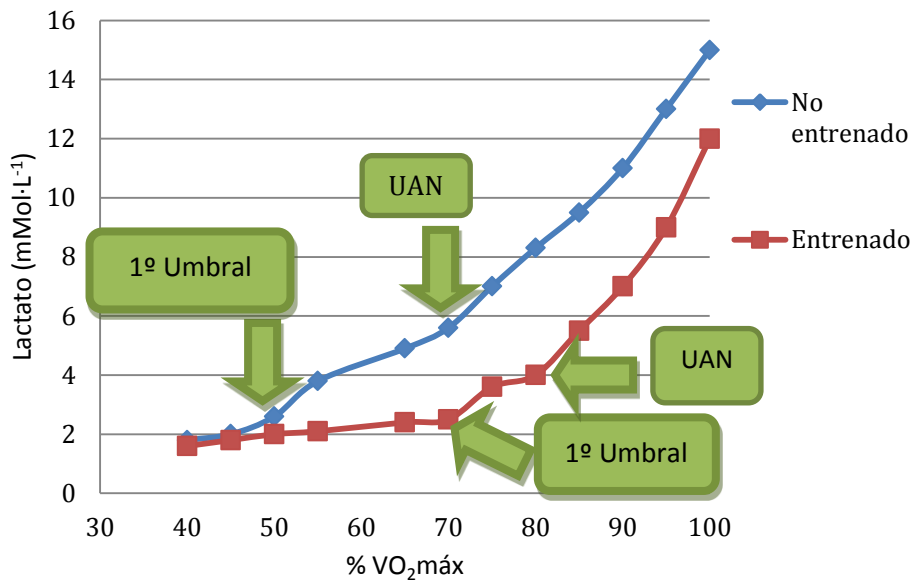
- I.R. para:
 - Corredor A: - 5,76
 - Corredor B: - 7,62

*Intensidad a la cual se ha realizado la prueba; ** en metros por segundo

La pendiente siempre será negativa debido a la pérdida de velocidad, y una disminución en la fracción de utilización del $\text{VO}_2\text{máx}$ en función del tiempo. Un índice de resistencia mayor indicará una menor habilidad de mantener un % del $\text{VO}_2\text{máx}$ a una intensidad determinada.

Como se ha explicado anteriormente, el $\text{VO}_2\text{máx}$ por si solo no es un parámetro que dirima al atleta más exitoso. Pero el poseer la capacidad para mantener un alto % de $\text{VO}_2\text{máx}$ sin acumular lactato y por tanto mantener una intensidad durante más tiempo, es fundamental para el atleta de resistencia (Figura 1.3.8.).

Figura 1.3.8.
Respuesta al entrenamiento de los umbrales fisiológicos



En pruebas de ultrafondo (>4h) la incapacidad para mantener una intensidad de UAN es evidente debido a la larga duración de estas pruebas y sus repercusiones fisiológicas (Nassis y Geladas, 2002). Varios estudios han cuantificado la capacidad de pedaleo hasta la extenuación en ciclistas, a una intensidad de UAN, pudiendo ser mantenida esta intensidad durante 48-225min (Aunola, Alanen, Marniemi y Rusko 1990; Davis et al. 1992; Ivy, Costill, Van Handel, Essig y Lower, 1981). Por ello parece poco probable que un evento como es el *IronMan* pueda ser realizado a una intensidad de UAN. Laursen y Rhodes (2001) propusieron el término “umbral de ultraresistencia” para referirse a una intensidad de trabajo ligeramente inferior al UAN. Estos autores la definieron como la intensidad óptima a la cual un atleta de ultraresistencia pueda mantener la ejecución durante un evento específico de ultrafondo.

Capacidad y potencia anaeróbica

A partir de la consecución del VO_2 máx, la única forma de conseguir una mayor intensidad es recurriendo a la vía anaeróbica, y en concreto para actividades cíclicas y que se mantienen en el tiempo a la vía anaeróbica glucolítica.

Al hablar de capacidad anaeróbica se puede englobar los siguientes términos refiriéndose a conceptos muy próximos entre sí: capacidad glucolítica, capacidad láctica, tolerancia al lactato (o TOLA), así como los de potencia glucolítica, potencia láctica, máxima producción de lactato (MPLA).

Astrand, Rodahl, Dahl y Strømme (2010) exponen que hasta los 2 min, la potencia anaeróbica tiene una mayor contribución durante el ejercicio que la contribución aeróbica. Entorno a los 2 min la contribución de cada sistema ronda el 50% y conforme se prolonga el ejercicio en el tiempo la potencia aeróbica se torna más relevante.

A similares valores de VO_2 máx, UAN y economía de carrera, la capacidad anaeróbica es el factor determinante del rendimiento en corredores de niveles parecidos (Bulbuilan, Wilcox y Darabos, 1986).

La importancia de una buena capacidad anaeróbica en pruebas desde 800m hasta 3000m, puede suplir un menor nivel en los otros factores determinantes del rendimiento (Brandon, 1995). A partir de distancias de 5000m, variables como el UAN (Manfulli, Capasso y Lancia, 1991) y vVO_2 máx (Morgan, Baldini, Martin y Kohrt, 1989) podrán predecir de mejor manera el rendimiento.

Así pues, en las pruebas de medio fondo (desde 800m hasta 5000m), la aportación anaeróbica contribuye a determinar el rendimiento (Lacour y Flandrois, 1977; Spencer y Gatin, 2001). No obstante, la capacidad de esta variable para determinar el éxito en competiciones más largas (para atletas con parámetros aeróbicos igualados) ha quedado constatada en atletas de campo a través (Bulbuilan et al. 1986) y se ha indicado que en pruebas cortas de triatlón también puede tener una importancia elevada (Cejuela, 2009).

En la bibliografía actual se pueden encontrar varios métodos para medir y cuantificar la capacidad anaeróbica. El test MART (Nummela et al. 2006; Paavolainen, Häkkinen, Hämmäläinen, Nummela y Rusko, 1999) es uno de ellos. Éste test consiste en 10 repeticiones de 150 m o 20 segundos (dependiendo si es pista o tapiz) a una velocidad creciente hasta la máxima posible y pausas de 100 segundos.

Posiblemente el método más utilizado (de los expuestos) ha sido el llamado déficit máximo de oxígeno acumulado (DMOA, o en inglés MAOD) (Medbo et al. 1988). En la Tabla 1.3.9. Se muestra el cálculo paso a paso.

El objetivo de esta prueba es determinar el O_2 que haría falta para ejercitarse a un % superior al $VO_{2m\acute{a}x}$. La duración del test debe situarse alrededor de 2 min (Green y Dawson, 1993), pues de lo contrario la cantidad de ATP suministrada por el metabolismo anaeróbico puede no ser máxima. Así, la velocidad será entre el 110 y el 120% de la VAM (Billat, 2001a).

En las últimas décadas numerosas investigaciones han tenido como objeto de estudio la repercusión de un trabajo específico de fuerza (entendiendo como

tal, cualquier ejercicio que tenga por finalidad incrementar la fuerza, potencia, resistencia muscular, o provoque adaptaciones neurales) sobre el rendimiento en deportes de resistencia (Bell, Petersen, Quinney y Wenger, 1989; Hakkinen, Komi y Alén, 1985; Hickson, Dvorak, Gorostiaga, Kurowski y Foster, 1988; Hoff, Helgerud y Wisløff, 1999; Marcinik et al. 1991; Paavolainen et al. 1999; Sale, 1988).

Tabla 1.3.9.
Ejemplo del cálculo del Déficit Máximo de Oxígeno Acumulado (DMOA)(adaptado de Billat 2010)

VAM (km·h⁻¹)	17*
VO₂max (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	72*
velocidad (km·h⁻¹) donde estimar el DMOA	21
Intensidad a estimar (%VO₂máx)	124
(regla de 3 entre VAM y % a estimar)	
VO₂ necesario (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	89
(regla de 3 entre VO ₂ máx y VO ₂ necesario si se cubriera todo solo aeróbicamente)	
VO₂ necesario (ml·kg⁻¹·min⁻¹) cada 15 s	22
dividir la cantidad anterior entre 4 para saberla cada 15 s	
Total fracciones de 15 s empleadas	8
(según el tiempo total que logre aguantar, en este ejemplo supondremos que 2 minutos exactos)	
Total VO₂ necesario (ml·kg⁻¹·min⁻¹) (n veces x 15 s)	178
(multiplicar número de fracciones por estimación VO ₂ cada 15 s (22x8)	
Total VO₂ consumido (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	119
(sumar VO ₂ real total cada 15 s)	
DMOA (ml·kg⁻¹)	59
(diferencia entre VO ₂ necesario y VO ₂ consumido, 178-119)	

VAM: Velocidad Aeróbica Máxima (Velocidad mínima que solicita un VO₂máx); VO₂máx: consumo máximo de oxígeno; DMOA: Déficit Máximo de Oxígeno Acumulado; * Datos obtenidos previamente a la prueba.

La importancia del trabajo de fuerza sobre las variables determinantes del rendimiento varía considerablemente. Respecto al VO_2 máx, el trabajo de fuerza unido al de resistencia en atletas entrenados no consigue incidir directamente en la mejora de este parámetro fisiológico (Bell et al. 1989; Hickson et al. 1988; Hoff et al. 1999; Tanaka, Costill, Thomas, Fink y Widrick, 1993). No obstante, en personas sedentarias ($<40\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) sí se han observado mejoras significativas en el VO_2 mediante el trabajo de fuerza (Marcinik et al. 1991; Stone, Wilson, Blessing y Rozenek, 1983).

El trabajo de fuerza tampoco indujo ninguna mejora sobre el UAN en atletas (Hoff et al. 1999; Paavolainen et al. 1999).

Aunque en estudios como el de Paavolainen et al. (1999) se sugiere una mejora del rendimiento sobre una prueba de 5000m gracias al entrenamiento de fuerza explosiva o entrenamiento pliométrico (en definitiva por mejoras neuromusculares), es necesario el incidir si realmente el entrenamiento de fuerza tiene capacidad para provocar adaptaciones del sistema anaeróbico. Lo que sí parece cierto es la mejora que puede llegar a inducir el trabajo de fuerza sobre la economía del ejercicio en diversos deportes (Hakkinen et al. 1985; Hoff et al. 1999; Sale et al. 1988; Sale, Jacobs, MacDougall y Garner, 1990).

Según varias publicaciones, la mejora de la eficiencia por parte del entrenamiento de fuerza es debido a una mayor eficiencia del sistema nervioso central, mejorando el reclutamiento de fibras y sincronización de éstas (Hakkinen et al. 1985; Sale et al. 1990). Por ello un trabajo de fuerza máxima incidirá sobre éstas adaptaciones. Un estudio de Millet, Jaouen, Borrani y Candau (2002), mostró un descenso del 11% del VO_2 a intensidades

submáximas tras 14 semanas de trabajo de fuerza máxima en triatletas bien entrenados ($\text{VO}_2\text{máx} \sim 69\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

Un segundo mecanismo en la mejora de la eficiencia (en este caso de carrera), es la optimización de la rigidez músculo-tendinosa (llamada en inglés “*stiffness*”) lo cual hace que la energía elástica sea almacenada y utilizada más eficientemente (Cavanagh y Kram, 1985; Spurrs, Murphy y Watsford, 2003) reduciendo de esta manera el tiempo de contacto del pie con el suelo durante la carrera (Hakkinen et al. 1985; Sale, 1988).

De este modo, la fuerza es considerada, más que un factor determinante del rendimiento, un factor que puede limitarlo. En general, tanto el $\text{VO}_2\text{máx}$ como la fuerza y la técnica se consideran contenidos limitantes en el entrenamiento de los deportes de resistencia. Esto es, que su falta de desarrollo por encima de unos mínimos puede comprometer el desarrollo de los factores determinantes, que son los que directamente pueden explicar el rendimiento.

Entendiendo pues la importancia relativa del desarrollo de cada factor, podemos concluir en este apartado que es importante conocer el perfil fisiológico del atleta de cara a promover adaptaciones fisiológicas en un sentido u otro. Y siendo conscientes de las limitaciones y puntos fuertes de cada sujeto, acercándonos a conseguir el rendimiento óptimo para cada competición (Smith, 2003).

1.4. Análisis de la intensidad fisiológica durante la competición

La intensidad fisiológica de la competición es entendida como el estrés o carga interna que representa la competición para el organismo (Esteve-Lanao et al. 2010)

Durante la competición puede ocurrir dos acontecimientos: el estrés fisiológico o carga interna se incrementa conforme vaya pasando el tiempo, mientras la velocidad o potencia generada por el atleta se mantenga relativamente estable. O bien, puede suceder que la intensidad fisiológica sea elevada y la intensidad decreciente como efecto de un comienzo a una intensidad mayor a la debida.

El primer acontecimiento acabará en un éxito deportivo (desde un punto de vista fisiológico), ya que el sujeto ha podido mantener una velocidad o potencia estable. En el segundo acontecimiento, es de suponer que acabará en un mal resultado para el atleta. Es más que probable, que la intensidad inicial por encima de su capacidad le lastre durante toda la carrera sin opción a recuperarse.

Para una correcta periodización del entrenamiento el conocimiento y consideración de la carga interna durante la competición es crucial (Esteve-Lanao et al. 2010).

Observando la competición, ésta dará una información muy interesante de cara a planificar y periodizar los entrenamientos. También aportará datos sobre las intensidades máximas desarrolladas por atletas durante la

competición, intensidades que suponen una base general, específica y competitiva.

Dentro de esta observación, hay que tener en cuenta la lógica misma del sistema competitivo (p.e. el campeonato mundial en pista al aire libre). No será igual el planteamiento inicial (o estrategia competitiva) de una ronda eliminatoria de los 5000m, que el de la final de esta competición. Si el sujeto A (M.M.P: 13min:30s) opta a ganar la competición, podrá correr las eliminatorias de forma continua a una velocidad media y realizar un *sprint*, en busca del mejor puesto, en los últimos metros. No obstante el mismo sujeto en la final puede verse envuelto en una competición en la que continuamente se estén lanzando ataques que le obliguen a cambiar constantemente de ritmo.

Una vez observada las diferentes intensidades fisiológicas que se dan durante la competición, se pone de manifiesto la necesidad de plantear métodos de entrenamiento más abiertos.

El ejemplo del corredor de 5000m, sirve para ilustrar la interacción de los tres sistemas energéticos durante una prueba de resistencia.

Desde 1960 y la década de los 70 comienza a cobrar interés científico la interacción y la contribución de los sistemas energéticos durante un esfuerzo máximo. En especial, en lo que respecta a los deportes de resistencia, este interés se centra sobre el sistema anaeróbico glucolítico y aeróbico. Astrand, Rodahl, Dahl y Strømme (2010) presenta una aproximación de la contribución relativa al esfuerzo del sistema energético anaeróbico glucolítico y aeróbico durante esfuerzos máximo de duración entre 10 s y 120 min.

Un tema controvertido en la literatura científica sigue siendo el punto conocido como “*crossover*” o punto donde el sistema anaeróbico glucolítico y aeróbico se ven igualados en su contribución energética. En la Tabla 1.4.1. se observa cómo se sitúa este punto en ~2 minutos. Mathews y Fox (1971) defendieron que esta contribución igualitaria sucede entre el minuto 3 y 4 para un esfuerzo máximo. Otros autores han situado el *crossover* energético sobre los 100 s o incluso en algún punto entre los 2 y 3 minutos (Bangsbo et al. 1990). Lo que parece más probable es que esta interacción entre los dos sistemas energéticos, llegue a su equilibrio entorno a los 75 segundos de duración (Gastin, 2001).

Ante la pregunta ¿Cuánto de aeróbico hay en un esfuerzo?, se deberá responder en función del tiempo máximo capaz de mantener una intensidad por parte del atleta. Tabla 1.4.1.

Es necesario entender que a una misma velocidad durante una competición de larga distancia, la velocidad o potencia desarrollada tendrá una intensidad fisiológica diferente conforme transcurra la prueba. Esto queda patente en las carreras de fondo cuando a una velocidad estable la FC puede seguir incrementándose perdiendo una hipotética linealidad entre velocidad y FC a intensidades submáximas.

Tabla 1.4.1.

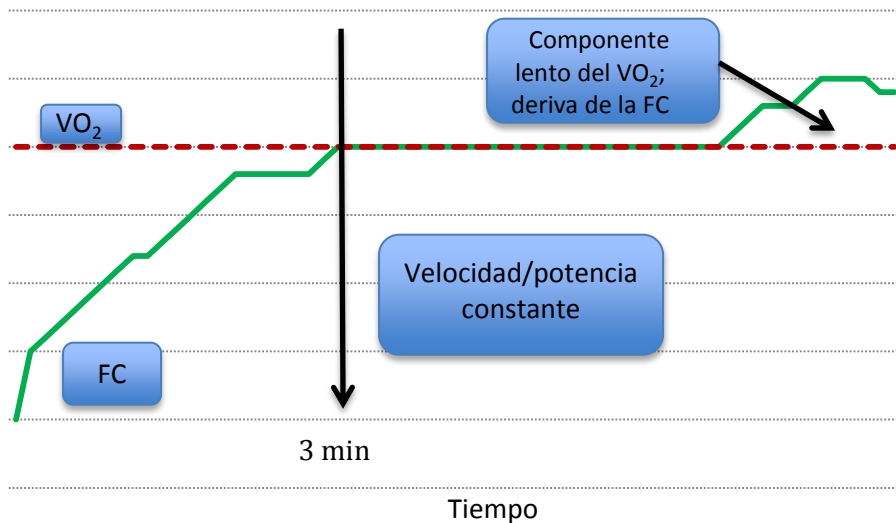
Tiempos límite aproximados a una intensidad fisiológica determinada, estando muy entrenado y asumiendo ritmos y potencias relativos a unos umbrales estables sin fatiga (modificado de Esteve-Lanao, 2007b)

Potencia anaeróbica fosfagenolítica	~ 6 s
Proporción 50% aeróbico/anaeróbico	~ 75 s
Máxima producción de lactato	~ 60 s
vVO ₂ máx/pVO ₂ máx	~ 6 min
Umbral anaeróbico	~ 60 min
Umbral aeróbico	~ 6 h

Cabe recordar en este punto el llamado fenómeno de componente lento del VO₂. La realización de esfuerzos a intensidades superiores al LT, desarrollarán, en deportistas que no sean suficientemente eficientes, un coste “adicional” de O₂ sumado al VO₂ a una intensidad determinada (Gaesser y Poole, 1996). Este aumento de consumo repercute claramente en un empeoramiento de la eficiencia (Figura 1.4.1.). El descubrimiento del componente lento del VO₂ arroja ciertas preguntas acerca de la capacidad para alcanzar estados estables del VO₂ próximos al UAN, debido a este incremento continuo de O₂.

Figura 1.4.1.

Concepto de componente lento del VO_2 . Éste es considerado como el incremento del VO_2 a partir de los 3 minutos de actividad a una intensidad constante



En definitiva, es necesario entender la intensidad y la eficiencia como un factor expuesto a variaciones durante el ejercicio. Tanto el componente lento del VO_2 , como la progresiva deshidratación, el aumento en la utilización de FFA, etc. afectan a un empeoramiento de la economía del esfuerzo en corredores y triatletas (Guezennec, Vallier, Bigard y Durey, 1996).

Por consiguiente, la resistencia no sólo será dependiente de la intensidad, sino que también será dependiente de la duración de la prueba (Esteve-lanao et al. 2010). Un atleta capaz de mantener una misma intensidad fisiológica relativa a un % del VO_2 máx, durante mayor tiempo poseerá un mayor estado de forma.

Para poder realizar una buena planificación de la competición ha de conocerse la intensidad fisiológica a la cual el sujeto va a ejercitarse durante la competición y el tiempo máximo que este mismo sujeto será capaz de mantener a dicha intensidad.

En el presente punto se ha querido resaltar, la necesidad en la habilidad del atleta para mantener la intensidad específica de competición durante el mayor tiempo posible, ésta incrementará las opciones de éxito. Aunque el predominio del sistema aeróbico, sobre los demás, parece ser primordial en pruebas más largas de 75 s (Gastin, 2001), el análisis fisiológico de la competición en deportes de resistencia, revela una utilización de los tres sistemas energéticos en mayor o menor medida (Astrand et al. 2010), resaltando así la importancia de plantear entrenamientos más abiertos.

1.5. Componentes de la carga de entrenamiento

A la hora de planificar el entrenamiento en deportes de resistencia hay tres variables que determinarán la carga de entrenamiento: volumen, intensidad y densidad. A continuación se pasará a explicar cómo influye cada una de ellas (y la interacción entre sí) en el rendimiento del atleta de fondo.

Volumen

García-Manso, Navarro y Ruiz (1996) definen al volumen como “la medida cuantitativa global de las cargas de entrenamiento de diferente orientación

funcional que se desarrollan en una sesión, microciclo, mesociclo o macrociclo” (p. 77).

El volumen o magnitud de la carga es la parte cuantitativa del trabajo. No debe confundirse a esta variable con la duración del entrenamiento, el volumen también puede representar los kilogramos totales que el atleta ha movilizado durante una sesión, el número de kilómetros recorridos por un ciclista, etc.

El volumen de entrenamiento lo integran las siguientes partes (Bompa, 2003): tiempo o duración del entrenamiento, distancia recorrida o peso levantado por unidad de tiempo y las repeticiones del ejercicio o elemento técnico que el atleta realiza durante un periodo.

Existen dos tipos de volumen que pueden ser calculados (Bompa, 2003). El “volumen relativo”, éste se refiere a la cantidad total de tiempo (u otra magnitud en la cual se mida el volumen) que un atleta, grupo de deportistas o un equipo han desarrollado durante un ciclo de entrenamiento con respecto a su capacidad máxima. Por ejemplo, puede ser representado en corredores como el número de kilómetros realizados en una semana dividido entre los totales del mesociclo. Un segundo tipo es el “volumen absoluto”, el cual mide la cantidad de trabajo de un deportista. Representado en kilómetros, repeticiones, minutos o kilogramos en un periodo dado.

A la hora de cuantificar el volumen no existe una moneda común que permita unificar todos los aspectos que se dan en los diferentes deportes y compararlos entre sí. Una sesión en la cual un atleta haya movilizado 1500 kg en 60 min no podrá ser equiparable a 60 min de carrera continua.

El incremento del volumen durante el transcurso de la vida deportiva del atleta es un factor clave para su desarrollo (Bompa, 2003). Según este autor el incremento del volumen de manera continua es imprescindible para que los deportistas consigan adaptaciones fisiológicas. Este incremento puede darse con un aumento progresivo en el número de sesiones de entrenamiento, cantidad de trabajo efectuado o ambas de manera simultánea.

Respecto a la cantidad de trabajo realizado, cuantificado en horas de entrenamiento, Bompa (2003) determina al menos 1000 horas por año en atletas de élite, 800 horas para atletas internacionales, deportistas de nivel nacional 600 horas y por último atletas que compiten a nivel regional 400 horas por año.

Una vez se llegue a un nivel de rendimiento, el incremento de volumen no siempre irá acompañado con una mejora de la forma (Costill et al. 1988; Hickson, Foster, Pollock, Galassi y Rich 1981; Londeree, 1997). Londeree (1997) expone que en atletas que alcancen $60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, el trabajo a intensidades submáximas no mejorará el rendimiento de los atletas. Parece ser que para que se produzcan nuevas adaptaciones no basta sólo con un aumento de volumen, sino con trabajar a una intensidad mínima que resulte entrenante para el sujeto.

Dependiendo de la práctica deportiva, parece haber un rango de volumen “óptimo” para inducir y mantener las adaptaciones fisiológicas deseadas (Henriksson, 1992; Terjung, 1976). Aunque ha de considerarse las características del sujeto (nivel, sexo, años de entrenamiento, etc.), la

competición objetivo y las demandas específicas de ésta, periodo de su vida deportiva y de la temporada en el que se encuentra el atleta (Kraemer y Ratamess, 2004; Wolfe, LeMura y Cole, 2004).

¿Mediante qué mecanismos se ve beneficiado el atleta por la realización de un gran volumen? El aumento del volumen plasmático (hipervolemia) como respuesta al ejercicio de resistencia, es un aspecto fundamental para la homeostasis cardiovascular (Convertino, 1991). El incremento del volumen plasmático, en atletas entrenados puede llegar a 1000 ml (Selby y Eichner, 1994; Convertino, 1991). El aumento del volumen sanguíneo, influye en la precarga cardiaca, en el llenado ventricular y en volumen de eyección sistólico (Kanstrup, 1982; Krip, Gledhill, Jamnik y Warburton, 1997). Un estudio realizado por Berger, Campbell, Wilkerson y Jones (2006), demostró que tras un aumento agudo del volumen plasmático (APVE), se incrementó el riego sanguíneo a los músculos implicados durante el ejercicio, así como la capacidad de extracción de O₂ por parte de éstos.

Respecto a las adaptaciones periféricas que se han constatado al mantener un alto volumen de trabajo destacan la mejora en la economía de las fibras II (en forma de una mayor eficacia y eficiencia para consumir oxígeno) (Lucía, Hoyos, Pardo y Chicharro, 2000a). También se encontró un incremento en la capacidad de generar fuerza en fibras de tipo I cuando se aumentó el volumen de entrenamiento en corredores (Trappe et al. 2006)

La utilización de sesiones de baja intensidad y larga duración pueden suponer una mejora en tolerar esfuerzos de alta intensidad y mejorar la recuperación entre sesiones (Esteve-Lanao, San Juan, Earnest, Foster y Lucía, 2005). Más

adelante profundizaremos sobre la intensidad óptima a la que realizar el amplio volumen de entrenamiento requerido, algo que supone un debate en la actualidad (Seiler, 2010).

Intensidad

Tudor O. Bompa (2003) define la intensidad como “el componente cualitativo del trabajo que realiza el deportista en un plazo de tiempo determinado”(p.91).

La prescripción de esta variable en deportes cíclicos de resistencia suele hacerse como porcentaje de una velocidad, potencia, metros por segundo, metros por minuto, kilómetros por hora o en base algún parámetro fisiológico como la velocidad a la que se logra el VO_2 máx (vVO_2 máx), Velocidad Crítica (Cv), etc.

Una de las medidas más utilizadas tanto por los fisiólogos del ejercicio, como por los entrenadores es la expresión del % relativo a la velocidad o potencia aeróbica máxima.

La intensidad variará en función de los aspectos específicos del deporte. Por ello es necesario establecer y utilizar diferentes grados de intensidad, que a su vez reportarán diferentes adaptaciones fisiológicas al atleta. Debido a que el fin último de todo proceso de entrenamiento es la mejora del rendimiento, es necesario que se recalculen periódicamente estas intensidades, ya que es de suponer que el estado de forma del atleta variará durante la temporada.

La prescripción de una intensidad adecuada para conseguir las adaptaciones deseadas varía en función del nivel de los sujetos. Así pues, el ACSM (2011) estima una intensidad mínima del 45% del consumo de oxígeno de reserva (VO_2R) en sujetos con valores entre 40-51 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ para incrementar su $VO_2máx$, mientras que en sujetos moderadamente entrenados y altamente entrenados la intensidad necesaria para mejorar este parámetro será de 70-80% del $VO_2máx$ y 95-100% $VO_2máx$ respectivamente (ACSM, 2011).

Si como bien se ha expuesto en el párrafo anterior, en atletas altamente entrenados para conseguir una adaptación a nivel del $VO_2máx$ es necesario ejercitarse a intensidades próximas a éste (dejando de lado el tiempo límite que cada atleta pueda mantener dicha velocidad o potencia) pero ¿Cuánto volumen a esta intensidad será necesario para provocar las mayores adaptaciones? La proporción óptima entre volumen de trabajo a baja intensidad y volumen a moderada y alta intensidad se tratará más adelante.

