

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
FACULTAD DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE FARMACOLOGÍA Y FISIOLOGÍA



Tesis Doctoral

**VALIDACIÓN DE UNA PRUEBA DE CAMPO
PARA DETERMINAR LA POTENCIA
AERÓBICA MÁXIMA EN CICLISMO**

CARLOS GONZÁLEZ HARO



CAR

Centre
d'Alt Rendiment
Esportiu



Escola Professional de Medicina
de l'Educació Física i l'Esport

Zaragoza, 2006

D. Jesús Escanero Marcén, Catedrático en Fisiología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Zaragoza y D. Franchek Drobnic Martínez, Doctor en Medicina por la Universidad Autónoma de Barcelona, jefe del Departamento de Fisiología del Deporte del Centro de Alto Rendimiento de Sant Cugat del Vallés (Barcelona),

CERTIFICAN:

Que D. Carlos González Haro, Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte por el Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña (Barcelona) adscrito a la Universidad de Barcelona, ha realizado bajo nuestra dirección el trabajo para la elaboración de su Tesis Doctoral titulado:

**VALIDACIÓN DE UNA PRUEBA DE CAMPO PARA DETERMINAR LA
POTENCIA AERÓBICA MÁXIMA EN CICLISMO**

Y para que así conste, expedimos el presente certificado en Zaragoza, a 13 de Febrero de 2006

Fdo: Dr. J. Escanero Marcén

Fdo: Dr. F. Drobnic Martínez

AGRADECIMIENTOS

La realización de cualquier trabajo de investigación en el ámbito del deporte no es posible sin la colaboración de personas que participan desinteresadamente, el grupo de científicos que desarrollan el estudio, los deportistas que ejecutan las pruebas físicas, así como los diferentes colaboradores técnicos.

En la presente tesis, además de ser así, he tenido la suerte de contar con deportistas, técnicos y científicos que creen, sienten y aman el deporte de competición, como expresión cultural inherente al ser humano. Por lo tanto, quiero expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que han hecho posible el desarrollo de la presente tesis doctoral.

Al Dr. Escanero por haber contribuido en mi formación como investigador, aportando su valioso conocimiento y experiencia como Catedrático en Fisiología en la metodología y en las publicaciones internacionales que de ésta se desprenden. También por demostrar su gran calidad humana virtud que agranda todavía más su conocimiento y por creer y apoyar mis proyectos de investigación.

Al Dr. Franchek Drobnic por haber contribuido con su esmerada dirección y por todo lo que he podido aprender de sus cualidades humanas y científicas. Por saber exigir lo justo en el momento adecuado y entrega serán siempre un ejemplo.

Al Dr. Piero Galilea por las largas tardes de reflexión mantenidas en el Departamento de Fisiología del Deporte del CAR que han ayudado en gran medida al desarrollo de la presente tesis doctoral. Su pensamiento como especialista en la materia ha quedado plasmado en esta obra.

Al Dr. José Manuel González de Suso por enseñar que en el ámbito del deporte de competición también se puede hacer ciencia, por fomentar mi

ilusión por el conocimiento y por la profunda inflexión que ha generado en mi formación como investigador.

Al Dr. Antonio Turmo por haber dado soporte al desarrollo de esta tesis doctoral y estimularla en su proceso.

A las enfermeras del Departamento de Fisiología del Deporte del CAR, Montse Banquells y Olga Ruiz, por ayudar al desarrollo de las pruebas de valoración funcional de laboratorio realizadas.

Al Sr. Xavi Ráfols, Director Técnico de la Federación Catalana de Ciclismo, por abrir las puertas y apoyar el desarrollo de la tesis dentro de la Federación Catalana de Ciclismo, por su pasión por el ciclismo y por otorgarme su confianza.

Al Sr. Josep Maria Padullés, por apoyar de manera desinteresada mis primeros pasos como investigador, desde su plaza de profesor del INEFC de Barcelona.

A Jaume Cónsola, por ayudar en el desarrollo de las pruebas de campo y por el interés demostrado por el deporte de competición.

A Carles Linares, bibliotecario del INEFC de Barcelona, por estar siempre dispuesto a ayudar en mi búsqueda bibliográfica de manera desinteresada y por su capacidad de buscar la referencia inencontrable.

Al Sr. Francesc de Puig i Viladrich, director del CAR por darme la oportunidad de disponer de la infraestructura y medios necesarios para la realización de la labor experimental y por su apoyo.

A todos y cada uno de los deportistas voluntarios que han accedido con generosidad y que han dejado su desinteresado esfuerzo físico y mental en cada una de las pruebas realizadas. En especial a los hermanos Juárez por su apoyo y participación incondicional en todos los proyectos que ponemos en marcha.

Al Consell Català de l'Esport de la Generalitat de Catalunya (Departament de cultura), por haberme otorgado una beca de investigación a través del INEFC de Barcelona y desarrollada en el CAR de Sant Cugat y la Federación Catalana de Ciclismo. Gracias a la cual se ha podido realizar, en parte, la presente tesis doctoral.

A María, por aguantar mi estrés y animarme en la conclusión de la presente tesis doctoral, así como por haber aportado su conocimiento como futura ingeniera de caminos con las fórmulas desarrolladas en el presente trabajo.

A mis padres por aguantar la luz encendida durante todas y cada una de las noches eternas de reflexión, cálculo y redacción de la presente tesis doctoral.

Y a todos aquellos que de manera puntual han intervenido en esta obra.

Para todos ellos mi más reconocido agradecimiento.

*Saber que se sabe lo que se sabe y que no se sabe
lo que no se sabe; he aquí el verdadero saber.*

Confucio (551 a. C. - 478 a. C.)

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

a. C.	Antes de Cristo.
ANOVA	Análisis de la Varianza.
ASC	Área de Superficie Corporal.
ATP	Adenosín Trifosfato.
Borg_{ULI}	Escala de Borg a una intensidad relativa de trabajo de ULI.
°C	Grados Centígrados.
CAnAI	Capacidad Anaeróbica Aláctica.
CAnL	Capacidad Anaeróbica Láctica.
CCI	Coefficiente de Correlación Intraclase.
CHO	Hidratos de Carbono.
COI	Comité Olímpico Español.
PC	Fosfocreatina.
CRI	Contrarreloj Individual.
CSD	Consejo Superior de Deportes.
CV	Coefficiente de Variación.
DE	Diferencial de Eficiencia Mecánica.
E	Economía de Pedaleo
EEMP	Error Estándar Medio de Predicción.
FC	Frecuencia Cardíaca.
% FC	Fracción Utilizada de Frecuencia Cardíaca Máxima.
FC_{ULI}	FC a una intensidad relativa de trabajo de ULI.
FDM	Fuerza Dinámica Máxima.
FEM	Fuerza Estática Máxima.
FECO₂	Fracción Espirada de O ₂ .
FEO₂	Fracción Espirada de O ₂ .
FP	Frecuencia de Pedaleo.
FP_{máx}	Frecuencia de pedaleo máxima.
FPic_{máx}	Frecuencia de Pedaleo Máxima.
FV	Frecuencia Ventilatoria.
GE	Eficiencia Mecánica Total.
G_{máx}	Máximo Ritmo de Oxidación de Grasas.

G_{mín}	Mínimo Ritmo de Oxidación de Grasas.
GREC	Grupo Español de Cineantropometría.
H	Humedad.
H_{máx}	Máximo Ritmo de Oxidación de Hidratos de Carbono.
IMC	Índice de Masa Corporal.
ITU	Unión Internacional de Triatlón.
[La]	Lactatemia.
[La]_{máx}	Lactatemia máxima.
ONU	Organización de Naciones Unidas.
P	Potencia Mecánica.
PAM	Potencia Aeróbica Máxima.
% PAM_{ULI}	Fracción Utilizada de la Potencia Aeróbica Máxima a intensidad de ULI.
P_b	Presión Atmosférica.
P_o	Potencia Inicial.
ΔP	Incremento de Potencia.
PAnAI	Potencia Anaeróbica Aláctica.
PCR	Punto de Compensación Respiratoria.
PED	Periodización del Entrenamiento Deportivo.
P_{Rel}	Potencia Relativa.
r	Coefficiente de Correlación de Pearson.
R	Cociente Respiratorio.
R²	Coefficiente de Determinación.
RCD	Resistencia de Corta Duración.
RLD	Resistencia de Larga Duración.
RMD	Resistencia de Media Duración.
SEE	Error Estándar de Predicción Absoluto.
% SEE	Error Estándar de Predicción Relativo.
T^a	Temperatura.
T^o	Tiempo.
TED	Teoría del Entrenamiento Deportivo.
T^o VO_{2máx}	Tiempo en llegar al Máximo Consumo de Oxígeno.
UAn	Umbral Anaeróbico.
UCI	Unión Ciclista Internacional.

UL	Umbral Láctico.
UL₂	Intensidad relativa correspondiente a 2 mM de lactato.
UL₄	Intensidad relativa correspondiente a 4 mM de lactato.
ULI	Umbral Láctico Individual.
UV	Umbral Ventilatorio.
ΔV	Incremento de Velocidad.
VAM	Velocidad Aeróbica Máxima.
V_d	Velocidad de Deflección.
V_E	Volumen Ventilatorio.
V_o	Velocidad Inicial.
VO₂	Consumo de Oxígeno.
VO_{2máx}	Consumo Máximo de Oxígeno.
% VO_{2máx}	Fracción utilizada de Consumo Máximo de Oxígeno.
V_{OSRM}	Velocidad Inicial medida mediante el sistema SRM.
V_{máxSRM}	Velocidad Máxima medida mediante el sistema SRM.
VS	Volumen Sistólico.
V_T	Volumen Corriente.
V_{Viento:}	Velocidad del Viento.
Zona G_{máx}	Zona de Máximo Ritmo de Oxidación de Grasas.

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Evolución del rendimiento de las disciplinas ciclistas	3
1.1.1. Factores tecnológicos: la evolución de la bicicleta	4
1.1.1.1. Precedentes	4
1.1.1.2. La historia de la bicicleta	5
1.1.1.3. La bicicleta moderna	9
1.1.2. Factores sociológicos: la evolución de los practicantes	12
1.1.3. Factores sociológicos: la evolución de las competiciones.....	15
1.1.3.1. Las modalidades de velocidad	15
1.1.3.2. Las modalidades de resistencia	16
1.1.3.3. Los récords.....	20
1.1.3.4. Las modalidades ciclistas en la actualidad.....	21
1.1.4. Factores científicos: la contribución de la Medicina del Deporte en el ciclismo.....	25
1.1.4.1. Concepto de ayuda ergogénica y dopaje	26
1.1.5. Factores científicos: la contribución de la Teoría del Entrenamiento en el ciclismo.....	28
1.1.5.1. La planificación deportiva tradicional.....	29
1.1.5.2. La planificación deportiva contemporánea	29
1.1.5.3. Los principios del entrenamiento deportivo	30
1.1.5.3.1. Los principios pedagógicos	30
1.1.5.3.2. Los principios biológicos.....	31
1.1.5.4. Los métodos de entrenamiento	31
1.1.5.5. El rendimiento deportivo.....	32
1.1.5.6. La Teoría del Entrenamiento Deportivo aplicada a las modalidades ciclistas y especialidades del triatlón.....	33
1.1.6. Factores científicos: repercusión de la evolución del rendimiento en el ciclismo y el triatlón	33
1.2. Sistemas de producción de potencia mecánica	39
1.2.1. El metabolismo de los fosfágenos	41
1.2.2. El sistema anaeróbico glucolítico o vía Embden-Meyerhof	41
1.2.3. El sistema aeróbico glucolítico	42

1.2.4.	El sistema aeróbico lipolítico	42
1.2.5.	El concepto de Cruce Metabólico (crossover)	42
1.3.	Factores determinantes del rendimiento de las disciplinas ciclistas y especialidades del triatlón	44
1.3.1.	Potencia aeróbica máxima, tiempo en llegar al $VO_{2máx}$ y tiempo límite o tiempo en mantener el $VO_{2máx}$	45
1.3.2.	Fracción utilizada de $VO_{2máx}$ y umbral anaeróbico	46
1.3.3.	Eficiencia mecánica y economía de pedaleo.....	47
1.3.4.	Depósitos energéticos	48
1.3.5.	Capacidad anaeróbica aláctica y láctica, potencia anaeróbica láctica, fuerza máxima y explosiva máxima.....	48
1.3.6.	Otros factores que determinan el rendimiento.....	49
1.4.	Valoración funcional	51
1.4.1.	Valoración funcional de laboratorio	51
1.5.	Determinación de intensidades de entrenamiento en modalidades y especialidades con predominio aeróbico.....	56
1.6.	Pruebas de campo para evaluar la potencia aeróbica máxima en ciclismo.....	58
2.	OBJETIVOS	63
2.1.	Objetivo general	63
2.2.	Objetivos secundarios	63
3.	MATERIAL Y MÉTODOS	67
3.1.	Sujetos	67
3.1.1.	Criterios de inclusión	68
3.1.2.	Variables Antropométricas	69
3.2.	Fase de Familiarización.....	69
3.2.1.	Características técnicas del velódromo	70
3.2.2.	Características de la bicicleta de pista	71
3.3.	Diseño de investigación.....	72
3.3.1.	Protocolo experimental.....	72
3.3.1.1.	Determinación de la PAM en cicloergómetro	73
3.3.1.2.	Determinación del umbral láctico individual en cicloergómetro	75
3.3.1.3.	Determinación de la economía y adaptación cardíaca al esfuerzo.....	76
3.3.1.4.	Determinación de la eficiencia mecánica total y del diferencial de eficiencia mecánica	76
3.3.1.5.	Determinación del ritmo de oxidación de grasas y del punto de cruce metabólico	77

3.3.1.6.	Medida directa de la potencia – sistema SRM –	78
3.3.1.7.	Protocolo experimental (test-retest).....	79
3.3.1.8.	Estimación de la producción de potencia mecánica	80
3.3.1.9.	Estimación del $VO_{2m\acute{a}x}$	81
3.3.1.10.	Determinación de ritmos de entrenamiento y estandarización de protocolos.....	81
3.4.	Análisis estadístico	81
3.4.1.	Cálculo del tamaño de la muestra	82
3.4.2.	Comparación de las variables fisiológicas y mecánicas entre los diferentes grupos de estudio en la prueba de laboratorio.....	82
3.4.3.	Estudio de la intensidad relativa a la que sitúa el concepto de cruce metabólico	83
3.4.4.	Estudio de la fiabilidad y validez del protocolo experimental.....	83
3.4.5.	Estudio de la relación de las diferentes variables estudiadas	84
3.4.6.	Estimación de la potencia en función de la velocidad	84
3.4.7.	Estimación del % PAM en función del % VAM	84
3.4.8.	Estimación del VO_2 en función de la velocidad	84
4.	RESULTADOS	89
4.1.	Resultados de las variables máximas obtenidas en la prueba de laboratorio	89
4.1.1.	Variables fisiológicas máximas de la población muestral	89
4.1.2.	Variables mecánicas máximas de la población muestral	90
4.1.3.	Variables fisiológicas y mecánicas máximas de cada uno de los grupos de estudio en la prueba de laboratorio	90
4.2.	Resultados de las variables submáximas obtenidas en la prueba de laboratorio	91
4.2.1.	Umbral láctico individual.....	91
4.2.2.	Relación concentración de lactato e intensidad relativa del esfuerzo.....	92
4.2.3.	Relación consumo de oxígeno e intensidad relativa del esfuerzo.....	95
4.2.4.	Relación frecuencia cardíaca e intensidad relativa del esfuerzo	95
4.2.5.	Economía de pedaleo.....	96
4.2.6.	Pulso de oxígeno.....	97
4.2.7.	Eficiencia mecánica	98
4.2.8.	Máximo ritmo de oxidación de grasas	100
4.2.9.	Cruce metabólico.....	105
4.3.	Fiabilidad y validez del protocolo triangular realizado en pista.....	107

4.3.1.	Variables fisiológicas, mecánicas y ambientales de las pruebas de campo.....	108
4.3.2.	Fiabilidad y validez de la prueba de campo.....	109
4.3.2.1.	Repetibilidad de la prueba de campo	109
4.3.2.2.	Validez de la prueba de campo	112
4.4.	Estimación de la producción de PAM y del $VO_{2m\acute{a}x}$ de forma indirecta.....	115
4.4.1.	Estimación de la PAM	115
4.4.2.	Relación % VAM / % PAM.....	116
4.4.3.	Estimación del $VO_{2m\acute{a}x}$	117
5.	DISCUSIÓN	123
5.1.	Discusión de los protocolos utilizados	123
5.1.1.	Protocolo de laboratorio	123
5.1.2.	Características dinámicas y cinemáticas de la bicicleta en el velódromo.....	125
5.1.3.	Protocolo de campo.....	129
5.1.4.	Relación entre el protocolo de laboratorio con el de campo.....	130
5.2.	Discusión de los resultados de la prueba de laboratorio	131
5.2.1.	Consumo máximo de oxígeno	131
5.2.2.	Potencia aeróbica máxima	133
5.2.3.	Umbral láctico individual y la fracción utilizada de consumo máximo de oxígeno	134
5.2.4.	Pulso de oxígeno.....	135
5.2.5.	Economía de pedaleo y la eficiencia mecánica.....	135
5.2.6.	Ritmo de oxidación de grasas	138
5.2.7.	Concepto de cruce metabólico	142
5.3.	Discusión de la fiabilidad y validez del protocolo triangular realizado en pista	143
5.3.1.	Repetibilidad.....	143
5.3.2.	Validez.....	145
5.3.3.	Relación con otros estudios	149
5.4.	Discusión de las ecuaciones propuestas para la estimación de la producción de potencia mecánica y $VO_{2m\acute{a}x}$	150
5.4.1.	Ecuaciones para la estimación de la producción de potencia mecánica	151
5.4.2.	Relación % PAM y % VAM.....	152
5.4.3.	Ecuaciones propuestas para la estimación del $VO_{2m\acute{a}x}$	153

5.5.	Discusión de la determinación de ritmos de entrenamiento o zonas de intensidad relativa de trabajo	154
5.5.1.	Determinación de ritmos de entrenamiento en función de una prueba de laboratorio	154
5.5.2.	Determinación de ritmos de entrenamiento en función a la prueba de campo propuesta.....	156
5.6.	Discusión del diseño del protocolo de campo	157
5.6.1.	Estandarización del protocolo de campo en función del nivel de rendimiento del deportista	157
6.	CONCLUSIONES.....	163
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	169
	APÉNDICE 1: Ecuaciones utilizadas en el estudio para estimar la producción de potencia mecánica	211
	APÉNDICE 2: Ecuaciones utilizadas en el estudio para estimar el VO_2	221
	APÉNDICE 3: Ecuaciones utilizadas en el estudio para estimar el $VO_{2máx}$	225
	APÉNDICE 4: Protocolos utilizados para valorar el rendimiento ciclista en diferentes modalidades y especialidades	231

1. INTRODUCCIÓN

En la introducción se contextualiza el objetivo principal de la presente tesis doctoral. Concretamente, en el punto 1.1. se ofrece una visión general de los diferentes factores que han intervenido en el desarrollo del ciclismo de competición y en otros deportes que implican la bicicleta, como en el triatlón. En este sentido, se trata los factores tecnológicos, sociológicos y científicos que han hecho posible esa evolución desde sus orígenes hasta la actualidad. En el apartado 1.2. se exponen los sistemas de producción de potencia mecánica y en el 1.3. los factores determinantes del rendimiento en el ciclismo y el triatlón, ambos aspectos han sido de gran utilidad para entender la importancia de la existencia de una serie de variables fisiológicas relacionadas con el rendimiento y por lo tanto la necesidad de ser evaluadas y determinadas. En el apartado 1.4. se expone el estado actual de la cuestión tanto de la valoración funcional de laboratorio como de campo, con el fin de explorar los protocolos de laboratorio que tradicionalmente se han aplicado en el ciclismo y el triatlón y, por otra parte, para conocer los protocolos de campo existentes y justificar el tener que realizar un nuevo protocolo de campo. Por último, se ha dado una visión general de las diferentes propuestas para la determinación de intensidades de entrenamiento, como uno de los objetivos importantes de la valoración funcional.

1.1. Evolución del rendimiento de las disciplinas ciclistas

La evolución del rendimiento de las disciplinas ciclistas, así como de las especialidades deportivas de reciente aparición que involucran la utilización de la bicicleta, se ha producido como consecuencia de diferentes factores:

- a. **Factores tecnológicos:** evolución técnica de la bicicleta.
- b. **Factores sociológicos:** evolución de los participantes, aparición de instituciones ciclistas y organización de competiciones.

c. Factores científicos: aportación de conocimiento específico desde la teoría del entrenamiento deportivo y la medicina del deporte.

El estudio de estos factores ayuda a entender con mayor claridad la evolución del rendimiento ciclista al que se ha llegado en actualidad; por lo tanto, estos factores son los que se desarrollan a continuación.

1.1.1. Factores tecnológicos: la evolución de la bicicleta

Para poder entender con mayor claridad como se ha llegado en la actualidad al nivel de desarrollo técnico de la bicicleta, hay que explicar como ha sido su aparición y evolución hasta nuestros días.

1.1.1.1. Precedentes

Cuando se aborda la evolución moderna del rendimiento de las disciplinas ciclistas, ésta no puede ser entendida sin conocer la evolución tecnológica de la bicicleta desde sus orígenes más ancestrales.



Figura 1. El transporte terrestre se pudo desarrollar gracias a la invención de la rueda (Rueda de Ur)

El punto de partida, para la posterior construcción de la primera bicicleta, fue la aparición de la rueda (6.000 a. C.) en las antiguas China e India, aunque los primeros vestigios que tenemos datan de entre el 3.500 y el 3.000 a. C., en la antigua Mesopotamia (Figura 1) (5).

Gracias al desarrollo de la rueda y de la inquietud por desarrollar vehículos autopropulsados por la fuerza humana,

no resultó casual el invento de la primera bicicleta. Este hecho fue posible cuando alguien pensó en montar dos ruedas en serie, una detrás de la otra, y se creyó en su efecto estabilizador en movimiento.

El origen de la bicicleta es controvertido. Los amantes del Renacimiento y de Leonardo da Vinci, al igual que muchos expertos, han situado el origen de la bicicleta en esta época. Al menos en teoría, fue este ingenioso personaje su inventor, ya que en sus notas del *Codex Atlanticus* se contemplan los primeros

bocetos de este aparato (Figura 2). Como se puede observar este modelo ya estaba dotado de transmisión por cadena, pedales y dirección (5).

Aunque, parece ser que el mencionado boceto no habría sido realizado por Leonardo, sino posteriormente por uno de sus discípulos.

Los dos códices leonardescos pasaron inadvertidos para sus coetáneos de finales del siglo XV y principios del XVI, hasta que se descubrieron en 1937 en la biblioteca de Madrid.

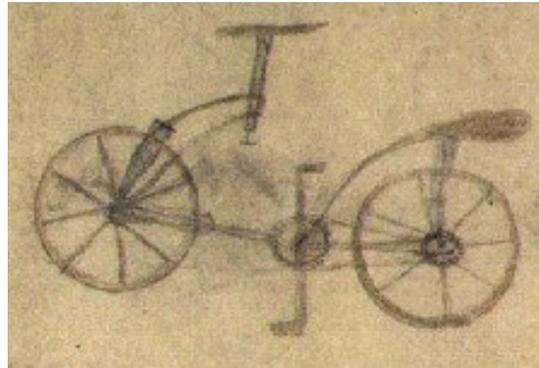


Figura 2. Boceto de Leonardo da Vinci (p. 133v del Codex Atlanticus, Biblioteca de Madrid)

Los documentos se perdieron durante siglos y la historia de la bicicleta pasó a ser la historia de cómo este sistema de transmisión se trató de eludir reemplazándolo por otros.



Figura 3. Iglesia de San Gil en Stoke Poges (Inglaterra). Vidriera del S. XVII

La controversia aparece cuando se observa una de las cristaleras del siglo XV de la iglesia de San Gil en Stoke Poges (Inglaterra), donde hay un ángel sin alas montado en un aparato (Figura 3). Este tiene

dos ruedas colocadas en serie y unidas por una barra de madera, este es un diseño menos evolucionado que el de Leonardo (5, 309).

1.1.1.2. La historia de la bicicleta

El origen de la bicicleta moderna se ha situado de forma objetiva por algunos autores en París, entre el 1789 y el 1791, cuando el conde de Mede de Sivrac, inventó el *Celerífero* (latín: *Fero*, yo llevo, y *Celer*, rápido) también denominado *Caballo de Ruedas*. Es curioso observar que este fue un modelo mucho más primitivo que el diseñado en los Códigos Leonardescos y que tenía más

relación con el de la vidriera de la iglesia de San Gil. El *Celerífero* consistía en un listón de madera que unía dos ruedas situadas en serie. Era una unidad rígida, sin manillar y sin pedales (Figura 4). El desplazamiento se realizaba apoyando los pies de forma alternativa sobre el suelo. Su rigidez hacía que todas las variaciones del terreno repercutiesen en el cuerpo del conductor. El celerífero evolucionó tomando formas alegóricas, la parte delantera tomó formas de cabeza de animal, pasando a denominarse *Velocífero* (5, 68).



Figura 4. Sivrac y su Celerífero

Otros historiadores no consideran al celerífero como punto de partida de la bicicleta. Para ellos el nacimiento tuvo lugar en 1817 con el invento del Barón Alemán Kart Christian Ludwig Drais von Sauerbronn.

Quien introdujo unos resortes debajo del sillín, inventó la dirección y lubricó los ejes de las ruedas con grasa, denominándose *Máquina Andante* y que posteriormente tomó el nombre de *Draisiana* en honor a su inventor (Figura 5) (4, 208, 309).

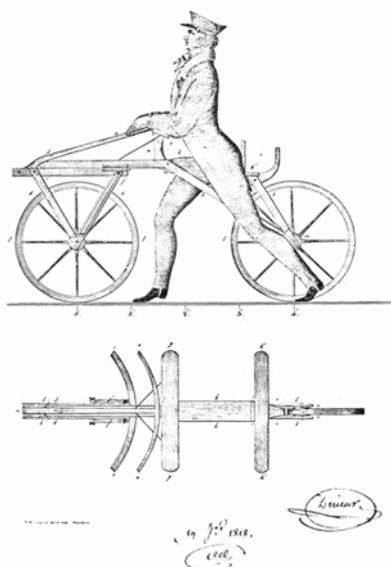


Figura 5. Ilustración de la solicitud de patente del velocípedo, 19 de enero del 1818

Este vehículo denominado velocípedo se exhibió el 5 de abril de 1818 en el Jardín de Luxemburgo de París, aparentemente con poca expectación. Sin embargo, rápidamente se solicitaron patentes de importación y la *Draisiana* evolucionó rápidamente tanto en el viejo como en el nuevo continente.

Posteriormente, el inglés Denis Johnson, en 1819, comercializó en Inglaterra la *Hobby-horse* (Figura 6), una modificación de la *Draisiana* hecha de hierro, gracias a que este país estaba en plena revolución industrial, dotándola de mayor seguridad. Hacia 1840 el escocés Kilkpatrick Mac Millan agregó una

manivela a la izquierda y a la derecha del eje de la rueda trasera que se movía con los pies, ayudándose con largas barras. Dichos cigüeñales los conectó mediante varillas de transmisión con los pedales del frente (Figura 7). Sin tener tiempo a patentar su idea, el pedal, se extiende con rapidez.

En 1853, el fabricante de instrumentos musicales Philipp Moritz Fischer, colocó pedales en

la rueda delantera, transformando el movimiento abrupto del velocípedo de McMillan, en uno giratorio continuo que dotaba al vehículo de un movimiento mucho más fluido. Fisher no fue capaz de difundir su idea.

Más tarde, el francés Pierre Michaux construyó un velocípedo (Figura 8), basándose en el modelo de Fisher, el cual lo modernizó y comercializó su hijo



Figura 7. Reproducción del modelo de McMillan, 1861

Ernest Michaux, creando la primera fábrica de bicicletas en serie. Este velocípedo constaba de ruedas de madera, neumáticos de hierro, sin elásticos, siendo la anterior sensiblemente más grande que la posterior y frenos en la superficie de rodadura. En

Inglaterra la denominaron *boneshaker* (*rompehuesos*), a causa de sus vibraciones cuando circulaba sobre las carreteras pedregosas o las calles adoquinadas. Las bicicletas *Michaux* fueron presentadas en la Exposición Universal de París, en el año 1867. Su ingenio aún pesaba entre 40 Kg y 50 Kg. Posteriormente, en su honor, se le denominó *Michauline*. La historia ha designado a los Michaux como los precursores del Velocipedismo (68, 208, 309).

A partir de 1868, el velocípedo evolucionó rápidamente, debido a que empezaron las competiciones oficiales. En 1869, se celebra el Primer Salón de



Figura 6. Hobby-horse, 1819



Figura 8. Velocípedo modernizado de Michaux, 1867

la Bicicleta en París, en él queda patente la evolución del velocípedo: se introducen llantas de caucho macizas montadas en hierro, frenos sobre las llantas, cojinetes de bolas (patentados en 1856 por el abad Tihay), utilización de tubo en vez de hierro macizo para el cuadro y las horquillas y se disminuyó el peso entre 25 Kg y 40 Kg.

La primera bicicleta que se aproxima a la bicicleta moderna es la desarrollada en 1869 por el relojero parisino Guilmet con la ayuda del mecánico Mayer. Los



Figura 9. Grand Bi de radios metálicos

cuales idearon una bicicleta metálica, con dos ruedas de tamaño similar, siendo la rueda trasera la motriz y accionada mediante transmisión por cadena. La máquina no fue aceptada ya que la sociedad estaba todavía inmersa en el desarrollo del velocípedo, pese al gran valor técnico del nuevo diseño que no fue entendido.

En los siguientes años la industria inglesa empieza a desarrollar el velocípedo, la rueda delantera crece constantemente y disminuye proporcionalmente la posterior, con objeto de aumentar el desplazamiento mediante el giro de una revolución. Aparecen modelos como el *Penny Farthing* (1870-1876), en la que el diámetro de la rueda delantera era de 1,2 m. Al final de este proceso, los franceses contagiados por el gran desarrollo de los velocípedos ingleses desarrollan, en 1876, el modelo *Grand Bi* o *Araña* (Figura 9 y 10), promovido por Truffaut y Marchegay. Jules Truffault aligeró el peso de la rueda inventando los radios de alambre tensados, el velocípedo de 1,4 m solo pesaba 11 Kg. Todavía se llegó a ruedas más increíbles, por ejemplo, el mecánico Víctor Renard construyó un biciclo con una rueda de 3 m de diámetro y un peso de 65 Kg (208, 309).



Figura 10. Ciclista de la época junto a su Grand Bi

Lo poco que se había ganado en velocidad no compensaba los inconvenientes de la inestabilidad y seguridad. Debido a ello muy pronto decayó el entusiasmo por el velocípedo. El ciclo del *Grand Bi* se acababa.

Poco a poco, el velocípedo fue sustituido por las denominadas bicicletas seguras, las cuales fueron desarrolladas gracias a una serie de avances



Figura 11. Safety o bicicleta segura, 1880

tecnológicos: En 1870, se introducen los radios tangenciales metálicos; en 1875, se desarrolla la llanta; en 1879, se utiliza la transmisión por cadena; en 1887, se inventan los neumáticos hinchables y a principios del siglo XIX, aparece la corona de giro libre y poco después el freno de

contrapedal. Esta evolución acabó en el 1880 con la *Safety*, lo que hoy se conoce como bicicleta (Figura 11).

En 1886 apareció la palabra *bicicleta* en lugar de *velocípedo*. Después de una época en la que los cambios se sucedían con mucha rapidez, prácticamente desde 1890, la bicicleta quedó estandarizada durante mucho tiempo (4, 5, 309).

1.1.1.3. La bicicleta moderna

A pesar de que el formato de bicicleta quedó estandarizado desde la última década del siglo XIX, esta ha seguido desarrollándose, aunque más que una evolución ha sido una adaptación de la bicicleta a las características de cada una de las disciplinas y modalidades ciclistas.

Uno de los aspectos que ha evolucionado de forma más dramática ha sido la disminución del peso de la bicicleta. Por ejemplo, el peso medio de las bicicletas de carretera de los equipos ciclistas profesionales en el año 2004 era de 7,62 Kg (226). Por otra parte, la adaptación de la bicicleta a otros usos no pensados hasta finales del siglo XX, como por ejemplo la bicicleta de montaña, ha ayudado al desarrollo de nuevas disciplinas ciclistas (4).

En la actualidad las bicicletas se pueden clasificar de forma general en función de las diferentes disciplinas ciclistas: carretera, pista, ciclo cross, BMX, montaña, trial, ciclismo artístico y tándem. A su vez, dentro de cada una de

estas disciplinas existen diversas modalidades dando lugar a diseños aun más específicos. Además, para otro deporte como es el triatlón también existen bicicletas específicas para sus diferentes especialidades: larga distancia, corta distancia de ruedas convencionales y pequeñas para circuitos técnicos (Figura 12).



a. Carretera (llano)



b. Carretera (contrarreloj)



c. Carretera (escalada)



d. Pista



e. Ciclo cross



f. BMX



g. Dual o Four Cross



h. Cross country



i. Descenso



j. Trial 20"



k. Trial 26"



l. Ciclismo artístico



m. Tándem



n. Triatlón

Figura 12. Bicicletas que se utilizan en las diferentes modalidades ciclistas y en triatlón

Hoy día, la especificidad del diseño de la bicicleta se está llevando a unos extremos insospechados años atrás, incluso dentro de una misma modalidad ciclista existen diferentes diseños en función de las características de la prueba de un día determinado. Por ejemplo, en una competición por etapas como puede ser la vuelta a España, el Giro de Italia o el Tour de Francia, en las etapas llanas y de media montaña, por lo general, los ciclistas utilizan bicicletas de carretera convencional; en las etapas de alta montaña, los especialistas (escaladores) utilizan bicicletas adaptadas a las características del terreno, más ligeras, con desarrollos específicos, etc; y, en las etapas contra el reloj, los especialistas utilizan bicicletas específicas de contrarreloj (Figura 12a-12c). En la actualidad, los ciclistas y triatletas profesionales mejor pagados utilizan bicicletas hechas a medida, en base a sus características morfológicas.

1.1.2. Factores sociológicos: la evolución de los practicantes

Desde lo que se ha considerado como los orígenes de la bicicleta, la *Draisiana* en 1817, su utilización fue rápidamente adaptada por los *Incroyables*, elegantes jóvenes monárquicos que propugnaban la vuelta del antiguo régimen, y por las *Merveillouses*, jovencitas que imitaban en sus atuendos a las mujeres de la Grecia clásica. Estos parisienses, jóvenes nobles y ricos, se divertían conduciendo sus máquinas por los jardines del Palacio Real o los Campos Elíseos. A principios del siglo XIX el velocípedo constituía un pasatiempo de todas las familias reales europeas, su finalidad era mostrar el ingenio de su inventor. Por otra parte, los investigadores victorianos extendieron sus velocípedos como medio genuino de viaje o diversión. Económicamente, este aparato solo estaba al alcance de las elites.

La manifestación ciclista de competición se inició con el favor de la nobleza, por ejemplo, el emperador Napoleón III donó una medalla de oro como premio en una competición ciclista, en 1868; y una copa itinerante para velocipedistas por el Káiser Guillermo I (208).

A mediados del siglo XIX la producción artesana de este artilugio dejó paso a los nuevos métodos de fabricación industrial. En 1860 había varias empresas que fabricaban velocípedos y en 1869 empezaron a fabricarse en serie. La inflexión en la utilización de la bicicleta se produjo tanto en Europa como en América durante la última década del siglo XIX cuando algunas empresas monopolizaron el mercado: Clement, Peugeot, Rochet, Rudge y Humber; los precios de los velocípedos descendieron casi un 70 % del valor original. Por primera vez en la historia existía un medio de transporte que estaba al alcance de todas las clases sociales, aunque se utilizó más como un medio de transporte que como un medio ocioso y deportivo (4, 309).

En 1878, el mundo del ciclismo da un paso más en su evolución de aceptación e integración social, creándose la *Bicyclists Touring Club*. Esta sociedad nace para proteger los derechos de los ciclistas y difundir su actividad. Los primeros frutos se consiguen en 1888, cuando sus abogados consiguen que los velocípedos sean considerados como vehículos de transporte, esto significaba

que la bicicleta y los ciclistas habían conseguido la mayoría de edad estando protegidos por las normas del momento (4, 208).

A pesar de ser Francia quien tenía un mayor desarrollo ciclista, a nivel competitivo, Inglaterra fue la primera en dar una reglamentación al ciclismo mediante su federación nacional (*Bicycle Union*), en 1880. En Italia esta reglamentación llegó 5 años más tarde, constituyéndose la *Unión Velocipedística Italiana* en 1885. Poco a poco se fueron creando las federaciones nacionales más importantes (Tabla 1) y a su vez la reglamentación del ciclismo de sus respectivas naciones.

Federación Nacional	País	Año de creación
Bicycle Union*	Inglaterra	1878
League of American Wheelmen	EEUU	1880
Unión Vélocipé de France	Francia	1881
Dank Bicycle Club	Dinamarca	1881
The Canadian Wheelmen's Association	Canadá	1882
Ligue Vélocipédique Belge	Bélgica	1882
Unión Central Velocipedica Checa	Checoslovaquia	1883
Bund Deutcher'Radfarher	Alemania	1884
Unione Velocipedística Italiana	Italia	1885
The Road Record Association	Gran Bretaña	1888
Unión Velocipedica Española**	España	1895

* **Bicycle Union:** Futura National Cyclist Union; ** **Unión Velocipedica Española:** Futura Real Federación Española de Ciclismo.

Tabla 1. Fundación de las Federaciones Ciclistas Nacionales más antiguas

La organización internacional de ciclismo de competición fue una realidad en 1892, creándose la *Asociación Ciclista Internacional* (ACI), con sede en Londres, que agrupaba a las organizaciones ciclistas de EEUU, Bélgica, Holanda, Francia, Canadá, Alemania, Inglaterra e Italia. Aunque, en 1893, discrepancias entre el presidente de la ACI y la federación Italiana, a raíz de la celebración de los primeros mundiales de ciclismo, lleva a su desfragmentación y a la fundación de la UCI (*Unión Ciclista Internacional*).

En esta época, proliferaron los clubes sociales y empezó a ser común ver grupos de jóvenes ciclistas que se dedicaban a explorar los paisajes campestres. Por ejemplo, el número de socios del *Cyclists' Touring Club* fundado en el 1878 llegó a ser de 60.499 en 1899, en la actualidad tiene más de 70.000 asociados, amantes de la bicicleta. Las sociedades de la nobleza así como los clubes de las clases populares proliferaron a finales del siglo XIX

(Tabla 2), siendo estas un reflejo de la evolución del ciclismo, tanto del paradigma lúdico como del competitivo (309, 406).