Recuperación, densidad o frecuencia

En este apartado, se englobarán la recuperación, la densidad y la frecuencia de entrenamiento. No siendo términos que expresen el mismo concepto, pero sí se identifican con una alternancia temporal entre estímulo y descanso.

Se entiende como recuperación al lapso de tiempo que sucede a un esfuerzo, sin producirse un estímulo de intensidad igual o mayor a éste. La densidad representa la relación entre las fases de estímulo y las de recuperación (Bompa, 2003). Esto es el ratio entre trabajo y descanso, a mayor densidad de trabajo este ratio será menor. La frecuencia normalmente se cuantifica en número de

sesiones durante un período de tiempo determinado, comúnmente expresado en sesiones por microciclo.

Alterando la densidad del entrenamiento, pero manteniendo similares intensidades de trabajo, las adaptaciones fisiológicas provocadas por éste podrán variar (Parra, Cadefau, Rodas, Amigó y Cussó, 2000; Billat, 2001a).

La frecuencia de trabajo para personas con una condición física baja ($<40\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) es de al menos 3 días por semana (ACSM, 2011), siendo para atletas altamente entrenados (nivel internacional y élite) de entre 8 y 13 sesiones por semana (Bompa, 2003; Seiler, 2010). A su vez, la frecuencia estará estrechamente relacionada con la intensidad del esfuerzo. Cuanto mayor sea la intensidad de una sesión, mayor será el estrés al cual se ha visto sometido el organismo y por tanto, la recuperación se dilatará más en el tiempo.

En cuanto a la recuperación, las pausas entre estímulos resultan muy importantes para asegurar el mayor volumen de trabajo a la intensidad deseada. También ha de tomarse en consideración el carácter activo o pasivo de la pausa, y si ésta es activa, a la intensidad que es desarrollada. Un estudio de Demarie, Koralsztein y Billat (2000) mostró como a una misma intensidad de esfuerzo, la inclusión de pausas activas (50% de la velocidad del esfuerzo) incrementó el tiempo total que los diferentes sujetos pudieron mantener el $\text{VO}_2\text{máx}$ hasta estar exhaustos. Figura 1.5.1. y Figura 1.5.2.

Figura 1.5.1.

Tiempo hasta el agotamiento a una velocidad constante e intensidad próxima al VO_2 máx (Demarie et al. 2000)

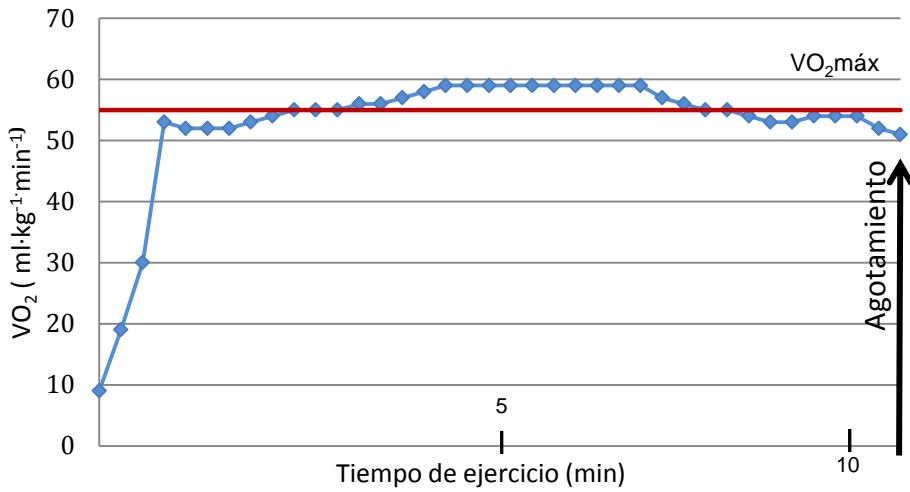
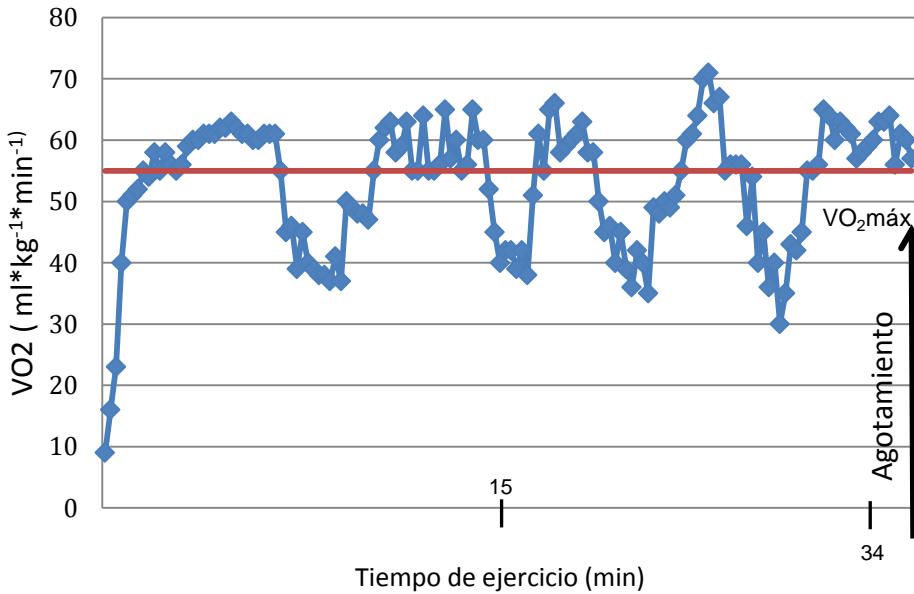


Figura 1.5.2.

Tiempo hasta el agotamiento, a una velocidad próxima al VO_2 máx con periodos de recuperación activa (50% de la intensidad anterior)(Demarie et al. 2000)



La necesidad de optimizar el volumen de entrenamiento (manteniendo unas adaptaciones perdurables y preparando al sistema locomotor), su intensidad (como principal elemento que provoca nuevas adaptaciones) y permitir una recuperación, que produzca a su vez un aumento del rendimiento (supercompensación), hace que estas tres variables tomen mayor o menor protagonismo dependiendo de la fase de la temporada en la que se sitúe el atleta.

1.6. Cuantificación del entrenamiento

El objetivo final del entrenamiento, aumentar el rendimiento, es un proceso adaptativo que se da durante un tiempo determinado. Para conseguir este objetivo es necesario una correcta progresión, distribución y optimización en las cargas de entrenamiento (Mujika, 1998; Mujika y Padilla, 2003).

La cuantificación del entrenamiento ha sido objeto de estudio de numerosas investigaciones (Banister y Calvert, 1980; Borresen y Lambert, 2007; Hayes y Quinn, 2009; Lucia, Hoyos, Carvajal y Chicharro, 1999; Manzi, Iellamo, Impellizzeri, D'Ottavio y Castagna, 2009; Morton, Fitz-Clarke y Banister, 1990; Mujika et al. 1996; Stagno, Thatcher, y van Someren, 2007; Wood, Hayter, Rowbottom y Stewart 2005) las cuales han propuesto diferentes métodos y variables de estudio para arrojar luz sobre este proceso de cuantificación. Sin embargo, la mayoría de los entrenadores deportivos, siguen utilizando para cuantificar el entrenamiento métodos subjetivos, lo cual conlleva un riesgo para la salud del deportista al no ser monitorizado de ninguna manera su estado fisiológico (Cejuela y Esteve-Lanao, 2011).

En este apartado se expondrán diferentes métodos de cuantificación del entrenamiento (tanto subjetivos, como objetivos), para deportes de resistencia cíclica.

Cuantificación en función de la fatiga percibida

La utilización de la percepción del esfuerzo (RPE en inglés *Perceived Exertion*) fue propuesta en primera instancia por el psicólogo sueco Gunnar Borg y Dahlstrom (1964a; 1964b; Borg, 1975). Este investigador, propuso una escala de percepción en la cual el deportista determinará la intensidad del esfuerzo (escala de 6 a 20 puntos o de 0 a 10). La percepción de la fatiga en un momento determinado ha sido correlacionada significativamente con la intensidad del esfuerzo (Singh, Foster y McGuigan, 2007).

La utilidad en esta cuantificación subjetiva, ha sido validada con numerosos estudios que relacionaban este método (subjetivo) con variables fisiológicas objetivas (Seiler y Kjerland, 2006; Foster et al. 2001).

Una de las primeras propuestas de cuantificación en función de criterios subjetivos fue la de Foster et al. (2001). En este trabajo, se sugirió la asignación de una puntuación de la intensidad a la sesión en función de la percepción de atleta (Tabla 1.6.1.), para posteriormente multiplicar esta intensidad por el tiempo de duración de la sesión.

Tabla 1.6.1.
Escala de percepción del esfuerzo (modificada de Foster et al. 2001)

Puntuación	Descripción
0	Descanso
1	Muy, muy fácil
2	Fácil
3	Moderado
4	Algo duro
5	Duro
6	-
7	Muy duro
8	-
9	-
10	Máximo

Un ejemplo de la cuantificación del entrenamiento sería el siguiente: una percepción de la fatiga de 7 por 20 minutos de duración, esto representaría un índice de carga de entrenamiento total de 140. Este método de cuantificación posibilita el cálculo tanto de entrenamiento de resistencia como el trabajo de fuerza.

Por otra parte, parece lógico pensar en la necesidad de un entrenamiento o familiarización previa con esta escala para obtener unas mediciones fidedignas. Otra desventaja del método propuesto por Foster et al. (2001) es la consideración del tiempo total de duración de la sesión, incluyendo pausas, olvidándose del cálculo de la densidad, y englobando la cuantificación del entrenamiento de fuerza a través de la variable “tiempo”, lo cual no tiene mucho sentido para cuantificar la fuerza (Cejuela y Esteve-Lanao, 2011).

Uno de las últimas investigaciones publicadas respecto a la cuantificación subjetiva de la carga de entrenamiento (Cejuela y Esteve-Lanao, 2011) aboga

por una escala con valores de 0 a 5 (con puntuaciones intermedias entre valores enteros).

Los autores de este método (ECS: Equivalente de Carga Subjetiva), alegan la imposibilidad de controlar todos los factores del entrenamiento (entrenamiento, fatiga acumulada, estado nutricional) y las diferentes formas de cuantificar las distintas cualidades físicas (Cejuela y Esteve-Lanao, 2011). El método ECS propone la medición de valores diarios y acumulados, a comparar con la evolución de la carga Objetiva, debiendo ser ésta gradualmente creciente, mientras que la Subjetiva debería permanecer más estable o decreciente. La principal limitación de este método es que está todavía por validar.

Impulso de entrenamiento (TRIMP)

El modelo denominado Impulso de entrenamiento (TRIMP del inglés *Training Impulse*), cuantifica el estímulo de entrenamiento como una composición de carga externa y carga interna, multiplicando la carga de entrenamiento (volumen) por la intensidad del entrenamiento (Taha y Scott, 2003).

Bannister (1980) propuso por primera vez este método, basado en el incremento de la FC gradualmente ponderada. En la Tabla 1.6.2. se muestra el cálculo del sistema propuesto por Bannister en el cual la duración (en min) se multiplica por un factor de intensidad diferente para hombre o mujer.

Tabla 1.6.2.
Sistema original TRIMP (Bannister, 1980)

- $TRIMP = \text{duración del entrenamiento (min)} \times (\text{factor A} \times \Delta FC \times \exp(\text{factor B} \times \Delta FC))$
 - $\text{Ratio } \Delta FC = (\text{FC media} - \text{FC en reposo}) / (\text{FCmáx} - \text{FC en reposo})$
 - Factor A = 0,86 y Factor B= 1,67 para mujeres
 - Factor A = 0,64 y Factor B=1,92 para hombres
-

Las limitaciones para este modelo (Tabla 1.6.2.) se observan en una imposibilidad de cuantificación a intensidades por encima de la FCmáx, las propias de la utilización de la FC (Achten y Jeukendrup, 2003) y la falta de medición de las pausas.

Morton et al. (1990) sugirieron una modificación de la propuesta de Bannister, con el objetivo de poder cuantificar de una mejor manera las intensidades altas (Tabla 1.6.3.).

Tabla 1.6.3.
Modificación de sistema TRIMP por Morton et al. (1990)

$$TRIMP = \text{duración del entrenamiento (min)} \cdot \Delta FC \cdot 2,718 \exp(\text{factor B} \cdot \Delta FC)$$

Otra de las propuestas que se han realizado, en los últimos años, sobre el sistema de Bannister, ha sido la de TRIMPi (estímulo de entrenamiento individualizado, en castellano). Presentada por Manzi et al. (2009), con esta modificación, el grupo de Manzi quiso evitar la desproporcionada importancia que se da a los entrenamientos de larga duración y poca intensidad comparado con los entrenamientos más intensos pero de duración corta (Manzi et al. 2009). Para ello este grupo propone multiplicar la ΔFC por un factor (γ) para reflejar la intensidad del esfuerzo. Este factor (γ) se basa en

función del incremento exponencial de los niveles de concentración de lactato sanguíneo (bLA) y la elevación de la FC desde el reposo (Tabla 1.6.4.).

Tabla 1.6.4.
Modificación de sistema TRIMP por Manzi et al. (2009)

$$\text{TRIMP} = \text{tiempo (min)} \cdot \Delta\text{FC} \cdot y$$

- $\Delta\text{FC} = (\text{FC durante el ejercicio} - \text{FC en reposo}) / (\text{FC}_{\text{máx}} - \text{FC en reposo})$
- $y = 0,64^{e^{b(c)x}}$
- e = basado en el logaritmo neperiano
- $x = \Delta\text{FC}$, $b = 0,64$ para hombres y $c = 1,92$ para mujeres

Uno de los últimos modelos matemáticos a la hora de cuantificar el entrenamiento ha sido el presentado por Hayes y Quinn (2009), modelo el cual permite realizar comparaciones tanto para entrenamientos continuos como interválicos y toma en consideración las pausas y el tipo de recuperación de éstas (Tabla 1.6.5.). El principal problema de este sistema es su complejidad a la hora de cuantificar las cargas, además de no haber sido testado todavía con pruebas de campo (Cejuela y Esteve-Lanao, 2011)

Tabla 1.6.5.
Sistema de puntuación (W) TRIMPS (Hayes y Quinn, 2009)

$$\begin{aligned} W &= I(D_{\text{act}}) \times C(D_{\text{act}}) \times D \\ &= \left(\frac{v_{\text{act}}}{v_{\text{opt}}} + \frac{v_{\text{act}} - v_{\text{crit}}}{v_{\text{max}} - v_{\text{crit}}} \right) \times \left(1 + \frac{I(nD_{\text{act}}) - I(D_{\text{act}})}{I(D_{\text{act}})} e^{-\sigma_1 \frac{\tau_{\text{rec}}}{\tau_{\text{effort}}}} \right) \\ &\quad \times nD_{\text{act}} \left(q_D + (q_{nD} - q_D) e^{-\frac{\tau_{\text{rec}}}{\tau_{\text{effort}}}} \right) \end{aligned}$$

Donde: I = intensidad de la sesión, C = densidad de la sesión, D = volumen de la sesión.

Propuestas como la desarrollada por Lucía et al. (1999), la cual trata de simplificar el modelo original de Bannister, han mostrado su utilidad. Basándose en el modelo trifásico de Skinner y McLellan (1980) (Figura 1.3.6. se redujo las zonas de entrenamiento a 3 fases. La primera fase se situó por debajo del primer umbral (VT1), la segunda fase se da entre umbrales, y la tercera fase se desarrolla a intensidades mayores del segundo umbral (VT2). A cada minuto en una zona se le asignará una puntuación, siendo 1 punto por minuto en zona 1, 2 por minuto en zona 2 y 3 por minuto en zona 3.

La gran simplicidad del método aporta una mayor rapidez a la hora de la recogida de los datos, pero por el contrario está sujeto a la variación de la FC con lo que esto conlleva a la hora de medir el estrés del organismo (Achten y Jeukendrup, 2003). Otro factor limitante es la igualdad en las puntuaciones a intensidades fisiológicas diferenciadas.

Exceso de Consumo de Oxígeno Post-Ejercicio (EPOC)

La medición del EPOC ha sido sugerida como reflejo de la respuesta del organismo a una sesión de entrenamiento (Jobson, Passfield, Atkinson, Barton y Scarf, 2009). Como con las mediciones del VO_2 , del bLA, el EPOC necesita ser medido en el laboratorio, lo que conlleva un gasto importante en equipamiento adecuado, un coste de tiempo considerable y una duración de los resultados variable.

Rusko et al. (2003) (como se cita en Cejuela-Anta y Esteve-Lanao, 2011) propusieron un modelo matemático capaz de estimar el EPOC en función de la FC (Tabla 1.6.6.).

Tabla 1.6.6.
Modelo matemático para cuantificar el EPOC basado en FC (Rusko et al. 2003)

$$\text{EPOC (t)} = f(\text{EPOC}_{(t-1)}, \% \text{VO}_2\text{máx}, \Delta t)$$

EPOC (t) = es calculado usando la intensidad de ese momento (% VO₂max), duración del ejercicio (tiempo entre dos puntos (Δt) y el EPOC en la muestra anterior (EPOC_(t-1))

El cálculo de este modelo es relativamente complejo y requiere de un software y hardware específico (Suunto™ t6 *Heart Rate monitor*).

Producción de potencia (W)

La irrupción en el mercado de sistemas que permiten una medición continua de la potencia generada (SRM™ y Power Tap™) y la utilización por parte de ciclistas de élite durante el entrenamiento y competición de estos sistemas, a incrementado el interés de investigadores por este tipo de mediciones (Elbert et al. 2005; Elbert, Martin, Stephens y Withers, 2006).

La asociación de una determinada intensidad (W) a unas respuestas fisiológicas, permiten el análisis tanto del entrenamiento como de la competición (Jobson et al. 2009) sin depender de la variabilidad de la FC.

Una de las aproximaciones para salvar la dificultad de interpretar los datos obtenidos por estos sistemas, ha sido la propuesta por Elbert et al. (2005), que aboga por evaluar el tiempo total pasado por el atleta en una zona determinada (zonas de intensidades distintas, medidas en W).

Zonas de entrenamiento

La utilización de escalas de entrenamiento en función de la FC, velocidad o bLA ha sido ampliamente propuesta por diversos autores. La problemática para estas escalas se presenta en la medición de intensidades superiores al VO_2 máx.

Autores como, Edwards (1993) han realizado otro tipo de aportaciones basándose en la distribución de diferentes zonas de entrenamiento (5 zonas en concreto) en función de la FC (Zona 1: 50-60% FCmáx, Zona 2: 60-70% FCmáx, Zona 3: 70-80% FCmáx, Zona 4: 80-90% FCmáx y Zona 5: 90-100% FCmáx). A cada zona le asigna una puntuación de 1 a 5, obteniendo la Zona 1 un punto y la quinta zona 5.

Para obtener la cuantificación de la carga, Edwards propone la multiplicación del tiempo (min) pasado en cada zona por la puntuación de esta misma. Un ejemplo de este sistema sería: 20 min en Zona 2 + 10 min en Zona 3 + 1 min en zona 5, lo cual haría una puntuación total de 75.

Las limitaciones a este modelo son las propias de la utilización de la FC (Achten y Jeukendrup, 2003), no mide la densidad, sólo sirve para entrenamientos continuos (sin pausas), y no permite la cuantificación de las intensidades por encima de la FCmáx.

Unos de los métodos propuestos en la literatura científica actual, es el desarrollado por Mujika et al. (1996). La introducción del concepto de unidades de entrenamiento basadas en la bLA, evita la dependencia de la FC y las limitaciones que esto conlleva (Tabla 1.6.8.).

Tabla 1.6.8.
Unidades de entrenamiento (Mujika et al. 1996)

Nivel de intensidad	Coefficiente de multiplicación
I	1
II	2
III	3
IV	5
V	8

Las zonas de intensidad I, II, III representan velocidades de nado inferiores ($\sim 2 \text{ mMol/l}$), igual ($\sim 4 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$) y ligeramente superior ($\sim 6 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$). La zona IV fue definida como de alta intensidad ($\sim 10 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$) y la zona V como intensidad máxima.

Para obtener el cálculo de la carga de entrenamiento, es necesario multiplicar el volumen (km) en cada zona de intensidad por su coeficiente, sumando todas las puntuaciones para conseguir la carga total.

Basándose en una escala que represente más fielmente las diferentes zonas e intensidades de entrenamiento, Cejuela y Esteve-Lanao (2011) proponen el modelo ECOs (Equivalentes de la Carga Objetivo). Este modelo permite la cuantificación en un deporte complejo como es el triatlón.

Este sistema propone la asignación de unos valores en función de la zona de entrenamiento. Esta zona variará su puntuación dependiendo de la intensidad desarrollada en ella (menos intensidad menor puntuación). Los autores de este modelo abogan por una cuantificación individualizada para establecer el tiempo límite en cada intensidad basándose en la eficiencia, velocidad crítica o el IR, estableciendo de esta manera los valores de las zonas (Tabla 1.6.9.).

Tabla 1.6.9.
Zonas y puntuación de las zonas del modelo ECOs (Cejuela y Esteve-Lanao, 2011)

Zona	Carrera	Valor
1	<UAE	1
2	UAE	2
3	UAE-UAN	3
4	UAN	4
5	>UAN	6
6	VAM	9
7	Cap LAC	15
8	Pot LAC	50

<UAE: Umbral Aeróbico (primer umbral fisiológico); UAE: Umbral Aeróbico; UAE-UAN: entre umbrales; UAN: Umbral Anaeróbico (segundo umbral fisiológico); >UAN: intensidad entre UAN y PAM; PAM: Potencia Aeróbica Máxima; Cap LAC: Capacidad Láctica; Pot LAC: Potencia Láctica.

La ponderación de la carga es obtenida tras multiplicar el tiempo (min) por el valor de la zona donde se ha entrenado. A su vez, este resultado a de multiplicarse por 0,75 en la natación y por 0,5 en ciclismo (la carrera se tomará como referencia asignándole el valor de 1).

La cuantificación de la densidad del entrenamiento, en especial si se trata de entrenamientos continuos, surge como limitante de este método. Se debe tomar en cuenta que este último método no ha sido validado todavía.

A la vista de lo expuesto en este apartado, la cuantificación del entrenamiento no ha de tomar variables única y estrictamente objetivas (si es que existen

éstas). Es obvio que las variables expuestas en el apartado 1.4. (volumen, intensidad y densidad) han de ser medidas y cuantificadas para su manipulación. No obstante, la capacidad de percepción del sujeto aporta una información valiosa y efectiva (Foster et al. 2001) tanto para determinar la intensidad del ejercicio, como para conocer la sensación de fatiga acumulada.

1.7. Distribución óptima de la intensidad

Como se ha expuesto en el apartado 1.4. de este trabajo, la carga de entrenamiento vendrá determinada por la interacción de los componentes de ésta (volumen, intensidad y densidad).

Una distribución “óptima” de estas variables permitirá lograr al atleta el rendimiento esperado. Una cuantificación del volumen de entrenamiento, puede ser realizada con relativa facilidad en kilómetros o en tiempo (horas, ya sean diarias, semanales, mensuales o anuales) en deportes de resistencia. Sin embargo la cuantificación y distribución de la intensidad en función del volumen durante un periodo determinado, resultará un tema más complejo.

La distribución de las zonas de entrenamiento, referentes a la intensidad aeróbica, ha sido estudiada por varios grupos de investigación (Cejuela y Esteve-Lanao, 2011; Edwards, 1993; Mujika et al. 1995; Seiler, 2010; Seiler y Kjerland, 2006), coincidiendo en la determinación de 5 zonas de intensidad aeróbica (Tabla 1.7.1.).

Tabla 1.7.1. Modelo de 5 Zonas de intensidad (Seiler, 2010)

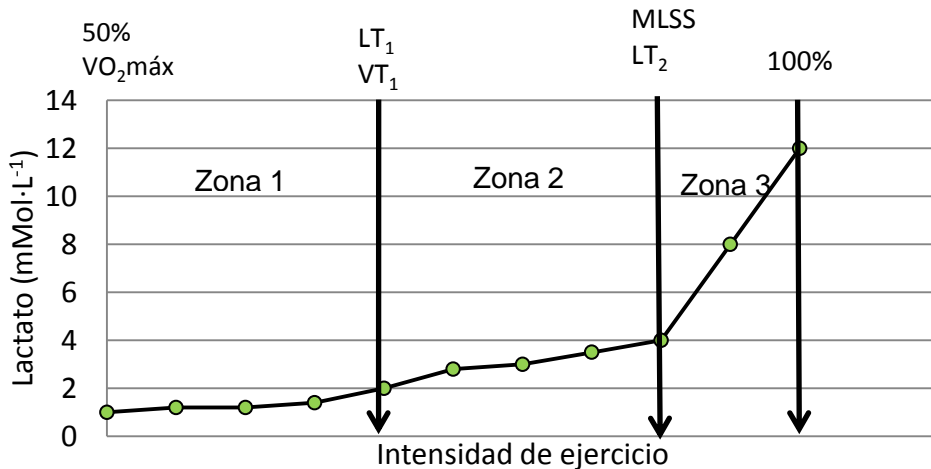
Escala de intensidad	%VO ₂ máx	% FC	bLA (mMol·L ⁻¹)	Duraciones medias en ZONA
1	50-65	60-72	0,8-1,5	1-6h
2	66-80	72-82	1,5-2,5	1-3h
3	81-87	82-87	2,5-4	50-90 min
4	88-93	88-92	4,0-6,0	30-60 min
5	94-100	93-100	6,0-10,0	15-30 min

Varios estudios han visto la luz en los últimos años en cuanto a la distribución de la intensidad de entrenamiento se refiere (Esteve-Lanao et al. 2005; Esteve-Lanao, Foster, Seiler y Lucia, 2007a; Fiskerstrand y Seiler, 2004; Seiler y Kjerland, 2006).

La distribución de la intensidad, en estos estudios, se realizó al margen del modelo de 5 zonas, optando la mayoría de investigaciones por la utilización de un modelo fundamentado en los umbrales fisiológicos. Determinando de esta manera el trabajo aeróbico en tres zonas (Zona 1, Zona 2 y Zona 3) (Figura 1.7.2.). Aunque a efectos prácticos, el modelo trifásico y el modelo de 5 zonas tienen en común las intensidades a las cuales se desarrollan los umbrales lácticos (Seiler, 2010).

Figura 1.7.2.

Modelo de intensidad distribuida en 3 Zonas, basado en la determinación de los umbrales ventilatorios (modificado de Seiler 2010)



Seiler y Kjerland (2006) observan dos diseños básicos en lo que respecta a la distribución de la intensidad de entrenamiento. El primer diseño llamado “entrenamiento-umbral” y el segundo diseño es el denominado “entrenamiento polarizado”.

El primero de estos diseños, acentúa la distribución de la intensidad de entrenamiento en la zona entre umbrales (Zona 2), recibiendo esta un mayor porcentaje respecto a las otras dos Zonas. Este tipo de distribución ha sido constatada como un buen modelo a seguir para atletas noveles o personas con una baja capacidad física (Denis, Dormois y Lacour, 1984; Gaskill et al. 2001; Kindermann et al. 1979; Londeree, 1997).

Por su parte el entrenamiento polarizado ha demostrado ser un modelo eficaz de distribución de intensidad en atletas entrenados, posibilitando una mejora

del rendimiento (Billat, Demarle, Slawinski, Paiva y Koralsztein, 2001b; Esteve-Lanao et al. 2005; Esteve-Lanao et al. 2007^a; Fiskerstrand y Seiler, 2004; Seiler y Kjerland, 2006; Schumacker y Mueller, 2002; Seiler, 2010; Steinacker, Lormes, Lehmann y Altenburg, 1998). La principal característica de este modelo radica en un mayor porcentaje de tiempo dedicado al trabajo de baja intensidad (<2mMol/L⁻¹, o VT1), combinado con un porcentaje significativamente alto (pero muy inferior al realizado en Zona1) de trabajo entre 90-100 % del VO₂máx (Seiler y Kerland, 2006).