Club	País	Año de creación
Véloce Club de París	Francia	1868
Véloce Club de Toulouse	Francia	1869
Velo Club Rouennais	Francia	1869
Veloce Club de Milán	Italia	1870
Boston Club	EEUU	1878

Tabla. 2. Fundación de los Clubes ciclistas más antiguos

A partir del siglo XX la bicicleta dejó de ser una moda y pasó a formar parte de la vida cotidiana de la sociedad. Hacia los años 30 la bicicleta jugaba un papel importante en el sistema integrado de transporte, como instrumento de trabajo del cartero o del policía así como para los trabajadores y las amas de casa. Además, las carreras ciclistas llegaron a ser una de las actividades predominantes en el tiempo de ocio de los trabajadores. Por ejemplo, en la Inglaterra del 1931 había 10 millones de bicicletas.

En la actualidad, la utilización de la bicicleta está extendida por todo el mundo. En los países con un menor desarrollo económico e industrial constituye un medio de transporte y un vehículo de trabajo muy cotizado. En el mundo occidental la bicicleta tiene un valor utilitario pero también es un instrumento del tiempo libre para el placer. En el año 1987, la ONU publicó unos datos en los que se citaba que el ciclismo es la actividad física más popular del mundo, con 420 millones de usuarios, de los cuales el 97 % lo utilizaban como medio de transporte y el 3 % con una finalidad educativa o deportiva (4, 309).

La evolución histórica de los practicantes y su organización en instituciones ha hecho posible el desarrollo de diferentes paradigmas de la práctica ciclista, uno de ellos es el del ciclismo de competición. La reglamentación e institucionalización del ciclismo propició la aparición de la figura del *trabajador ciclista* o lo que es lo mismo del *ciclista profesional*. El objetivo del cual es conseguir el máximo rendimiento deportivo mediante la bicicleta. En la actualidad, el desarrollo de los ciclistas profesionales está llegando a su máxima expresión, pues existen ciclistas profesionales especialistas en cada una de las modalidades. En consecuencia en nuestros días el paradigma competitivo se ha consolidado como tal.

1.1.3. Factores sociológicos: la evolución de las competiciones

Dos años después del invento de la Draisiana, en 1819, aunque poco regladas, ya se realizaron las primeras competiciones. La reglamentación de las mismas fue un hecho a partir del tercer cuarto del siglo XIX, aunque el comienzo del ciclismo de alta competición se produjo en la última década del siglo XIX, cuando los avances tecnológicos dejan estandarizada la bicicleta (4, 5).

No obstante, ya desde los inicios los organizadores observaron la doble naturaleza del esfuerzo ciclista, organizando tanto competiciones de velocidad como de resistencia.

1.1.3.1. Las modalidades de velocidad

La primera carrera de velocidad de la que se tiene constancia se celebró en 1865 en la ciudad Francesa de Amiens, por las calles de la ciudad con un recorrido de 500 m. A ésta le precedió otra entre el puente de Sevres y Saint Cloud en París, en 1868, sobre una distancia de 1200 m. Inmediatamente después se organizaron otros eventos ciclistas en diferentes países: así, en Inglaterra, en el Cristal Palace de Londres el 6 de marzo de 1869 y, en Italia, en Padova sobre una distancia de 2000 m, el 25 de Julio del mismo año.

Dos décadas después del inicio de las pruebas de velocidad se celebró en Francia el primer campeonato oficial de la historia (año 1881), al cual siguieron otros muchos (Tabla 3).

Localidad	Año
Francia	1881
España	1883
EEUU	1883
Italia	1884
Checoslovaquia	1889

Tabla 3. Primeros campeonatos de velocidad

En esa época, este tipo de pruebas se celebraban en plazas, avenidas o bulevares, sucesores de los parques, primeros escenarios de las competiciones ciclistas. Posteriormente, las pruebas de velocidad se vieron favorecidas a partir de la construcción de los primeros velódromos y de su proliferación durante la última década del siglo XIX (68).

El primer velódromo fue construido en Burdeos en el año 1885 (68), al cual le siguieron la construcción de otros. La distancia o cuerda de estos primeros velódromos era de diferentes longitudes (Tabla 4). Los primeros fueron de madera aunque empezaron a construirse de cemento (309).

Velódromo	Longitud (m)
Sociedad Gimnástica de Roma	108
Sociedad Velocipédica en Roma	200
Velódromo de invierno de París	250
Búfalo de París	301,7
Courbevoie de París	500

Tabla 4. Longitud de los primeros velódromos

Las carreras de pista han existido desde 1868 en Inglaterra y desde 1882 en Alemania. En 1886 se celebraron en Leicester los primeros campeonatos mundiales con una cierta consistencia y seriedad organizativa. Sin embargo, el primer campeonato mundial organizado oficialmente y reconocido por la ICA no se realizó hasta 1893. A partir de entonces todos los campeonatos mundiales se han llevado a cabo bajo los auspicios de la UCI (4, 208).

Las pruebas de velocidad que se incluyen en el repertorio actual han ido apareciendo poco a poco a lo largo de la historia del ciclismo. Por ejemplo, la que nace prematuramente es la velocidad en 1895. Otras pruebas han ido apareciendo y extinguiéndose en función de las necesidades del momento. Y, finalmente, algunas han ido evolucionando y consolidándose de forma tardía: por ejemplo, la persecución individual nace en 1946 y el kilómetro (salida parada) en 1966. En la actualidad las modalidades de velocidad que se incluyen en el repertorio de las copas y campeonatos del mundo son las que se pueden observar en la tabla 5 (410):

Categoría masculina	Categoría femenina
Velocidad	Velocidad
Kilómetro	500 m
Keirin	Keirin
Velocidad por equipos	

Tabla 5. Modalidades de velocidad del repertorio de las copas del mundo y mundiales

1.1.3.2. Las modalidades de resistencia

Las pruebas de resistencia de media (medio fondo) y larga duración (fondo) empezaron simultáneamente junto a las de velocidad.

La primera competición internacional en carretera discurrió a lo largo de 130 Km entre las ciudades de París y Rouan, en 1869, contando en su primera edición con presencia femenina. La primera carrera Italiana se celebró el 2 de febrero de 1870 sobre una distancia de 33 Km con salida en Firenze y llegada en Caiano de Pistoia. El ciclismo ha estado presente desde las Primeras Olimpiadas de Atenas, en 1896, con un recorrido de 87 Km y en todas las demás olimpiadas ha contado con la presencia de alguna de sus disciplinas (4, 208).

El primer campeonato nacional Italiano de fondo en carretera fue celebrado en 1885 y en Checoslovaquia en 1887 y los de medio fondo se celebraron en Checoslovaquia en 1895 y en Francia en 1889 (309).

El nacimiento de las grandes *clásicas* o *carreras de un día en carretera*, también ocurre durante el tercer cuarto del siglo XIX. Se considera que la primera clásica fue la París-Rouan el 7 de noviembre de 1869

(Figura 13). La salida se dio en el Arco del Triunfo desde donde salieron un centenar de participantes, aunque días atrás se habían inscrito 203 participantes, de las cuales 5 eran damas. Esa primera clásica ya fue tumultuosa y en la llegada los organizadores y las fuerzas del orden público se tuvieron que emplear a fondo para contener a la multitud de aficionados.

Visto el gran éxito de este tipo de pruebas, a esta primera clásica le siguieron otras muchas (Tabla 6) (208), siendo una modalidad ciclista que ha llegado hasta nuestros días gozando de una gran popularidad en el viejo continente.

En sus inicios, las clásicas contaban con presencia femenina, aunque poco a poco pasaron a ser una competición exclusivamente masculina. Las competiciones de féminas empezaron a realizarse entrados en la segunda mitad del siglo XX, por ejemplo el campeonato del mundo en ruta se celebró en 1958.



Castera y Moore, 2º y 1º en París-Rouen

Figura 13. Ganadores de la primera edición de la París-Rouen

Competición	País	Año
París-Rouan	Francia	1869
Caiano de Pistoia	Italia	1870
Milán-Turín	Italia	1876
Angers-Le Mans-Angers	Francia	1879
Liege-Bastogne-Liege	Francia	1890
Bourdeaux-París	Francia	1891
París-Dieppe	Francia	1891
Bourdeaux-Solac	Francia	1891
París-Brest-París	Francia	1891
Angers-Tours-Angers	Francia	1891
Lieja-Bastone-Lieja	Francia	1892
Lyón-Montelimar-Lyón	Francia	1892
París-Ostense	Francia	1892
Toulouse-Bordeaux-Toulouse	Francia	1892
Bourdeaux-Royan	Francia	1895
París-Roubaix	Francia	1896
París-Tours	Francia	1896
París-Caen	Francia	1902
Tour de Lombardie	Francia	1905
Milán-San Remo	Francia	1907
Berna-Ginebra	Suiza	1908
Marsella-Lyon	Francia	1911
Tour de Flandes	Países Bajos	1913
Fleche Wallone	Francia	1936

Tabla 6. Organización de las clásicas más antiguas e importantes para aficionados y profesionales

Gracias al gran éxito obtenido por las carreras de un día en carretera a finales del siglo XIX, a principios del siglo XX se consolida una nueva modalidad ciclista, las *carreras por etapas*. La primera carrera por etapas fue el Tour de



Figura 14. Salida del primer Tour de Francia

Francia, el cual se inauguró el 1 de julio de 1903 (Figura 14) fundado por el periodista, Henri Desgrange (93, 208). A partir de esta fecha fueron organizándose otras vueltas que han llegado hasta nuestros días

(Tabla 7), como por ejemplo, el también famoso Giro de Italia (Figura 15) o la vuelta a España (Figura 16). Las vueltas exclusivamente para féminas no empezaron a realizarse hasta finales del siglo XX, por ejemplo el Tour de Francia se realizó en 1984.

Carrera por etapas	Año
Tour de Francia	1903
Tour de Bélgica	1908
Giro de Italia	1909
Vuelta a Cataluña	1911
Vuelta a Suiza	1933
Vuelta a España	1935

Tabla 7. Origen de las carreras por etapas más antiguas para aficionados y profesionales. Este tipo de competiciones de tanta belleza agonística causó tal impacto en la sociedad europea que un siglo después de sus orígenes han llegado hasta nuestros días en pleno esplendor. Además, en la actualidad han conseguido convertirse en deporte espectáculo, arrastrando a millones de espectadores a vivir la emoción del desarrollo de las mismas, tanto a través de la televisión, radio, Internet, diarios e in situ.



Figura 15. Primer Giro de Italia

Las competiciones de resistencia también empezaron a practicarse en su formato de pista gracias a la aparición de los primeros velódromos. Las pruebas de resistencia desarrolladas en velódromo a lo largo de la historia han sido diversas. En *velódromo* se han desarrollado carreras que más que



Figura 16. Primera edición de la vuelta a España

competiciones han sido pequeñas proezas, por ejemplo la prueba de los 1000 Km en pista, siendo de mencionar el gran duelo entre Terront y Corre, en 1893, en la que ganó Terront con un promedio de $23,8 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Muchas de las pruebas de resistencia realizadas en velódromo han aparecido y dejado de realizarse por diferentes motivos y otras se han mantenido, como por ejemplo, la prueba de los 6 días que tuvo su primera edición en 1875, en la ciudad de Londres; o la Madison o

Americana, cuya primera edición fue en 1899, las cuales con modificaciones en su reglamentación han llegado hasta nuestros días (309).

1.1.3.3. Los récords

Las competiciones ciclistas no sólo nacieron con el objetivo de medir las fuerzas entre los participantes, sino que llevaban implícitamente el concepto de récord. Y este concepto que se ha mantenido a lo largo de toda la historia del ciclismo se ha basado en dos magnitudes:

- a. Recorrer una distancia determinada en el menor tiempo posible y
- b. En un tiempo determinado recorrer la mayor distancia posible.

Son muchos los récords que a lo largo de la historia se han conseguido por muchos ciclistas, pruebas tan dispares como el récord de 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 5 h, 6 h, 7 h, 8 h, 9 h, 10 h, 11 h, 12 h y 24 h ó el de los 100 Km, con entrenadores y sin entrenadores, todas ellas en velódromo.

El concepto de récord también ha servido para laurear las grandes gestas, como por ejemplo, entre los primeros récords, el conseguido por el inglés James Moore en 1872, quien recorrió 22,785 Km en una hora, sobre su *Starley Ariel*. O los récords establecidos en uno de los primeros velódromos, en 1886, por el germano-americano Albert Shock, desde las 52 a las 100 millas. O los grandes logros del gran Zimmermann quien recorrió los 200 m en 12 seg ($60 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$) en 1893 (309).

En ciclismo, el concepto de récord lo institucionalizó la UCI a mediados del siglo XX, creando una reglamentación específica al respecto. En la actualidad la UCI reconoce los récords de unas distancias muy concretas en función de las diferentes categorías (Tabla 8):

	Categoría	Prueba
Salida lanzada	Todas las categorías	200 m y 500 m
	Hombres	1 Km, 4 Km, 4 Km por equipos
Salida estática	Mujeres	500 m, 3 Km y récord de la
	Juniors masculinos	1 Km, 3 Km y 4 Km por
	Juniors femeninos	500 m y 2 Km.

Tabla 8. Relación de récords que reconoce en la actualidad la UCI, para las diferentes categorías

Los primeros récords reconocidos por la UCI se pueden observar en las Tablas 9-12.

Pruebas en velódromo al aire libre

	Prueba	Fecha	Lugar
Salida lanzada	200 m	09.09.1955	Copenhague (DEN)
	500 m	28.11.1954	París (FRA)
Salida estática	1 Km	23.10.1949	Milán (ITA)
	4 Km*	06.06.1964	Milán (ITA)
	4 Km equipos*	30.08.1986	Colorado Springs
	1 h**	07.11.1942	Milán (ITA)

* Estos récords están realizados por aficionados, no existe en profesionales; ** El primer récord de la hora de aficionados fue el 11.05.1893, en París.

Tabla 9. Pruebas en las que se disputa el récord en profesionales y categoría masculina

Pruebas en velódromo cubierto

	Prueba	Fecha	Lugar
Salida lanzada	200 m	17.08.1956	Zurich (SUI)
	500 m	25.10.1954	Milán (ITA)
Salida estática	1 Km	09.11.1952	París (FRA)
	4 Km*	22.02.1972	Milán (ITA)
	4 Km equipos*	09.07.1976	Milán (ITA)
	1 h	19.12.1954	París (FRA)

* Estos récords están realizados por aficionados, no existe en profesionales.

Tabla 10. Pruebas en las que se disputa el récord en profesionales y categoría masculina

Pruebas en velódromo al aire libre

	Prueba	Fecha	Lugar
Salida lanzada	200 m	15.06.1955	Londres (GBR)
	500 m	16.04.1955	Londres (GBR)
Salida estática	3 Km	25.04.1964	Londres (GBR)
	1 h	07.07.1955	Irkoutsk (URSS)

Tabla 11. Pruebas en las que se disputa el récord en categoría femenina

Pruebas en velódromo cubierto

	Prueba	Fecha	Lugar
Salida lanzada	200 m	07.03.1964	Berlín (GER)
	500 m	07.03.1964	Berlín (GER)
Salida estática	500 m	12.02.1993	Launceston (AUS)
	3 Km	05.02.1984	París (FRA)
	1 h	20.10.1982	Moscú (URSS)

Tabla 12. Pruebas en las que se disputa el récord en categoría femenina

1.1.3.4. Las modalidades ciclistas en la actualidad

En la actualidad, las disciplinas ciclistas que los reglamentos técnicos de la UCI desarrollan son: carretera, pista, bicicleta de montaña, ciclo-cross, BMX, trial,

ciclismo en sala (ciclismo artístico y ciclismo con pelota), cicloturismo y ciclismo para corredores con discapacidades (410).

a. Ciclismo de carretera

El ciclismo de carretera se desarrolla en carreteras cerradas al tráfico y mediante bicicletas específicas (Figura 12a-12c). En categoría elite las modalidades y sus distancias máximas que se desarrollan dentro de esta disciplina se puede observar en la tabla 13.

	Modalidades	Distancias máximas
	Carreras de un día	250-280 Km*
	Carreras contra-reloj	
Modalidades de carácter individual	individual	40-50 Km*
	Cronoescalada	80 Km**
	Critériums	150 Km
	Carreras Individuales	170 Km
Modalidades de carácter colectivo	Contra-reloj por equipos	100 Km
	Carreras por etapas	180 Km***
	(entre 2 y 23 días)	260 Km****

* En campeonatos del mundo y olimpiadas; ** En otros eventos; *** Distancia media por etapa sin tener en cuenta el prólogo; **** Distancia máxima de una etapa.

Tabla 13. Distancias máximas en las modalidades del ciclismo en ruta

b. Ciclismo en pista

El ciclismo en pista se puede desarrollar en pistas con diferentes longitudes de cuerda (250 m, 285,714 m, 333,3 m, 400 m ó más), con distintas superficies (madera, cemento, etc.) y al aire libre o cubiertos. Los participantes utilizan bicicletas específicas a tal efecto (Figura 12d). Las pruebas en pista van desde los 200 m a los 50 Km. Sus modalidades se suelen clasificar en dos grupos: pruebas de velocidad inferiores a 1000 m y pruebas de resistencia superiores a 1000 m. En categoría elite las diferentes modalidades y distancias asociadas se puede observar en las tablas 14 y 15.

c. Ciclo-cross

El ciclo-cross se desarrolla en campo a través, con obstáculos y a menudo en condiciones climáticas adversas. Los participantes utilizan bicicletas específicas a tal efecto (Figura 12e). La duración de la prueba tanto en categoría masculina como femenina es próxima a una hora.

Modalidades de carácter individual	Distancias
Velocidad	Lanzamiento + 200 m
Persecución Individual	3 Km* / 4 Km**
500 m / Kilómetro	500 m* / 1 Km**
Carrera a los puntos	25 Km* / 50 Km**
Keirin	Lanzamiento tras moto (5'5 Vueltas) + sprint
Eliminación	

* Distancia en la categoría femenina; ** Distancia en la categoría masculina.

Tabla 14. Distancias en las modalidades del ciclismo en pista de carácter individual

Modalidades de carácter colectivo	Distancias
Persecución por equipos	4 Km***
Velocidad por equipos	3 vueltas
Americana o Madison	50 Km
Scratch	7,5 Km* / 10 Km**
Tándem	3-6 vueltas
Medio fondo tras-moto	30 Km
Carrera de seis días	

* Distancia en la categoría femenina; ** Distancia en la categoría masculina; *** Sólo en categoría masculina.

Tabla 15. Distancias en las modalidades del ciclismo en pista de carácter colectivo

d. BMX (Bicycle Moto Cross)

El BMX es una disciplina ciclista que se corre en una pista específica, en la que existen una serie de obstáculos que se tienen que sortear lo más rápido posible. La longitud de su cuerda es de unos 400 m como máximo. Los participantes utilizan bicicletas específicas (Figura 12f).

e. Ciclismo en bicicleta todo terreno (BTT)

Esta disciplina ciclista se desarrolla en campo a través, los participantes utilizarán bicicletas específicas en función de la modalidad que practiquen (Figura 12g-12i). Las diferentes modalidades y características se pueden observar en la tabla 16.