Este tipo de prácticas genera todavía controversia entre deportistas y entrenadores, pero empíricamente han sido usados por algunos deportistas. Esto se ve reflejado en las palabras de Martín Fiz (Mujika, 2009), 8 veces campeón de maratones internacionales, sobre los primeros 4 meses de su preparación ponen de manifiesto la importancia del volumen para el rendimiento:

Puedo correr hasta 3 horas a un ritmo de carrera muy bajo, 5 minutos por kilómetro. Un gran número de entrenadores y fisiólogos consideran esto “distancia basura”, pero yo discrepo. Además de preparar los músculos para los impactos que sufrirán durante 42,195 m, estos trabajos permiten al cuerpo adaptarse y experimentar la sensación de correr sin glucógeno (p. 131)

Aunque mediante los estudios nombrados anteriormente, queda constatada la importancia del modelo polarizado, no existe todavía una unanimidad por parte de la comunidad científica, a la hora de distribuir los porcentajes de ejercicio en cada zona (Tabla 1.7.3.).

Un estudio de Esteve-Lanao et al. (2007a), comparó dos distribuciones distintas de cargas de entrenamiento, en dos grupos (Z1 vs Z2) de corredores durante 5 meses. La distribución fue la siguiente (basándose en el modelo de 3 Zonas): Z1: 80,5±1,8/11,8±2,0/8,3±0,7 vs Z2: 66,8±1,1/24,7±1,5/8,5±1. Los sujetos pertenecientes al grupo Z1 obtuvieron una mayor mejora del rendimiento durante una carrera campo a través de 10,4 km que el grupo Z2.

Tabla 1.7.3.
Distribuciones del volumen en el entrenamiento polarizado

Disciplina del estudio	Zona 1 (%)	Zona 2 (%)	Zona 3 (%)	
Maratón	78	4	18	Billat et al. 2001b
5 km y 10km	85	-	-	Billat et al. 2003a
5 km y 10 km	80	12	8	Esteve-Lanao et al. 2007a
Esquiadores campo a través	75	8	17	Seiler y Kjerland, 2006
Ciclismo en ruta	70	22	8	Zapico et al. 2007
10 km	71	21	8	Esteve-Lanao et al.2005

Otro aspecto a tener en cuenta, es la variación en la distribución de intensidad durante las distintas fases de una temporada. En un trabajo de Zapico et al. (2007) con ciclistas, se observó un aumento de horas totales entre la temporada invernal (Noviembre a Febrero) y el periodo de primavera (Marzo a Mayo, previo al periodo competitivo) ésto representó un aumento de 211 a 260 h (~23%). Este aumento del volumen fue acompañado por una distribución diferente de la intensidad del entrenamiento (77%/20%/3% vs 70%-22%-8%).

Existe una tendencia generalizada a entrenar de una manera polarizada en los deportistas de niveles elevados. Fiskerstrand y Seiler (2004) muestran en un estudio longitudinal con remeros, como esta tendencia se va consolidando durante 3 décadas. Los autores de este trabajo observan como ha incrementado un ~20% el volumen de entrenamiento en Zona1, mientras que ha disminuido el % de volumen en Zona 2.

Unida a esta tendencia creciente en la distribución polarizada del entrenamiento para atletas expertos, numerosas investigaciones han centrado su objeto de estudio en el entrenamiento interválico como forma de trabajo a altas intensidades.

El entrenamiento interválico a alta intensidad (HIT) se caracteriza por intensidades próximas al VO_2 máx e incluso superiores (Burgomaster et al. 2007; Burgomaster et al. 2008; Burgomaster, Hughes, Heigenhauser, Bradwell y Gibala, 2005; Burke, Thayer y Belcamino, 1994; Jensen, Bangsbo y Hellsten, 2004; MacDougall et al. 1998; Millet et al. 2003; Parra et al. 2000; Rodas, Ventura, Cadefau, Cussó y Parra, 2000; Tabata et al. 1997), durante periodos que van desde 5 s a 10 min y utilizando pausas incompletas.

El entrenamiento con intervalos, permite trabajar durante un mayor tiempo a intensidades próximas al VO_2 máx (Figura 1.5.1. y 1.5.2.), lo que posibilita una acumulación mayor de tiempo a altas intensidades, que no podría ocurrir mediante un trabajo continuo a intensidades máximas (Billat, Flechet, Petit, Muriaux y Koralsztein, 1999; Demarie et al. 2000;)

Fox et al. (1973), subrayaron la intensidad como la variable de mayor importancia para una mejora del VO_2 máx. Por su parte Billat et al. (1999) expusieron una incapacidad del entrenamiento continuo para lograr nuevas adaptaciones sobre el VO_2 máx en sujetos con esta variable superior a $65 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.

El estrés al cual se ve sometido el sujeto durante este tipo de entrenamiento, hace que sea necesario el espaciarse en el tiempo una sesión de otra (es de vital importancia la recuperación entre sesiones) Un trabajo de Billat, Renoux, Pinoteau, Petit, y Koralsztein. (1995) determino la incapacidad para realizar 3 sesiones semanales a estas intensidades (recomendando una única sesión).

Como anteriormente se ha expuesto, un trabajo continuo a intensidades elevadas, en atletas entrenados, no parece permitir mayores adaptaciones fisiológicas (a nivel del VO_2 máx). De esta manera, un entrenamiento polarizado, permitirá el trabajo a intensidades altas consiguiendo nuevas adaptaciones en atletas expertos y asegurando una recuperación suficiente entre sesiones de HIT.

Aunque efectivo, este método de trabajo no ha sido apenas estudiado en atletas bien entrenados, a intensidades supramáximas. Además, sólo ha sido investigado en cicloergómetro.

Si bien parece cierto que un diseño polarizado es cada vez más utilizado en atletas entrenados y uno de los principios clásicos del entrenamiento deportivo es el de especificad (Bompa, 2003), puede surgir la siguiente

pregunta ¿por qué es preferible entrenar claramente por debajo y por encima de la intensidad específica de pruebas de resistencia?

Una de las respuestas a esta pregunta puede ser la capacidad para evitar el sobreentrenamiento mediante el modelo polarizado. En atletas que entrenan una o dos veces diarias, repetidas sesiones a intensidades entre umbrales fisiológicos puede generar un estrés excesivo del sistema simpático (Chwalbinska-Moneta et al. 1998).

La acumulación de un gran volumen a intensidades bajas puede inducir a un aumento de la síntesis de las proteínas mitocondriales, provocando de esta manera una mayor disponibilidad energética (procedente de la oxidación de las grasas y manteniendo los depósitos de glucógeno) repercutiendo en un menor estrés del sistema autónomo (Seiler y Kjerland, 2006).

Los atletas que se ejercitan entre 10 y 14 veces por semana, dedican una media de entre 2 y 3 sesiones al entrenamiento en la zona entre umbrales (Zona 2) y a entrenamiento de alta intensidad (>~90% VO₂máx) (Seiler, 2010), un mayor número de estas sesiones no reportará nuevas o mayores adaptaciones y aumentará la posibilidad de sufrir sobreentrenamiento (Billat et al. 1999; Halson y Jekendrup, 2004).

En atletas bien entrenados, una distribución que acentúe el porcentaje de trabajo a intensidades bajas (pudiendo representar entre un 75-85% del volumen total de trabajo a intensidades por debajo del primer umbral fisiológico) permitiendo eliminar la fatiga para realizar, con plenas garantías, los entrenamientos a altas intensidades parece ser la mejor opción. La

utilización del entrenamiento de HIT reporta grandes mejoras en los deportistas en un periodo breve de tiempo (Burgomaster et al. 2005), aunque queda por constatar la utilidad de este método, caracterizado por intensidades supramáximas, en corredores.

1.8. Predicción del rendimiento

La predicción del rendimiento del atleta en las carreras de fondo aporta una información vital al entrenador respecto a la planificación de estrategias competitivas.

A la hora de predecir o calcular el rendimiento en una competición, clásicamente los entrenadores han optado por la utilización de fórmulas sencillas en las cuales se utilizan marcas realizadas previamente en competiciones diferentes. Una de las principales prácticas ha sido, el doblar la duración de la marca previa y añadir unos segundos o minutos más.

En las últimas décadas, varios estudios científicos han desarrollado modelos matemáticos cuyo objetivo ha sido la predicción del rendimiento en pruebas de medio-fondo, fondo y ultra-fondo (Davies y Thompson, 1979; Deason et al. 1991; Farrell, Wilmore, Coyle, Billing y Costill, 1979; Fay, Londeree, LaFontaine y Volek, 1989; Petit, Nelson and Rhodes, 1997).

Ante la existencia de un gran número de variables capaces de predecir (en mayor o menor medida) el rendimiento, se ha optado por agruparlas en dos apartados diferenciados cuyos modelos correlacionales son de $r > 0,8$

habitualmente. De esta manera, variables como los factores antropométricos no se incluirán directamente en estos apartados, debido a una correlación relativamente baja ($r < 0,8$) (Berg, Latin y Coffey, 1998).

Predicción por marcas en otras competiciones

Uno de los principales aspectos tenidos en cuenta por diversos investigadores en la predicción del rendimiento, es la inclusión en los modelos matemáticos de marcas en otras distancias (Tabla 1.8.1.).

Tabla 1.8.1.
Predicción del rendimiento en diversas distancias basadas en la marca en otra distancia competitiva (datos Martin y Coe 1991)

	Con la marca en 10000	Con la marca en 5000	Con la marca en 1500
Maratón= $4,76 \cdot X$			
10000= X		10000= $2,1 \cdot X$	
5000= $0,48 \cdot X$		5000= X	5000= $3,63 \cdot X$
3000= $0,28 \cdot X$		3000= $0,58 \cdot X$	3000= $2,15 \cdot X$
1500= $0,13 \cdot X$		1500= $0,27 \cdot X$	1500= X
		800= $0,13 \cdot X$	800= $0,48 \cdot X$
		400= $0,06 \cdot X$	400= $0,22 \cdot X$

Comúnmente, estos modelos matemáticos añan tanto variables fisiológicas como marcas en competiciones previas (Deason et al. 1991; Farrell et al. 1979; Slovic, 1977). La inclusión de las marcas sobre otras distancias, permite aumentar la capacidad, de estos modelos matemáticos, para predecir la marca final de una manera más precisa (Deason et al. 1991).

Estudios como el realizado por Noakes, Myburgh y Schall (1990) muestran la gran capacidad predictora del rendimiento en otras distancias. Las marcas previas sobre una distancia de 10 km y 21.1 km fueron las variables que mejor permitieron calcular el tiempo final durante un maratón en atletas experimentados. Así mismo, la marca realizada durante 42.2 km pudo predecir el rendimiento en atletas especializados en ultramaratón (90km) ($r = 0.91-0.97$).

En otros deportes como el triatlón, también se pueden encontrar predicciones de rendimiento a partir de otras competiciones. Una investigación de Rüst et al. (2012) con mujeres triatletas, propuso un modelo matemático para el cálculo del rendimiento durante un *IronMan*. Esta ecuación se realizó en base a la marca obtenida en un triatlón Olímpico, junto con el tiempo empleado en realizar un maratón por la misma atleta (Tabla 1.8.2.)

Tabla 1.8.2.

Ecuación predictora de rendimiento en un *IronMan* para mujeres triatletas amateur (Rüst et al. 2012)

$$\text{Tiempo de Competición (min)} = 186.3 + 1.595 \times (\text{mejor marca personal en triatlón Olímpico, min}) + 1.318 \times (\text{mejor marca personal en maratón, min}) \quad (r^2: 0.53)$$

Aunque estos modelos matemáticos aporten información sobre el rendimiento de los atletas, antes incluso de la realización de la prueba, estas ecuaciones no permiten observar que procesos o variables del rendimiento necesitan una mejora para incrementar el rendimiento final. En resumidas cuentas, los

modelos matemáticos basados en otras distancias permiten estimar el resultado de la competición, pero no el proceso. Lo cual, no aporta soluciones para el devenir del entrenamiento ya que se desconoce que variables fisiológicas deben ser potenciadas (Esteve-Lanao, 2007b).

Predicción mediante variables metabólicas en laboratorio

En el presente apartado se tratará la capacidad predictora del rendimiento que poseen las diferentes variables fisiológicas estudiadas en el apartado 1.3.

VO₂máx, vVO₂máx, wVO₂máx, Velocidad pico

El VO₂máx, la intensidad (entendiendo por intensidad la velocidad o w) a la cual se consigue el VO₂máx o la velocidad pico, han demostrado su gran capacidad predictora de rendimiento (Davies y Thompson, 1979; Morgan, Baldini, Martin y Kohrt, 1989; Noakes, 1988; Scott y Houmard, 1994; Scrimgeour, Noakes, Adams y Myburgh, 1986; Slattery, Wallace, Murphy y Coutts, 2006; Weyand, Cureton, Conley, Sloniger y Liu, 1994).

Posiblemente la vVO₂máx, también llamada Velocidad Aeróbica Máxima (VAM), haya sido la variable más utilizada para estimar la marca en una competición (Davies y Thompson, 1979; Morgan et al. 1989; Scott y Houmard, 1994). Ingham, Carter, Whyte, y Dous (2007), determinó una correlación importante ($r=0,95$) entre la máxima potencia y el rendimiento en remeros.

La posibilidad en la determinación de la VAM mediante análisis indirecto, en especial la velocidad media que se puede mantener durante un test de 5 min

(Berthon, Dabonneville, Fellmann, Bedu y Chamoux, 1997), evita la utilización de mediciones directas (ya sea mediante VO_2 o bLA).

Se debe tener en cuenta, como una de sus principales limitaciones, la falta de fiabilidad en la estimación de grupos heterogéneos de nivel y género (Berthon et al. 1997). También se debe destacar la idoneidad de igualar los valores conseguidos sobre tapiz rodante y sobre un test de campo (Meyer, Welter, Scharhag y Kindermann, 2003; Nummela et al. 2006).

Umbral anaeróbico, velocidad (o w) desarrollada a umbral anaeróbico, % del umbral anaeróbico relativo al $VO_{2m\acute{a}x}$

En el punto 1.3. de este trabajo, se expuso las diferentes formas de nombrar a un mismo concepto. Por ello en el presente apartado nos referiremos única y exclusivamente a este concepto como umbral anaeróbico (UAN) a manera de termino aglutinador.

A su vez diversos autores expresan el mismo momento metabólico en forma de % del $VO_{2m\acute{a}x}$, o velocidad a la cual sucede.

La relación entre la velocidad a la que se desarrolla el UAN y el rendimiento ha sido estudiado en diversos trabajos, destacando el realizado por Maffulli et al. (1991) con 112 sujetos. La velocidad propia al UAN guardó una estrecha correlación con las pruebas desde 5000 metros, este hallazgo va en concordancia con los datos mostrados por Kenney y Hodgson (1985) en mediodfondistas de élite. Nicholson y Sleivert (2001) también encontraron una correlación entre velocidad al UAN y velocidad a la cual se compite en 10km en una muestra heterogénea (en nivel y género) de corredores. En pruebas de 16

km e inferiores la velocidad de OBLA es la variable que estima de mejor manera la marca en estas distancias (Tanaka, 1990).

En distancias superiores, la velocidad de competición mantiene un mayor nivel de correlación con intensidades inferiores al UAN (Farrell et al. 1993; Fay et al. 1989; Föhrenbach, Mader y Hollmann, 1987). Una velocidad ligeramente superior al OPLA (siglas en inglés refiriéndose al inicio del acúmulo de lactato en plasma), de 3 a 7 m·min, se relaciona con el rendimiento durante una la prueba de maratón (Farrell et al. 1993) en atletas de niveles muy diferenciados. Por su parte Föhrenbach et al. (1987), con una muestra más homogénea (2h 30 min a 2 h 50 min) registro una relación entre la marca durante una maratón y una bLA de 2,5 a 3 mMol/L⁻¹. Por lo tanto, en corredores parece ser que la velocidad asociada al LT (~2 mMol/L⁻¹) ha sido determinada como la mejor variable predictora del rendimiento durante la maratón (Tanaka, 1990).

Lorenzo, Minson, Babb y Halliwill (2011) proponen la bLA a intensidades próximas al LT como variable predictora de rendimiento en ciclistas de élite en pruebas de 1h.

A tenor de los estudios presentados en este punto y en el apartado anterior, en pruebas cuya duración sea mayor a los ~30 min o 10 km, la determinación de una velocidad entre los dos umbrales fisiológicos (en función de la duración de la prueba) será la que estime el rendimiento en distancias o duraciones superiores a las expuestas en este párrafo. A su vez, cuanto menor sea el nivel del sujeto y la duración de la prueba se alargue, tomará mayor relevancia el primer umbral (Roecker, Schotte, Niess, Horstmann y Dickhuth, 1998),

mientras que a menor distancia mayor será la importancia del UAN (Tanaka, 1990).

Como se ha visto hasta este punto, la bLA a velocidades próximas a las de competición, es una de las variables más utilizadas en la bibliografía científica para predecir el rendimiento (Farrell et al. 1979; Fay et al. 1989; Nicholson y Sleivert, 2001; Noakes et al. 1990; Roecker et al. 1998).

No obstante, la mayoría de los estudios citados anteriormente han sido realizados sobre tapiz rodante y a velocidades fijas. Este hecho choca con la necesidad de los atletas (previa a la competición) de saber dosificar el ritmo competitivo. Por ello, resaltar la necesidad en el desarrollo de un test de campo valido, a velocidades flexibles, y capaz de predecir el rendimiento de manera fiable.

En la Tabla 1.8.3 se muestra un cuadro resumen de las principales ecuaciones estimadoras del rendimiento basadas en la bLA como variable predictora.

Economía

Pese a tener una importancia capital en la consecución de buenos registros en las pruebas de larga duración, la economía no ha obtenido la misma dedicación en los que se refiere a su estudio como variable predictora del rendimiento.

La economía sólo aparece como factor capaz de estimar la marca en conjunción con otras variables (Fay et al. 1989). Aunque es recomendable el

recordar su influencia a la hora de determinar el VO_2 máx, y la capacidad para mantener este mismo durante el mayor tiempo posible.

En el apartado 1.3. se ha tratado este tema de manera más pormenorizada, por ello sólo resaltar la importancia de una medición, de la economía o eficiencia energética, no sólo a intensidades submáximas, sino también a intensidades próximas al VO_2 máx (Di Pampero, Atchou, Brückner y Moia, 1986; Helgerud, Støren y Hoff, 2010; Kyröläinen et al. 2000). Lo cual en pruebas cuyo desarrollo se realice a intensidades ligeramente inferiores al VO_2 máx puede resultar muy interesante (Esteve-Lanao, 2007b).

Cabe destacar la relación de las diferentes variables antropométricas con el rendimiento (Bale, Bradbury y Colley, 1986; Berg et al.1998) y con la economía en particular (Lucía et al. 2006). Destacando la influencia que tiene la composición corporal en el VO_2 . Berg et al. (1998) mostró la influencia de distintos somatotipos en el rendimiento de corredoras de mediofondo, siendo el perfil ectomorfo la variable capaz de explicar de mejor manera la relación con la marca en 10 km.

Capacidad y Potencia Anaeróbica

La importancia de una buena capacidad anaeróbica en pruebas desde 800m hasta 3000m, puede suplir un menor nivel en los otros factores determinantes del rendimiento (Brandon, 1995). Sujetos cuyos rendimientos en factores determinantes del rendimiento (VO_2 máx, UAN y economía) son similares, la capacidad anaeróbica será determinante (Bulbuilan et al. 1986).

La medición de la capacidad anaeróbica ha sido tratada en el apartado 1.3. de la presente tesis, en este punto se muestran varios métodos utilizados para la medición de este factor determinante del rendimiento. El DMAO (Déficit Máximo de Oxígeno Acumulado) ha sido estudiado en diferentes ocasiones como predictor del rendimiento (ya sea solo o con otras variables), obteniendo relaciones discretas en las distancias desde 100m hasta 5000m (Weyand et al. 1994).

La inclusión en la ecuación predictora de rendimiento, de diversas variables (IMC, $VO_{2m\acute{a}x}$ y economía de carrera) junto con la marca en test anaeróbicos (sobre distancias de 100 y 300m) pudo estimar de manera fiable ($r^2=0,89$) la marca sobre una distancia de 800m (Deason et al. 1991).

La dificultad en encontrar modelos que aporten una buena relación entre la capacidad anaeróbica y una estimación de la marca en pruebas de fondo, puede radicar en la menor importancia a nivel energético de la vía anaeróbica glucolítica. A partir de $\sim 75s$, la demanda energética será principalmente satisfecha por el sistema aeróbico (Gastin, 2001), lo cual hace de éste un elemento capital en toda estimación del rendimiento.

A tenor de lo expuesto en este último punto, parece necesario la evaluación previa a la competición del rendimiento mediante un test de campo, a velocidades flexibles, y capaz de predecir el rendimiento de manera fiable. Para ello, el uso de la bLA como variable estimadora del rendimiento podrá aportar una mayor capacidad predictora.

Tabla 1.8.3.
Cuadro resumen de las principales ecuaciones estimadoras del rendimiento basadas en la bLA

1500 (en $m \cdot s^{-1}$)	$3,124 + 0,618 \cdot (V_{\text{pico tapiz}} (km \cdot h^{-1})) + 0,024 \cdot (km \text{ por semana}) - 0,023 \cdot \text{edad (años)} + 0,022 \cdot FC \text{ en IAT} + 0,034 \cdot \text{peso corporal} - 0,105 \cdot LA_{\text{máx test progresivo tapiz}} (mMol \cdot L^{-1}) - 0,002 \cdot \text{estatura (cm)}$	Roecker et al. 1998
3000m (tiempo en s)	$-13,64 \cdot V_{\text{pico test progresivo}} (km \cdot h^{-1}) - 25,61 \cdot v_{UAN} \text{ (por lactato, en } km \cdot h^{-1}) - 5,40 \cdot LA_{\text{pico}} (mMol \cdot L^{-1}) + 1358,5$	Slattery et al. 2006
3000m (velocidad en $m \cdot s^{-1}$)	$0,4223 \cdot v_{UAN} \text{ (por OBLA, en } m \cdot s^{-1}) + 0,01333 \cdot VO_2 \text{ en 1er umbral láctico (ml} \cdot kg^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) + 0,2319 \cdot v_{1er \text{ umbral láctico}} (m \cdot s^{-1}) + 1,5746$	Yoshida et al. 1993
3000m (velocidad en $km \cdot h^{-1}$)	$6,35 - 0,802 \cdot v_{UAN} \text{ (por OBLA, en } km \cdot h^{-1})$	Grant et al. 1997
5000m (velocidad en $m \cdot s^{-1}$)	$3,404 + 0,683 \cdot V_{\text{Pico tapiz}} (km \cdot h^{-1}) + 0,274 \cdot UAN (m \cdot s^{-1} \text{ en IAT}) - 0,050 \cdot \% \text{ grasa} - 0,006 \cdot FC_{\text{máx}} - 0,079 \cdot LA_{\text{máx test progresivo tapiz}} (mMol \cdot L^{-1})$	Roecker et al. 1998
5000m (velocidad en $m \cdot \text{min}^{-1}$)	$0,346 \cdot v_{LA 4} (mMol \cdot L^{-1} (m \cdot \text{min}^{-1})) + 1,899 \cdot VO_{2\text{máx}} (m \cdot kg^{-1} \cdot \text{Vmin}^{-1}) + 56,003$	Fay et al. 1989
10k (velocidad en $m \cdot s^{-1}$)	$3,652 + 0,389 \cdot UAN (m \cdot s^{-1} \text{ en IAT}) + 0,522 \cdot V_{\text{pico test progresivo}} (km \cdot h^{-1}) + 0,013 \cdot (\text{kilometraje/semana}) - 0,001 \cdot (FC \text{ IAT}) - 0,026 \cdot (\text{peso corporal}) - 0,051 \cdot LA_{\text{máx test progresivo tapiz}} (mMol \cdot L^{-1})$	Roecker et al. 1998
10km (velocidad en $m \cdot \text{min}^{-1}$)	$0,437 \cdot v_{LA 4} (mMol \cdot L^{-1} (m \cdot \text{min}^{-1})) + 2,082 \cdot VO_{2\text{máx}} (mL \cdot kg^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) + 8,698$	Fay et al. 1989
10km (velocidad en $m \cdot \text{min}^{-1}$)	$0,728 \cdot v_{LA 4} (mMol \cdot L^{-1} (m \cdot \text{min}^{-1})) + 57,926$	Fay et al. 1989

Tabla 1.8.3.
Continuación

10km (velocidad en $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	$0,407 \cdot v\text{LA } 2 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1} (\text{m}\cdot\text{min}^{-1}) + 2,276 \text{ VO}_2 \text{ máx} (\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) + 12,706$	Fay et al. 1989
Maratón (en min)	$1,98 \cdot \text{Marca en } \frac{1}{2} \text{ maratón (min)} + 6,23 \cdot \text{UAN (Lactato en mMol}\cdot\text{L}^{-1}) - 0,46 \cdot \text{UAN} (\%V_{\text{pico}} \text{ en UAN por lactato}) + 33,84$	Noakes et al. 1990
Maratón (en min)	$1,29 \cdot \text{UAN} (\%V_{\text{pico}} \text{ en UAN por lactato}) - 10,86 \cdot v\text{UAN (por lactato, en km}\cdot\text{h}^{-1}) + 241,3$	Noakes et al. 1990
Maratón (velocidad media en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	$0,013 \cdot (\text{kilometraje/semana}) - 0,0155 \cdot \text{FC máxima} - 0,0253 \cdot \text{peso corporal} + 3,4$	Roecker et al. 1998
Maratón (ritmo en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	$-0,389 + 1,046 \cdot v\text{LA } 4 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1} (\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	Förenbach et al. 1987
Maratón (ritmo en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	$-0,456 + 1,09 \cdot v\text{LA } 3 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1} (\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	Förenbach et al. 1987
Maratón (ritmo en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	$-0,375 + 1,09 \cdot v\text{LA } 2,5 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1} (\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	Förenbach et al. 1987

II.-OBJETIVOS

2.1. Objetivos

Los objetivos de la presente Tesis Doctoral fueron:

1. Describir la distribución de la intensidad del entrenamiento y competición de una prueba de resistencia de muy larga duración.
2. Comparar diferentes programas de entrenamiento (tanto durante una preparación completa como en la puesta a punto final) en relación al rendimiento competitivo en una misma prueba de resistencia.
3. Pronosticar el rendimiento en competición en pruebas de resistencia de diferentes duraciones.

2.2. Planteamiento de Hipótesis

En relación a los objetivos propuestos, las hipótesis fueron que:

➤ La preparación de una prueba de ultraresistencia se basaría predominantemente en esfuerzos de intensidad baja, aunque la competición pueda desarrollarse durante un alto porcentaje en zona de moderada intensidad.

➤ Una distribución con énfasis en la baja intensidad, tendrá mayor efecto en el rendimiento de carrera de 10k que una distribución con mayor énfasis en la moderada intensidad. Por otra parte, que serán equivalentes en el rendimiento final tanto una puesta a punto con muy alta intensidad como la puesta a punto basada en el ritmo de competición.

II.- OBJETIVOS

- Que mediante un test de campo a velocidades próximas a las de competición, junto con la concentración de lactato sanguíneo a éstas mismas, se podrá predecir el rendimiento en carrera sobre distancias de 10 km, 21 km y 42 km en un grupo de corredores de diversos niveles.

III.- MÉTODO

Para el desarrollo de los objetivos e hipótesis indicados, se plantearon 4 estudios, con deportistas entrenados en triatlón o carrera a pie, cuyos diseños se resumen en la figura 3.1. El primer estudio fue descriptivo, los dos siguientes fueron cuasi-experimentales, y el último fue un estudio de regresión múltiple.