	Modalidades	Distancias / tiempo
Modalidades de carácter individual	Cross-Country, Rally o	2 h* / 2 h 15 min**
	Descenso	3,5 Km ó 5 min
	4 cross	40 seg
	Slalom	45 seg
Modalidades de carácter colectivo	Carreras por etapas (entre 3 y 8 días)	3 h por etapa

* Distancia en la categoría femenina; ** Distancia en la categoría masculina.

Tabla 16. Distancias o duraciones máximas en las modalidades de ciclismo en bicicleta todo terreno

f. Trial

Son competiciones que se desarrollan al aire libre o en instalaciones cubiertas. Los participantes tienen que superar obstáculos distribuidos en diferentes sectores. Existen dos modalidades la de 20 y la de 26 pulgadas, en función de las cuales los ciclistas utilizarán bicicletas específicas con ruedas de 20" ó 26" (Figura 12j-12k). La característica principal de estas modalidades es que los ciclistas deben de superar los obstáculos sin poner pie a tierra. En la categoría elite masculino la competición consta de 16 sectores y en femenino de 14, y el tiempo máximo para superar cada sector es de 2 min y 30 seg.

g. Ciclismo en sala (ciclismo artístico y ciclismo con pelota)

En ciclismo artístico existen dos modalidades, la de ciclismo artístico individual y por parejas. Los competidores tienen que realizar una serie de figuras obligatorias y libres dentro de una zona delimitada. En categoría elite tienen una duración de 6 min. Para tal efecto los participantes utilizan bicicletas específicas (Figura 12l).

En el ciclismo con pelota existen dos modalidades, una en la que se enfrentan dos oponentes y otra en la que se enfrentan dos equipos. Se juega en un campo de 14 x 11 m. La pelota es de tejido y de 17-18 cm de diámetro. En esta modalidad gana quien marque más goles en la portería del rival.

h. Cicloturismo

En esta modalidad la UCI se encarga de extender la licencia federativa a aquellos cicloturistas que practican el ciclismo por placer.

i. Ciclismo para corredores con discapacidades

Existen diferentes categorías en función de la discapacidad:

- Ciegos y reducción de la capacidad visual
- Discapacidades motoras
- Parálisis cerebral

En ciegos se compite en tándem (Figura 12m), el ciclista con problemas visuales va detrás de un piloto que lo guía y los participantes de alguna de las categorías con parálisis cerebral compiten en triciclo.

El programa de competiciones se puede clasificar en tres tipos de pruebas: carretera, individuales y pista. La distancia de la competición está en función del nivel de discapacidad. Las competiciones en carretera van de los 20 Km hasta los 120 Km. Las competiciones individuales entre 1,5 Km y 50 Km y en pista entre los 500 m y los 4 Km.

Por otra parte, durante las últimas décadas del siglo XX y principios del XXI se ha incluido en el calendario deportivo de competición otros deportes en los que se contempla el esfuerzo ciclista como el triatlón, el cual está regido a nivel internacional por la ITU (Unión Internacional de Triatlón). El triatlón es un deporte que consiste en realizar tres actividades enlazadas por dos transiciones, la primera actividad que se realiza es la natación, seguida del esfuerzo ciclista y del sector de carrera a pie.

Este deporte nace en 1978 con el formato de Ironman en Hawaii, aunque en la actualidad existen diferentes especialidades (Tabla 17) (409), y diferentes bicicletas en función de la especialidad (Figura 12n).

Especialidad	Distancia (Km)		
	Natación	Ciclismo	Carrera
Triatlón distancia sprint	0,75	30	5
Triatlón distancia de corta distancia, distancia	1,5	40	10
Triatlón distancia de media distancia o "B"	2,5	80	21
Triatlón distancia de larga distancia o "C"	3,5	120	30
Ironman	3,8	180	42,195

Tabla 17. Especialidades del Triatlón (distancias asociadas)

1.1.4. Factores científicos: la contribución de la Medicina del Deporte en el ciclismo

La Medicina del Deporte ha contribuido al avance y la mejorara del rendimiento deportivo en general. En este sentido se ha avanzado tanto en la prevención (conocimiento de la epidemiología, factores que influyen las lesiones, tipo de lesiones y en las recomendaciones para prevenirlas) como en el tratamiento y la recuperación de las patologías de los deportistas (213), de las modalidades ciclistas en especial (211, 259, 284) y de aquellos deportes en que la actividad

del ciclismo está presente, como en las especialidades del triatlón (69, 92, 103, 165, 246, 295).

Otro aspecto importante que se ha desarrollado desde la Medicina del Deporte es la nutrición deportiva. Este hecho ha permitido desarrollar suplementos nutritivos con el fin de mejorar el rendimiento competitivo así como la eficacia de los entrenamientos. En este sentido, se han realizado avances significativos tanto en las modalidades de resistencia aeróbica como en las de velocidad. Por ejemplo, se ha estudiado las necesidades energéticas del ciclismo de resistencia de larga duración y las especialidades del triatlón, y se ha evidenciado que las estrategias dietéticas antes, durante y después de la competición puede reducir los efectos limitadores de la fatiga, aumentando el rendimiento deportivo (53, 183, 187, 189, 236). En cuanto a las especialidades de velocidad, una de las suplementaciones más utilizadas es la creatina, aumentando de esta manera la capacidad de realizar acciones a intensidad supramáxima (363).

Un último aspecto en el que la Medicina del Deporte ha jugado un papel importante en la mejora del rendimiento deportivo ha sido el de los métodos y las sustancias ergogénicas de carácter farmacológico, que en ocasiones limita el concepto actual del dopaje y que obviamente no se puede tratar en esta tesis, pero que sin duda ha ayudado a la optimización del trabajo físico de los deportistas.

Por otra parte, ciertos avances tecnológicos han ayudado a hacer más seguras las diferentes prácticas ciclistas, ayudando a disminuir las incidencias médicas, como por ejemplo la aparición y la evolución del casco para evitar los posibles traumatismos craneoencefálicos (369).

1.1.4.1. Concepto de ayuda ergogénica y dopaje

En la actualidad existe una gran controversia sobre la utilización de métodos y sustancias ergogénicas.

La definición literal de *ergogénico* es *producción de trabajo*. Cuando este concepto se aplica a la práctica deportiva, se define como: *procedimiento o agente que mejora la producción, el control y la eficiencia energética durante el*

rendimiento deportivo, de esta manera el deportista consigue un mayor rendimiento del que podría conseguir mediante los métodos de entrenamiento normales (398). Cuando este concepto hace referencia a la ciencia del deporte, se define como un *procedimiento experimental o agente que incrementa el rendimiento del ejercicio en comparación con un placebo.* La mejora del rendimiento se evidencia por: 1) un mayor tiempo en llegar a la fatiga, 2) una mayor producción de trabajo a una intensidad de esfuerzo determinada y/o 3) una mayor producción de potencia media en una duración determinada (322).

Las ayudas ergogénicas pueden tener diferentes naturalezas. En este sentido, han sido clasificadas como: físicas, mecánicas, biomecánicas, nutricionales, fisiológicas, psicológicas y métodos o sustancias farmacológicas (269, 398).

Por otra parte, hay que tener en cuenta que existen sustancias que en función de su dosis pueden tener un efecto ergogénico o el contrario, de disminución del rendimiento o *ergolítico (107)*, como por ejemplo el alcohol. El concepto de *doping*, dopaje en español, aparece en 1964 cuando el Comité Olímpico Internacional (COI) constata que ciertos métodos y sustancias ergogénicas comprometían la salud de los deportistas y el desarrollo ecuánime de las competiciones. Se inicia entonces la lucha contra el dopaje, tratando de velar por la salud de los deportistas y el juego limpio. El COI define por primera vez el concepto de doping como:

La administración o la utilización por un atleta de competición de alguna sustancia externa al cuerpo o alguna sustancia fisiológica detectada en cantidades anormales o administrada por una vía de entrada al cuerpo anormal con la única intención de incrementar de forma artificial y de una manera poco limpia su rendimiento en competición.

El concepto de dopaje, tradicionalmente, ha estado relacionado con la legislación de los países y/o normativas de los organismos deportivos nacionales e internacionales que se han encargado de gestionar la práctica deportiva, existiendo diferentes normativas en cada país e institución.

Hoy en día, en lo que al ámbito de uso se refiere, se ha detectado que el dopaje está extendido en la gran mayoría de de los deportes, en mayor o menor medida, tanto si son disciplinas olímpicas como si no (377).

Por eso, cuando el deportista decide utilizar una ayuda ergogénica, debe cerciorarse de que sea segura, legal y efectiva (322).

1.1.5. Factores científicos: la contribución de la Teoría del Entrenamiento en el ciclismo

La Teoría del Entrenamiento Deportivo (TED) *integra conocimientos científicos que provienen de la práctica deportiva y de las diversas ciencias auxiliares. Su cuerpo de conocimiento permite conocer los efectos del ejercicio físico sobre el organismo, proporcionando los fundamentos teóricos y prácticos para la preparación de los deportistas* (Adaptado de Manno (245)).

La TED se ha ido formando y enriqueciendo hasta llegar a nuestros días. En este sentido, la racionalización del trabajo orientado a aumentar el rendimiento en la actividad física es tan antigua como la práctica deportiva misma. Ya en la antigua Grecia se creía que mediante la aplicación de un entrenamiento sistemático se podía convertir a un sujeto asténico en un deportista. Además, las primeras estructuras del proceso de entrenamiento, se desarrollan en este periodo histórico, las *tetras*, o plan de entrenamiento de 4 días (*en 102*).

Durante los siglos del renacimiento (XIV y XV), se produce también el renacimiento de la actividad física por parte de los humanistas italianos y desde el siglo XVI diferentes autores ingleses publican obras referidas a la actividad física. Aunque no es hasta principios del siglo XX que empiezan a proliferar los tratados sobre la temática: Kraevki, 1902; Tausmev, 1902; Olshanik, 1905; Skotar; 1906; Shtaliest, 1908; Murphy, 1913. Estos primeros autores ponen las bases de la *racionalización de la planificación deportiva* (126).

Entrados en la primera mitad del siglo XX es cuando se inicia el pensamiento sobre la racionalización del proceso de entrenamiento, (*Kotov, 1916; Gorinevski, 1922; Pícala, 1930; Grantyn, 1939; Ozolin, 1949; Letunov, 1950*). A estos autores se les ha considerado como los precursores de la planificación deportiva (126).

1.1.5.1. La planificación deportiva tradicional

A mediados de la década de los años 50 del siglo XX el profesor Matveev desarrolla y generaliza la teoría de la *Periodización del Entrenamiento Deportivo* (PED) (253). La PED surge como resultado de su reflexión sobre las bases teóricas desarrolladas por los precursores y por su conocimiento empírico de las metodologías utilizadas por los entrenadores soviéticos desde los JJOO de Helsinki, en 1952, y con posterioridad (253). Al profesor Matveev se le ha considerado como el padre de la planificación moderna del entrenamiento deportivo.

A partir de la PED surgen variantes con el objetivo de mejorarla y adaptarla a las diferentes especialidades deportivas. Por lo tanto, surgen nuevas propuestas dentro del modelo de Matveev como el de Aroseiev (1976) (*en* 126) que introduce su modelo de planificación o *péndulo* para los deportes de combate, el modelo de *altas cargas de entrenamiento* con doble periodización planteado por Vorobiev (1974), para halterófilos o el de Tschiene (1985). El modelo de planificación de Matveev ha llegado hasta nuestros días, siendo aún válido para resolver muchas de las necesidades en diferentes deportes. Este modelo y sus variantes se han denominado *planificación tradicional o clásica* (126, 275).

1.1.5.2. La planificación deportiva contemporánea

Una vez el deporte se fue profesionalizando y debido al incremento progresivo en el calendario de competiciones se hizo necesaria una evolución en los planteamientos tradicionales.

En este sentido, Verkhoshansky (381, 382) desarrolla un sistema de programación de *entrenamiento por bloques*. Este nuevo modelo se adaptó rápidamente en las diferentes especialidades deportivas, apareciendo diferentes variantes, un ejemplo de ello son: el *modelo integrador* de Bondarchuk (*en* 126) para lanzadores de martillo, el modelo *ATR* (Acumulación, Transformación y Realización) propuesto por Issurin y Kaverin (126) adaptado también a la natación por Navarro, los *macrociclos integrados* (1990) desarrollado por Navarro (*en* 126) para nadadores, la propuesta

realizada para saltadores por Sidorenko (342), el *sistema tetracíclico* desarrollado para los nadadores del este de Europa por Platonov y Fesenko (311), el modelo basado en la teoría de los sistemas de Viru o la propuesta de Reiß y Scheumann para deportes de resistencia aeróbica de media y larga duración (en 126). También existen variantes para deportes de largo período competitivo (deportes de equipo) como el *modelo cognitivista* (341), o la propuesta de *largo estado de forma* de Bompa (en 126).

Todos estos modelos se adaptan a las necesidades del deporte moderno por ello se han denominado modelos de *planificación contemporáneos* (126, 275).

1.1.5.3. Los principios del entrenamiento deportivo

La TED establece unos principios basados en las ciencias biológicas, psicológicas y pedagógicas. Estas guías y reglas dirigen el proceso global de entrenamiento sistemáticamente y se conocen como *principios del entrenamiento*. Éstos interactúan entre sí y garantizan la aplicación correcta de todo el proceso de entrenamiento (381, 382).

Los principios de entrenamiento están organizados en dos grupos: principios que se basan en la existencia de un fundamento pedagógico y principios que lo hacen en un fundamento biológico (275).

1.1.5.3.1. Los principios pedagógicos

Los principios pedagógicos han sido destacados por varios autores de la antigua Europa del Este como Harre (150), Matveev (254) y Ozolín (297), que resaltan la importancia de enseñar y aprender durante el proceso de entrenamiento. Ante el papel determinante que desempeña el entrenador como pedagogo, son varios los autores que enuncian diversos principios pedagógicos relacionados con el entrenamiento (37, 244, 297). En ese sentido, las capacidades condicionales se desarrollan y las habilidades motoras se adquieren mediante un planteamiento metodológico que se adapta al deportista por medio de la comunicación y las instrucciones y directrices didácticas más adecuadas, estos autores consideran fundamental la creación de un buen proceso pedagógico (244). Por lo tanto, es posible identificar, dentro de la relación pedagógica de enseñanza, algunos principios que favorecerán la

eficacia de la actividad del entrenador y, en consecuencia, del entrenamiento sobre el deportista (Tabla 18):

Principios pedagógicos	Principios biológicos
Principio de lo consciente	Principio de sobrecarga
Principio de la planificación y sistematización	Principio de progresión de la carga
Principio de la representación mental	Principio de variedad
Principio de lo factible	Principio de optimización entre carga y recuperación
	Principio de repetición y continuidad
	Principio de reversibilidad
	Principio de la periodización
	Principio de regeneración periódica
	Principio de individualidad
	Principio de especificidad
	Principio de especialización
	Principio de la alternancia de los componentes del entrenamiento

Tabla 18. Principios pedagógicos y biológicos

1.1.5.3.2. Los principios biológicos

En los últimos años se ha dado una especial importancia al aspecto biológico en la teoría del entrenamiento sobre otros enfoques. La posible razón de esta tendencia está en la importancia de la adaptación biológica y su notable implicación en el rendimiento deportivo. El conjunto de principios que llevan implícita la adaptación del organismo humano a unos esfuerzos determinados es lo que se ha denominado principios biológicos (106, 150, 297, 380, 416) (Tabla 18).

1.1.5.4. Los métodos de entrenamiento

El concepto de entrenamiento ha sido definido por Verkhoshansky (381) como un *proceso pedagógico complejo; aumento de las posibilidades condicionales y técnico-tácticas y de comportamiento deportivo*. Los estímulos de entrenamiento, organizados desde los principios de la TED, son los comúnmente conocidos *métodos de entrenamiento o procedimiento programado que determina los contenidos, medios y cargas del entrenamiento en función de su objetivo* (416).

Igualmente que con los sistemas de planificación deportiva, los métodos han evolucionado a partir de mediados del siglo XX. Por ejemplo, tanto el volumen de trabajo como las sesiones de entrenamiento se duplicaron desde los años 60 a los 80, además de aumentar el volumen de trabajo específico (312).

Por otra parte, respecto a los métodos de entrenamiento, parece ser que desde finales del siglo XIX los atletas utilizaban métodos continuos e interválicos, aunque no fue hasta los años 30 que Nurmi sistematiza el Fartlek y hasta los años 50 que Zatopek no entrena de forma sistemática mediante la utilización de métodos interválicos. Posteriormente se desarrollaron los primeros estudios científicos comparando el método interválico o *intermitente* y el continuo (13, 14, 66) y algunos autores aplican y difunden el método interválico a los diferentes deportes (118). Durante los últimos 60 años los métodos de entrenamiento han ido enriqueciéndose mediante el ensayo y error de los entrenadores y deportistas. En la actualidad estos métodos se han extendido en el entrenamiento de ciclistas (148) y triatletas.

En la actualidad, todas aquellas teorías y conceptos empíricos, basados en la experiencia y los resultados, han quedado avalados por numerosos estudios científicos en gran parte de sus planteamientos, sobre los métodos de entrenamiento de las diferentes cualidades físicas, tanto básicas como coordinativas: fuerza (77, 106, 138, 404), velocidad (142), resistencia (197, 209, 275, 416), flexibilidad (6), técnica (144, 331) y táctica (329).

1.1.5.5. El rendimiento deportivo

La TED persigue una única meta, la de aumentar el *rendimiento* del deportista para conseguir un *objetivo de rendimiento* determinado. Se ha sugerido que el aumento del rendimiento depende de dos factores principales: incremento del potencial motor y aumento de la capacidad del deportista para expresar ese potencial en el entrenamiento y la competición (381).

Durante la última década, desde la Biología se ha aportado nuevas fuentes de conocimiento para entender el rendimiento deportivo. Esto hace referencia a la decodificación del código genético, ya que se conocen bastantes genes que tienen relación con el rendimiento deportivo (403). Además se ha sugerido que algunas manifestaciones del rendimiento deportivo están determinadas de forma importante por la carga genética (39, 40).

No obstante, aunque los sistemas involucrados en el rendimiento deportivo puedan estar influenciados, en mayor o menor magnitud, por la carga genética de cada individuo, hay que estimular los procesos adaptativos para poder

expresar esa carga genética. El estímulo necesario es el que se logra con el entrenamiento (116, 149, 224). Por lo tanto, los estímulos de entrenamiento, organizados desde los principios de la TED son los responsables de conseguir una mayor o menor expresión genética.

1.1.5.6. La Teoría del Entrenamiento Deportivo aplicada a las modalidades ciclistas y especialidades del triatlón

Los modelos de planificación y programación deportiva que se aplican a las diferentes disciplinas ciclistas y especialidades del triatlón son diversos. Normalmente los modelos de planificación tradicionales se aplican a deportistas que están en la fase de iniciación e incluso especialización deportiva, por otra parte, los modelos contemporáneos son más comúnmente aplicados a deportistas que están en una fase de alto rendimiento deportivo o en profesionales que buscan mantener un alto rendimiento durante toda la temporada o que necesitan una mayor estímulo de entrenamiento (18, 145, 275, 328, 387). En este sentido, los métodos de entrenamiento están bastante consolidados y extendidos en estos deportes. En la actualidad, gracias a una mayor actividad investigadora especializada, existen aportaciones sobre nuevas aplicaciones y combinaciones de los métodos de entrenamiento de una forma continuada, tanto en las diferentes especialidades del triatlón (162, 328), como en las diferentes modalidades ciclistas (108, 229, 387). Una muestra de ello es el avance en el conocimiento de los efectos del entrenamiento cruzado, donde se ha evidenciado que las adaptaciones centrales se aprovechan entre las diferentes actividades deportivas y las periféricas son específicas de la propia actividad (230, 339).