Figura 3.1
Esquema del diseño de investigación

ESTUDIO 1

Triatletas nivel medio (N=13)			
Edad (años)	Peso (kg)	Altura (cm)	IMC (kg/m²)
42,2 ± 8,0	68,1 ± 7,6	173,2 ± 7,3	22,7 ± 1,9

Principales variables estudiadas durante el periodo de intervención y competición	
• Tiempo en Zona 1	• % Tiempo Zona 1
• Tiempo en Zona 2	• % Tiempo en Zona 2
• Tiempo en Zona 3	• % Tiempo Zona 2

ESTUDIO 2

Atletas populares (N=32)		
Descriptivo	Grupo Polarizado (PET) (N=16)	Grupo entre umbrales (BThET) (N=16)
Edad (años)	35,7 ± 4,2	36,3 ± 4,0
Peso (kg)	70,8 ± 11,3	69,5 ± 12,0
Estatura (cm)	173,0 ± 3,3	168,8 ± 10,3
IMC (kg/m²)	22,7 ± 2,4	22,2 ± 2,2
Experiencia entrenamiento (años)	7,0 ± 3,3	6,2 ± 3,2

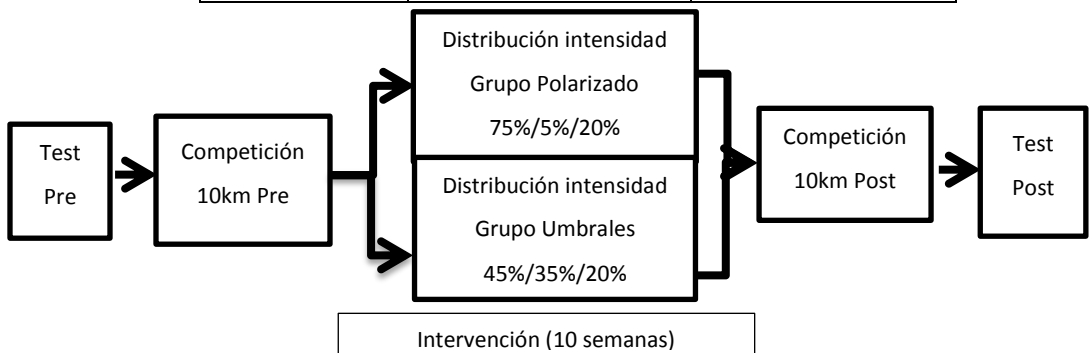


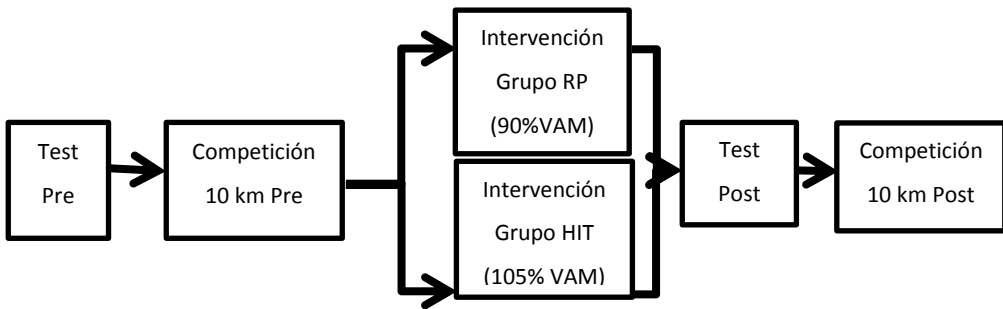
Figura 3.1
Esquema del diseño de investigación (Continuación)

ESTUDIO 3

Atletas bien entrenados (VO_2 máx $68,7 \pm 4,7$ ml/kg/min) (N=13)



	N	Edad (años)	Peso (kg)	Altura (cm)	IMC (kg/m^2)	VO_2 máx (ml/kg/min)	10k Pre (min:s)
HIT	6	31±6	67± 4	176 ± 0,04	21,8 ± 0,5	69 ± 3	35:29±1:41
RP	7	35±4	68 ± 7	177 ± 0,05	21,8 ± 1,5	69 ± 6	35:27±1:40



	V1(km/h))	FC1	Lac 1 (mMol/L ⁻¹)	V2 (km/h)	FC2	Lac 2 (mMol/L ⁻¹)
10 km (N=19)	14,6 ± 1,9	164 ± 6	5,0 ± 1,7	15,6 ± 1,9	172 ± 5	8,0 ± 2,4
21 km (N=24)	13,6 ± 2,5	154 ± 12	3,3 ± 1,6	14,6 ± 2,5	164 ± 11	4,9 ± 1,9
42 km (N=21)	13,5 ± 0,9	152 ± 10	2,0 ± 0,8	14,4 ± 1,0	158 ± 9	3,0 ± 1,6

3.1- ESTUDIO 1

3.1.1-MUESTRA

13 triatletas de nivel medio comenzaron el estudio. El objetivo principal de la temporada, común a todos ellos, fue preparar un triatlón distancia *IronMan* que sería realizado en Klagenfurt, Austria, el 4 de Julio de 2010. Todos ellos fueron entrenados bajo la supervisión del mismo entrenador (J. E-L), y siguieron el mismo modelo de periodización. La única diferencia entre los programas de entrenamiento fue el volumen total de entrenamiento que varió en función de la disponibilidad de tiempo y nivel de los sujetos. En lo que concierne al tiempo de experiencia de los sujetos en deportes de resistencia, éste fue similar entre los atletas. En la Tabla 3.1.1. se observa las características descriptivas de los participantes.

Tabla 3.1.1.

Descripción de las características de los sujetos (Media \pm SD)

Edad (años)	Peso (kg)	Altura (cm)	IMC (kg/m ²)
42,2 \pm 8,0	68,1 \pm 7,6	173,2 \pm 7.3	22,7 \pm 1,9

3.1.2- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA PERIODIZACIÓN Y ENTRENAMIENTO

Antes de comenzar el programa específico de entrenamiento, todos los sujetos realizaron 25 semanas de un mismo programa de entrenamiento (21-23

semanas de temporada invernal seguido de 2-4 semanas de periodo de transición). Todos los sujetos entrenaron a la misma intensidad de trabajo y siguieron los mismos métodos de entrenamiento. Este programa se centro en competiciones de carrera a pie junto con un trabajo de fuerza básica, natación y entrenamiento en bicicleta. Durante el periodo de transición, el entrenamiento de fuerza básica fue mantenido, incrementando el volumen de entrenamiento tanto para natación como para bicicleta. 1 sesión semanal orientada al trabajo de fuerza fue incluida con el fin de mantener los niveles de esta capacidad. Durante las siguientes 18 semanas del macrociclo de entrenamiento, los triatletas registraron la carga de cada sesión de entrenamiento. Este macrociclo fue diseñado como programa específico de preparación, de cara a competir sobre distancia IronMan. Éste fue el objetivo principal de la temporada para todos los triatletas que participaron en el presente estudio.

3.1.3- TEST FISIOLÓGICOS Y DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE ENTRENAMIENTO

Dos semanas antes de comenza el macrociclo de 18 semanas, durante el periodo de transición, se realizó tres test incrementales para determinar las zonas de entrenamiento. Mediante estos test, los dos umbrales metabólicos fueron definidos, siguiendo procedimientos previos (Doherty, Balmer, Davison, Robinson y Smith, 2003a). Los test de natación fueron realizados mediante un protocolo incremental con estadios de 200 m, este test consistió en la ejecución de 7 repeticiones a sobre distancias de 200 m con 2 minutos de recuperación entre repeticiones. La Frecuencia Cardiaca ($\text{pulsaciones}\cdot\text{min}^{-1}$) y la concentración de lactato sanguíneo (bLA , $\text{mMol}\cdot\text{L}^{-1}$) las muestras fueron

tomadas en el lóbulo de la oreja y analizadas mediante un analizador portátil (Lactate Pro, Arkray Inc, Amstelveen, Holanda). Los criterios para determinar los umbrales metabólicos fueron los siguientes: un incremento en bLA de $0,5 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$ determinó el umbral Aeróbico (UAE), un incremento mayor de $1,0 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$ de bLA indicó el umbral Anaeróbico (UAN), y una bLA de $8-9 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$ correspondió a la Potencia Aeróbica Máxima (PAM).

Los test para determinar los umbrales metabólicos para el ciclismo y la carrera fueron realizados mediante análisis de gases (VO2000, Medical Graphics, St Paul, Min USA). Un protocolo en rampa sobre cicloergómetro (Sensormedics, Yorba Linda, Ca, USA) fue utilizado para el ciclismo. Éste comenzó a una resistencia de 50w incrementando 5 w cada 12s. El test terminó cuando VE/VCO₂ y VE habían sobrepasado claramente el umbral de compensación respiratoria (en futuras ocasiones, se referirá a este momento metabólico como UAN). Tras un descanso de 5 min, el atleta comenzaba a realizar el test de rendimiento sobre tapiz rodante (Technogym Run Race 1400 HC, Gambettola, Italia). Comenzando a una velocidad de 8 km/h^{-1} , incrementando la velocidad $0,5 \text{ km/h}^{-1}$ cada 30s hasta que el atleta se mostraba exhausto. Durante ambos test, los datos referentes al intercambio de gases fueron recogidos continuamente usando un sistema automático (Vmax 29C, Sensormedics, Yorba Linda, Ca, EEUU). Las siguientes variables fueron medidas: consumo de oxígeno (VO₂), ventilación pulmonar (VE), equivalentes ventilatorios para el oxígeno (VE·VO₂⁻¹) y dióxido de carbono (VE·CO₂⁻¹), y presión final parcial de oxígeno (P_{ET}O₂) y dióxido de carbono (P_{ET}CO₂).

El consumo máximo de oxígeno (VO₂máx) fue medido como el máximo valor de VO₂ obtenido de manera continua durante el periodo de un minuto en

carrera. Por lo menos dos de los siguientes criterios fueron cumplidos para que se considerase que el sujeto había alcanzado el VO_2 máx: una meseta en el valor del VO_2 aunque se incrementase la velocidad, un ratio del intercambio respiratorio $\geq 1,15$ o la consecución de una FC \geq al 95% de su FC máxima (Doherty et al. 2003b) calculada en función de su edad (207-07·edad) (Gellish et al. 2007). El UAE fue determinado usando el criterio de un incremento en el $VE \cdot VO_2^{-1}$ y $P_{ET}O_2$ sin un incremento en $VE \cdot VCO_2^{-1}$, mientras el UAN fue determinado usando el criterio de un incremento tanto en el $VE \cdot VO_2^{-1}$ como en el $VE \cdot VCO_2^{-1}$ y un descenso en $P_{ET}CO_2$ (Doherty et al. 2003). Dos observadores independientes determinaron UAE y UAN. Si se produjo alguna discrepancia en la determinación, era pedida la opinión de un tercer investigador (Doherty et al. 2003). La FC fue continuamente monitorizada durante los test usando radio telemetría (Accurex Plus, Polar Electro OY; Finlandia). Las zonas de entrenamiento correspondientes a la potencia o velocidad fueron incrementadas durante el programa de acuerdo con la RPE y FC correspondiente a las zonas de entrenamiento iniciales. Un segundo test metabólico fue desarrollado durante las semanas 9-10 para actualizar las zonas iniciales de entrenamiento. Los resultados de estos test metabólicos se muestran en la Tabla 3.1.2.

Tabla 3.1.2.
 Datos referentes a los test metabólicos (Media \pm SD) N=13

Disciplina	Variable	Test 1 (semanas -1 &-2)	Test 2 (semanas 9-10)
Natación	Velocidad AE ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,87 \pm 0,06	0,92 \pm 0,06
	Velocidad UAN ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,95 \pm 0,08	1,05 \pm 0,11
Bicicleta	Potencia UAE (w)	173 \pm 30	242 \pm 47
	Potencia UAN (w)	227 \pm 42	277 \pm 36
Carrera	UAE (Velocidad $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	10,7 \pm 1,1	13,1 \pm 1,9
	UAN (Velocidad $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	11,7 \pm 0,8	14,0 \pm 1,4
	VO ₂ máx ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$)	52,7 \pm 5,2	5,0 \pm 5,7

Las tres principales zonas de entrenamiento fueron definidas para este estudio de la siguiente manera: Zona 1 (intensidades por debajo de UAE), Zona 2 (intensidades entre UAE y UAN) y Zona 3 (intensidades por encima de UAN).

Los criterios de inclusión en este estudio fueron los siguientes: 1) haber entrenado y recogido los datos del 95% del total de las sesiones de entrenamiento, y 2) completar y realizar de manera continua, sin ningún problema de salud, táctico o técnico, la distancia total de competición habiendo mostrado un máximo esfuerzo.

3.2- ESTUDIO 2

3.2.1-APROXIMACIÓN EXPERIMENTAL AL PROBLEMA

Se diseñó una intervención (de 10 semanas) en función de diferentes distribuciones de la intensidad de entrenamiento, con corredores de nivel medio. Estos atletas se dividieron en 2 grupos, cuya única diferencia fue su distribución de la intensidad y una igualdad en la carga de entrenamiento. Un grupo se ejercitó realizaron un mayor porcentaje de su volumen de trabajo en Zona 1 (por debajo del UAE). El segundo grupo entrenó más en a intensidades correspondientes a Zona 2 (entre el UAE y UAN), mientras entrenó menos en Zona 1. Ambos grupos realizaron un volumen de trabajo similar en Zona 3 (a intensidades $\geq 85\% \text{VO}_2\text{máx}$). Para asegurar una máxima igualdad en las cargas de entrenamiento, a pesar de diferencias en la intensidad, se usó una versión modificada del sistema TRIMP (*Training Impulse*, Impulsos de Entrenamiento en Castellano), que consistió en multiplicar el volumen (minutos totales) por intensidad (1 punto por cada minuto en Zona 1, 2 puntos por cada minuto en Zona 2 y 3 puntos por cada minuto en Zona 3), para monitorizar el entrenamiento (Foster et al. 2011). Para cuantificar el rendimiento provocado por los dos programas de entrenamiento, se comparó el tiempo invertido sobre una misma distancia (10km) antes y después del periodo de intervención.

3.2.2- MUESTRA

32 atletas amateur (experiencia media en competición ≥ 5 , 5 años) fueron inicialmente seleccionados para participar en este estudio. Estos sujetos competían regularmente en pruebas sobre distancias de 10km y medio maratón. Todos los sujetos vivían y entrenaban en el área metropolitana de Madrid (~600m de altitud).

Los criterios de inclusión para el análisis de datos post-intervención fueron los siguientes: 1) completar al menos el 98% del total de sesiones de entrenamiento programadas; 2) completar el libro correspondiente al seguimiento del entrenamiento basado en la FC de cada sesión de entrenamiento; 3) realizar regularmente las sesiones de entrenamiento bajo la supervisión del mismo entrenador (J E-L); 4) no mostrar señales o síntomas de sobreentrenamiento durante el periodo de intervención (p.e. continuo aumento de la FC basal, incapacidad de lograr altos valores de la FC, incapacidad de desarrollar velocidades requeridas por el entrenamiento a altas intensidades, incapacidad para recuperarse entre sesiones de entrenamiento, empeoramiento del rendimiento, o fatiga muscular incluso después de sesiones de baja intensidad); 5) realizar las dos competiciones sobre 10km pre y post intervención.

Previo al iniciar el periodo de intervención, todos los corredores realizaron el mismo programa inicial de entrenamiento (8 semanas), cuyo contenido se caracterizó por desarrollar un 100% del tiempo sobre Zona 1 durante 1-3 semanas y una progresión desde 120 a 190 TRIMPs. Para el lapso de tiempo comprendido entre la semana 4 a la 7, la intensidad de entrenamiento siguió

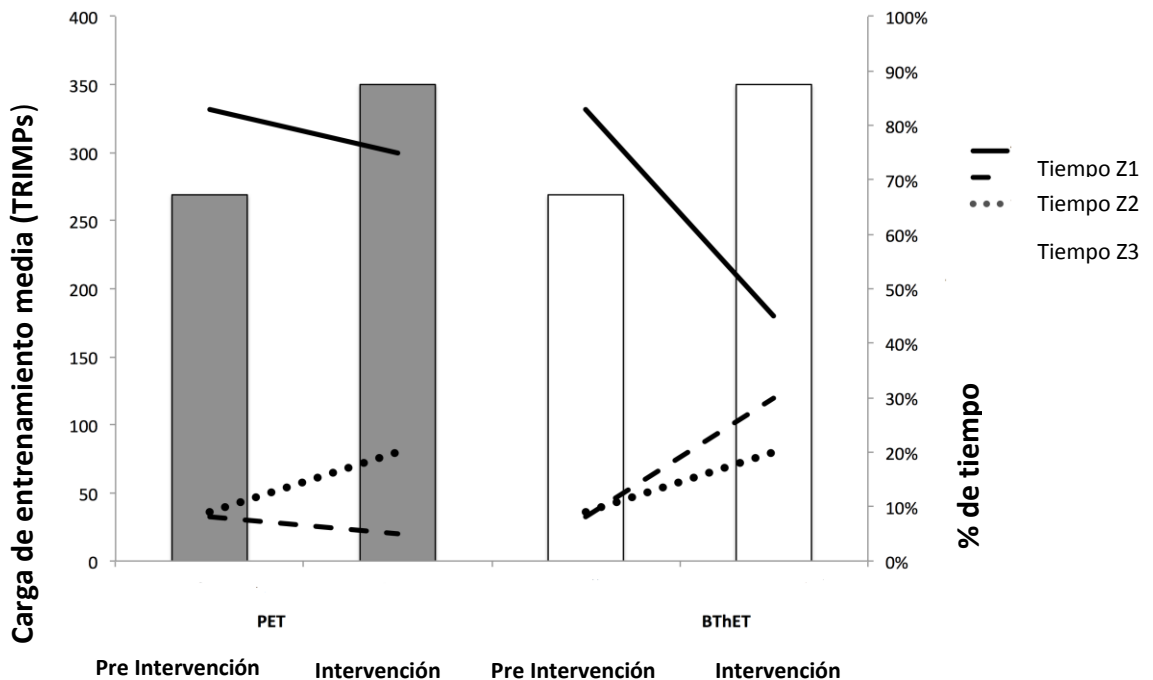
una distribución de la intensidad de 88/5/7% para la Zona 1, Zona 2 y Zona 3 respectivamente en la semana 4, hasta 54/27/19 en la 6ª semana, y de 269 a 347 TRIMPs. La última semana del periodo previo a la intervención la carga fue reducida a 276 TRIMPs, con una distribución de 78/14/8, permitiendo una recuperación óptima. Los test fisiológico de rendimiento pre-intervención fueron realizados en la 8ª semana de este periodo. Una muestra inicial de 32 corredores fue asignada aleatoriamente a dos grupos de entrenamiento distintos (N=16) durante 10 semanas: 1) Grupo Polarizado (PET, siglas de *Polarized Endurance Training*) siguió un programa el cual se caracterizaba por un aumento del entrenamiento mediante un mayor volumen de trabajo en Zona 1; 2) Grupo entre umbrales (BThET, siglas de *Between-Thresholds Endurance Training*) siguió un modelo normal (o tradicional) en la distribución de la intensidad de entrenamiento, caracterizado por un mayor volumen en Zona 2 que PET (Esteve-Lanao et al. 2005). Las características descriptivas de los dos grupos se muestran en la Tabla 3.2.2.

Descriptivo	Grupo Polarizado (PET) (N=16)	Grupo entre umbrales (BThET) (N=16)
Edad (años)	35,7 \pm 4,2	36,3 \pm 4,0
Peso (kg)	70,8 \pm 11,3	69,5 \pm 12,0
Estatura (cm)	173,0 \pm 3,3	168,8 \pm 10,3
IMC (kg/m²)	22,7 \pm 2,4	22,2 \pm 2,2
Experiencia entrenamiento (años)	7,0 \pm 3,3	6,2 \pm 3,2

3.2.3- ENTRENAMIENTO Y PERIODIZACIÓN

El plan de entrenamiento para uno de los grupos (PET) fue diseñado para conseguir un porcentaje de la distribución en Zonas 1,2 y 3 del ~75/5/20 basado en su FC. El otro grupo (BThET) siguió un plan para conseguir un porcentaje en su distribución del ~45/35/20 para las Zonas 1, 2 y 3 respectivamente. Los dos programas de entrenamiento fueron diseñados para alcanzar una puntuación similar en los dos grupos para: 1) el total de TRIMPs acumulados durante el macrociclo de 10 semanas (~3500 TRIMPs) y 2) media semanal de TRIMPs (~350 TRIMPs·semana⁻¹) (Figura 3.2.3.)

Figura 3.2.3.
Evolución de la carga de entrenamiento y distribución de la intensidad



La carga de entrenamiento diaria fue basada en el tiempo en lugar de en la distancia, con el objetivo de controlar el tiempo relativo dedicado por cada atleta a cada zona. A partir de la semana 8 del periodo de entrenamiento previo a la intervención, la carga de entrenamiento fue ajustada cada semana para asegurar una puntuación similar de TRIMPs en ambos grupos. El *feedback* de los atletas también fue tomado en cuenta con el fin de evitar la aparición de síntomas de sobreentrenamiento. Todos los atletas compartieron el mismo entrenador (J E-L).

En conjunto, la mayor diferencia en el entrenamiento fue que el grupo BThET entrenaron varias sesiones semanales a intensidades constantes específicas de carrera cuya FC correspondía a Zona 2, mientras el grupo PET ejecutó estas sesiones a intensidades de Zona 1 (~5 pulsaciones·min⁻¹ por debajo del UAE), y con una duración del doble de tiempo respecto a BThET. En ambos PET y BThET, el macrociclo entero fue dividido en un periodo preparatorio común de 8 semanas, seguido de un periodo específico de 6 semanas y un periodo competitivo de 4 semanas. La intervención se centró sobre estos dos últimos periodos (10 semanas en total). El periodo inicial de 8 semanas fue idéntico para los dos grupos, basado en un trabajo a baja intensidad y sesiones de trabajo de fuerza básica. En ambos grupos, cada mesociclo de 4 semanas tuvo una estructura de 3:1 (tres semanas de aumento continuo de carga de trabajo seguida por una semana de descenso de ésta), mientras los mesociclos de 3 semanas tuvieron una estructura de carga de 2:1.

La distancia media recorrida por ambos grupos fue de ~50-60 km·semana⁻¹ durante el estudio, incrementándose durante el periodo preparatorio hasta

alcanzar un máximo de ~ 70 km·semana⁻¹ en la semana 13, y finalmente viéndose reducida a ~ 30 km·semana⁻¹ antes de la competición sobre 10km post-intervención (semana 18). Sin embargo, la intensidad de carrera siguió un camino opuesto. La programación semanal incluyó dos sesiones “intensas”, (entrenamiento interválico o trabajo de repeticiones a altas intensidades) y una o dos sesiones· semana⁻¹. Las sesiones restantes estaban compuestas por entrenamiento continuo (realizado en Zona 1 por el grupo PET y en Zona 2 para el grupo BThET).

3.2.4- ENTRENAMIENTO DE FUERZA DURANTE EL PERIODO DE INTERVENCIÓN

El trabajo de fuerza fue idéntico para todos los sujetos y no estuvo relacionado con el diseño experimental. Durante las 8 semanas, previas a la intervención, los sujetos realizaron entrenamiento en circuito (2 días por semana), el cual constaba de ejercicios isométricos, trabajos con su propio peso corporal y con balón medicinal. Además de este tipo de trabajo en circuito, se añadió ejercicios de propiocepción y de trabajo abdominal.

Durante el periodo específico (entre las semanas 9-15), se realizaron intervalos de duración corta (iban incrementándose en duración progresivamente) con cinturones lastrados (desde 3 a 5% del peso corporal del sujeto). También durante este periodo se ejecutó ejercicios pliométricos de baja intensidad con un total de saltos entre 150 y 300 por sesión.

Durante el periodo competitivo (semanas 15-18), los sujetos realizaron únicamente una sesión de entrenamiento de fuerza a la semana.

3.2.5- TEST FISIOLÓGICOS Y DE RENDIMIENTO

Los atletas realizaron un test en laboratorio (~600m de altitud) al comienzo del programa de entrenamiento para evaluar las variables fisiológicas de éstos. El test siguió un protocolo en rampa sobre tapiz rodante (Technogym Run Race 1400 HC, Gambettola, Italia), cuyo objetivo principal fue determinar el primer umbral Ventilatorio (VT de ahora en adelante se referirá a este momento metabólico como UAE) y el umbral de Compensación Respiratoria (RCT de ahora en adelante se referirá a este momento metabólico como UAN) (Esteve-Lanao et al. 2007a). Tras un calentamiento general, los corredores comenzaron el test a una velocidad de 8 km/h⁻¹, incrementando la velocidad 0,5 km/h⁻¹ cada 30s. hasta mostrar una incapacidad para seguir realizando el test. Durante esta prueba, los datos referentes al intercambio de gases fueron recogidos de manera continua usando un sistema automático (Vmax 29C, Sormedics, Yorba Linda, Ca, EEUU). Las siguientes variables fueron medidas: consumo de oxígeno (VO₂), ventilación pulmonar (VE), equivalentes ventilatorios para el oxígeno (VE·VO₂⁻¹) y dióxido de carbono (VE·CO₂⁻¹), y presión final parcial de oxígeno (P_{ET}O₂) y dióxido de carbono (P_{ET}CO₂).

El consumo máximo de oxígeno (VO₂máx) fue medido como el máximo valor de VO₂ obtenido de manera continua durante el periodo de un minuto, se usaron los criterios para determinar este propuestos por Doherty et al. (2003b). Tanto el UAE como el UAN fueron determinados en base a los

criterios previamente descritos (Esteve-Lanao et al. 2007a). La FC fue continuamente monitorizada durante los test usando radio telemetría (Accurex Plus, Polar Electro OY; Finlandia).

Al final de la semana 8 del periodo preparatorio, todos los sujetos realizaron la misma carrera sobre 10km (PRE 10k). Esta competición sirvió para: 1) determinar el nivel inicial de los atletas y asegurar una igualdad en los niveles de ambos grupos previa a la intervención y 2) posibilitar la comparación del rendimiento pre-post intervención. Al final del periodo competitivo (semana 18) los sujetos realizaron otra competición sobre 10 km (POST 10k). No fue posible el realizar los test fisiológicos al final de la semana 10 del periodo de estudio.

3.2.6-CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA DE ENTRENAMIENTO

Aunque las primeras 8 semanas de trabajo fueron idénticas para todos los sujetos, para un análisis estadístico sólo se optó por cuantificar la carga de trabajo desde la semana 9 hasta la 18 (las 10 semanas de intervención). Todos los sujetos midieron de manera continua sus sesiones de entrenamiento mediante la FC durante el macrociclo de 18 semanas. Las siguientes variables fueron cuantificadas: 1) tiempo total dedicado a cada zona metabólica (Zona 1 FC por debajo del UAE, Zona 2 FC entre UAE y UAN, Zona 3 FC por encima del UAN), y 2) carga total (medida mediante sistema TRIMP) que se explicará a continuación. Estudios previos con atletas de resistencia altamente entrenados mostraron como la FC a intensidades de UAE y UAN determinada mediante un test en laboratorio permaneció estable durante una temporada entera, a pesar

de las mejoras obtenidas (mediante el entrenamiento) en desarrollar una mayor capacidad de trabajo (Lucía, Hoyos, Pérez y Chicharro, 2000b). De esta manera, un único test durante el periodo preparatorio (como se usó en este estudio) parece ser válido para monitorizar el entrenamiento basado únicamente en los valores de la FC a intensidades de UAE y UAN (Lucía et al. 2000a).

La carga de entrenamiento fue estimada (multiplicando intensidad x volumen) usando una variación en el sistema de TRIMP, basado en la propuesta de Foster et al. (2001). Este método, el cual fue usado para estimar la carga total de trabajo en ciclistas profesionales durante 3 semanas (Lucía, Earnest y Arribas, 2003) y de manera regular en corredores bien entrenados (Esteve-Lanao et al. 2005; Esteve-Lanao et al. 2007a), usa los datos proporcionados por la FC durante el ejercicio para integrar ambos componentes de la carga (volumen e intensidad) relativos a cada una de las tres zonas de intensidad. La puntuación para cada zona es conseguida mediante la multiplicación la duración acumulada en esa zona por una puntuación que variará en función de la zona metabólica (p.e. a 1 minuto en Zona 1 se le asignará una puntuación de 1 TRIMP, 1 minuto en Zona 2 obtendrá 2 TRIMPs y 1 minuto en Zona 3 supondrá una puntuación de 3 TRIMPs). La carga total en TRIMPs, vendrá determinada por la suma de las puntuaciones totales de las 3 zonas.

3.3-ESTUDIO 3

3.3.1- APROXIMACIÓN EXPERIMENTAL AL PROBLEMA

El presente estudio tuvo lugar durante las 6 últimas semanas del macrociclo de otoño-invierno. El periodo preparatorio (12 semanas) fue igual para todos los participantes de este estudio.

La Velocidad Aeróbica Máxima (VAM) de los sujetos fue determinada durante un test previo a la intervención (correspondió a una velocidad $\sim 118\%$ de la velocidad específica de competición previa a la intervención). Los sujetos fueron divididos en dos grupos: un grupo desarrollo un entrenamiento interválico de alta intensidad (HIT, siglas de *High Intensity Training*) y otro entreno específicamente a intensidades de competición (RP, siglas de *Race Pace*). El grupo HIT entrenó, mediante sesiones interválicas, a una intensidad $\sim 105\%$ de la VAM. El grupo RP realizó entrenamientos a intensidades $\sim 90\%$ de la VAM. Este último ritmo fue el equivalente a una intensidad $\sim 103\text{-}104\%$ de la intensidad que desarrollaron los sujetos en la competición previa intervención, permitiendo que RP entrenase a la intensidad específica que desarrollarían en una 2ª competición.

3.3.2- MUESTRA

13 sujetos bien entrenados ($VO_2\text{máx} = 68.7 \pm 4.7$ ml/kg/min) con una m.m.p. previa a este estudio de $35\text{min}40\text{s} \pm 1\text{min}30\text{s}$ participaron en la presente

investigación. Sus características descriptivas, previa a la intervención, se muestran en la Tabla 3.3.2.

Descriptivo	Grupo Polarizado (N=16)	Grupo Umbrales (N=16)
Edad (años)	35,7 ± 4,2	36,3 ± 4,0
Peso (kg)	70,8 ± 11,3	69,5 ± 12,0
Estatura (cm)	173,0 ± 3,3	168,8 ± 10,3
IMC (kg/m ²)	22,7 ± 2,4	22,2 ± 2,2
Experiencia entrenamiento (años)	7,0 ± 3,3	6,2 ± 3,2

3.3.3- ENTRENAMIENTO PREVIO A LA INTERVENCIÓN

Previamente a la división en dos grupos y al comienzo de la intervención, todos los sujetos completaron al menos 12 semanas de entrenamiento similar bajo la tutela de un entrenador experimentado. Las características de este periodo de entrenamiento fueron una progresión desde 50 a 90km/semana, una progresión desde sesiones de *fartlek* a 2 sesiones de trabajo interválico semanales ejecutadas ambas a intensidades próximas al UAN, y una progresión en el programa de entrenamiento de la fuerza desde entrenamiento en circuito hasta 2 sesiones de entrenamiento de fuerza semanales orientadas a mejorar la fuerza máxima y potencia, también se optó por incluir cuestas y el uso de cinturones lastrados en las sesiones interválicas.

Las dos tipos de intervención fueron realizadas durante el periodo competitivo, cuyo objetivo último fue la obtención de un pico de forma

orientado a la consecución del máximo rendimiento en una prueba de 10km. Todos los sujetos participaron en las mismas competiciones de 10 km (pre y post intervención) inmediatamente antes y después de la intervención.

La asignación de los sujetos a uno u otro grupo fue basada en la posición inicial en el *ranking* (1 a 13). El rendimiento durante la 1ª competición (previa a la intervención) sobre 10km fue similar en ambos grupos. No hubo diferencias significativas en ninguna de las variables fisiológicas estudiadas previa intervención (Tabla 3.3.3.)

Tabla 3.3.3.
Variables fisiológicas pre-intervención

	N	Edad (años)	Peso (kg)	Altura (cm)	IMC (kg/m ²)	VO ₂ máx (ml/kg/min)	10k Pre (min:s)
HIT	6	31±6	67± 4	176 ± 0,04	21,8 ± 0,5	69 ± 3	35:29±1:41
RP	7	35±4	68 ± 7	177 ± 0,05	21,8 ± 1,5	69 ± 6	35:27±1:40

3.3.4- TEST FISIOLÓGICOS Y RENDIMIENTO

Dos carreras oficiales de 10 km fueron realizadas antes y después del periodo competitivo con el objetivo de determinar el rendimiento de los atletas. Todos los sujetos participaron junto con otros atletas de la misma región. Ambas competiciones fueron similares en el perfil, altitud, humedad y en condiciones de temperatura (3 vs 10 metros acumulados de desnivel, altitud 587 vs 489 metros, 55% vs 60% humedad relativa, y 18 vs 20 °C al comienzo de la prueba). Ambas competiciones comenzaron a las 12:00 a.m.

Los sujetos completaron un test en rampa sobre tapiz rodante hasta el agotamiento 4 días antes de cada carrera de 10km (Technogym Run Race 1400 HC, Gambettola, Italia)

Los atletas realizaron un calentamiento general de 15 minutos a una intensidad suave, seguido de 6 minutos a un velocidad de 14 km·h⁻¹ (~82% del ritmo específico de competición previa intervención) con el fin de determinar su economía de rendimiento. El test en rampa comenzó a una velocidad de 10 km·h⁻¹, cada 30 segundos la velocidad fue incrementándose en 0,3 km·h⁻¹ hasta que el sujeto mostraba una incapacidad para mantener el ritmo deseado. Durante el test, se mantuvo el porcentaje de inclinación en 1%. Los datos referentes al intercambio de gases fueron medidos de manera continua mediante el sistema Medical Graphics (VO2000, Minnesota, EEUU), el cual fue calibrado antes de cada test de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Un protocolo similar fue previamente descrito con corredores de resistencia (Esteve-Lanao et al. 2007a).

La VAM fue determinada como la velocidad mínima que solicitaba un VO₂máx, o en caso que no se observase una meseta en el VO₂, se estipuló como la última velocidad capaz de haber sido mantenida durante 30 segundos. Al menos dos de los siguientes criterios fueron requeridos para la constatación de la consecución del VO₂máx (Doherty et al. 2003b): una meseta en el valor del VO₂ aunque se incrementase la velocidad (un incremento menor de 1,5 ml·kg⁻¹·min⁻¹), un ratio del intercambio respiratorio ≥ 1,15 o la consecución de una FC ≥ al 95% de su FC máxima calculada en función de su edad (207-07·edad) (Gellish et al. 2007).

Los dos umbrales ventilatorios (VT/UAE y RCT/UAN), y la velocidad asociada a ellos, fueron identificados de acuerdo a la metodología descrita en el estudio de Esteve-Lanao et al. 2007a). La economía de carrera fue expresada en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ a 14 km/h.

Durante la competición, los sujetos portaron un monitor de la FC para cuantificar la FC media y el porcentaje de la FC_{máx}, con el fin de comparar el grado de agotamiento entre las dos competiciones.

3.3.5- CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA DE ENTRENAMIENTO DURANTE LA INTERVENCIÓN

Tanto HIT como RP fueron calculados para obtener una misma carga de entrenamiento, mediante el coeficiente calculado por el volumen, la intensidad y la densidad trabajo/recuperación de las sesiones interválicas. Para comparar la carga total de entrenamiento entre los dos grupos, se estimó la capacidad de cada grupo de mantener su intensidad específica (tiempo límite). Datos previos a esta investigación mostraron un Déficit Máximo de Oxígeno Acumulado (DMOA) para estos sujetos de 2-2,5 minutos a una intensidad de 120% de la VAM y de 4-6 minutos a la VAM. En base a la mejor marca personal de los sujetos, éstos mostraron una velocidad al UAN del ~87% de la VAM.

De acuerdo con la estimación realizada por Peronnet y Thibault (1987) con el Índice de Resistencia (IR), se calculó el IR de estos atletas y se estimó su tiempo límite en ~32 minutos para intensidades de RP (90% de la VAM), y de ~3-4 minutos a intensidades de HIT (105% de la VAM).

Así pues, se dio una proporción de ~9:1 en el cálculo del tiempo límite teórico. Por ello se puntuó con 9 puntos a cada minuto que HIT pasaba a su intensidad específica de entrenamiento, por 1 punto por cada minuto que entrenaba RP a su intensidad específica.

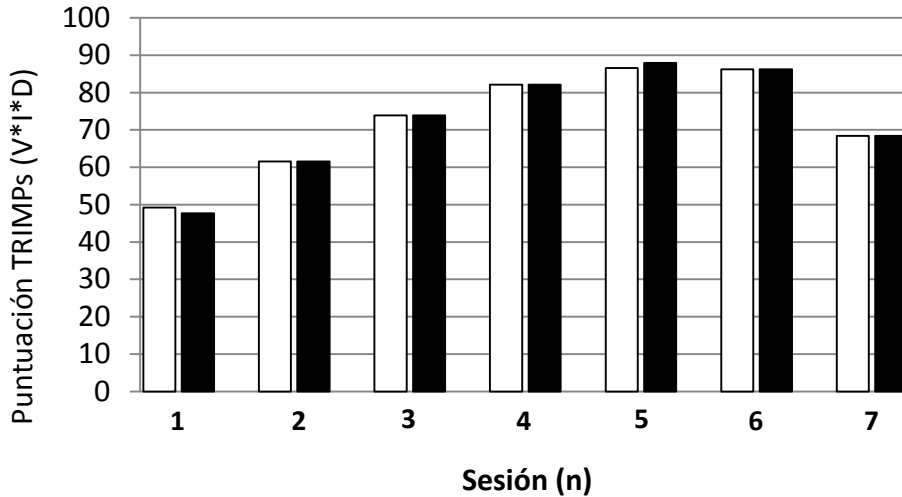
Para calcular la carga de entrenamiento por sesión, se optó por multiplicar Volumen x Intensidad x Densidad, donde el Volumen fue el tiempo total de entrenamiento medido en minutos (sin incluir los periodos de recuperación), la Intensidad fue de 9 puntos por cada minuto en HIT por 1 punto por cada minuto en RP, y Densidad fue el ratio entre trabajo/recuperación. La Tabla 3.3.5.y la Figura 3.3.5. muestran detalladamente el plan de entrenamiento y el cálculo de las cargas de entrenamiento sesión por sesión.

Tabla 3.3.5.
Detalles de cada sesión de entrenamiento en función del grupo

Sesiones de intensidad							
	1	2	3	4	5	6	7
RP	16 x 500 90% VAM r' = 1: 00	10 x 1000 90% VAM r' = 2: 00	4 x 2000 90% VAM r' = 2: 40	5 x 2000 90% VAM r' = 3: 00	3 x 2500 90% VAM r' = 2: 40	7 x 1000 90% VAM r' = 1:00	3000 + 2000 + 1000 + 500 @ 90% VAM r' = 1/3 de la repetición previa
HIT	32 x 100 105% VAM r' = 0:31	20 x 200 105% VAM r' = 1: 00	8 x 400 105% VAM r' = 1: 20	10 x 400 105% VAM r' = 1: 30	8 x 500 105% VAM r' = 1: 45	14 x 200 105% VAM r' = 30 "	800 + 600 + 500 + 400 + 300 R' = mismo tiempo que repetición anterior

r' = intervalo de recuperación. El tiempo es expresado en segundos (") o minutos: segundos. La longitud de los intervalos es expresada en metros La intensidad se expresa en % de la Velocidad Aeróbica Máxima (VAM) previamente determinada en el test fisiológico.

Figura 3.3.5.
Progresión de la carga de entrenamiento en ambos grupos (HIT-negro, RP-
blanco)



3.3.6- ENTRENAMIENTO ADICIONAL DURANTE EL PERIODO DE INTERVENCIÓN

Amos grupos ejecutaron la misma carga de entrenamiento diaria y total durante las 4 semanas de intervención con la única diferencia de la 7ª sesión de entrenamiento interválico. Las sesiones diferentes entre grupos fueron realizadas los mismos días de la semana y a la misma hora. Los entrenamientos de recuperación consistieron en una baja intensidad de carrera (por debajo del UAE), y trabajo de fuerza. Los entrenamientos de resistencia a intensidades bajas (Tabla 3.3.6.) consistieron en 40-60 minutos de carrera continua a intensidades por debajo del UAE (C.C.F). El entrenamiento de fuerza se basó en el desarrollo de la fuerza máxima y pliometría. El trabajo de fuerza máxima se desarrolló en Multipower mediante Squat concéntrico con una angulación de 90º y un trabajo de Squat en régimen de contracción excéntrico (Yo-yo

Technology, Nynäshamn, Suecia) con una periodización de 2-4 series de 6-4 repeticiones con el 70-90% de 1RM. En lo que respecta al entrenamiento pliométrico, éste desarrollo saltos horizontales con doble apoyo, apoyo unilateral y saltos alternos con una pierna con un volumen total por sesión de ~150-80 saltos. Las 5 semanas del mesociclo de intervención siguieron un diseño de distribución de la carga de 4:1(4 semanas de un aumento de la carga seguida de 1 semana de descarga y puesta a punto). El volumen semanal total en kilómetros fue planificado de la siguiente manera 70-75-80-80-45 (incluida en esta última la competición).

Tabla 3.3.6.
Distribución de los test, entrenamiento y competiciones durante el estudio

Sem. no.	L	M	X	J	V	S	D
1	Fuerza	C.C.F	Test Fisi.	C.C.F	-	Descan. Act	1^º 10k
2	C.C.F	Fuerza	IT no 1 (RP/HIT)	-	Fuerza	IT no 2 (RP/HIT)	C.C.F
3	Fuerza	-	IT no 3 (RP/HIT)	Fuerza	C.C.F	IT no 4 (RP/HIT)	C.C.F
4	Fuerza	C.C.F	IT no 5 (RP/HIT)	Fuerza	C.C.F	IT RP = HIT	C.C.F
5	Fuerza	-	IT no 6 (RP/HIT)	C.C.F	Fuerza	C.C.F	IT no 7 (RP/HIT)
6	Fuerza	-	Test Fisi.	Descan Act	-	Desc.Act	2^º 10k

A mediados de la intervención, se optó por realizar en un mismo día un entrenamiento idéntico para ambos grupos, en un esfuerzo de compensar la falta de estímulos en HIT de duración más larga y a intensidades próximas a las de carrera, lo cual podría comprometer la habilidad de estos sujetos a la hora de mantener un ritmo constante de carrera sin pausas (Maughan, 1992). En esta sesión ambos grupos realizaron el mismo entrenamiento, ejecutando

III.- MÉTODOS

2x20 minutos a la FC correspondiente a su UAN determinado previamente en el tet fisiológico en laboratorio, con una recuperación entre repeticiones de 5 minutos.

Todas las sesiones de entrenamiento fueron ejecutadas bajo la supervisión del mismo entrenador (J E-L), y los diarios de entrenamiento fueron usados para verificar que el ritmo de entrenamiento era el previsto.

3.4- ESTUDIO 4

3.4.1- MUESTRA

Un total de 64 corredores populares de diferentes niveles de rendimiento completaron el presente estudio (Tabla 3.4.1.). Los rangos de las marcas de los atletas fueron: 10k (n=19): 32min – 56min; 21k (n=24): 1h04min – 1h57min; 42k (n=21): 2h38min – 4h02min). El criterio de inclusión fueron 1) manifestar haber entrenado específicamente para la distancia de competición con un mínimo de 12 semanas, y 2) completar la competición demostrando máximo esfuerzo y siendo ésta su mejor marca personal o mejor marca de la temporada. Se excluyeron otros sujetos a quienes se había evaluado pero que no habían realizado una buena competición.

Tabla 3.4.1.
Datos obtenidos (media \pm SD)

	V1(km/h)	FC1	LA1(mMol/L ⁻¹)	V2(km/h)	FC2	LA2(mMol/L ⁻¹)
10k n=19	14,6 \pm 1,9	164 \pm 6	5 \pm 1,7	15,6 \pm 1,9	172 \pm 5	8 \pm 2,4
21k n=24	13,6 \pm 2,5	154 \pm 12	3,3 \pm 1,6	14,6 \pm 2,5	164 \pm 11	4,9 \pm 1,9
42k n=21	13,5 \pm 0,9	152 \pm 10	2 \pm 0,8	14,4 \pm 1	158 \pm 9	3 \pm 1,6

FC1= Frecuencia Cardíaca correspondiente a V1, FC2= Frecuencia Cardíaca correspondiente a V2, LA1= Concentración de Lactato Sanguíneo asociado a V1, LA2= Concentración de Lactato Sanguíneo asociado a V2, V1= Velocidad inferior a la prevista en competición, V2= Velocidad igual o superior a la prevista en competición

3.4.2- PROTOCOLO DEL TEST

Todos los sujetos fueron evaluados, entre 5 y 10 días antes de la competición objetivo de su preparación. El calentamiento consistió en 15' de trote continuo por debajo de su 70% de la frecuencia cardiaca (FC) máxima real o teórica en quienes no la conocían, seguido de estiramientos dinámicos y una prueba sobre 200m del primer ritmo a utilizar. Las pruebas se realizaron en una pista de atletismo de superficie sintética, en días sin viento perceptible y en temperaturas inferiores a los 23°C. Se establecieron dos ritmos alrededor del ritmo previsto para la competición. En cada uno de los ritmos seleccionados, se realizaron dos repeticiones de 1200m a ritmo constante. La pausa entre ambas era mínima, solamente para tomar una muestra de lactato en sangre capilar. El ritmo se estableció mediante señales acústicas en el pulsómetro utilizado para registrar la frecuencia cardiaca (FC) (Polar S810, Kempele, FIN). Se situaron conos a lo largo de toda la pista, cada 50m, y se calculó el tiempo que suponía recorrer 50, 100 o 200m al ritmo deseado, para programar los avisos del pulsómetro. La pausa para tomar la muestra de lactato entre las repeticiones de 1200m se estandarizó al tiempo entre señales acústicas más cercano a los 30 segundos. De este modo, conforme el atleta completaba su vuelta, sin desplazarse del lugar, se anotaba su FC, se tomaba la muestra de lactato, y en cuanto se producía una nueva señal acústica reiniciaba el ritmo hasta completar un total de 2400m. Un ritmo se calculaba para ser ligeramente inferior al previsto en la competición (V1), y otro a ritmo de competición o ligeramente superior (V2). En caso de manifestar comodidad para completar este protocolo, se realizaba un tercer ritmo. Para el análisis de datos se seleccionaban solo los dos ritmos que hubieran resultado más cercanos, por encima y por debajo, del ritmo promedio en la competición.

3.4.3- MEDICIONES

Se tomaron muestras de lactato sanguíneo (bLA) en sangre capilar con muestras de 0,5 μ L. Se obtuvieron del lóbulo de la oreja, tanto al terminar cada repetición como después de 1 minuto de la 2ª repetición de un mismo ritmo. Tras 3 minutos de pausa, finalizado el primer ritmo, se repetían las mediciones con el ritmo igual o superior al de competición (V2). La concentración de bLA fue analizada mediante el analizador portátil LactatePro™ (KDK Corporación, Kyoto, Japón) (C.V 3%). Se monitoreó de manera constante la frecuencia cardiaca (FC) (Polar S810, Kempele, FIN).

3.4.4-COMPETICIÓN

Los atletas participaron en competiciones sobre distancias homologadas por la federación territorial correspondiente. En todas las pruebas se utilizaron sistemas de cronometraje electrónico por chip en la zapatilla o en tobillo, tomándose los tiempos oficiales como variable a pronosticar. Se obtuvo la velocidad promedio desarrollada en competición en relación al tiempo empleado, definiéndose como V10k / V21k / V42k.

3.5-ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el Estudio 1, se aplicaron pruebas de correlación de Pearson entre las variables de carga de entrenamiento y las variables de competición. La Potencia Estadística fue calculada para estas correlaciones ($1-\beta$). Se aplicó la prueba T para muestras independientes con el fin de comparar la distribución de las zonas entre el entrenamiento y competición. El nivel de significación estadística establecido para todos los cálculos fue de $P \leq 0,05$

En el Estudio 2, con el fin de asegurar que ambos grupos poseían un mismo nivel de forma y competitivo previa a la intervención, los valores medios de las variables que indican el nivel de forma (VO_2 máx, UAE, UAN, etc.) y el rendimiento (10 km pre-intervención) fueron comparados (entre ambos grupos) mediante la prueba *t* de Student. A su vez, para asegurarse que la carga de entrenamiento y su distribución eran similares y diferentes, respectivamente, en ambos grupos durante el periodo de entrenamiento, los valores medios de la puntuación total de los TRIMP, el tiempo total pasado en Zona 1, Zona 2 y Zona 3, y el % de tiempo pasado en Zona 1, Zona 2 y Zona 3 (sobre el periodo de intervención de 10 semanas) también fueron comparados. Una prueba ANOVA 2x2 fue realizada (comparando los dos grupos como factor entre sujetos y las medidas pre-post como factor intra-sujetos) para calcular la diferencia en 10 km Pre-Post. La *d* de Cohen fue usada para medir el tamaño del efecto, usando los valores de referencia, Pequeño ($d=0,2$), Medio ($d=0,5$) y Grande ($d=0,8$), para interpretarlos como sugirió Cohen (Ellis, 2010). El Tamaño del Efecto para todas las comparaciones fue calculado mediante Eta Parcial al Cuadrado (η_p^2), considerando un tamaño del

efecto pequeño $\leq 0,01$, moderado entorno a $0,06$, y amplio $\geq 0,14$ (Ellis, 2010). El método Bonferroni fue usado para todas las comparaciones de ANOVAS pares.

Para el Estudio 3, se aplicó pruebas t para muestras independientes con el objetivo de observar posibles diferencias significativas en las variables estudiadas pre vs post intervención. El nivel de significación estadística establecido para todos los cálculos fue de $P \leq 0,05$

En lo que respecta al Estudio 4, se establecieron las variables V10k/V21k/V42k como variable dependiente, y la bLA1, bLA2, V1 y V2 como variables independientes. Se aplicaron regresiones múltiples con objetivo de predecir V10k / V21k / V42k. Se calculó el Error Típico de Estimación (ETE).

Todos los datos se expresaron en media (X) y desviación estándar (SD). El nivel de significación estadística establecido fue de $P \leq 0,05$. Para todas las pruebas se usó el programa informático *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) versión 13.0 (SPSS, Chicago, Ill).

IV.-RESULTADOS

4.1-ESTUDIO 1

4.1.1- MORTALIDAD EXPERIMENTAL

4 sujetos no recogieron correctamente los datos referentes al entrenamiento (menos del 95%). Por lo tanto, sólo 9 sujetos cumplieron todos criterios de inclusión y fueron incluidos en el análisis. No se produjeron diferencias significativas entre hombre y mujeres en terminos de nivel relativo. Este nivel fue expresado como el porcentaje de tiempo con respecto al ganador (del mismo género) de toda la carrera. Para los hombres $148\% \pm 27,2$, mientras que par alas mujeres fue de $127\% \pm 7,5$ ($t_6=1,289$; $P=0,238$). Sólo el peso corporal fue mayor para los hombres respecto a las mujeres ($72,7\text{kg} \pm 4,0$ vs $58,9\text{kg} \pm 0,8$; $t_6=5,661$; $P=0,001$).

4.1.2- CORRELACIONES ENTRE TEST DE CONDICIÓN FISIOLÓGICA Y RENDIMIENTO EN COMPETICIÓN

Correlaciones significativas fueron halladas entre la velocidad/potencia al UAE y al UAN en el test 1 y 2 para la natación y la carrera durante la competición. Se mostraron correlaciones significativas entre el *IronMan*(IM) para los datos de Carrera provenientes del test 1y los respectivos a potencia desarrollada al UAN para ciclismo en el test 2 (Tabla 4.1.)

Tabla 4.1.
Correlación de Pearson entre los test metabólicos con el rendimiento en
competición en cada deporte y durante el *IronMan*

Test metabólico	Dep.	Rendimiento por cada deporte en IM			IM Rendimiento
		Natación	Ciclismo	Carrera	
UAE velocidad/potencia Test 1	Natación	-,954**			-,564
	Ciclismo		-,139		-,404
	Carrera			-,864**	-,718*
UAN velocidad/potencia Test 1	Natación	-,887**			-,604
	Ciclismo		-,446		-,353
	Carrera			-,927**	-,835**
UAE velocidad/potencia Test 2	Natación	-,888**			-,534
	Ciclismo		-,254		-,660
	Carrera			-,300	-,217
UAN velocidad/potencia Test 2	Natación	-,861**			-,664
	Ciclismo		-,561		-,731*
	Carrera			-,784*	-,650

** $P < 0,01$; * $P < 0,05$

4.1.3-TIEMPO REALIZADO EN CADA ZONA METABÓLICA DURANTE EL ENTRENAMIENTO Y COMPETICIÓN

El mayor tiempo de entrenamiento fue realizado en Zona 1 (68 ± 14 / 28 ± 13 / $4 \pm 3\%$ para Zonas 1/2/3 respectivamente). Sin embargo, durante la competición la mayor parte de ésta fue desarrollada a intensidades de Zona 2

(37 ± 29 / 59 ± 27 / $4\pm 6\%$ para zonas/3 respectivamente). Fue encontrado una diferencia significativa entre el % de tiempo en Zona 1 ($P=0,04$), y 2 ($P=0,02$), sin diferencias en Zona 3 ($P=0,80$).

La distribución de la intensidad durante el entrenamiento de la natación fue el siguiente $64\pm 16/34\pm 16/2\pm 2\%$, para ciclismo fue $68\pm 15/27\pm 12/5\pm 3\%$, y para la carrera fue de $70\pm 17/28\pm 16/2\pm 4\%$. En lo que respecta a la carga total de entrenamiento (TRIMPs) entre deportes fue 18/47/35%, respectivamente, para natación, ciclismo y carrera.

4.1.4-CORRELACIONES ENTRE EL ENTRENAMIENTO Y LA COMPETICIÓN

Las correlaciones entre el entrenamiento y la competición son presentadas en la Figura 4.1.4. Hubo una correlación inversamente proporcional entre el total de tiempo entrenado o tiempo entrenado en Zona1 y el rendimiento en competición ($r= -0,93$, $P=0,003$, y $-0,92$, $P =0,004$, respectivamente, con una potencia para ambos de 0,99). También se mostró una correlación inversamente proporcional entre el rendimiento en competición, el porcentaje de tiempo entrenado ($r= -0,934$, $P=0,001$) y la carga total ($r= -0,930$, $P=0,001$).

Hubo correlaciones directas entre tiempo en competición y el % total de tiempo de entrenamiento en Zona 2 ($r= 0,939$, $P=0,001$).

Al analizar estas correlaciones con el rendimiento particular en cada deporte, se encontraron resultados similares, alcanzando significación estadística en el ciclismo y carrera. La tabla 4.2. muestra una información más detallada.

Tabla 4.2.

Correlación de Pearson entre Carga Total de Entrenamiento y a) Rendimiento en cada deporte y b) Rendimiento durante IronMan.