Otro logro importante de la TED es distribuir las cargas de entrenamiento de tal manera que el deportista consiga los picos de forma cuando le interese evitando el sobreentrenamiento (125).

1.1.6. Factores científicos: repercusión de la evolución del rendimiento en el ciclismo y el triatlón

El triatlón es un deporte de muy reciente creación y el punto de partida de este deporte se ha situado en 1978. Las especialidades más importantes son el

triatlón de corta distancia y el Ironman. Del primero es, en verdad, complicado evaluar la evolución porque su reglamento ha variado ampliamente y no se puede comparar los rendimientos actuales con los de hace una década. Sin embargo, en Ironman sí, por el hecho de haberse mantenido su reglamento. El primer Ironman de la historia (Ironman de Hawai en 1978) se realizó en 11:46:58 h, y en la actualidad el récord de esa prueba está en 8:04:08 h en hombres (Luc Van Lierde en 1996) y en 8:55:28 h en mujeres (Paula Newby Fraser en 1992) (407).

Como se ha mencionado más arriba, es difícil evaluar la evolución del rendimiento en triatlón de corta distancia, por lo que recientemente se ha sugerido que existe un patrón de la gestión de la competición. Por ejemplo, en hombres, al haber un nivel de rendimiento homogéneo en las tres actividades, parece ser que la victoria se decide en la carrera a pie; sin embargo, en mujeres, al haber un nivel de rendimiento más heterogéneo en los diversos sectores cabe la posibilidad de remontar en bicicleta y, por lo tanto, no es tan importante salir del agua en las primeras posiciones (136).

Respecto a las disciplinas ciclistas la evolución ha sido muy importante en cada una de las modalidades deportivas. En este sentido, la evolución de la bicicleta, del equipamiento, del aumento de los practicantes y participantes, el incremento de las competiciones y modalidades, la mejora de la Medicina del Deporte y de la metodología del Entrenamiento Deportivo ha hecho posible que desde finales del siglo XIX hasta el momento, haya aumentado de forma espectacular el rendimiento deportivo en las diferentes disciplinas ciclistas (371). Sin embargo, en algunas de las disciplinas, como el ciclismo de carretera, no es fácil analizar la evolución del rendimiento a lo largo de los años, debido a que las características físicas de la competición varían: distancias y perfiles diferentes. No obstante, se puede tener una idea general de esa evolución tomando como ejemplo el Tour de Francia, en el que se observa una evolución muy importante de la velocidad media de la competición (Tabla 19).

Edición	Inicio	Fin	Vencedor	Etapas (nº)	Distancia (km)	Participantes (Nº)	V_{media} (km·h⁻¹)
1º	1-jul-03	19-jul-03	M. Garin	6	2.428	60	25,68
2º	2-jul-04	24-jul-04	H. Cornet	6	2.428	88	25,27
3º	9-jul-05	30-jul-05	L. Trousselier	11	2.994	60	27,11
4º	4-jul-06	29-jul-06	R. Portier	13	4.545	75	24,46
5º	8-jul-07	4-ago-07	L. M. dit Petit-Breton	14	4.488	92	28,47
6º	13-jul-08	9-ago-08	L. M. dit Petit-Breton	14	4.488	115	28,74
7º	5-jul-09	1-ago-09	F. Faber	14	4.497	150	28,66
8º	3-jul-10	31-jul-10	O. Lapize	15	4.734	110	29,10
9º	2-jul-11	30-jul-11	G. Garrigou	15	5.343	83	27,32
10º	30-jun-12	28-jul-12	O. Defraye	15	5.289	131	27,76
11º	29-jun-13	27-jul-13	P. Thys	15	5.287	141	26,72
12º	28-jun-14	26-jul-14	P. Thys	15	5.380	143	26,84
13º	29-jun-19	27-jul-19	F. Lambot	15	5.560	69	24,06
14º	27-jun-20	25-jul-20	P. Thys	15	5.503	113	24,07
15º	26-jun-21	24-jul-21	Léon Scieur	15	5.485	122	24,72
16º	25-jun-22	23-jul-22	F. Lambot	15	5.375	121	24,20
17º	24-jun-23	22-jul-23	H. Pelissier	15	5.386	139	24,23
18º	22-jun-24	20-jul-24	O. Bottecchia	15	5.425	157	24,25
19º	21-jun-25	19-jul-25	O. Bottecchia	18	5.440	131	24,82
20º	20-jun-26	18-jul-26	L. Buysse	17	5.745	126	24,27
21º	19-jun-27	17-jul-27	N. Frantz	24	5.340	142	27,22
22º	17-jun-28	15-jul-28	N. Frantz	22	5.476	162	28,40
23º	30-jun-29	28-jul-29	M. de Waele	22	5.257	156	28,32
24º	2-jul-30	27-jul-30	A. Leducq	21	4.822	100	28,00
25º	30-jun-31	26-jul-31	A. Magne	24	5.091	82	28,74
26º	6-jul-32	31-jul-32	A. Leducq	21	4.479	80	29,05
27º	27-jun-33	23-jul-33	G. Speicher	23	4.395	81	29,82
28º	3-jul-34	29-jul-34	A. Magne	23	4.470	60	30,36
29º	4-jul-35	28-jul-35	R. Maes	21	4.338	93	30,65
30º	7-jul-36	2-ago-36	S. Maes	21	4.418	90	31,11
31º	30-jun-37	25-jul-37	R. Lapebie	20	4.415	98	31,77
32º	5-jul-38	31-jul-38	G. Bartali	21	4.687	96	31,57
33º	10-jul-39	30-jul-39	S. Maes	18	4.224	79	31,99
34º	25-jun-47	20-jul-47	J. Robic	21	4.640	99	21,41
35º	30-jun-48	25-jul-48	G. Bartali	21	4.922	119	33,44
36º	30-jun-49	24-jul-49	F. Coppi	21	4.808	120	32,12
37º	13-jul-50	7-ago-50	F. Kubler	22	4.773	117	32,78
38º	4-jul-51	29-jul-51	H. Koblet	24	4.690	123	32,95
39º	25-jun-52	19-jul-52	F. Coppi	23	4.898	122	32,23
40º	3-jun-53	26-jul-53	L. Bobet	22	4.476	118	34,59
41º	8-jul-54	1-ago-54	L. Bobet	23	4.656	109	33,23
42º	7-jul-55	30-jul-55	L. Bobet	23	4.495	130	34,45
43º	5-jul-56	28-jul-56	R. Walkowiak	22	4.498	119	36,27
44º	27-jun-57	20-jul-57	J. Anquetil	22	4.665	120	34,25
45º	26-jun-58	19-jul-58	Ch. Gaul	24	4.319	118	36,92
46º	25-jun-59	18-jul-59	F. Bahamontes	22	4.391	118	35,47
47º	26-jun-60	17-jul-60	G. Nencini	22	4.173	128	37,21

Edición	Inicio	Fin	Vencedor	Etapas (nº)	Distancia (km)	Participantes (Nº)	V_{media} (km·h⁻¹)
48º	25-jun-61	16-jul-61	J. Anquetil	21	4.397	130	36,03
49º	24-jun-62	15-jul-62	J. Anquetil	22	4.274	150	37,32
50º	23-jun-63	14-jul-63	J. Anquetil	21	4.137	128	37,09
51º	22-jun-64	14-jul-64	J. Anquetil	22	4.504	132	35,42
52º	22-jun-65	14-jul-65	F. Gimond	22	4.177	131	35,89
53º	21-jun-66	14-jul-66	L. Aimar	22	4.322	128	36,76
54º	29-jun-67	23-jul-67	R. Pingeon	22	4.758	130	34,76
55º	27-jun-68	21-jul-68	J. Janssen	22	4.492	111	33,56
56º	28-jun-69	20-jul-69	E. Merckx	22	4.117	128	35,41
57º	27-jun-70	19-jul-70	E. Merckx	23	4.254	148	35,59
58º	26-jun-71	18-jul-71	E. Merckx	20	3.608	128	38,08
59º	1-jul-72	23-jul-72	E. Merckx	20	3.846	132	35,51
60º	30-jun-73	22-jul-73	L. Ocaña	20	4.090	128	33,41
61º	27-jun-74	21-jul-74	E. Merckx	22	4.098	127	35,24
62º	26-jun-75	20-jul-75	B. Thevenet	22	4.000	141	34,91
63º	24-jun-76	18-jul-76	L. Van Impe	22	4.017	128	34,52
64º	30-jun-77	24-jul-77	B. Thevenet	22	4.096	98	35,42
65º	29-jun-78	23-jul-78	B. Hinault	22	3.908	110	36,08
66º	27-jun-79	22-jul-79	B. Hinault	24	3.765	149	36,51
67º	26-jun-80	21-jul-80	J. Zoetemelk	22	3.842	130	35,14
68º	25-jun-81	19-jun-81	B. Hinault	24	3.753	145	38,96
69º	2-jul-82	25-jul-82	B. Hinault	22	3.507	166	38,06
70º	1-jul-83	24-jul-83	L. Fignon	22	3.809	139	36,23
71º	29-jun-84	22-jul-84	L. Fignon	23	4.021	171	35,88
72º	28-jun-85	21-jul-85	B. Hinault	22	4.109	180	36,23
73º	4-jul-86	27-jul-86	G. Lemond	23	4.094	208	37,02
74º	1-jul-87	26-jul-87	S. Roche	25	4.231	206	36,65
75º	4-jul-88	24-jul-88	P. Delgado	22	3.286	196	38,91
76º	1-jul-89	23-jul-89	G. Lemond	21	3.285	194	37,49
77º	30-jun-90	22-jun-90	G. Lemond	21	3.504	197	38,62
78º	6-jul-91	28-jul-91	M. Indurain	22	3.914	196	38,75
79º	4-jul-92	26-jul-92	M. Indurain	21	3.983	196	39,50
80º	3-jul-93	25-jul-93	M. Indurain	20	3.714	180	38,71
81º	2-jul-94	24-jul-94	M. Indurain	21	3.978	187	38,38
82º	1-jul-95	23-jul-95	M. Indurain	20	3.653	186	39,19
83º	29-jun-96	21-jul-96	B. Riis	21	3.907	219	39,23
84º	5-jul-97	27-jul-97	J. Ullrich	21	3.950	219	39,24
85º	11-jul-98	2-ago-98	M. Pantani	21	3.850	209	39,98
86º	3-jul-99	25-jul-99	L. Armstrong	20	3.870	199	40,28
87º	1-jul-00	23-jul-00	L. Armstrong	21	3.662	199	39,57
88º	7-jul-01	29-jul-01	L. Armstrong	20	3.462	209	40,07
90º	5-jul-03	27-jul-03	L. Armstrong	20	3.427	219	40,95
91º	3-jul-04	25-jul-04	L. Armstrong	20	3.391	209	40,57
92º	2-jul-05	24-jul-05	L. Armstrong	20	3.608	209	41,66

Tabla 19. Evolución de la velocidad media a lo largo de la historia del Tour de Francia

En otras especialidades, como las de pista, estas variables están mucho más controladas y es más fácil y más objetivo el análisis de la evolución del rendimiento.

Cuando se analiza la evolución de los récords del mundo de los profesionales masculinos en pista (www.uci.ch) de los 200 m, 500 m y 1 km individual se observa que evolucionan de forma substancial tanto en velódromos al aire libre (5,7 %, 5,0 % y 7,2 %, respectivamente) (Figura 17) como en velódromos cubiertos (7,3 %, 9,0 %, y 8,5 %; respectivamente) (Figura 18).

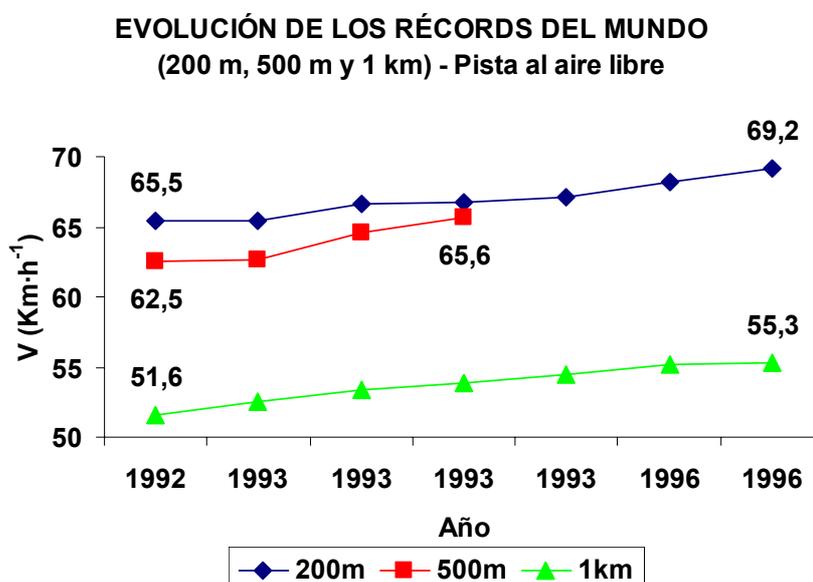


Figura 17. Evolución de los récords del mundo en pista al aire libre de profesionales

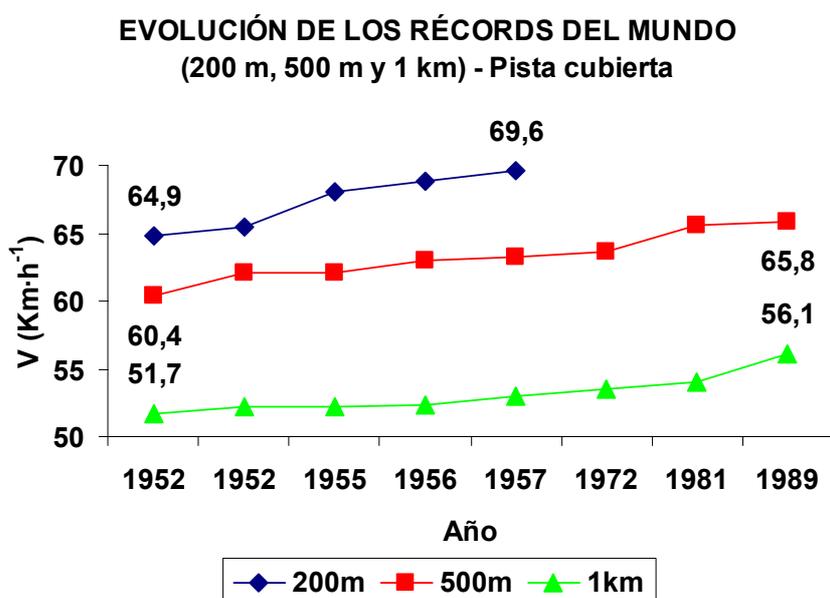


Figura 18. Evolución de los récords del mundo en pista cubierta de profesionales

El récord de pista que ha sufrido una mayor evolución es el de la hora. Desde 1893, cuando se realizó el primer récord de la hora con una bicicleta convencional, hasta el último récord homologado por la UCI en el año 2005, la evolución de la velocidad media de la prueba ha sido de un 40,7 % (de 35,325 a 49,700 Km·h⁻¹) (Figura 19).

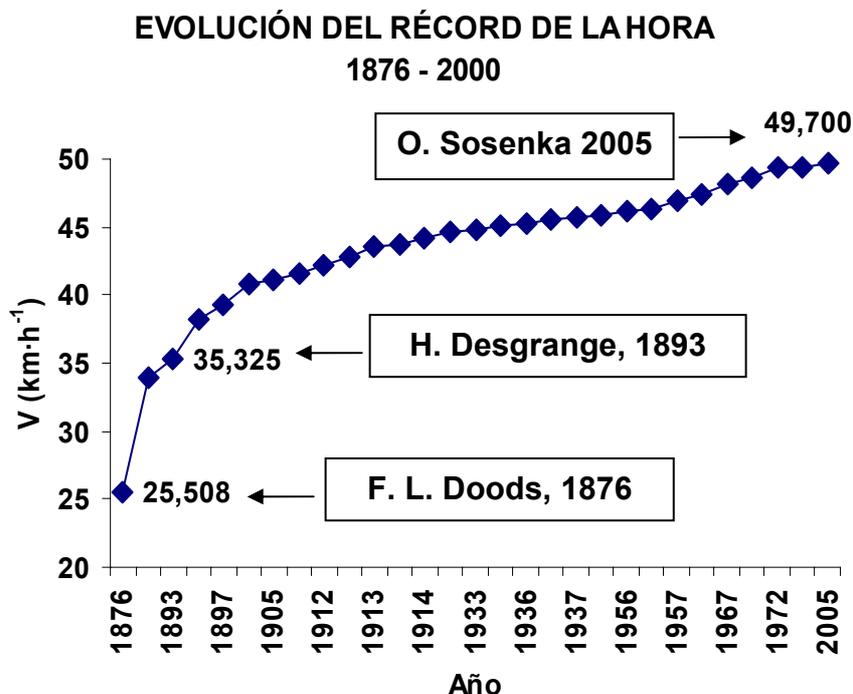


Figura 19. Evolución del récord de la hora desde 1876 hasta 2005

Se ha sugerido que el aumento de la velocidad media de competición de la prueba del récord de la hora se debe en un 60 % a la evolución tecnológica y solo en un 40 % a la producción de potencia media de los ciclistas (22). Es muy probable que la mejora del rendimiento debido a la evolución tecnológica tenga una contribución inferior al 60 %, pero los resultados conseguidos pueden deberse a que en ese estudio se han tenido en cuenta los récords de la hora no homologados por la UCI. Así, los récords de la hora de Moser (1984; 1994), Obree (1993; 1994), Boardman (1993), Indurain (1994) y Rominger (1994) no fueron homologados por la UCI debido a que sus bicicletas incorporaban modificaciones respecto a la morfología de la bicicleta clásica de competición. Estas modificaciones hacían que la superficie frontal de rozamiento disminuyese y que la aerodinámica del conjunto bicicleta-ciclista fuese mejor, ya que la resistencia del aire aumenta de forma lineal con el aumento de la

superficie frontal (46) y la resistencia aerodinámica aumenta con el cubo de la velocidad (V^3) (215), por lo que a una misma producción de potencia conseguían una mayor velocidad de desplazamiento.

Estos récords no homologados, que parecen asombrosos ($52,7 \pm 1,3 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$), suponen una mejora del 5,7 % respecto al actual récord del mundo de Sosenka (2005), lo que sugiere que la contribución tecnológica que afecta al récord de la hora es inferior a la aportada por Basset y col. (22) y la contribución de la mejora en la potencia media de los ciclistas sea mayor. El aumento en la producción de potencia media de los ciclistas o sea su mejora del rendimiento ha sido posible a diferentes factores, los cuales han sido justificados con anterioridad: avances técnicos, evolución sociológica, avance en la medicina del deporte y avances en la TED.