	Rendimiento de cada deporte durante IronMan			Rendimiento IM
	Natación	Ciclismo	Carrera	
Tiempo Total	-,604	-,868**	-,473	-,688*
Tiempo en Zona 1	-,670*	-,927**	-,808**	-,919**
Tiempo en Zona 2	,249	,220	,697*	,532
Tiempo en Zona 3	-,162	,145	,513	,338
% Tiempo en Zona 1	-,566	-,811**	-,931**	-,934**
% Tiempo en Zona 2	,614	,819**	,924**	,939**
% Tiempo en Zona 3	,174	,544	,686*	,636
TRIMPs Totales	-,419	-,609	-,034	-,305
Carga en Zona 1 (TRIMPs)	-,508	-,936**	-,938**	-,930**
Carga en Zona 2 (TRIMPs)	,245	,719*	,251	,532
Carga en Zona 3 (TRIMPs)	-,523	,536	,107	,307

** $P < 0,01$; * $P < 0,05$.

Las correlaciones entre la carga de entrenamiento por deporte y su rendimiento individual durante la competición son presentadas en la Tabla 4.3.

El tiempo total de entrenamiento obtuvo una correlación inversa con el rendimiento en cada deporte, consiguiendo una significación estadística en ciclismo ($r = -0,898$, $P = 0,001$).

Se encontraron correlaciones inversas para el tiempo total entrenado en cada deporte en Zona 1 y tiempos en competición, llegando a ser significativa para el ciclismo ($r = -0,949, P = 0,001$) y carrera ($r = -0,916, P = 0,001$).

A su vez, se encontró correlaciones directas y significativas entre los tiempos en competición y el % de entrenamiento total en Zona 2 para natación ($r = 0,896, P = 0,001$) y carrera ($r = 0,848, P = 0,001$).

Tabla 4.3.
Correlación de Pearson para Carga de Entrenamiento en cada deporte y Rendimiento en cada deporte

Variable	Rendimiento Deportivo		
	Natación	Ciclismo	Carrera
Tiempo Total de Entrenamiento	-,303	-,898**	-,459
Tiempo de Entrenamiento Zona 1	-,346	-,949**	-,916**
Tiempo de Entrenamiento Zona 2	,042	,455	,461
Tiempo de Entrenamiento Zona 3	,400	,354	,199
% Tiempo de Entrenamiento Zona 1	-,237	-,896**	-,844**
% Tiempo de Entrenamiento Zona 2	,289	,896**	,848**
% Tiempo de Entrenamiento Zona 3	-,326	,728*	,207
TRIMPs Totales de Entrenamiento	-,247	-,592	,065
Carga en Zona 1 TRIMPS	-,400	-,942**	-,918**
Carga en Zona 2 TRIMPS	,019	,454	,471
Carga en Zona 3 TRIMPS	-,400	,333	,205

** $P < 0,01$; * $P < 0,05$.

4.2- ESTUDIO 2

4.2.1- TEST DE CONDICIÓN FISIOLÓGICA Y 10 KM PRE-INTERVENCIÓN

Dos sujetos (uno de cada grupo de intervención) fueron excluidos del análisis debido a no cumplimentar correctamente el diario de entrenamiento, dejando una muestra de 15 atletas para cada grupo. No hubo diferencias significativas en las variables edad, peso, altura, o IMC entre grupos. Además el VO_2 máx, FC máx, UAE (expresado como % de la FC máx o pulsaciones·min⁻¹), experiencia de entrenamiento, rendimiento en la competición previa a la intervención (10 km Pre) fueron similares entre grupos (Tabla 4.4.).

Tabla 4.4.

Resultados de los test de condición fisiológica y 10km Pre-intervención

	Grupo PET (n = 15)	Grupo BThET (n = 15)
Edad (años)	34 ± 9	34 ± 7
Peso (kg)	71,4 ± 8,9	67,0 ± 10,4
Altura (cm)	177± 5	173± 7
IMC	22,7 ± 2,4	22,2 ± 2,2
VO_2 máx (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	61,0 ± 8,4	64,1 ± 7,3
FC máx (pulsaciones·min ⁻¹)	182 ± 11	187 ± 8
UAN (% FC máx)	91 ± 3	91 ± 3
UAE (% FC máx)	77 ± 3	79 ± 5
Experiencia entrenamiento (años)	7,0 ± 3,2	5,6 ± 3,5
Tiempo 10km Pre (min)	39,3 ± 4,9	39,4 ± 3,9

4.2.2- CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA DE ENTRENAMIENTO

Ninguno de los 30 atletas que participaron en este estudio sufrieron lesión alguno o desarrollaron alguna enfermedad durante el periodo de intervención o mostraron algún síntoma de fatiga crónica/sobrenentrenamiento (Esteve-Lanao et al. 2007a; Foster, 1998). Todos los sujetos fueron capaces de completar y guardar el ~100% de las sesiones de entrenamiento durante el programa de 10 semanas como en un principio se estipuló. La duración acumulada de las sesiones de entrenamiento en carrera durante el periodo experimental (semanas 9 a 18) fue de $\sim 39,1 \pm 7,9$ horas para el grupo PET y de $\sim 36,3 \pm 8,1$ horas para el grupo BThET.

No se halló diferencias significativas en el total de puntuación TRIMP o puntuación de TRIMPs medios semanales entre grupos.

Debido a la prescripción inicial, hubo diferencias significativas entre grupos en el total de tiempo en Zona 1 ($F_{1,28} = 26,87$; $P < 0,000$) y porcentaje del trabajo en Zona 1 ($F_{1,28} = 38,685$; $P < 0,0001$), tiempo total en Zona 2 ($F_{1,28} = 13,17$; $P < 0,001$), y porcentaje de entrenamiento en Zona 2 ($F_{1,28} = 29,25$; $P < 0,0001$). No se hallaron diferencias significativas en Zona 3 (Tabla 4.5.).

Tabla 4.5.

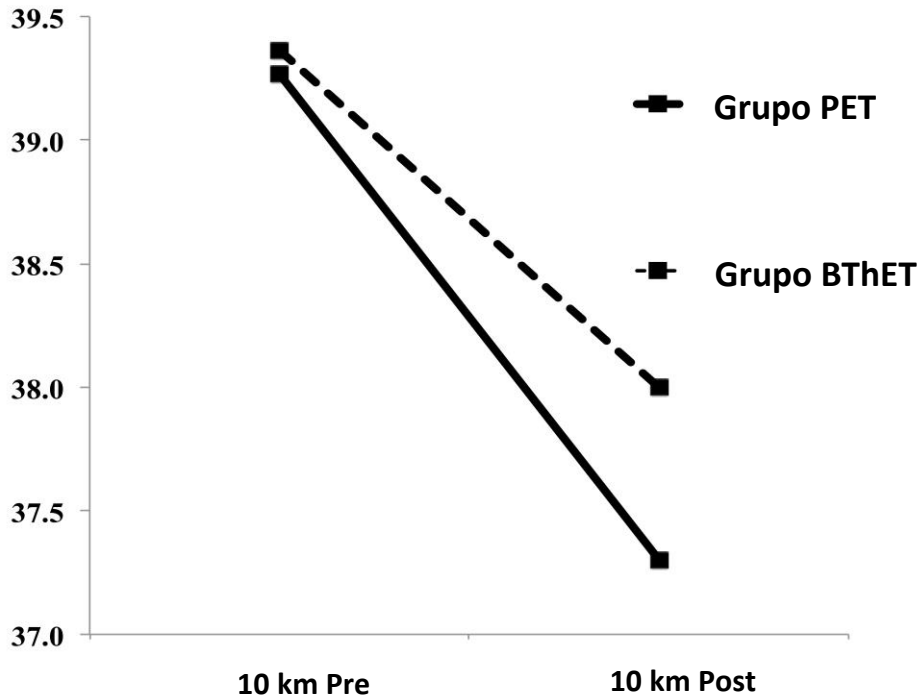
Resultados de la carga de trabajo durante las 10 semanas del periodo de intervención

	Grupo PET (n = 15)	Grupo BThET (n = 15)
Tiempo total de entrenamiento(hr)	39,1 ± 7,9	36,3 ± 8,1
Tiempo total en Zona 1 (hr)	28,5 ± 6,3*	16,7 ± 6,2
Tiempo total en Zona 2 (hr)	5,3 ± 2,7*	13,9 ± 8,8
Tiempo total en Zona 3 (hr)	5,3 ± 1,7	5,6 ± 1,6
Tiempo total en Zona 1 (%)	72,9 ± 5,6*	46,8 ± 15,2
Tiempo total en Zona 2 (%)	13,5 ± 5,6*	37,3 ± 16,1
Tiempo total en Zona 3 (%)	13,6 ± 4,3	15,8 ± 4,1
TRIMPs Totales	3299 ± 670	3691 ± 982
TRIMPs medios/semana	330 ± 67	370 ± 98

* $P < 0,05$

Una mejora en el rendimiento se observó en ambos grupos tras la intervención, PET (39min18s±4min54s vs 37min19s±4min42s, 5,0±3,3%; $P < 0,0001$) y BThET (39min24s±3min54s vs 38min0s±4min24s, 3,5±3,0% ; $P < 0,001$) (Figura 4.6.).

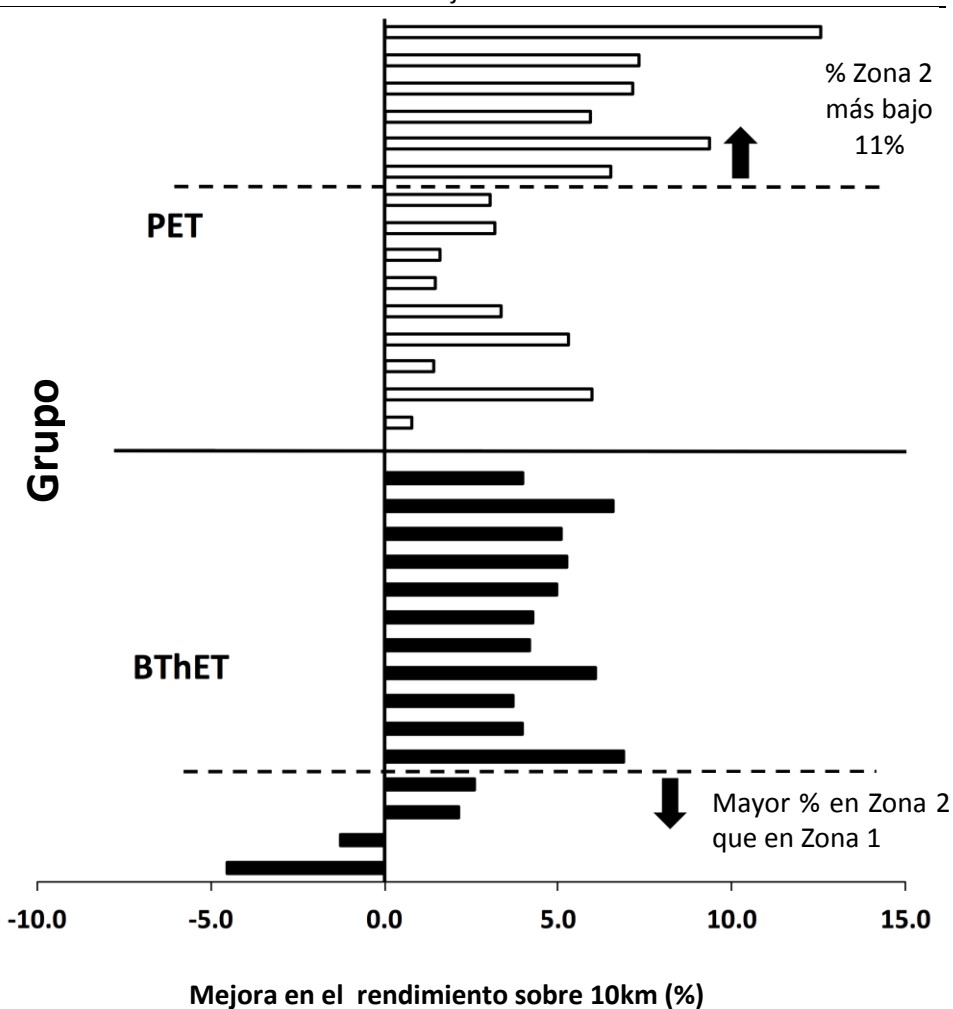
Figura 4.6.
Cambio en el rendimiento (min.) (10 km Pre vs 10 km Post en PET y BThET)



No se encontró diferencia alguna entre grupos en 10 km Post ($F_{1,28} = 1,1516$; $P = 0,226$; $F\eta^2 = 0,051$). Expresado en un estándar del tamaño del efecto Cohen (Ellis, 2010), la diferencia en la mejora entre grupos fue 0,43 (90% CI -0,17 a 1,04, $P = 0,23$).

La figura 4.7. representa la mejora individual por grupos.

Figura 4.7.
Mejora (%) en el rendimiento 10 km Pre vs 10 km Post en PET y BThET, sujeto a sujeto.

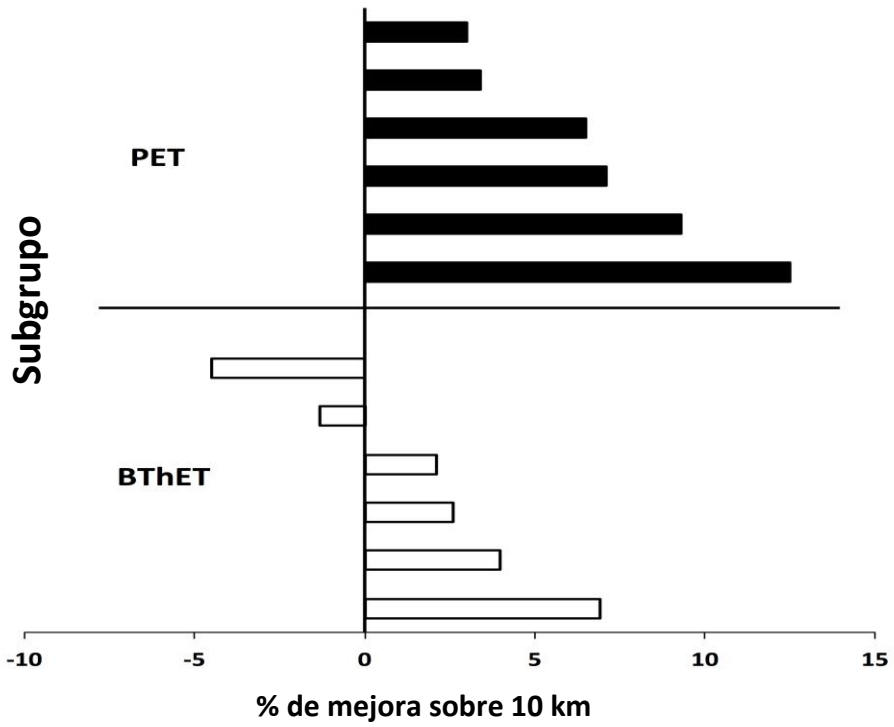


El análisis cualitativo de estas diferencias (Hopkins, 2007) mostró que PET tenía un 43% más de probabilidad de desarrollar un beneficio o efecto positivo que BThET, y un 66% de probabilidades de ser vinculado a un efecto insignificante.

Debido a una variación en ejecución del planteamiento inicial, también se analizó los atletas de cada grupo que más habían entrenado con una distribución de la intensidad orientada a Z1, y aquellos que más habían entrenado en Z2. Seis sujetos de PET fueron identificados, cuya distribución de la intensidad fue 78% Z1, 11% Z2 y 11% Z3 durante el periodo de intervención. Su mejora media en 10 km fue de $7,0 \pm 3,6\%$. Seis sujetos de BThET fueron identificados con una distribución de intensidad de 32% Z1, 53% Z2 y 16% Z3. Su rendimiento en 10 km mejoró de manera media en $1,6 \pm 4\%$.

Expresado en un estándar del tamaño del efecto Cohen, la diferencia en la mejora entre subgrupos de corredores que más entrenaron en Z1 vs los que más entrenaron en Z2 fue 1,29 (90% CI 0,31 a 2,27, $P = 0,038$) (Figura 4.8.). Los dos subgrupos no se diferenciaron en su experiencia de entrenamiento (8 ± 3 vs 6 ± 5 años), 10 km Pre (42 ± 6 vs 41 ± 3 min), o tiempo total de entrenamiento durante la intervención (37 ± 9 vs 37 ± 11 h).

Figura 4.8.
Mejora del rendimiento (10 km Pre vs 10 km Post en subgrupo PET y BThET,
con los casos de distribución "extrema")



4.3- ESTUDIO 3

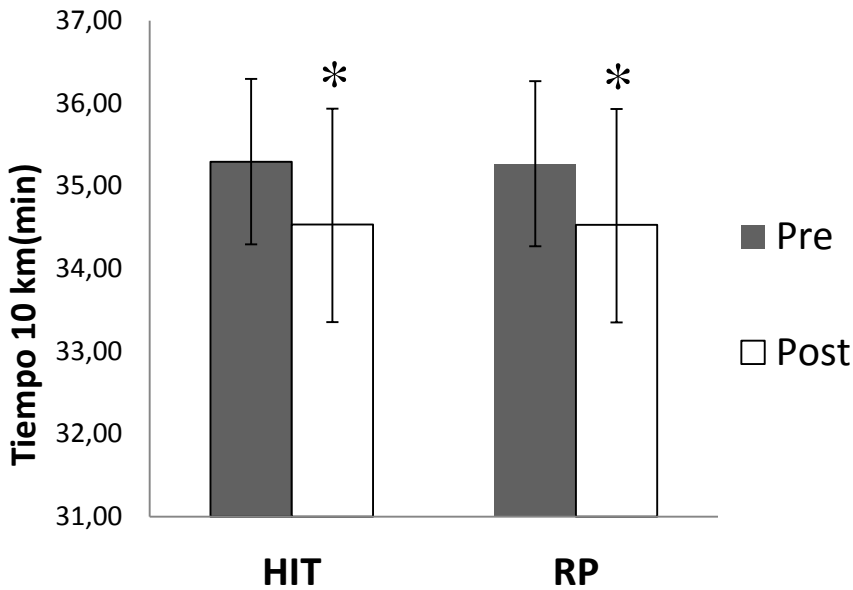
4.3.1- ADHERENCIA Y CUMPLIMIENTO DEL ENTRENAMIENTO

Los diarios y la supervisión directa confirmaron un 100% de adherencia al programa experimental, y el correcto desarrollo del ritmo de entrenamiento específico a cada grupo. Además, el 90% de las sesiones de recuperación (Carrera Continua Fácil y entrenamiento de fuerza) fueron completadas.

4.3.2- RENDIMIENTO EN COMPETICIÓN

Ambos grupos mejoraron su rendimiento en competición de 10 km significativamente ($p < 0,01$). No hubo diferencias significativas entre grupos en el tiempo de competición (Figura 4.9.), mejoras o puntuación en el ranking después de la intervención.

Figura 4.9.
Rendimiento en competición (10 km) Pre vs Post intervención



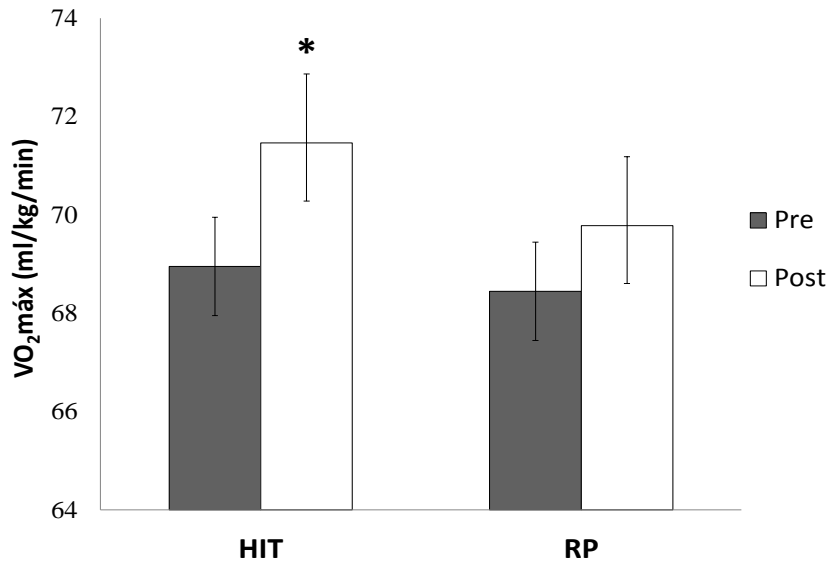
* $P < 0,01$

4.3.3- TEST FISIOLÓGICOS

No hubo diferencias significativas entre grupos en alguna variable fisiológica o de rendimiento estudiada antes de la intervención ($P < 0,01$).

El VO_2 máx incrementó significativamente en el grupo HIT ($P < 0,05$) sin encontrarse cambios aparentes en RP ($P > 0,05$) (Figura 4.10.). Por contra, la economía de Carrera empeoró significativamente en el grupo HIT ($P < 0,05$), sin una variación para RP (Figura 4.11.).

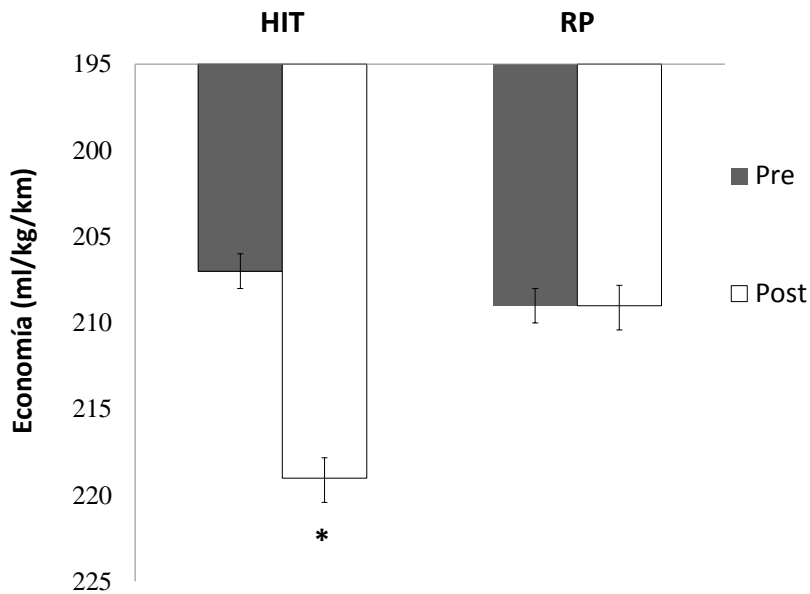
Figura 4.10.
Máximo Consumo de Oxígeno Pre vs Post intervención



* $P < 0,05$

El Índice de Resistencia no mostró una diferencia significativa previa intervención en alguno de los dos grupos, pero el grupo HIT empeoró significativamente tras el periodo de intervención ($P < 0,05$). Sin que en el grupo RP se produjera un cambio significativo.

Figura 4.11.
Cambios en la economía de Carrera: Pre vs Post intervención



* $P < 0,01$

No se observó cambios significativos en la VAM en alguno de los dos grupos (HIT Pre $19,5 \pm 1,2$ km/h, Post $19,5 \pm 1,0$; RP Pre $19,3 \pm 0,8$ km/h, Post $19,4 \pm 0,7$). A su vez, no se encontró ningún cambio significativo en ambos grupos respecto a la velocidad asociada al UAN (HIT Pre $17,2 \pm 0,9$ km/h, Post $17,3 \pm 0,9$; RP Pre $16,6 \pm 0,7$, Post $16,9 \pm 0,7$).

4.4- ESTUDIO 4

No se hallaron correlaciones significativas entre las variables incluidas en la ecuación matemática que predijeran la marca de los atletas participantes en 10k.

Respecto a la ecuación predictora de rendimiento sobre 21k, se halló una regresión matemática que incluía una correlación significativa directa entre V2, bLA2 y marca en carrera: $V_{21k} \text{ (km/h)} = (V2 * 1,085) + (bLA2 * -0,282) - 0,131$ ($r^2=0,97$; $p < 0,01$) ; ETE=0,414 km/h.

En los 42k, se encontró una ecuación de correlación significativa, directa entre V1, bLA1 y marca en carrera: $V_{42k} \text{ (km/h)} = (V1 * 1,085) + (bLA1 * -0,429) - 0,170$ ($r^2=0,81$; $p < 0,05$) ; ETE=0,626 km/h.

V.-DISCUSIÓN

El diseño del estudio 1, describió la intensidad fisiológica de las cargas de entrenamiento durante un programa de entrenamiento, cuyo objetivo final fue la realización de un *IronMan*, observándose también la correlación entre el entrenamiento y la competición. La distribución del tiempo de entrenamiento en zonas 1/2/3 fue significativamente superior en zona 1 durante el entrenamiento y significativamente superior en zona 2 durante la competición ($68\pm 14 / 28\pm 13 / 4\pm 3\%$ vs $31\pm 24 / 65\pm 22 / 4\pm 6\%$).

Durante una competición de ultraresistencia (duración >4horas), el rendimiento final dependerá de la habilidad de cada atleta en mantener una intensidad submáxima durante un tiempo prolongado. Varios estudios han mostrado la alta improbabilidad en mantener una intensidad de UAN durante más de ~225 min (Aunola et al. 1990; Ivy et al. 1981). Otros autores argumentan como el tiempo límite para un trabajo continuo a intensidades de UAN se sitúa próximo a ~60min, este tiempo se mantendrá incluso aunque los atletas estén altamente entrenados y fuertemente motivados (Beneke, 2003). En cualquier caso, la intensidad media durante un triatlón, distancia *IronMan*, se espera que sea claramente por debajo del UAN a pesar de constar de 3 disciplinas distintas.

Los resultados de este trabajo mostraron también elevadas correlaciones entre un mayor volumen de entrenamiento (medido en horas) en Zona 1 y una mejor marca en un *IronMan*, siendo muy bajas o inversas con el tiempo entrenado en zona 2.

El principio de entrenamiento concerniente a la “especificidad del entrenamiento” ha cambiado en los últimos años, pasando a desarrollarse una

tendencia hacia un mayor incremento del volumen de trabajo a bajas intensidades (por debajo del UAE), combinado con un aumento substancial en la carga de trabajo en Zona 3 (Billat et al. 2001b; Fiskerstrand y Seiler, 2004; Seiler, 2010; Seiler y Kjerland, 2006). Esta distribución del entrenamiento ha recibido el nombre de entrenamiento “polarizado”. Una interpretación práctica de estudios tanto descriptivos como experimentales mantiene que un modelo de distribución de la intensidad que centre el grueso de su trabajo a intensidades próximas a UAN puede provocar monotonía en el entrenamiento y un estancamiento en el rendimiento, a su vez también puede repercutir sobre una incapacidad por parte del atleta en desarrollar intensidades superiores.

Ha sido sugerido que un modelo de entrenamiento polarizado reduce el estrés del sistema simpático (Seiler y Kjerland, 2006) y puede reducir el riesgo de sobreentrenamiento (Bruin, Kuipers, Keizer y Vander Vusse, 1994; Foster, 1998). Aunque en nuestro estudio no se mostró un verdadero modelo polarizado para el entrenamiento debido a que el porcentaje de entrenamiento en Zona 3 fue muy bajo. No obstante, observamos que la distribución de la intensidad a la que se vieron sometidos los sujetos (menor % en Zona 2) fue asociada con un rendimiento mayor.

Como se demostró en el estudio 1 una distribución “polarizada” del entrenamiento en pruebas de ultraresistencia parece reportar un mayor rendimiento en atletas de nivel medio. En el estudio 2 y 3 se prestó atención especial en comparar dos modelos diferentes, en lo que concierne a la distribución de la intensidad (Polarizado vs Tradicional), de entrenamiento

durante un macrociclo entero (estudio 2) y durante el periodo competitivo (estudio 3) en atletas de resistencia.