1.2. Sistemas de producción de potencia mecánica

Cualquier trabajo físico, y por consiguiente el realizado durante una actividad deportiva, se lleva a cabo por la acción de la activación muscular, que se produce por la transformación de energía química en energía mecánica proveniente de los enlaces de alta energía de la adenosín trifosfato (ATP). El ATP almacenado en el músculo abastece los requerimientos energéticos solo transitoriamente, por un periodo inferior a un segundo. La regeneración del ATP por la fosfocreatina (PC) es otra fuente energética durante un corto espacio de tiempo. El ejercicio sostenido con la consiguiente demanda continua de ATP requiere la utilización de todos los depósitos energéticos corporales. Los hidratos de carbono y los lípidos son los combustibles utilizados principalmente durante el ejercicio, la utilización de las proteínas se fundamenta en la desestructuración del músculo y tejidos parenquimatosos y ocurre solamente en ejercicios de una gran duración o de muy alta intensidad.

En la mayoría de los tratados de Fisiología del esfuerzo se utiliza el término sistema energético en referencia a la entidad fisiológica que resintetiza el ATP para mantener los procesos celulares y la activación muscular (146). Desde el punto de vista del rendimiento deportivo, la principal función de los sistemas energéticos es la de ofrecer la energía que se aplica en la producción de potencia mecánica más que la de mantener los procesos metabólicos. En este

sentido, se ha propuesto el término *sistema de producción de potencia (power system)* para describir los diversos sistemas energéticos clásicos tratados desde un punto de vista diferente (157).

Tradicionalmente los sistemas de producción de potencia mecánica han sido clasificados en tres grupos en función de la utilización del sustrato energético utilizado: metabolismo de los fosfágenos, glucólisis anaeróbica (oxígeno-independiente) y glucólisis aeróbica (oxígeno-dependiente) (12, 133, 356). Aunque se entienden que responden al principio del continuum energético, donde la contribución relativa de cada uno de ellos es dependiente de la duración del esfuerzo, por lo tanto de la intensidad relativa del mismo (252) (Figura 20).

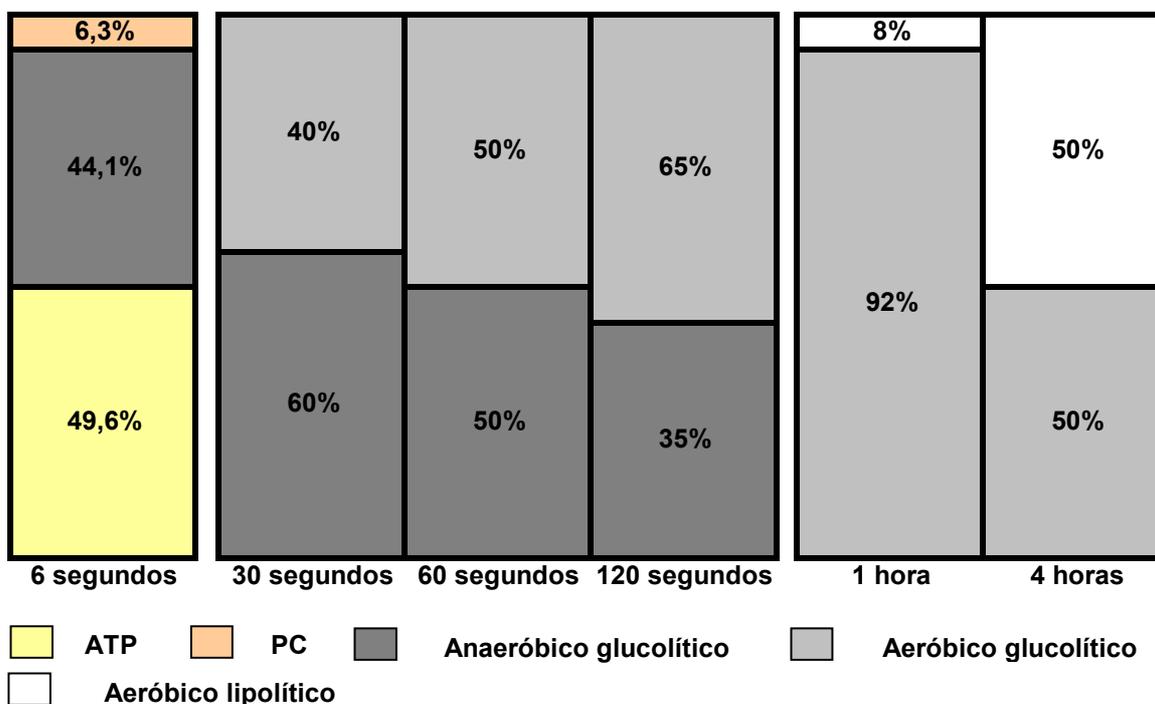


Figura 20. Contribución energética de los distintos sistemas de potencia a los requerimientos de una competición de alta intensidad (Adaptado de Hawley y Burke (156))

Solo en las especialidades deportivas donde las diferentes manifestaciones de resistencia aeróbica no son determinantes para el rendimiento y se desarrollan de forma residual como base para el rendimiento de las otras cualidades físicas (diferentes manifestaciones de fuerza y velocidad) (159, 401), tal vez podría estar justificada esta taxonomía. Pero, para las especialidades deportivas de resistencia de media y larga duración este modelo es simplista. En estas

disciplinas deportivas la cualidad de resistencia aeróbica tiene que optimizarse en sus diferentes manifestaciones, tal como sugiere Padilla y col. (299) para las especialidades ciclistas de resistencia de larga duración. Por lo tanto, para aportar mucha más información al entrenamiento y mejorar la precisión de la prescripción de intensidades relativas hay que recurrir a una taxonomía que aporte más información sobre los diferentes sistemas de producción de potencia.

El metabolismo aeróbico se basa en tres sustratos fundamentales: los carbohidratos, las grasas y, en menor medida, las proteínas (134, 326). Una clasificación mucho más precisa es la que define 4 sistemas de producción de potencia, cada uno de los cuales recibe el nombre de la vía metabólica mediante la cual cada uno resintetiza el ATP muscular: metabolismo de los fosfágenos (CP y ATP), glucólisis anaeróbica (glucosa), glucólisis aeróbica (glucosa y glucógeno) y lipólisis (triglicéridos, ácidos grasos y cetonas). Además, la pobre contribución de las proteínas por la demanda metabólica hace que sean ignoradas en esta clasificación (157) (Figura 21).

1.2.1. El metabolismo de los fosfágenos

Este sistema tiene esta denominación por los dos componentes fosfágeno de alta energía que utiliza como sustrato energético para la producción de potencia (depósitos intracelulares de ATP y de CP). Proporciona la potencia necesaria en las acciones con un componente importante de fuerza y velocidad de una duración de muy pocos segundos (hasta 12 seg) (366).

1.2.2. El sistema anaeróbico glucolítico o vía Embden-Meyerhof

El nombre de este sistema ha estado determinado por el tipo de vía energética, en la que se resintetiza el ATP mediante la metabolización de los carbohidratos en ausencia de oxígeno. Proporciona potencia prioritariamente en esfuerzos de alta intensidad de hasta un minuto de duración (184).

Este sistema fue descrito por el premio Nobel Meyerhof en los años 20, y sus ideas han llegado hasta nuestros días, aunque en la actualidad este sistema se entiende como un concepto que se refiere a la concentración enzimática y a la actividad propia de este sistema, pero que éstas no dependen de la

disponibilidad de oxígeno celular ya que se ha sugerido que, las altas producciones de lactato dependen de la contribución del metabolismo de la glucólisis anaeróbica y de la sobreproducción de piruvato y su siguiente conversión a lactato (386, 388).

Por otra parte, la limitación de este tipo de esfuerzos no se ve limitado única y exclusivamente por la producción de ácido láctico, sino que, por la acidosis metabólica causada por un aumento en la dependencia de la resíntesis del ATP no mitocondrial (321).

Es importante asumir el conocimiento de estas nuevas ideas, y acabar con algunos de los conceptos erróneos de los años 20 que se han transmitido, académicamente, por inercia hasta nuestros días.

1.2.3. El sistema aeróbico glucolítico

La denominación de este sistema está fundamentado en que resintetiza el ATP mediante la oxidación de la glucosa. El sistema aeróbico glucolítico proporciona energía en esfuerzos de resistencia de corta y media duración realizados a alta intensidad (355).

1.2.4. El sistema aeróbico lipolítico

La denominación de este sistema está fundamentado en que resintetiza el ATP muscular mediante la oxidación de los lípidos. El sistema aeróbico lipolítico proporciona potencia en los esfuerzos de resistencia de larga y muy larga duración realizados a moderada o baja intensidad (95, 105, 134, 153, 154, 326, 357, 412).

1.2.5. El concepto de Cruce Metabólico (crossover)

Este es un concepto interesante cuya aplicación en las especialidades de resistencia de media, larga y muy larga duración se ha valorado de gran utilidad. La utilización relativa lípidos / carbohidratos aumenta conforme la intensidad relativa del esfuerzo disminuye. La intensidad relativa a la cual la oxidación de lípidos y carbohidratos es igual es definida como *cruce metabólico* (48, 155): por encima del cual se consume de forma prioritaria carbohidratos (196, 326) y por debajo, los lípidos (71, 326) (Figura 22).

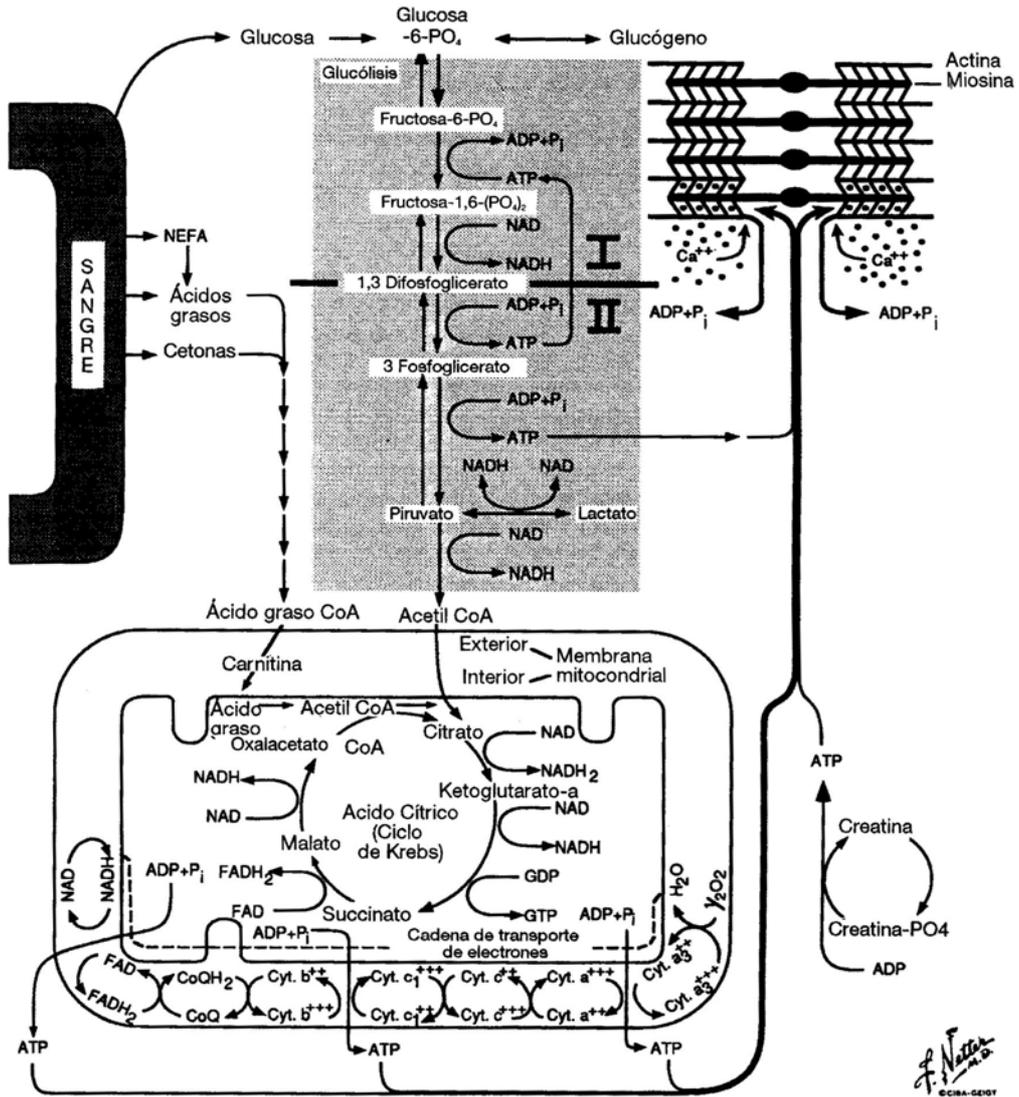


Figura 21. Interacción de los sistemas energéticos y la resíntesis de ATP para la producción de potencia mecánica (250)

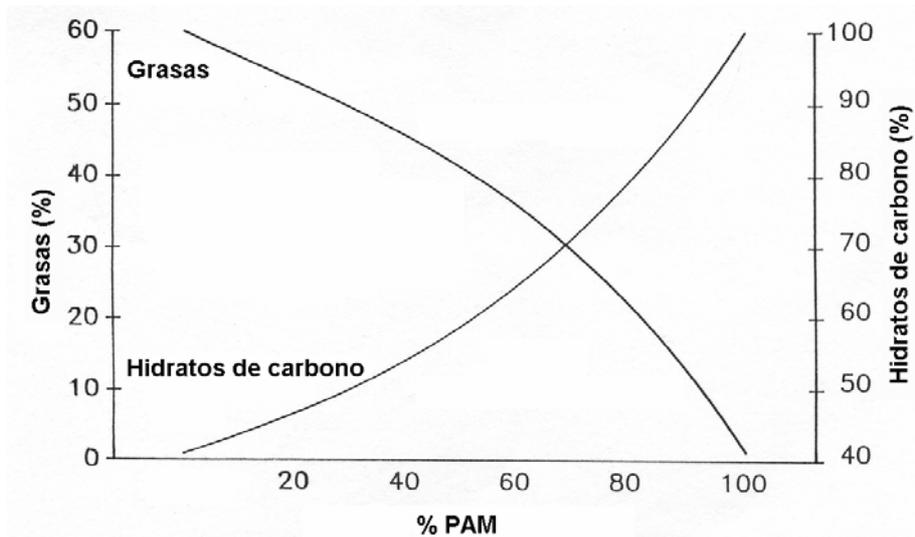


Figura 22. Esquema del concepto Cruce Metabólico (Modificado de Brooks y Mercier (48))

Por otra parte, los diferentes sistemas de producción de potencia tienen dos características fundamentales que se utilizan muy comúnmente en el ámbito del entrenamiento deportivo. Estos son los conceptos de potencia y capacidad. El concepto de potencia se refiere a la máxima producción energética que puede desarrollar por unidad de tiempo, y el de capacidad al tiempo máximo que produce energía de manera prioritaria en relación a los demás sistemas de producción de potencia.

1.3. Factores determinantes del rendimiento de las disciplinas ciclistas y especialidades del triatlón

Las diferentes modalidades ciclistas y especialidades del triatlón ofrecen una gran variedad de esfuerzos que van desde los 10 seg a las más de 6 h, tal y como se ha desarrollado en el apartado 1.1. Por lo que todos los sistemas de producción de potencia son relevantes para entender la demanda energética de estos deportes y poder evaluar con posterioridad cada uno de esos esfuerzos.

Las manifestaciones de la resistencia se han clasificado en función de la duración de la prueba como resistencia de corta (35 seg-2 min), media (2 min-10 min), larga duración tipo I (10 min-35 min), tipo II (35 min-90 min), tipo III (90 min-6 h) y tipo IV (> 6 h) (275).

Para las modalidades ciclistas de resistencia de larga duración tipo I-IV, así como para todas las especialidades del triatlón, se han identificado como mínimo 4 factores determinantes del rendimiento (108, 110, 221, 247, 293, 328, 350).

Con respecto a las modalidades de resistencia de ciclismo en pista (de los 4 Km a los 50 Km) y algunas modalidades de montaña también se han sugerido diferentes factores que determinan el rendimiento (90, 127). Y para las modalidades de velocidad de ciclismo en pista (de los 200 m al 1 Km) y las modalidades de montaña de más corta duración se ha sugerido que los factores que determinan el rendimiento (90, 359) son recogidos en la tabla 20.

	Velocidad	RCD y RMD	RLD
FDM: Fuerza dinámica máxima	***	**	*
FEM: Fuerza explosiva maxima	***	**	*
PAnAI: Potencia anaeróbica aláctica	***	*	
CAnAI: Capacidad anaeróbica aláctica	***	*	
CAnL: Capacidad anaeróbica láctica	***	*	
VO_{2máx}: Consumo máximo de oxígeno	*	***	**
T° VO_{2máx}: Tiempo en llegar al VO _{2máx}		***	*
T° límite: Tiempo límite		***	*
UAn: Umbral anaeróbico	*	**	***
% VO_{2máx}: Fracción utilizada de VO _{2máx}		**	***
Eficiencia		***	***
Economía		***	***
Depósitos CHO	**	***	***

NIVEL DE IMPORTANCIA: * Baja, ** Media y *** Alta. **RCD:** Resistencia de corta duración; **RMD:** Resistencia de media duración; **RLD:** Resistencia de larga duración.

Tabla. 20. Factores determinantes del rendimiento de las diferentes modalidades del ciclismo y especialidades del triatlón

1.3.1. Potencia aeróbica máxima, tiempo en llegar al VO_{2máx} y tiempo límite o tiempo en mantener el VO_{2máx}

La potencia aeróbica máxima o el consumo máximo de oxígeno es el ritmo más elevado de producción de energía mediante el metabolismo aeróbico, estando limitado por una serie de factores centrales y periféricos. El factor central más importantes es el gasto cardíaco (relación frecuencia cardíaca x volumen sistólico (FC x VS)) y los factores periféricos más determinantes son la capilarización, las enzimas oxidativas y el tipo de fibra muscular (67, 84, 392).

Diferentes autores han sugerido que el consumo máximo de oxígeno juega un papel importante tanto en las modalidades ciclistas con predominio del metabolismo aeróbico (90, 108, 110) como en las diferentes especialidades del triatlón (328). Parece ser que el consumo máximo de oxígeno tiene mayor importancia sobre el rendimiento en especialidades de media que en las de larga duración, siendo más determinante para las especialidades de triatlón de corta distancia (30 min -2 h) (57), que para las de larga distancia (99, 296) (4 h-7 h). Algo similar ocurre con las modalidades de resistencia de ciclismo en pista respecto a las de mayor duración en carretera o montaña. En las modalidades de pista, el poseer un elevado consumo máximo de oxígeno es muy determinante, aunque a diferencia de las especialidades de resistencia de mayor duración, también lo es ser capaz de llegar lo más rápido posible al

consumo máximo de oxígeno y mantenerlo el máximo de tiempo posible. En ese sentido se sugiere que después de los primeros 30 seg-60 seg de ejercicio a máxima intensidad, el consumo de oxígeno (VO_2) puede llegar a ser del 90 % del $VO_{2m\acute{a}x}$ (128, 200). Esa afirmación es aplicable a la persecución individual que es donde se necesitan los consumos de oxígeno más elevados, midiéndose consumos superiores a los $90 \text{ ml}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, esto es debido a que en esta modalidad se trabaja durante 4 min a una intensidad relativa muy cercana al consumo máximo de oxígeno (110-115 % del $VO_{2m\acute{a}x}$) (288). En modalidades entre los 4 Km y 50 Km no es necesario poseer un consumo máximo de oxígeno tan elevado, asemejándose más a los de pruebas de carretera ($80 \text{ ml}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en hombre y $70 \text{ ml}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en mujeres) (90). Y en las modalidades de velocidad en pista, el consumo máximo de oxígeno deja de ser un factor determinante del rendimiento. En la prueba del kilómetro, con una duración aproximada de 1 min y donde el esfuerzo medio es del 180 % del $VO_{2m\acute{a}x}$, el metabolismo aeróbico tiene una contribución del 50 % (90). Requerimientos similares tienen las modalidades de 4 cross y Slalom con duraciones de 40 seg-45 seg.