De esta manera el estudio 2 abarcó una duración de 10 semanas y comparó dos grupos diferenciados en la distribución de la carga de entrenamiento en función del modelo trifásico. El grupo polarizado obtuvo una distribución de $\pm 77/3/20$ respectivamente en las zonas 1/2/3 vs el grupo con una distribución mayor en la zona 2 ($\pm 46/35/19$). Ambos mejoraron sus registros en una prueba sobre 10km (3,5% en BThET y 5,0% en PET, o 84 y 119 segundos), sin encontrarse diferencias significativas entre grupos. Esta mejora en el tiempo de competición fue similar a otros estudios publicados sobre rendimiento en carreras de 10km (Acevedo y Goldfarb, 1989; Esteve-Lanao et al. 2007a; Mikessell y Dudley, 1984).

No obstante, se apreció una mayor mejora no significativa en el grupo polarizado respecto al otro grupo.

Tras realizar el análisis estadístico pertinente, no se observó la superioridad de un modelo frente a otro, sin embargo el tamaño del efecto, el porcentaje de mejora y la Eta cuadrado mostraron un efecto superior para el grupo PET.

Muchos corredores (de ambos grupos) no fueron estrictos a la hora de entrenar a las intensidades prescritas. Cuando fueron comparados aquellos atletas que habían entrenado claramente de acuerdo con las intensidades y distribución prescritas, se pudo observar como el grupo PET mejoró significativamente su tiempo en competición, hecho que no fue constatado en el grupo BThET.

La distancia desarrollada durante el periodo de intervención en ambos grupos no difirió entre ellos (~480km totales por grupo). Esto fue probablemente debido a que, aunque no significativo, la carga promedio de BThET fue mayor (media ~370 TRIMPs por semana vs~330 TRIMPs para PET). En conjunto, la diferencia ~40% en la mejora del rendimiento (alrededor de ~35 s de diferencia en una carrera de ~40 min), debe ser considerada desde el punto de vista del rendimiento.

Tras el estudio 2, se mostró que un modelo polarizado, que acentúa su carga en Zona 1, permite mejorar el rendimiento en competiciones sobre 10 km y en atletas de nivel medio. Un estudio de Burgomaster, Hughes, Heigenhauser, Bradwell y Gibala (2005) en el cual se remarcaba la capacidad de conseguir una mejora del rendimiento mediante estímulos de alta intensidad (HIT) y baja duración, con ciclistas de nivel medio y en un periodo de tiempo corto, motivó la realización del tercer estudio de esta tesis.

El estudio 3 planteó la comparación durante la puesta a punto competitiva, algo mucho más centrado en las últimas semanas y sesiones de calidad, de dos modelos diferenciados en cuanto a la distribución de la carga de entrenamiento se refiere. El Grupo HIT estaba caracterizado por un entrenamiento a intensidades supramáximas (~105%VAM) (sin apenas trabajo entre umbrales) y el grupo RP desarrolló un trabajo a intensidades próximas a las de competición (~90% VAM) (sin entrenamiento a intensidades mayores a las de competición).

En los estudios realizados a intensidades supramáximas (entendiendo éstas como intensidades por encima del VO_2 máx) las intensidades de trabajo

variaban entre 140-210% del VO_2 máx (MacDougall et al. 1998), en carrera es casi imposible o al menos muy peligroso entrenar regularmente a las velocidades equivalentes al 140-210% de la VAM. La capacidad y eficiencia a la hora de correr a estas velocidades, puede ser un punto crucial a la hora de poder, o no, desarrollar estas intensidades (Coyle, 2005). Debido a esta limitación, se eligió para este estudio una intensidad para HIT donde pudieran ocurrir las adaptaciones asociadas a estos estímulos (Burgomaster et al. 2005; Dudley, Abraham y Terjung, 1982; Gibala et al. 2006) pero evitando el riesgo que reportaría para el atleta el hacerlo a intensidades todavía mayores.

En lo que respecta al rendimiento en competición, tras la intervención, ambos grupos mejoraron su marca por igual, no encontrándose diferencias significativas entre ellos (una mejora de ~1,6 para RP y ~1,7% para HIT). Investigaciones previas en corredores sobre distancias próximas, habían mostrado una mejora de rendimiento del modelo polarizado de alta intensidad de ~3-6% durante periodos de intervención de 6 a 21 semanas (Esteve-Lana et al. 2007; Esteve-Lanao, Lucia, deKoning y Foster, 2008). Estos estudios sugieren que una distribución distinta de la intensidad de entrenamiento puede implicar una mayor ganancia en el rendimiento que un modelo tradicional de distribución de la intensidad (centrado en un mayor volumen de trabajo en Zona 2).

Se debe destacar que ante una misma mejora en el rendimiento, ésta vino precedida de diferentes adaptaciones fisiológicas.

El grupo HIT mejoró su VO_2 máx mientras que perdió economía de carrera. Como se ha observado en esta investigación, el HIT reportará nuevas

adaptaciones en sujetos con una amplia experiencia competitiva. Sin embargo, la menor cantidad de entrenamiento de intensidad del grupo HIT frente al grupo RP (repeticiones más largas de ejercicio, 5 veces más distancia en cada repetición y un 60% más en cada sesión), puede haber jugado un papel muy importante en la pérdida de economía de carrera. No obstante, los valores en la economía de carrera dependerán de la intensidad a la cual son medidos (Daniels y Daniels, 1992). En este caso, la medición de la economía de carrera fue calculada a intensidades más próximas del grupo RP, de esta manera se puede explicar el porqué de un rendimiento inferior en esta variable por parte del grupo HIT, cuyo único estímulo de intensidad fue a intensidades supramáximas.

Tanto en el estudio 2 como en el 3 se obtuvieron resultados positivos entre un modelo de entrenamiento polarizado y un incremento en el rendimiento deportivo. Este hecho fue constatado previamente por diversos autores en atletas tanto de élite (Fiskerstrand y Seiler, 2004; Lucía et al. 2000; Seiler, 2010) como de nivel estatal (Esteve-Lanao et al. 2005; Esteve-Lanao et al. 2007a).

Así pues, estos resultados tienen una aplicación al entrenamiento deportivo, ya que hasta la fecha no se conocía qué efectos podía tener este tipo de distribución de la intensidad en sujetos de menor nivel.

A la vista de los resultados de los estudios 1 y 2, parece confirmarse la tendencia a un mayor rendimiento en el entrenamiento polarizado que en el modelo tradicional (mayor énfasis en la zona 2). Seiler y Kjerland (2006) observaron una distribución óptima de 75/5/20% en la de la carga de

entrenamiento de jóvenes esquiadores. Esta distribución es constatada (con leves diferencias) en diferentes deportes y en diferentes países (Billat, Demarle, Slawinski, Paiva y Koralsztein, 2001; Esteve-Lanao et al. 2005; Lucia et al. 2000; Schumacker y Mueller, 2002; Steinacker, 1993; Steinacker, Lormes, Lehmann y Altenburg, 1998).

Lo que parece claro con este modelo polarizado, es la necesidad de acumular un gran volumen de trabajo que no deje fatiga residual para los días de entrenamiento intenso. Esto queda perfectamente reflejado en el estudio de Billat, Flechet, Petit, Muriaux y Koralsztein (1999), en el cual se observa que un trabajo a la $v\text{VO}_2\text{máx}$, 3 días a la semana incrementó la norepinefrina plasmática (marcador del sobreentrenamiento). Estos autores recomiendan una única sesión semanal de entrenamiento de alta intensidad y otra de intensidad próxima al umbral anaeróbico, para corredores de media a larga distancia.

Otro punto de vista relacionado con el trabajo de alta intensidad (refiriéndose a intensidades superiores al segundo umbral fisiológico), es el propuesto por Hoff (2006) (citado en Esteve-Lanao 2007b). El modelo de entrenamiento de este investigador, se basa en un trabajo periódico de bloques de intensidad, exclusivamente de entrenamiento en Zona 3, y con una muy elevada frecuencia semanal de las mismas. Aparentemente, dicho método permitiría mejorar el $\text{VO}_2\text{máx}$ incluso en deportistas muy entrenados, así como el Umbral Anaeróbico, la economía y la fuerza específica. Por tanto, se mostraría muy completo, si bien los autores lo recomiendan exclusivamente para atletas de alto nivel ($>70 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

Una vez vista (en la presente discusión y en el punto 1.3.) la capacidad de mejora de cada modelo y las diferentes adaptaciones fisiológicas que generan, se puede observar como cada uno de estos tres modelos busca adaptaciones sobre un factor (o varios) determinante del rendimiento. Así pues, la incidencia del entrenamiento en ritmos de competición específicos mejorará la economía a dichas intensidades. El HIT, promueve una mejora en el VO_2 máx (como se ha mostrado en el estudio 3), y los bloques de Hoff mejoras agudas en esos y otros factores (como la fuerza).

Por lo anteriormente expuesto, una combinación de los tres métodos podría reportar una mejora superior en el atleta, o una vía para que el entrenador programe diferentes estímulos que sigan siendo eficaces en conseguir nuevas adaptaciones. Esto podría ser, por tanto, una futura vía de estudio.

Los resultados obtenidos en los tres primeros estudios de esta tesis, van en concordancia con investigaciones previas, las cuales demuestran un mayor rendimiento en la distribución polarizada del entrenamiento con énfasis en una mayor carga de trabajo en Zona 1 (Esteve-Lanao et al. 2005; Esteve-Lanao et al. 2007a; Fiskerstrand y Seiler, 2004; Lucia et al. 2000). Dado que en el estudio 1 la intensidad de competición es mayoritariamente en zonas 1 y 2 (*IronMan*), mientras que en el estudio 3 (10k) la intensidad era en zona 3, el motivo principal del beneficio del entrenamiento polarizado no es tanto el trabajo a intensidades específicas, como la posibilidad de realizar dichas sesiones en condiciones de verdadera recuperación (al tiempo que la intensidad de zona 1 parece suficiente para provocar las adaptaciones que se pretenden con el volumen de entrenamiento, el cual además lógicamente será

mayor si se realiza a menor intensidad) (Seiler y Tonessen 2009, Trappe et al. 2006).

En definitiva, a la vista de los datos obtenidos en los estudios 1, 2 y 3, parece que no por aumentar el tiempo dedicado al trabajo en Zona 2 (intensidades específicas a las de competición en pruebas de fondo y ultrafondo) se incrementa el rendimiento. Este hecho ha sido constatado recientemente por Guellich y Seiler (2010). También estudios como el de Costill et al. (1988) no obtuvieron mejoras (e incluso en algunos sujetos disminuyó el rendimiento) al aplicar tanto un aumento continuo de volumen de entrenamiento, como una alta intensidad (94% VO₂máx).

Aunque es evidente que existen diferentes “camino” para llegar a un mismo rendimiento, es de vital importancia (para el entrenador) saber el perfil del atleta y su predisposición natural a mejorar más fácilmente en unos factores determinantes del rendimiento que en otros. Así mismo, resulta de gran importancia conocer el estado de forma en el cual llega un atleta a la competición, dado que lógicamente en una mala estrategia se puede perder parte de lo que se ha ganado en un buen entrenamiento y puesta a punto previas. El estudio 1 se orientó a analizar la competición. Los estudios 2 y 3 se orientaban a la búsqueda de programas globales óptimos durante periodos distintos. El estudio 3 se centró en lograr optimizar la puesta a punto final, y el estudio 4 se centraba en el establecimiento de una estrategia óptima.

La importancia de establecer una estrategia adecuada que permita constatar una mejora de rendimiento en la competición es de vital importancia en las pruebas de resistencia. Para conseguir esto es necesario, y previo a su vez, el

predecir de una manera adecuada el rendimiento que tendrá el atleta en dicha competición.

Por ello se desarrolló el estudio 4 de esta Tesis doctoral, el cual tuvo como objetivo hallar una ecuación matemática a partir de un test de campo capaz de predecir el rendimiento en competición. La necesidad de estimar, previo a la competición, del rendimiento del atleta no debe reportar únicamente un número (entendido como el tiempo o marca), es necesario que aporte al entrenador información para poder realizar un planteamiento competitivo preciso.

Aunque en el punto 1.8. del presente trabajo han sido descritos numerosas ecuaciones predictoras del rendimiento (Davies y Thompson, 1979; Deason, Powers, Lawler, Ayers y Stuart, 1991; Farrell, Wilmore, Coyle, Billing y Costill, 1979; Fay, Londeree, LaFontaine y Volek, 1989; Petit, Nelson and Rhodes, 1997), la necesidad de diseñar un test sencillo de campo a velocidades libremente elegidas hizo necesario el desarrollo del estudio 4.

La concentración de lactato en sangre capilar (bLA) ha sido estudiada y utilizada por numerosos trabajos científicos como variable predictora del rendimiento (Farrell et al. 1979; Fay et al. 1989; Nicholson y Sleivert, 2001; Noakes, Myburgh y Schall, 1990; Roecker, Schotte, Niess, Horstmann y Dickhuth, 1998). En el estudio 4 se muestra que la bLA a velocidades próximas a las de carrera sirvió para estimar la marca de carrera tanto para distancias de 21 km como para 42km, no obteniendo una correlación significativa en competiciones de menor distancia. Creemos que esto pudo ser debido a una mayor capacidad de predicción de otras variables de rendimiento (como el

VO₂máx), así como al hecho de que el lactato hallado corresponde a intensidades que para una parte de los sujetos sería por encima del Umbral Anaeróbico. De este modo, la concentración de lactato en un esfuerzo prolongado no sería estable (Billat, 2003), y por ello el potencial predictivo de esta variable sea inferior a pruebas donde claramente la intensidad va a ser inferior al máximo estado estable del lactato.

Son embargo, los hallazgos del estudio 4 suponen una herramienta eficaz, sencilla y con un bajo coste en tiempo, que puede tener una utilidad muy clara para el entrenador, permitiendo evaluar varios sujetos simultáneamente basándose en variables metabólicas.

La aplicación de este test complementaría la propuesta realizada por Esteve-Lanao, Lucia, deKoning y Foster (2008), en la cual se indica la FC óptima para dichas distancias durante el desarrollo de la prueba. Así, se podría obtener mediante el test expuesto en el estudio 4 una identificación del ritmo competitivo (por una determinación de bLA) y una vez en carrera, confirmar con la FC individual que dicho ritmo será tolerable (o no) conforme pasan los kilómetros. Además, estos datos reportan una ecuación predictora del rendimiento, la cual permite desarrollar una estrategia de competición.

En esta discusión y en los anteriores estudios de esta Tesis Doctoral, se ha tratado de poner de manifiesto la importancia en la periodización y control del entrenamiento de resistencia y su repercusión sobre el rendimiento en atletas de diferentes niveles y disciplinas.

No obstante, aunque en la presente Tesis se ha resaltado la capacidad de una periodización polarizada para maximizar el rendimiento de los atletas de resistencia, en ningún caso podremos afirmar que éste es el único o mejor modelo de entrenamiento. Como antes se ha sugerido, existen numerosos caminos para llegar a un mismo rendimiento. Este hecho se observó en el estudio 3, donde ambos grupos (HIT y RP) lograban idénticas mejoras en el rendimiento, otro mensaje claro de los hallazgos de esta Tesis es que existen diferentes maneras de llegar a un mismo rendimiento, pero no por ello significa que “da igual como entrenes”, pues las mejoras halladas en estos estudios han sido notables, siendo además sujetos entrenados, y se ha observado como algunos sujetos mejoraron menos que otros en función de las variables manipuladas.

Limitaciones de los estudios

Una de las principales limitaciones de los estudios, común a todos ellos, ha sido la escasa muestra de sujetos. 13, 32, 13, y 64 sujetos participaron en los estudios 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Es de gran dificultad el realizar estudios longitudinales, controlando todas las variables del proceso, en sujetos que deben entrenar casi diariamente y bajo una supervisión frecuente. El simple hecho de lograr acceso a una muestra de deportistas que compartan un mismo nivel y objetivo competitivo, con seguimiento adecuado del proceso y finalización exitosa en la competición, dificulta enormemente la realización de este tipo de estudios. Cabe destacar la importancia de la mortalidad experimental en este tipo de estudios (longitudinales), debido a su dilatación en el tiempo (4 a 18 semanas) y en el caso del estudio 1, a las situaciones sobrevenidas durante la competición en pruebas tan extremas.

Otra de las limitaciones en el estudio 2 (además de las expuestas anteriormente) ha sido el no considerar la actividad física fuera del entrenamiento de los sujetos participantes en este estudio. Como mostró un estudio de Hautala et al. (2012) con sujetos poco entrenados, una gran cantidad de actividad física de baja intensidad puede ser asociada con una respuesta al entrenamiento superior.

Una de las mayores limitaciones del estudio 3 fue el no comparar otro método de entrenamiento HIT, o un modelo intermedio entre HIT y RP. Esta última aproximación, fue propuesta Billat et al. (1999) mediante un entrenamiento semanal a intensidades HIT y otro a intensidades RP.

Respecto a las limitaciones del estudio 4, destacar como factor limitante la elección de las variables estudiadas a la hora de predecir el rendimiento en pruebas más cortas que el medio maratón. Presumiblemente la intensidad fisiológica en la cual se compite en 10 km requerirá el estudiar variables como el VO_2 máx o la VAM (en todo caso variables que indique una intensidad mayor al UAN) que a su vez permitirán predecir el rendimiento de una manera más precisa (Maffulli et al. 1991; Morgan et al. 1989).

Perspectivas Futuras

Las perspectivas futuras deberían orientarse a incidir sobre nuevos programas y métodos de entrenamiento, los cuales optimicen el tiempo de los corredores de nivel medio, permitiendo maximizar su rendimiento con un coste en tiempo (relativamente) más bajo que los atletas que pertenecen a la élite deportiva.

Merece hacer una mención especial, a la necesidad de seguir profundizando en la búsqueda de una distribución óptima de la intensidad del entrenamiento en función de variables como pueden ser el nivel del atleta, el periodo de la temporada, el periodo de la vida deportiva del atleta, etc.

A su vez, un elemento clave (que sin lugar a dudas ha de ser estudiado pormenorizadamente), es la cuantificación de cargas de entrenamiento. Tanto en el estudio 2, como en el 3 se utilizaron dos variaciones diferentes basadas en el sistema TRIMP. Esto fue debido a una incapacidad (de este sistema) de comparar medios continuos (estudio 2) de entrenamiento con trabajos interválicos (estudio 3), en los cuales se toma en cuenta el ratio trabajo/recuperación (densidad) para cuantificar la carga de trabajo.

VI.-CONCLUSIONES

En relación a los objetivos propuestos, las principales conclusiones a las que hemos llegado al término de esta Tesis Doctoral han sido las siguientes:

1. Aunque la competición de un triatlón distancia *IronMan* se realice mayoritariamente a intensidades fisiológicas correspondientes a la Zona 2 del modelo trifásico, la mayoría del tiempo dedicado al entrenamiento se dedica al trabajo en Zona 1.
2. Una manipulación en la intensidad de entrenamiento que atienda a un modelo polarizado (mayor énfasis en Zona 1 y Zona 3) puede permitir un mayor rendimiento final en pruebas de 10km. La puesta a punto final parece ser igual de efectiva tanto entrenando las últimas sesiones específicas a ritmo de competición como muy por encima de éste. Por otra parte, se hallaron correlaciones significativas entre el tiempo de entrenamiento en zona 1 y el rendimiento, y no se hallaron con el tiempo de entrenamiento en zona 2.
3. Mediante un test de campo a velocidades libremente elegidas y en base a la concentración de lactato sanguíneo provocado por éstas, es posible el predecir el rendimiento competitivo en pruebas sobre 21 km y 42 km.

Se cumplieron todas las hipótesis planteadas, a excepción del hallazgo de una ecuación de regresión múltiple significativa para pronosticar el rendimiento de las distancia de 10km.

VII.-BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E. O., & Goldfarb AH. (1989). Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance. *Medicine & Science in Sports & exercise*, 21 (5):563-568.
- Allen, W. K., Seals, D. R., Hurley, B. F., Ehsani, A. A., & Hagberg, J. M. (1985). Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 58(4), 1281-1284.
- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring: Applications and limitations. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(7), 517-538.
- Anderson, T. (1996). Biomechanics and running economy. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 22(2), 76-89.
- Astrand, P.-O., & Rodahl, K. (1986). *Textbook of Work Physiology*. McGraw-Hill, Nueva York.
- Astrand, PO. Rodahl, K. Dahl, HA., & Strømme, SB.(2010). Manual de fisiología del ejercicio. Barcelona: Paidotribo.
- Aunola, S., Alanen, E., Marniemi, J., & Rusko, H. (1990). The relation between cycling time to exhaustion and anaerobic threshold. *Ergonomics*, 33(8), 1027-1042.
- Bale, P., Bradbury, D., & Colley, E. (1986). Anthropometric and training variables related to 10km running performance. *British Journal of Sports Medicine*, 20(4), 170-173.
- Ballesteros, J. (1987). *El libro del triatlón*. Madrid: Arthax S.L.
- Bangsbo, J., Gollnick, P. D., Graham, T. E., Juel, C., Kiens, B., Mizuno, M., et al. (1990). Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 422, 539-559.
- Banister, E. W., & Calvert, T. W. (1980). Planning for future performance: Implications for long term training. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences. Journal Canadien Des Sciences Appliquées Au Sport*, 5(3), 170-176.
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 70-84.
- Bell, G. J., Petersen, S. R., Quinney, H. A., & Wenger, H. A. (1989). The effect of velocity-specific strength training on peak torque and anaerobic rowing power. *Journal of Sports Sciences*, 7(3), 205-214. 11.
- Beneke R. (2003). Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. *European Journal of Applied Physiology*, 89, 95-99.

- Berger, N. J. A., Campbell, I. T., Wilkerson, D. P., & Jones, A. M. (2006). Influence of acute plasma volume expansion on VO₂ kinetics, VO₂ peak, and performance during high-intensity cycle exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 101(3), 707-714.
- Berg, K., Latin, R. W., & Coffey, C. (1998). Relationship of somatotype and physical characteristics to distance running performance in middle age runners. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 38(3), 253-257.
- Bergh, U., Sjödin, B., Forsberg, A., & Svedenhag, J. (1991). The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(2), 205-211.
- Berthon, P., Dabonneville, M., Fellmann, N., Bedu, M., & Chamoux, A. (1997). Maximal aerobic velocity measured by the 5-min running field test on two different fitness level groups. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 105(7), 633-639.
- Billat, V. (2010). *Fisiología y metodología del entrenamiento: de la teoría a la práctica*. Barcelona: Paidotribo.
- Billat, L. V. (2001a). Interval training for performance: A scientific and empirical practice. special recommendations for middle- and long-distance running. part II: Anaerobic interval training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(2), 75-90.
- Billat, V. L., Demarle, A., Slawinski, J., Paiva, M., & Koralsztein, J. P. (2001b). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(12), 2089-2097.
- Billat, V. L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., & Koralsztein, J. P. (1999). Interval training at VO₂max: Effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(1), 156-163.
- Billat, V., Hamard, L., Koralsztein, J. P., & Morton, R. H. (2009). Differential modeling of anaerobic and aerobic metabolism in the 800-m and 1,500-m run. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 107(2), 478-487.
- Billat, V., Lepretre, P., Heugas, A., Laurence, M., Salim, D., & Koralsztein, J. P. (2003a). Training and bioenergetic characteristics in elite male and female kenyan runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(2), 297-304.
- Billat, V., Renoux, J. C., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1995). Times to exhaustion at 90, 100 and 105% of velocity at VO₂ max (maximal aerobic speed) and critical speed in elite long-distance runners. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 103(2), 129-135.

- Billat, V., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J., & Mercier, J. (2003b). The concept of maximal lactate steady state: A bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(6), 407-426.
- Bompa, T.O. (2003). *Periodización: Teoría y metodología del entrenamiento*. Barcelona: Hispano Europea.
- Borg, G. A. (1975). Perceived exertion. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 2, 131-153.
- Borg, G. & Dahlstrom, H. (1964a). A case study of perceived exertion during a work test. *Acta Societatis Medicorum Upsaliensis*, 67, 91-93.
- Borg, G. & Dahlstrom, H. (1964b). A pilot study of perceived exertion and physical working capacity. *Acta Societatis Medicorum Upsaliensis*, 67, 21-27.
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2007). Changes in heart rate recovery in response to acute changes in training load. *European Journal of Applied Physiology*, 101(4), 503-511.
- Brandon, L. J. (1995). Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 19(4), 268-277. 21.
- Bruin, G., Kuipers, H., Keizer, HA., Vander Vusse, G.J. (1994). Adaptation and overtraining in horses subjected to increasing training loads. *Journal of Applied Physiology*, 76, 1908-1913.
- Bulbulian, R., Wilcox, A. R., & Darabos, B. L. (1986). Anaerobic contribution to distance running performance of trained cross-country athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18(1), 107-113.
- Burgomaster, K. A., Cermak, N. M., Phillips, S. M., Benton, C. R., Bonen, A., & Gibala, M. J. (2007). Divergent response of metabolite transport proteins in human skeletal muscle after sprint interval training and detraining. *American Journal of Physiology.Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 292(5), R1970-6.
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., Macdonald, M. J., McGee, S. L., et al. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of Physiology*, 586(1), 151-160.
- Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J. F., Bradwell, S. N., & Gibala, M. J. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 98(6), 1985-1990.
- Burke, J., Thayer, R., & Belcamino, M. (1994). Comparison of effects of two interval-training programmes on lactate and ventilatory thresholds. *British Journal of Sports Medicine*, 28(1), 18-21.

- Cavanagh, P. R., & Kram, R. (1985). The efficiency of human movement--a statement of the problem. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(3), 304-308.
- Cejuela, R. (2009). *Análisis de los Factores de Rendimiento del Triatlón Olímpico. Aplicación a los Contenidos de la Asignatura Deportes Individuales: TRIATLÓN*. (Tesis Doctoral no publicada). Universidad de Alicante, Alicante, España.
- Cejuela Anta, R., & Esteve-Lanao, J. (2011). Training load quantification in triathlon. *Journal of Human Sport & Exercise*, 6(2), 218-232.
- Cheng, B., Kuipers, H., Snyder, A. C., Keizer, H. A., Jeukendrup, A., & Hesselink, M. (1992). A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *International Journal of Sports Medicine*, 13(7), 518-522.
- Chwalbińska-Moneta, J., Kaciuba-Uściłko, H., Kryzstofiak, H., Ziemba, A., Krzemiński, K., Kruk, B., et al. (1998). Relationship between EMG blood lactate, and plasma catecholamine thresholds during graded exercise in men. *Journal of Physiology and Pharmacology: An Official Journal of the Polish Physiological Society*, 49(3), 433-441.
- Conconi, F., Ferrari, M., Ziglio, P. G., Droghetti, P., & Codeca, L. (1982). Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 52(4), 869-873.
- Convertino, V. A. (1991). Blood volume: Its adaptation to endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(12), 1338-1348.
- Costill, D. L. (1967). The relationship between selected physiological variables and distance running performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 7(2), 61-66.
- Costill, D. L., Flynn, M. G., Kirwan, J. P., Houmard, J. A., Mitchell, J. B., Thomas, R., et al. (1988). Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(3), 249-254.
- Costill, D. L., Thomason, H., & Roberts, E. (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine and Science in Sports*, 5(4), 248-252. 7.
- Coyle, EF. (2005). Very intense exercise-training is extremely potent and time efficient: a reminder. *Journal of Applied Physiology*, 98, 1983-1984. 8.
- Daniels, J., Daniels, N. (1992). Running economy of elite male and elite female runners. *Medicine & Science in Sports & exercise*, 24, 483-489.
- Davies, C. T., & Thompson, M. W. (1979). Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 41(4), 233-245.