Por último, la prueba de 200 m con una duración de unos 9-10 seg y en la que se desarrolla una intensidad media del 280 % del $VO_{2m\acute{a}x}$, el metabolismo aeróbico tiene una importancia residual, con una contribución del 5 % (90).

1.3.2. Fracción utilizada de $VO_{2m\acute{a}x}$ y umbral anaeróbico

La intensidad relativa más elevada que se puede mantener en un esfuerzo de resistencia aeróbica tiene una importante relación con el umbral de lactato en sangre (UL) o con el inicio de la hiperventilación (umbral ventilatorio, UV) (84, 313). Ambos conceptos, UL y UV, han sido denominados *umbral anaeróbico* y aunque están relacionados parece ser que no se producen de forma simultánea (206).

La realización de un esfuerzo de una intensidad superior del umbral anaeróbico no puede mantenerse de forma muy prolongada en el tiempo (32). Esto se debe a factores relacionados con la aceleración de la depleción de glucógeno, reducción de la oxidación de grasas y por la acidosis metabólica (84, 353).

En las modalidades ciclistas de resistencia de larga duración tipo I-IV, se ha sugerido la importancia que tiene para el rendimiento la % $VO_{2m\acute{a}x}$, sobre todo para intensidades relativas medias y altas. Con respecto a las modalidades de bicicleta de montaña, la % $VO_{2m\acute{a}x}$ también es un factor determinante del rendimiento, sobre todo la intensidad relativa de umbral anaeróbico (108). Para las especialidades del triatlón la % $VO_{2m\acute{a}x}$ también es determinante del rendimiento (99, 294). Aunque, con respecto a la intensidad de umbral, para las especialidades de larga distancia no se ha encontrado una relación entre la % $VO_{2m\acute{a}x}$ asociada al umbral anaeróbico y el rendimiento en el sector ciclista (205). Se debe a que esta es una intensidad relativa superior a la que se desarrolla en el sector ciclista de estas especialidades (219).

A pesar de que la intensidad de umbral anaeróbico tiene relación con el rendimiento en las modalidades de resistencia en pista (91) se ha sugerido que la % $VO_{2m\acute{a}x}$ no tiene tanta importancia y ninguna en las modalidades de velocidad (108).

1.3.3. Eficiencia mecánica y economía de pedaleo

Como eficiencia se entiende aquella relación entre la producción de potencia mecánica y el consumo energético. La eficiencia y el rendimiento en ciclismo tienen una fuerte relación con las fibras musculares tipo I (lentas y altamente oxidativas) (84, 85). La economía de movimiento ha sido definida como el VO_2 requerido para una producción de potencia determinada a intensidades submáximas y está relacionada con la eficiencia muscular y con factores técnicos (84, 85).

Para las modalidades ciclistas de resistencia de larga duración tipo I-IV tanto la economía como la eficiencia son determinantes del rendimiento (84, 85, 108, 109) y también se ha sugerido para las especialidades del triatlón (99).

En este tipo de pruebas existen diferentes factores que tienen relación con la economía, como puede ser la frecuencia de pedaleo (FP). Existen evidencias de que hay una frecuencia de pedaleo con la que se reduce la fatiga neuromuscular y en la que el deportista es más económico, se trata de aquella que se escoge libremente (237, 279).

Otro factor es la capacidad de metabolizar el lactato muscular durante los diferentes esfuerzos por encima del máximo estado estable de lactato (333), ya que la progresiva disminución del pH muscular reduce la actividad enzimática glucolítica (179), en especial de la fosforilasa y fosfofructoquinasa, y como resultado disminuiría la resíntesis del ATP (162).

1.3.4. Depósitos energéticos

Durante los esfuerzos ciclistas aeróbicos de alta y moderada intensidad, los sustratos energéticos que se utilizan con prioridad por los sistemas de producción de potencia es la glucosa y el glucógeno muscular y hepático (127). Los depósitos de estos sustratos son limitantes en los esfuerzos prolongados en el tiempo debido a su depleción (79). También, se ha sugerido que la disponibilidad de glucógeno es un factor determinante en esfuerzos de resistencia de larga duración en ciclismo (355) y en triatlón de corta y larga distancia (187, 221). Por lo que, en las modalidades y especialidades del ciclismo y triatlón de resistencia aeróbica se plantean dos problemas al respecto, el primero es mantener el balance energético diario y el segundo generar energía a un ritmo elevado durante la competición tanto para triatletas (293) como para ciclistas (79).

1.3.5. Capacidad anaeróbica aláctica y láctica, potencia anaeróbica láctica, fuerza máxima y explosiva máxima

El rendimiento de las modalidades de velocidad en pista, BMX, 4 cross y Slalom dependen de la capacidad de producir la máxima cantidad de energía por unidad de tiempo. Este hecho está relacionado con la capacidad de generar una tensión intramuscular elevada y, por tanto, ofrecer unos valores de fuerza máxima y explosiva máxima elevados (359). No obstante, dentro del repertorio de estas modalidades existe un abanico de pruebas en cuanto a su duración, que van aproximadamente desde los 9 seg hasta 1 min. Por lo tanto, la implicación de los diferentes sistemas de producción de potencia es diferente.

La modalidad de menor duración es la de los 200 m con una duración aproximada de 9-10 seg, en esta prueba se desarrolla una potencia media

aproximada de unos 1.020 W (280 % del $VO_{2m\acute{a}x}$), la contribución relativa del metabolismo anaeróbico es de 40 % metabolismo de los fosfágenos y 55 % glucólisis anaeróbica, y la manifestación del metabolismo anaeróbico determinante es la capacidad anaeróbica aláctica. En la otra parte del espectro se encuentra la prueba del kilómetro con una duración aproximada de 1 minuto y en la que se desarrolla una potencia aproximada de 757 W (180 % del $VO_{2m\acute{a}x}$), la contribución relativa del metabolismo anaeróbico es de 10 % metabolismo de los fosfágenos y 50 % glucólisis anaeróbica, y la manifestación que implica es prioritariamente la capacidad anaeróbica láctica (90, 127).

Las especialidades de 4 cross, BMX y Slalom se situarían entre medio de ambas pruebas por lo que, tanto la capacidad anaeróbica aláctica como la potencia anaeróbica láctica, serán determinantes para su rendimiento.

En las modalidades de resistencia aeróbica el metabolismo anaeróbico, aunque no es determinante del rendimiento, es importante para desarrollar acciones de demarraje y en los sprints (362).

1.3.6. Otros factores que determinan el rendimiento

El factor más importante que afecta directamente a los otros factores comentados con anterioridad es el aerodinámico. A una velocidad $> 30 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$ la resistencia del aire es más del 90 % de la que el ciclista debe vencer y a $> 50 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$ se convierte en la variable más determinante al avance (141, 216). Este efecto lo puso empíricamente de manifiesto Greg Lemond en la contrareloj individual (CRI) del Tour de Francia, en 1988, donde le arrebató la victoria a Fignon en la última etapa utilizando un manillar de triatleta y por lo tanto adoptando una posición mucho más aerodinámica y eficiente (110). Por lo tanto, las modificaciones aerodinámicas juegan un papel importante en el rendimiento ciclista.

Las modificaciones morfológicas de la bicicleta, la posición del corredor, el equipamiento, la longitud de las bielas, las zapatillas y pedales influyen sobre la velocidad y el coste energético (110, 112, 132, 140, 189). Las modificaciones estructurales de la bicicleta están estandarizadas por el reglamento, pero respecto a la posición del corredor existe diferentes posibilidades.

La posición más aerodinámica y agresiva no siempre es la más idónea, ya que posiciones muy extremas son muy aerodinámicas y poco económicas (60, 132). Lo que interesa es llegar a un compromiso entre aerodinámica y comodidad (economía), que estará en función de la duración de la prueba. Por ejemplo, en la persecución individual que dura un poco más de 4 min la posición es más aerodinámica y menos económica, pero en la CRI tendrá que ser menos aerodinámica y más cómoda o económica.

Otra manera de utilizar esta ayuda es la del rebufo, diferentes autores han sugerido que ir a rueda supone una ventaja tanto para el rendimiento, tanto en ciclismo como en triatlón (151, 237, 255), reduciendo el gasto energético en más del 40 % (237).

Las mejoras del rendimiento debidas a aspectos mecánicos y biomecánicos se han clasificado en el punto 1.1.4.1. de ayuda ergogénica y aunque no se puede considerar un factor determinante del rendimiento, al incidir de una manera tan importante sobre los factores explicados más arriba se ha considerado oportuno citar en este punto.

Otro factor importante es la reposición hidroelectrolítica, esta tiene un doble objetivo, que no aumente excesivamente la temperatura corporal y asegurar la reposición hídrica y de iones como el sodio.

En las pruebas de resistencia de larga duración, cuando la sudoración es mayor a la reposición hídrica se puede llegar a un estado de deshidratación. Esta situación se produce porque el sistema cardiovascular no asegura un óptimo flujo sanguíneo a la piel para satisfacer las demandas termorreguladoras. Si la piel no recibe el suficiente flujo sanguíneo, el ejercicio tendrá que disminuir en intensidad, o se interrumpirá debido a la hipertermia (274). Se ha sugerido que la deshidratación disminuye el rendimiento en las especialidades de resistencia de larga duración (83); tanto en triatlón como en ciclismo el aumento de la temperatura central puede ser la causa de la disminución en la economía (210, 334).

Otro de los problemas es la pérdida de sodio por la sudoración, sobre todo en las pruebas de más larga duración como el Ironman (166, 167, 285). La hiponatremia puede estar aumentada hasta niveles perjudiciales para la salud

por realizar la rehidratación solo con agua (352) o una hidratación baja en sodio (297). Los síntomas de la hiponatremia son iguales que los de la deshidratación extracelular: confusión, debilidad y pérdida del conocimiento (187). Por lo tanto, para los deportistas de las modalidades ciclistas y especialidades de triatlón se asume que deben rehidratarse correctamente (187, 189).

1.4. Valoración funcional

Las pruebas de valoración funcional aplicadas al deporte han sido definidas como *la utilización de mediciones que se le realizan a un deportista con el objetivo de definir los componentes fisiológicos que contribuyen a su marca deportiva, predecir su rendimiento, prescribir intensidades de entrenamiento y controlar la evolución del mismo* (117).

Adams (3) clasifica las pruebas de valoración funcional en pruebas de laboratorio, de campo o mixtas. Las principales ventajas de las pruebas de laboratorio es que las variables estudiadas están controladas y son altamente reproducibles. Sin embargo, la actividad que realiza el sujeto es simulada y pierde especificidad (falta de confortabilidad, ausencia de la resistencia del aire). Por otra parte, en las pruebas de campo se gana especificidad aunque se pierde control y repetibilidad de las variables medidas.

En este trabajo las pruebas se han clasificado en pruebas de laboratorio y de campo.

1.4.1. Valoración funcional de laboratorio

Las pruebas de valoración funcional de laboratorio aplicadas al deporte nacen en el ámbito de la salud, concretamente por la necesidad de valorar a personas con patologías a nivel cardíaco. Estas pruebas se aplican en diferentes casos: diagnóstico diferencial, evaluación de la patología, rehabilitación, evaluación del riesgo preoperatorio, organización de los pacientes para trasplantes coronarios y evaluación de la efectividad del tratamiento. Por otra parte, este tipo de pruebas se han desarrollado tradicionalmente en cinta continua o en cicloergómetro (389).

Wasserman y col. (389) han clasificado las pruebas de laboratorio en dos grandes grupos:

a. Pruebas progresivas

submáximas o máximas: Estas pruebas consisten en un calentamiento, a continuación la carga aumenta de forma progresiva cada minuto o constantemente (en rampa), hasta alcanzar la intensidad submáxima objetivo o hasta la fatiga. Con este tipo de pruebas se evalúa la adaptación cardiopiratoria al esfuerzo, mediante electrocariograma de esfuerzo (ECG) y calorimetría indirecta (pruebas clásicas para evaluar el consumo máximo de oxígeno) (Figura 23).

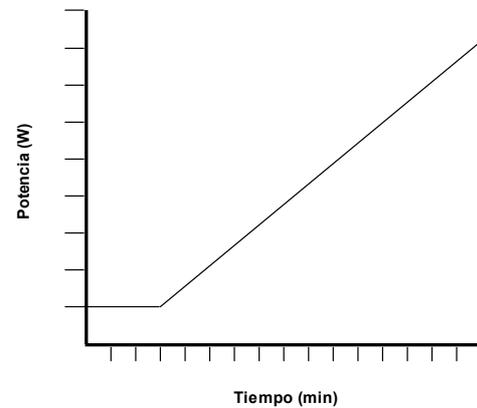


Figura 23. Esquema de prueba progresiva en rampa

b. Pruebas de carga constante:

Estas pruebas consisten en que se realiza un esfuerzo con una carga de trabajo constante. La carga de trabajo dependerá del tipo de trabajo que se quiera evaluar y del número de repeticiones que se quieran realizar. Con este tipo de pruebas se puede determinar el VO_2 pico, la cinética del intercambio de gases, el umbral láctico individual y otras variables relacionadas con diferentes enfermedades cardiorrespiratorias (Figura 24a y 24b).

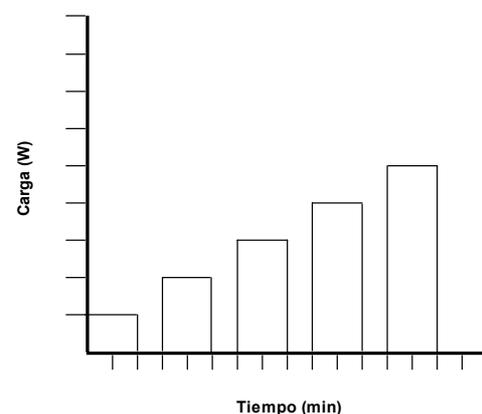


Figura 24a. Esquema de una prueba de carga constante (variante 1)

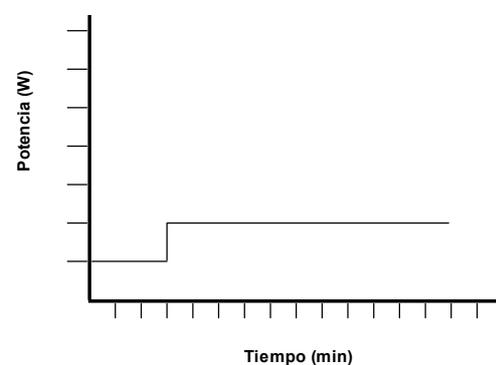


Figura 24b. Esquema de una prueba de carga constante (variante 2)

No obstante, este tipo de valoración

funcional se ha ido adaptando y aplicando al mundo del deporte por parte de los médicos especialistas en Medicina del Deporte, aunque la mayoría de veces desde un punto de vista de salud.

Desde el punto de vista del rendimiento deportivo, existe otra clasificación más específica de las pruebas de laboratorio que se aplican para evaluar las diferentes cualidades físicas (169) y, más concretamente, la adaptación al esfuerzo en ciclistas Paton y Hopkins (169). Estos autores proponen la siguiente taxonomía: pruebas de carga constante, de duración constante, de potencia constante, para evaluar la potencia crítica, incrementales para determinar el umbral anaeróbico e incrementales para determinar la potencia aeróbica máxima.

a. Protocolos de carga constante: Pruebas en que el deportista realiza una cantidad de trabajo o distancia fijas (real o simulada). Estas pruebas son buenas para evaluar los sistemas energéticos implicados de forma específica en la competición. El tiempo hasta la fatiga en este tipo de protocolos se ha definido como la disminución en un 10 % de la producción de potencia mecánica respecto de la intensidad de trabajo establecida (163, 185, 243, 310, 337) (Figura 25).

b. Protocolos de duración fija: Son similares a los anteriores, pero en este caso el sujeto debe de realizar la máxima cantidad de trabajo o cubrir la mayor distancia posible en el tiempo establecido (35, 75, 192, 345, 399) (Figura 25).

c. Protocolos de potencia constante: El sujeto mantiene constante la producción de potencia hasta la fatiga, definida como la incapacidad para mantener la potencia, velocidad o cadencia. La variable que se mide en las pruebas de potencia constante es la duración (75, 88, 139, 192, 227, 257) (Figura 25).

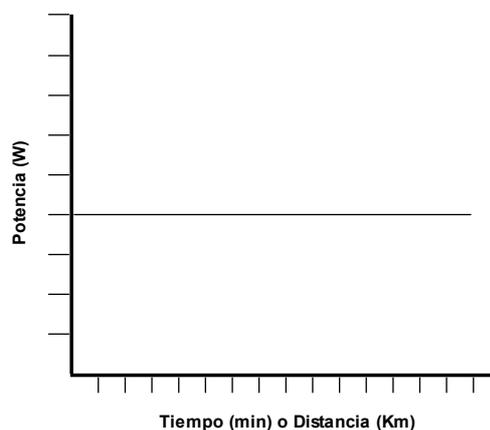


Figura 25. Esquema de una prueba de carga constante, duración fija o potencia constante

d. Protocolos para evaluar la potencia crítica: Consiste en realizar series a una potencia o carga constante, cada una de ellas realizadas a diferentes intensidades, dado que se ejecutan diferentes series y para que el rendimiento del deportista no se vea alterado, a veces, se realizan en diferentes días. La potencia y la duración de cada serie se combinan en una ecuación matemática para estimar la potencia crítica y la capacidad de trabajo anaeróbica (51, 52, 165, 277, 315, 351) (Figura 26).

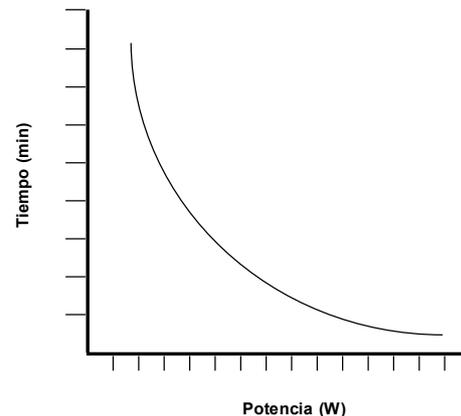


Figura 26. Esquema de una prueba para evaluar la potencia crítica

e. Protocolos incrementales para determinar el umbral anaeróbico: Consiste en realizar series a una intensidad constante pero progresivas entre ellas, normalmente se monitorizan durante toda la prueba la lactatemia ($[La^-]$) y las variables cardiorespiratorias. El umbral anaeróbico puede ser determinado por diferentes métodos: lácticos, ventilatorios y cardíacos (58, 63, 185, 258, 299, 414) (Figura 27).