- Davis, J. M., Bailey, S. P., Woods, J. A., Galiano, F. J., Hamilton, M. T., & Bartoli, W. P. (1992). Effects of carbohydrate feedings on plasma free tryptophan and branched-chain amino acids during prolonged cycling. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(6), 513-519.
- Deason, J., Powers, S. K., Lawler, J., Ayers, D., & Stuart, M. K. (1991). Physiological correlates to 800 meter running performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31(4), 499-504.
- Dekerle, J., Baron, B., Dupont, L., Vanvelcenaher, J., & Pelayo, P. (2003). Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *European Journal of Applied Physiology*, 89(3-4), 281-288.
- Demarie, S., Koralsztein, J. P., & Billat, V. (2000). Time limit and time at VO₂max' during a continuous and an intermittent run. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(2), 96-102.
- Dengel, D. R., Flynn, M. G., Costill, D. L., & Kirwan, J. P. (1989). Determinants of success during triathlon competition. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 60(3), 234-238.
- Denis, C., Dormois, D., & Lacour, J. R. (1984). Endurance training, VO₂ max, and OBLA: A longitudinal study of two different age groups. *International Journal of Sports Medicine*, 5(4), 167-173.
- di Prampero, P.E., Atchou, G., Brückner, J.C., & Moia, C. (1986). The energetics of endurance running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(3), 259-266.
- Doherty, M., Balmer, J., Davison, R. C. R., Robinson, L., Smith, P.M. (2003a). Reliability of a combined 3-min constant load and performance cycling test. *International Journal of Sports Medicine*, 24(5):366-371.
- Doherty, M., Nobbs, L., & Noakes, T. D. (2003b). Low frequency of the "plateau phenomenon" during maximal exercise in elite british athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 89(6), 619-623. 9.
- Dudley, GA., Abraham, W. M., Terjung, RL. (1982). Influence of exercise intensity and duration on biochemical adaptations in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 10,53(4): 844-850.
- Ebert, T. R., Martin, D. T., McDonald, W., Victor, J., Plummer, J., & Withers, R. T. (2005). Power output during women's world cup road cycle racing. *European Journal of Applied Physiology*, 95(5-6), 529-536.
- Ebert, T. R., Martin, D. T., Stephens, B., & Withers, R. T. (2006). Power output during a professional men's road-cycling tour. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(4), 324-335.
- Edwards, S. (1993). *The heart rate monitor book*. Sacramento: Fleet Feet Press. 20.

- Ellis, P. D. (2010). *The Essential Guide to Effect Sizes*. Cambridge, GB: Cambridge University Press.
- Esteve-Lanao, J.(2007b). *Periodización y Control del Entrenamiento en Corredores de Fondo*. (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Europea de Madrid, Madrid, España. Esteve-Lanao, J.(2007).
- Esteve-Lanao, J., & Cejuela, R. (2010). Evaluación de la resistencia en los deportes cíclicos. En Naclerio, F. *Entrenamiento deportivo: Fundamentos y aplicaciones en diferentes deportes* (pp.195-206). Madrid: Editorial médica Panamericana.
- Esteve-Lanao, J., Cejuela, R., y Menéndez de Luarda, J. (2010). *Entrenamiento de la resistencia en deportes cíclicos*. En Naclerio, F. *Entrenamiento deportivo: Fundamentos y aplicaciones en diferentes deportes* (pp.172-178). Madrid: Editorial médica Panamericana.
- Esteve-Lanao, J., Foster, C., Seiler, S., & Lucia, A. (2007a). Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 21(3), 943-949.
- Esteve-Lanao, J., Lucia, A., deKoning, J. J., & Foster, C. (2008). How do humans control physiological strain during strenuous endurance exercise? *Plos One*, 3(8), e2943-e2943.
- Esteve-Lanao, J., San Juan, A.,F., Earnest, C. P., Foster, C., & Lucia, A. (2005). How do endurance runners actually train? relationship with competition performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 496-504.
- Farrell, P. A., Wilmore, J. H., Coyle, E. F., Billing, J. E., & Costill, D. L. (1993). Plasma lactate accumulation and distance running performance. 1979. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(10), 1091-1097.
- Fay, L., Londeree, B. R., LaFontaine, T. P., & Volek, M. R. (1989). Physiological parameters related to distance running performance in female athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(3), 319-324.
- Fiskerstrand, A., & Seiler, K. S. (2004). Training and performance characteristics among norwegian international rowers 1970-2001. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14(5), 303-310.
- Fletcher, J. R., Esau, S. P., & Macintosh, B. R. (2009). Economy of running: Beyond the measurement of oxygen uptake. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 107(6), 1918-1922.
- Föhrenbach, R., Mader, A., & Hollmann, W. (1987). Determination of endurance capacity and prediction of exercise intensities for training and competition in marathon runners. *International Journal of Sports Medicine*, 8(1), 11-18. 14.

- Foster C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(7):1164-1168.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., et al. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 15(1), 109-115.
- Fox, E. L., Bartels, R. L., Billings, C. E., Mathews, D. K., Bason, R., & Webb, W. M. (1973). Intensity and distance of interval training programs and changes in aerobic power. *Medicine and Science in Sports*, 5(1), 18-22.
- Friel, J. (Eds.). (2009). *The triathlete's training bible*. Boulder, Colorado: Velopress.
- Gaesser, G. A., & Poole, D. C. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 24, 35-71.
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I., et al. (2011). American college of sports medicine position stand. quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(7), 1334-1359.
- García-Manso, J. M., Navarro, M., & Ruiz, J. A. (1996). La carga de entrenamiento. En Bases teóricas del entrenamiento deportivo: principios y aplicaciones (pp.75-84) Madrid: Gymnos.
- Gaskill, S. E., Walker, A. J., Serfass, R. A., Bouchard, C., Gagnon, J., Rao, D. C., et al. (2001). Changes in ventilatory threshold with exercise training in a sedentary population: The HERITAGE family study. *International Journal of Sports Medicine*, 22(8), 586-592.
- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(10), 725-741. 14.
- Gellish, R. L., Goslin, B. R., Olson, R. E., McDonald, A., Russi, G. D., Moudgil, V. K. (2007). Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Medicine & Science in Sports & exercise*, 822-9.
- Gibala, M. J., Little, J. P., van Essen, M., et al. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *Journal of Physiology*, 575,3: 901-911.
- Grant, S., Craig, I., Wilson, J., & Aitchison, T. (1997). The relationship between 3 km running performance and selected physiological variables. *Journal of Sports Sciences*, 15(4), 403-410.

- Green, S., & Dawson, B. (1993). Measurement of anaerobic capacities in humans. definitions, limitations and unsolved problems. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 15(5), 312-327. 13.
- Guellich, A., & Seiler, S. (2010). Lactate profile changes in relation to training characteristics in junior elite cyclists. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 316-327.
- Guezennec, C. Y., Vallier, J. M., Bigard, A. X., & Durey, A. (1996). Increase in energy cost of running at the end of a triathlon. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73(5), 440-445.
- Häkkinen, K., Komi, P. V., & Alén, M. (1985). Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 125(4), 587-600.
- Halson, S. L., & Jeukendrup, A. E. (2004). Does overtraining exist? an analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 34(14), 967-981. 28.
- Hautala, A., Martinmaki, K., Kiviniemi, A., Kinnunen, H., Virtanen, P., Jaatinen, J., Tulppo, M. (2012). Effects of habitual physical activity on response to endurance training. *Journal of Sports Science an Medicine* , 30(6), 563-569.
- Hayes, P. R., & Quinn, M. D. (2009). A mathematical model for quantifying training. *European Journal of Applied Physiology*, 106(6), 839-847.
- Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mücke, S., Müller, R., & Hollmann, W. (1985). Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 6(3), 117-130.
- Hegedüs, J. (1984). *La ciencia del entrenamiento deportivo*. Buenos Aires: Stadium.
- Helgerud, J., Støren, O., & Hoff, J. (2010). Are there differences in running economy at different velocities for well-trained distance runners? *European Journal of Applied Physiology*, 108(6), 1099-1105.
- Henriksson, J. (1992). Effects of physical training on the metabolism of skeletal muscle. *Diabetes Care*, 15(11), 1701-1711.
- Hickson, R. C., Hagberg, J. M., Ehsani, A. A., & Holloszy, J. O. (1981). Time course of the adaptive responses of aerobic power and heart rate to training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 13(1), 17-20.
- Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T., & Foster, C. (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 65(5), 2285-2290.

- Hoff, J., Helgerud, J., & Wisløff, U. (1999). Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(6), 870-877. 21.
- Hopkins WG. (2007). A spreadsheet for deriving a confidence interval, mechanistic inference and clinical inference from a p value. *Sportscience*, 11, 16-20.
- Ingham, S. A., Carter, H., Whyte, G. P., & Doust, J. H. (2007). Comparison of the oxygen uptake kinetics of club and olympic champion rowers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(5), 865-871.
- Ivy, J. L., Costill, D. L., Van Handel, P.J., Essig, D. A., & Lower, R. W. (1981). Alteration in the lactate threshold with changes in substrate availability. *International Journal of Sports Medicine*, 2(3), 139-142.
- Jensen, L., Bangsbo, J., & Hellsten, Y. (2004). Effect of high intensity training on capillarization and presence of angiogenic factors in human skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 557, 571-582.
- Jeukendrup, A. E., Craig, N. P., & Hawley, J. A. (2000). The bioenergetics of world class cycling. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 3(4), 414-433.
- Jobson, S. A., Passfield, L., Atkinson, G., Barton, G., & Scarf, P. (2009). The analysis and utilization of cycling training data. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(10), 833-844.
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 29(6), 373-386.
- Kanstrup, I. L., & Ekblom, B. (1982). Acute hypervolemia, cardiac performance, and aerobic power during exercise. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 52(5), 1186-1191.
- Kenney, W. L., & Hodgson, J. L. (1985). Variables predictive of performance in elite middle-distance runners. *British Journal of Sports Medicine*, 19(4), 207-209.
- Keul, J., Simon, G., Berg, A., Dickhuth, HH., & Goetler, I. (1979). Bestimmung der individuellen anaeroben schwelle zur leistungsbewertung und trainingsgestaltung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 30, 212-218.
- Kindermann, W., Simon, G., & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 42(1), 25-34.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674-688.

- Krip, B., Gledhill, N., Jamnik, V., & Warburton, D. (1997). Effect of alterations in blood volume on cardiac function during maximal exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(11), 1469-1476.
- Kyröläinen, H., Pullinen, T., Candau, R., Avela, J., Huttunen, P., & Komi, P. V. (2000). Effects of marathon running on running economy and kinematics. *European Journal of Applied Physiology*, 82(4), 297-304
- Lacour, J. R., & Flandrois, R. (1977). [Role of aerobic metabolism in prolonged intensive exercise]. *Journal De Physiologie*, 73(2), 89-130.
- Lamberts, R. P., Lambert, M. I., Swart, J., & Noakes, T. D. (2012). Allometric scaling of peak power output accurately predicts time trial performance and maximal oxygen consumption in trained cyclists. *British Journal of Sports Medicine*, 46(1), 36-41.
- Laurson, P. B., & Rhodes, E. C. (2001). Factors affecting performance in an ultraendurance triathlon. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(3), 195-209.
- Legaz Arrese, A., Serrano Ostáriz, E., Jcasajús Mallén, J.A., & Munguía Izquierdo, D. (2005). The changes in running performance and maximal oxygen uptake after long-term training in elite athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45(4), 435-440.
- Londeree, B. R. (1997). Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: A meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(6), 837-843.
- Lorenzo, S., Minson, C. T., Babb, T. G., & Halliwill, J. R. (2011). Lactate threshold predicting time-trial performance: Impact of heat and acclimation. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 111(1), 221-227.
- Lucía, A., Esteve-Lanao, J., Oliván, J., Gómez-Gallego, F., San Juan, A.,F., Santiago, C., et al. (2006). Physiological characteristics of the best eritrean runners-exceptional running economy. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquée, Nutrition Et Métabolisme*, 31(5), 530-540.
- Lucía, A., Earnest, C., Arribas, C. (2003). The Tour de France: a physiological review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13(5):275-283.
- Lucía, A., Hoyos, J., Carvajal, A., & Chicharro, J. L. (1999). Heart rate response to professional road cycling: The tour de france. *International Journal of Sports Medicine*, 20(3), 167-172.
- Lucía, A., Hoyos, J., Pardo, J., & Chicharro, J. L. (2000a). Metabolic and neuromuscular adaptations to endurance training in professional cyclists: A longitudinal study. *The Japanese Journal of Physiology*, 50(3), 381-388.
- Lucía, A., Hoyos, J., Pérez, M., Chicharro, J. (2000b). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: A longitudinal study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32,1777-1782.

- MacDougall, J. D., Hicks, A. L., MacDonald, J. R., McKelvie, R. S., Green, H. J., & Smith, K. M. (1998). Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 84(6), 2138-2142.
- Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Philippi, H., Rost, R., Schurch, P. A., & Hollmann, W. (1976) Zur beurteilung der sportartsspezifischen ausdauerleistungsfähigkeit im labor. *Sportarzt Sportmedizin*, 27, 80-88.
- Maffulli, N., Capasso, G., & Lancia, A. (1991). Anaerobic threshold and performance in middle and long distance running. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31(3), 332-338.
- Manzi, V., Iellamo, F., Impellizzeri, F., D'Ottavio, S., & Castagna, C. (2009). Relation between individualized training impulses and performance in distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(11), 2090-2096.
- Marcinik, E. J., Potts, J., Schlabach, G., Will, S., Dawson, P., & Hurley, B. F. (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(6), 739-743.
- Margaria, R. (1968). Capacity and power of the energy processes in muscle activity: Their practical relevance in athletics. *Internationale Zeitschrift Für Angewandte Physiologie, Einschliesslich Arbeitsphysiologie*, 25(4), 352-360.
- Margaria, R., Cerretelli, P., Aghemo, P., & Sassi, G. (1963). Energy cost of running. *Journal of Applied Physiology*, 18, 367-370.
- Martin, D. E., Coe, P. N. (1991). *Training distance runners* (pp. 149). Champaign: Human Kinetics.
- Mathews, DK. Fox, EL. (1971). *The physiological basis of physical education and athletics*. Philadelphia: W.B. Saunders.
- Maughan, RJ. (1992). Aerobic function. *Sports Science*, 11,28-42.
- Medbø, J.I., Mohn, A. C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O., & Sejersted, O. M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O2 deficit. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 64(1), 50-60.
- Meyer, T., Welter, J., Scharhag, J., & Kindermann, W. (2003). Maximal oxygen uptake during field running does not exceed that measured during treadmill exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 88(4-5), 387-389. 23.
- Mikessell, K. A., Dudley, G. A. (1984). Influence of intense endurance training on aerobic power of competitive distance runners. *Medicine & Science in Sports & exercise*, 16, 371-375.
- Millet, G. P., Jaouen, B., Borrani, F., & Candau, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and .VO(2) kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(8), 1351-1359.

- Millet, G. P., Libicz, S., Borrani, F., Fattori, P., Bignet, F., & Candau, R. (2003). Effects of increased intensity of intermittent training in runners with differing VO₂ kinetics. *European Journal of Applied Physiology*, 90(1-2), 50-57.
- Morgan, D. W., Baldini, F. D., Martin, P. E., & Kohrt, W. M. (1989). Ten kilometer performance and predicted velocity at VO₂max among well-trained male runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(1), 78-83.
- Morgan, D. W., Bransford, D. R., Costill, D. L., Daniels, J. T., Howley, E. T., & Krahenbuhl, G. S. (1995). Variation in the aerobic demand of running among trained and untrained subjects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(3), 404-409.
- Morton, R. H., Fitz-Clarke, J., & Banister, E. W. (1990). Modeling human performance in running. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 69(3), 1171-1177.
- Mujika, I. (2009). Tapering for individual endurance sports. En *Tapering and peaking for optimal performance* (pp.131). Champaign: Human Kinetics.
- Mujika, I. (1998). The influence of training characteristics and tapering on the adaptation in highly trained individuals: A review. *International Journal of Sports Medicine*, 19(7), 439-446.
- Mujika, I., Busso, T., Lacoste, L., Barale, F., Geysant, A., & Chatard, J. C. (1996). Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(2), 251-258.
- Mujika, I., Chatard, J. C., Busso, T., Geysant, A., Barale, F., & Lacoste, L. (1995). Effects of training on performance in competitive swimming. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne De Physiologie Appliquée*, 20(4), 395-406.
- Mujika, I., & Padilla, S. (2003). Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(7), 1182-1187.
- Nassis, G. P., & Geladas, N. D. (2002). Effect of water ingestion on cardiovascular and thermal responses to prolonged cycling and running in humans: A comparison. *European Journal of Applied Physiology*, 88(3), 227-234.
- Nicholson, R. M., & Sleivert, G. G. (2001). Indices of lactate threshold and their relationship with 10-km running velocity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(2), 339-342.
- Noakes, T. D. (1988). Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: A contemporary perspective. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(4), 319-330.

- Noakes, T. D., Myburgh, K. H., & Schall, R. (1990). Peak treadmill running velocity during the VO₂ max test predicts running performance. *Journal of Sports Sciences*, 8(1), 35-45.
- Nummela, A. T., Paavolainen, L. M., Sharwood, K. A., Lambert, M. I., Noakes, T. D., & Rusko, H. K. (2006). Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 97(1), 1-8.
- Orr, G. W., Green, H. J., Hughson, R. L., & Bennett, G. W. (1982). A computer linear regression model to determine ventilatory anaerobic threshold. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 52(5), 1349-1352.
- Paavolainen, L. M., Nummela, A. T., & Rusko, H. K. (1999). Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(1), 124-130.
- Parra, J., Cadefau, J. A., Rodas, G., Amigó, N., & Cussó, R. (2000). The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 169(2), 157-165.
- Péronnet, F. (2001). *Maratón*. Barcelona: INDE.
- Péronnet, F., & Thibault, G. (1987). [Physiological analysis of running performance: Revision of the hyperbolic model]. *Journal De Physiologie*, 82(1), 52-60.
- Petit, M. A., Nelson, C. M., & Rhodes, E. C. (1997). Comparison of a mathematical model to predict 10-km performance from the conconi test and ventilatory threshold measurements. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne De Physiologie Appliquée*, 22(6), 562-572.
- Rodas, G., Ventura, J. L., Cadefau, J. A., Cussó, R., & Parra, J. (2000). A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *European Journal of Applied Physiology*, 82(5-6), 480-486.
- Roecker, K., Schotte, O., Niess, A. M., Horstmann, T., & Dickhuth, H. H. (1998). Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(10), 1552-1557.
- Rüst, C. A., Knechtle, B., Wirth, A., Knechtle, P., Ellenrieder, B., Rosemann, T., et al. (2012). "Personal best times in an olympic distance triathlon and a marathon predict an ironman race time for recreational female triathletes". *The Chinese Journal of Physiology*, 55(3), 156-162.
- Sale, D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(5), S135-S145.

- Sale, D. G., Jacobs, I., MacDougall, J. D., & Garner, S. (1990). Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(3), 348-356.
- Saltin, B., & Astrand, P. O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, 23(3), 353-358.
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 34(7), 465-485.
- Shephard, R. J. & Astrand, P. O. (2007) *La Resistencia en el deporte*. Badalona: Paidotribo.
- Schumacher, Y. O., & Mueller, P. (2002). The 4000-m team pursuit cycling world record: Theoretical and practical aspects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(6), 1029-1036.
- Scott, B. K., & Houmard, J. A. (1994). Peak running velocity is highly related to distance running performance. *International Journal of Sports Medicine*, 15(8), 504-507.
- Scrimgeour, A. G., Noakes, T. D., Adams, B., & Myburgh, K. (1986). The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(2), 202-209.
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276-291.
- Seiler, K. S., & Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an "optimal" distribution? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(1), 49-56.
- Selby, G. B., & Eichner, E. R. (1994). Hematocrit and performance: The effect of endurance training on blood volume. *Seminars in Hematology*, 31(2), 122-127.
- Singh, F., Foster, C., Tod, D., & McGuigan, M. R. (2007). Monitoring different types of resistance training using session rating of perceived exertion. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(1), 34-45.
- Sjödín, B., & Jacobs, I. (1981). Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International Journal of Sports Medicine*, 2(1), 23-26.
- Skinner, J. S., & McLellan, T. H. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51(1), 234-248.
- Slattery, K. M., Wallace, L. K., Murphy, A. J., & Coutts, A. J. (2006). Physiological determinants of three-kilometer running performance in experienced

- triathletes. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 20(1), 47-52.
- Slovic, P. (1977). Empirical study of training and performance in the marathon. *Research Quarterly*, 48(4), 769-777.
- Smith, D. J. (2003). A framework for understanding the training process leading to elite performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(15), 1103-1126.
- Spencer, M. R., & Gastin, P. B. (2001). Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(1), 157-162.
- Spurrs, R. W., Murphy, A. J., & Watsford, M. L. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 89(1), 1-7.
- Stagno, K. M., Thatcher, R., & van Someren, K.,A. (2007). A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *Journal of Sports Sciences*, 25(6), 629-634.
- Stegmann, H., Kindermann, W., & Schnabel, A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 2(3), 160-165.
- Steinacker, J. M. (1993). Physiological aspects of training in rowing. *International Journal of Sports Medicine*, 14 Suppl 1, S3-S10.
- Steinacker, J. M., Lormes, W., Lehmann, M., & Altenburg, D. (1998). Training of rowers before world championships. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(7), 1158-1163.
- Stone, M. H., Wilson, G. D., Blessing, D., & Rozenek, R. (1983). Cardiovascular responses to short-term olympic style weight-training in young men. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences. Journal Canadien Des Sciences Appliquées Au Sport*, 8(3), 134-139.
- Svedenhag, J., & Sjödín, B. (1984). Maximal and submaximal oxygen uptakes and blood lactate levels in elite male middle- and long-distance runners. *International Journal of Sports Medicine*, 5(5), 255-261.
- Tabata, I., Irisawa, K., Kouzaki, M., Nishimura, K., Ogita, F., & Miyachi, M. (1997). Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(3), 390-395.
- Taha, T., & Thomas, S. G. (2003). Systems modelling of the relationship between training and performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(14), 1061-1073.
- Tanaka, K. (1990). Lactate-related factors as a critical determinant of endurance. *The Annals of Physiological Anthropology = Seiri Jinruigaku Kenkyūkai Kaishi*, 9(2), 191-202.

- Tanaka, H., Costill, D. L., Thomas, R., Fink, W. J., & Widrick, J. J. (1993). Dry-land resistance training for competitive swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(8), 952-959.
- Terjung, R. L. (1976). Muscle fiber involvement during training of different intensities and durations. *The American Journal of Physiology*, 230(4), 946-950.
- Trappe, S., Harber, M., Creer, A., Gallagher, P., Slivka, D., Minchev, K., et al. (2006). Single muscle fiber adaptations with marathon training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 101(3), 721-727.
- Weyand, P. G., Cureton, K. J., Conley, D. S., Sloniger, M. A., & Liu, Y. L. (1994). Peak oxygen deficit predicts sprint and middle-distance track performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(9), 1174-1180.
- Wolfe, B. L., LeMura, L. M., & Cole, P. J. (2004). Quantitative analysis of single- vs. multiple-set programs in resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 18(1), 35-47.
- Wood, R. E., Hayter, S., Rowbottom, D., & Stewart, I. (2005). Applying a mathematical model to training adaptation in a distance runner. *European Journal of Applied Physiology*, 94(3), 310-316.
- Wyndham, C. H., Strydom, N. B., van Rensburg, A.J., & Benade, A. J. (1969). Physiological requirements for world-class performances in endurance running. *South African Medical Journal = Suid-Afrikaanse Tydskrif Vir Geneeskunde*, 43(32), 996-1002.
- Yoshida, T., Udo, M., Iwai, K., Chida, M., Ichioka, M., Nakadomo, F., et al. (1990). Significance of the contribution of aerobic and anaerobic components to several distance running performances in female athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(4), 249-253.
- Yuan, Y., So, R., Wong, S., & Chan, K. M. (2002). Ammonia threshold--comparison to lactate threshold, correlation to other physiological parameters and response to training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 12(6), 358-364.
- Zapico, A. G., Calderón, F.J., Benito, P. J., González, C.B., Parisi, A., Pigozzi, F., et al. (2007). Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: A longitudinal study. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47(2), 191-196.
- Zintl, F. (1991). *Entrenamiento de la Resistencia*. Barcelona: Martínez Roca.

ANEXOS

Anexo 1.- Glosario de términos (por orden alfabético)

- Carga interna: Estrés que sufre un organismo durante el esfuerzo.
- Eficiencia energética: potencia metabólica relativa o la energía necesaria para ejecutar un trabajo determinado.
- Entrenamiento de alta intensidad por intervalos (HIT): método de entrenamiento caracterizado por el uso de intensidades máximas o supramáximas, repeticiones cortas, recuperaciones incompletas y de carácter activo.
- Entrenamiento polarizado: Método de entrenamiento basado en una distribución de la carga sensiblemente mayor en Zona 1 y Zona 3.
- Índice de Resistencia (I.R.): Capacidad para mantener un % del VO_2 máx durante el mayor tiempo posible.
- P/VAM: Potencia/Velocidad Aeróbica Máxima
- Umbral Anaeróbico: punto metabólico a partir del cual deja de haber un estado estable en el metabolismo, derivando en un aumento exponencial del acumulo de lactato sanguíneo.
- VO_2 máx: Capacidad de absorber, transportar y consumir Oxígeno por la masa muscular.

Anexo 2.- Glosario de abreviaturas (por orden alfabético)

- ATP: Adenosíntrifosfato
- bLA: concentración sanguínea de lactato
- Cv: velocidad crítica
- DMOA: Déficit Máximo de Oxígeno Acumulado
- EPOC: Exceso de Consumo de Oxígeno Post-Ejercicio
- FC: Frecuencia Cardiaca
- FCmáx: Frecuencia Cardiaca Máxima
- FFA: *Free FattyAcids* (ácidos grasos libres)
- GE: *GrossEfficiency* (eficiencia mecánica bruta)
- h: hora/s
- IAAF: *International Association of Athletics Federation* (Federación Internacional de Atletismo Amateur)
- IAT: Umbral anaeróbico individual
- IMC: índice de Masa Corporal
- I.R.: índice de Resistencia
- ITU: Unión Internacional de Triatlón
- JJOO: Juegos Olímpicos

Anexo 2.-Continuación

- km: kilómetro
- km·h: kilómetros por hora.
- l·min⁻¹: Litros por minuto.
- Ln: Logaritmo neperiano.
- LT: *LacticThreshold* (umbral láctico asociado al primer umbral fisiológico).
- m: metro (unidad de medida equivalente a 100 centímetros).
- min: minuto/s.
- ml: metros lisos.
- ml·kg⁻¹·min⁻¹: Mililitros por kilogramo de peso corporal por minuto.
- MLSS: *MaximalLactateSteadyState* (Máximo Estado Estable de Lactacidemia).
- mMol·L⁻¹: milimoles por litro (concentración de lactato en).
- M.M.P.: Mejor marca personal.
- O₂: oxígeno.
- OBLA: *OnsetBloodLactate Accumulation* (inicio de acúmulo de lactato en sangre).

Anexo 2.-Continuación

- R: Cociente respiratorio.
- RPE: *Perceived Exertion* (percepción de la fatiga).
- s: segundo/s.
- s.: Siglo.
- TRIMP: *Training Impulse* (impulso de entrenamiento).
- UAE: Umbral aeróbico (asociado al primer umbral fisiológico).
- UAN: Umbral anaeróbico (segundo umbral fisiológico).
- VO_2 : Consumo de oxígeno.
- VO_2 máx: máximo consumo de oxígeno.
- VT2: Segundo umbral ventilatorio.
- vVO_2 máx: velocidad mínima que solicita el VO_2 máx, equivalente a la Velocidad Aeróbica Máxima.
- W: vatios.
- Kg: kilogramo