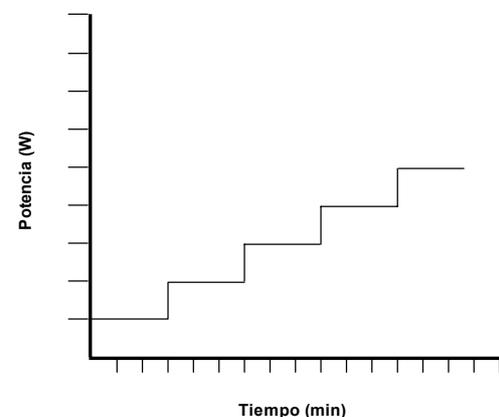


Figura 27. Esquema de una prueba para determinar la PAM

f. Protocolos incrementales para determinar la PAM: Consiste en realizar una prueba progresiva hasta la fatiga, son protocolos que tienen una duración de entre 10 y 15 min, el rendimiento es medido como la

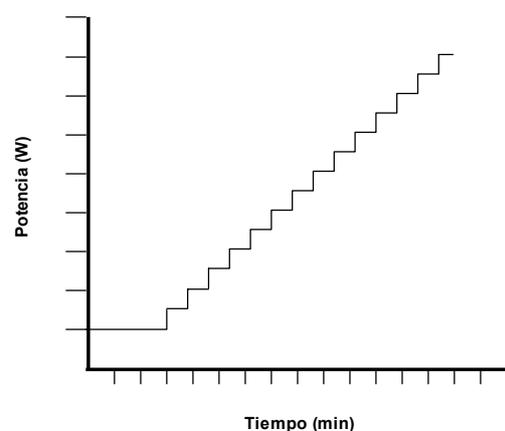


Figura 28. Esquema de una prueba para determinar el umbral anaeróbico

potencia alcanzada en el punto de fatiga, o el VO_2 más elevado medido durante el test (normalmente se calcula la media cada 30 seg ó 1 min) (17, 74, 96, 185, 206, 227, 414) (Figura 28).

Las pruebas de laboratorio se han utilizado tradicionalmente en el ciclismo y más recientemente en el triatlón como herramientas válidas para medir de forma precisa el potencial de las variables fisiológicas. El cicloergómetro ha sido el medio más utilizado para la determinación de los parámetros fisiológicos y biomecánicos en ciclistas aficionados (24, 70, 111, 278, 347), profesionales (82, 231, 298) así como en triatletas de corta y larga distancia (98, 152, 293, 415).

El rendimiento se mide como la producción de trabajo mecánico, la cual es el producto de la fuerza de rozamiento que ofrece el freno del ergómetro y la frecuencia de pedaleo.

1.4.1. Valoración funcional de campo

Desde hace décadas se ha utilizado la monitorización de algunas variables fisiológicas (i.e., FC, $[\text{La}^-]$ y VO_2) con el objetivo de cuantificar el entrenamiento en ciclistas de elite. En el pasado, realizar estas mediciones en campo entrañaba una serie de dificultades, por lo que se llevaba a cabo en el laboratorio de esfuerzo. En la actualidad gracias a la evolución tecnológica, muchas de estas variables pueden ser medidas de forma válida y fiable en situaciones de entrenamiento y competición (41).

La valoración funcional de campo en ciclistas aparece por diferentes razones: las pruebas convencionales en cicloergómetro pueden ofrecer limitaciones sobre el rendimiento en ciclistas experimentados (23, 372), son poco confortables para muchos de ellos y además no valoran la adaptación al esfuerzo en condiciones reales de entrenamiento y/o competición.

La especificidad es un aspecto muy importante a la hora de evaluar a los deportistas. En este sentido, diferentes autores han valorado a ciclistas intentando reproducir la especificidad de su entorno y con la propia bicicleta: pedaleando sobre cinta continua (148), en túnel del viento (115, 222, 340), montando la rueda trasera sobre unos rodillos (185, 402), en velódromo (22,

78, 225, 248, 302, 320, 376), en carretera (101, 255, 290, 316) e incluso por la ciudad (376). De los estudios que existen sobre pruebas específicas en ciclismo, la mayoría de ellos tratan sobre la relación entre la velocidad de desplazamiento y el gasto energético (94, 248, 255, 316, 376) o la producción de potencia mecánica (22, 101, 290) y son pocos los autores que han validado pruebas específicas. De los realizados en velódromo, algunos se han propuesto protocolos triangulares para determinar el umbral anaeróbico (mediante el método cardíaco o velocidad de deflexión (V_d)) (78), para estimar el consumo máximo de oxígeno (320, 376) y para evaluar la Potencia Aeróbica Máxima Funcional ($PAM \times VO_{2m\acute{a}x}$). Otros han propuesto protocolos rectangulares para evaluar la economía en ciclistas (248, 302). Aunque los únicos estudios encontrados en la literatura que validan un protocolo para medir variables máximas respecto a una prueba de referencia en laboratorio, aunque con sesgos metodológicos, son los de Léger y col. (225) que propusieron un protocolo triangular y Padilla y col. (302) que propusieron un protocolo rectangular, progresivo y máximo.

1.5. Determinación de intensidades de entrenamiento en modalidades y especialidades con predominio aeróbico

Se ha propuesto controlar una serie de variables metabólicas, cardiorrespiratorias y mecánicas para determinar zonas de entrenamiento y para el control del mismo, como por ejemplo: la FC, la $[La^-]$, el VO_2 o la potencia mecánica (P) (41, 191, 299, 354), tanto en ciclismo de carretera (114, 299), como de montaña (181, 354).

En las zonas de entrenamiento que proponen estos autores utilizan como referencia diferentes conceptos de umbrales descritos en la literatura (361) e incluso variables aeróbicas máximas como el consumo máximo de oxígeno o la potencia aeróbica máxima. No se trata de una mera casualidad, estas variables son utilizadas porque, como se ha comentado previamente, son factores determinantes del rendimiento en las modalidades y especialidades deportivas con predominio aeróbico.

Existen evidencias de que la frecuencia cardíaca y la producción de potencia mecánica tienen una relación lineal (304) y ambas respecto al consumo de

oxígeno (119, 129, 130). El VO_2 es un indicador de la intensidad de esfuerzo hasta alcanzar el consumo máximo de oxígeno (129). Estas referencias ocurren a diferentes % $\text{VO}_{2\text{máx}}$ y fracción utilizada de FC (% $\text{FC}_{\text{máx}}$) y que, por lo tanto, es válido expresarlo de esta manera (104, 199). Algunas de estas variables son intercambiables, por ejemplo es lo mismo trabajar con FC o VO_2 cuando ambas están expresados en % $\text{VO}_{2\text{máx}}$ (21) de aquí que, algunos autores hayan justificado el utilizar la determinación de zonas de entrenamiento en función de la FC en relación al VO_2 , P o $[\text{La}^-]$ (114, 130, 348, 354).

La determinación de ritmos de entrenamiento mediante la FC tiene sentido para las pruebas de predominio aeróbico y no para las pruebas con un predominio anaeróbico (90). En estas últimas, como en las modalidades de pista de velocidad, el 4 cross o el slalom, la única variable aeróbica interesante será evaluar la potencia aeróbica máxima (127). Para las modalidades con predominio aeróbico, algunos autores como Skinner y McLellan (348) han propuesto zonas de trabajo en función de la relación $\text{FC} / \text{VO}_{2\text{máx}}$. Dicha propuesta consta de 3 zonas de entrenamiento y están basadas en los dos umbrales ventilatorios tal y como también sugieren Meyer y col. (261). Posteriormente ha sido aplicada en ciclistas profesionales (236). Otra metodología puesta a punto por Fernández-García y col. (114) plantea 4 zonas de entrenamiento para ciclistas profesionales de carretera. En las especialidades del triatlón se ha utilizado porcentajes de la $\text{FC}_{\text{máx}}$ para determinar zonas de entrenamiento (292) (Tabla 21).

Otra manera de determinar zonas de entrenamiento es en función de la relación $\text{FC} / [\text{La}^-]$, como la propuesta de Gilman y Wells (130), en la que plantean 3 zonas de entrenamiento para ciclistas de montaña de elite. Esta metodología ha sido posteriormente aplicada en el ciclismo de carretera por Padilla y col. (298, 299) y en el de montaña por Impellizzeri y col. (181). Por el contrario, autores como Stapelfeldt y col. (354) han propuesto la determinación de zonas de entrenamiento en función FC y de la producción de potencia mecánica en relación a diferentes variables de referencia como el UA, el Umbral Láctico Individual (ULI) y la potencia aeróbica máxima. Estos autores plantean 4 zonas de entrenamiento para ciclistas de montaña de elite (Tabla 21).

Zonas de intensidades relativas de entrenamiento			
FC / VO _{2máx}	Fase III o alta intensidad	> ^a PCR ó > 90 %	Skinner y McLellan (348)
	Fase II o moderada intensidad	UV-PCR ó 65-90 %	
	Fase I o baja intensidad	< ^b UV ó 65 % VO _{2máx}	
FC / [La ⁻]	Zona dura	> ^c UL4	Gilman y Wells (130)
	Zona moderada	UL-UL4	
	Zona fácil	< ^d UL	
FC / VO _{2máx}	Zona anaeróbica (AN)	> ^e ULI (> 90 %)	Fernández-García y col. (114)
	Zona aeróbica intensa (AI)	70-90 % VO _{2máx}	
	Zona aeróbica medio (AM)	50-70 % VO _{2máx}	
	Zona de recuperación (R)	< 50 % VO _{2máx}	
UA, ULI y PAM	Zona 4	PAM	Stapelfeldt y col. (354)
	Zona 3	ULI-PAM	
	Zona 2	^f UA- ^g ULI	
	Zona 1	< ^f UA	

^a PCR: Punto de compensación respiratoria; ^b UV: Primer umbral ventilatorio; ^c UL4: Intensidad relativa correspondiente a una lactatemia de 4 mM (346); ^d UL: Intensidad relativa 1 mM por encima de los valores basales de lactato en sangre en una prueba progresiva (147); ^e ULI: Umbral láctico individual calculado mediante el método de Stegman y col. (356); ^f UA: Umbral ventilatorio (391); ^g ULI: Umbral láctico individual (28).

Tabla 21. Propuesta de zonas de entrenamiento en función de diferentes variables

Independiente de si se utiliza una metodología en función de la FC o de la potencia, parece ser que la determinación de ritmos de entrenamiento se tiene que realizar de forma periódica a lo largo de la temporada de entrenamiento. Esto es debido a que las diferentes variables como el VO₂ y la [La⁻] a intensidades submáximas y máximas se modifican con el entrenamiento (239). Dado que se ha sugerido que la producción de potencia mecánica es mucho más variable que la FC (191), la determinación de zonas de entrenamiento en función de la FC parece ser la manera más idónea, ya que es la variable que varía menos (239).

1.6. Pruebas de campo para evaluar la potencia aeróbica máxima en ciclismo

Tal y como se ha descrito en el punto 1.4., de los diferentes estudios realizados con ciclistas en velódromo muy pocos han propuesto y validado un protocolo, con el fin de estandarizar una prueba y poder ser utilizada por los técnicos.

En este sentido, los únicos protocolos que han sido validados son las pruebas de Léger y col. (225) y Padilla y col. (302), con los que se puede valorar la adaptación al esfuerzo en condiciones específicas de los ciclistas e incluso establecer ritmos de entrenamiento. La prueba de Padilla y col. (302) es un test

de carácter rectangular e invasivo, debido a que hay que tomar muestras de lactato en sangre, además de que hay que conocer previamente la potencia aeróbica máxima del deportista para poder ajustar el protocolo. Finalmente, el protocolo planteado por Léger y col. (225) aunque es triangular y no es invasivo, muestra una cantidad de sesgos importante para tener que considerar el estudio.

En consecuencia, en la literatura no se ha encontrado una prueba, con un protocolo estandarizado para una población amplia, específica, de carácter triangular, no invasiva, de fácil aplicación y económica para ser utilizada por cualquier preparador o entrenador.

Por otra parte, en la literatura existen valores de referencia interesantes de cara a tener en cuenta en las especialidades de resistencia de larga duración, como el concepto cruce metabólico o el máximo consumo de grasas, que normalmente no se han tenido en cuenta para determinar zonas de entrenamiento y que sería interesante tenerlas en consideración.

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Diseñar una prueba de campo para determinar la potencia aeróbica máxima en las modalidades ciclistas de resistencia de larga duración y especialidades de triatlón para realizar una propuesta de zonas de entrenamiento.

2.2. Objetivos secundarios

En relación al objetivo principal se desprendieron y plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. *Determinar* las variables fisiológicas máximas ($[La^-]_{máx}$, $FC_{máx}$ y $VO_{2máx}$), las submáximas correspondientes al ULI ($[La^-]$, potencia, % PAM, VO_2 y FC), el pulso de oxígeno, la economía de pedaleo y la eficiencia mecánica y las diferentes relaciones respecto al % PAM ($[La^-] / \% PAM$, $VO_2 / \% PAM$ y $FC / \% PAM$). También se analizan las mecánicas máximas (potencia aeróbica máxima, potencia relativa y frecuencia de pedaleo) de la población muestral, con el fin de caracterizar dicha muestra de estudio.
2. *Determinar* la zona de máximo ritmo de oxidación de grasas (Zona $G_{máx}$), el máximo ($G_{máx}$) y el mínimo ($G_{mín}$) ritmo de oxidación de grasas, el concepto de cruce metabólico de la población muestral, con el fin de determinar las intensidades relativas a las que se hallan.
3. *Determinar* cual de las ecuaciones existentes estima mejor la producción de potencia mecánica en función de la velocidad de desplazamiento, así como la potencia aeróbica máxima.
4. *Determinar* cual de las ecuaciones existentes en la literatura estima mejor el consumo máximo de oxígeno.

5. *Establecer* zonas de entrenamiento en función de la FC mediante la relación porcentaje de potencia aeróbica máxima y frecuencia cardíaca.
6. *Estandarizar* diferentes protocolos de campo para ciclistas y triatletas con distintos niveles de rendimiento.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS

En este apartado se ha descrito las características de los sujetos y del velódromo donde se realizaron las pruebas de campo, así como los criterios de inclusión de los sujetos para poder participar en la presente tesis doctoral. Además, se ha desarrollado y justificado las características del diseño de investigación y por lo tanto el desarrollo de las pruebas de laboratorio y campo utilizadas, así como los procedimientos para poder calcular todas las variables medidas. Por otra parte, se han citado las ecuaciones utilizadas mediante las cuales se estimó la producción de potencia mecánica y el consumo máximo de oxígeno y, por último, se han descrito los procedimientos estadísticos utilizados para tratar cada uno de los resultados de la presente tesis doctoral.

3.1. Sujetos

La presente tesis se realizó con 34 deportistas de ambos sexos de $23,8 \pm 4,7$ años y de diferentes especialidades deportivas: hombres ($n = 15$) y mujeres triatletas de corta distancia ($n = 4$), ciclistas de carretera ($n = 11$) y ciclistas de montaña ($n = 4$) de competición en activo y de diferentes niveles de rendimiento. La característica común en todos ellos fue que entrenaban y competían en bicicleta en sus respectivas modalidades y especialidades. Las características antropométricas de los diferentes grupos de estudio, su comparativa y las promedio se pueden observar en la Tabla 22.

	Talla (cm)	Masa Corporal (Kg)	IMC (Kg·m ⁻²)	ASC (m ²)	Sumatorio 6 pliegues (mm)
TRIATLÓN M	174,6 ± 6,8	73,0 ± 7,9*	23,6 ± 1,9*	1,878 ± 0,132*	44,9 ± 9,7
TRIATLÓN F	165,7 ± 6,5	60,1 ± 4,9	21,9 ± 0,1	1,664 ± 0,105	50,8 ± 4,5
CARRETERA	176,7 ± 6,8	67,1 ± 5,6	21,5 ± 1,3	1,827 ± 0,107	42,6 ± 5,3
MONTAÑA	178,1 ± 5,2	71,3 ± 7,3	22,5 ± 1,9	1,885 ± 0,108	43,4 ± 9,0
PROEMDIO	176,3 ± 6,6	69,4 ± 7,6	22,6 ± 1,8	1,837 ± 0,133	45,6 ± 11,2

* $p < 0,05$

Tabla 22. Comparativa de las variables antropométricas entre los grupos de estudio ($n = 34$)
($\bar{X} \pm DE$)

Se observó que la masa corporal del grupo de triatlón fue significativamente mayor al de triatlón femenino, el índice de masa corporal (IMC) fue estadísticamente mayor en el grupo de triatlón masculino respecto al femenino y carretera, además, el área de superficie corporal (ASC) fue estadísticamente mayor en el grupo de triatlón respecto al de triatlón femenino. No se encontraron diferencias significativas para la talla y el sumatorio de los 6 pliegues entre los diferentes grupos de estudio.

El nivel de experiencia medio en competición de los deportistas era de $4,5 \pm 1,7$ años. La tesis se llevó a cabo durante uno de los períodos competitivos de la temporada 2004 (entre el mes de mayo y agosto) de la planificación individual de los sujetos de estudio. Durante las semanas que duró el protocolo experimental el volumen de entrenamiento medio en ciclismo fue de 303 ± 72 Km·semana⁻¹.

3.1.1. Criterios de inclusión

Los sujetos que participaron en la presente tesis tuvieron que reunir por lo menos los siguientes criterios:

- a. Tener más de dos años de experiencia competitiva en ciclismo o triatlón.
- b. Estar activos en la práctica competitiva.
- c. No sufrir ninguna enfermedad o lesión que limitase su rendimiento deportivo.
- d. Tener un consumo máximo de oxígeno superior a $50 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

Los sujetos fueron escogidos con el fin de que tuviesen diferentes niveles de rendimiento para poder disponer de un rango amplio de potencia aeróbica máxima así como su VAM (Velocidad Aeróbica Máxima) de desplazamiento asociada, con el objetivo de que la estimación de la potencia a partir de la velocidad fuese representativa de la población.

La tesis y por consiguiente, los protocolos experimentales, fueron aprobados por el comité de ética del Centro de Alto Rendimiento de Sant Cugat del Vallés (CAR). Todos los sujetos fueron informados de los procedimientos y firmaron el

consentimiento informado. El nivel de motivación de los sujetos fue el óptimo ya que fueron alentados por los técnicos de la Federación Catalana de Ciclismo.

3.1.2. Variables Antropométricas

Las pruebas para la determinación de las variables antropométricas estudiadas se realizaron en el laboratorio del Departamento de Fisiología del Deporte del CAR. Esta primera fase consistió en evaluar con una primera prueba diferentes características antropométricas de todos los deportistas, con el objetivo de caracterizarlos morfológicamente.

Se midió la masa corporal mediante una báscula (Sartorius EA150FEG-1, Alemania) y la talla del sujeto mediante un tallímetro (Anyó-Sayol, España), calculándose el IMC y el sumatorio de los 6 pliegues (61) mediante un compás de pliegues (John Bull, Inglaterra). Las mediciones antropométricas se realizaron siguiendo el protocolo puesto a punto por el GREC (Grupo Español de Cineantropometría) basado en la metodología propuesta por Ross y Marfell-Jones (327).

3.2. Fase de Familiarización

Todos los sujetos participantes en el estudio estaban familiarizados con el cicloergómetro y el protocolo de laboratorio utilizados, ya que en temporadas anteriores habían sido evaluados por medio de sus respectivas federaciones en el Departamento de Fisiología del Deporte del CAR, utilizando el mismo cicloergómetro y mediante dicho protocolo.

Antes de realizar las pruebas experimentales de campo, en una primera sesión todos los sujetos se familiarizaron con la bicicleta de pista y con las características del velódromo. En una segunda sesión realizaron el protocolo en pista en las mismas condiciones en las que lo harían con posterioridad en las pruebas experimentales de campo (Figura 32).

En consecuencia, se aseguró que todos los sujetos conociesen las características exactas tanto de la bicicleta de pista que iban a utilizar, como del tipo de velódromo por donde iban a rodar así como el protocolo exacto al

que iban a ser sometidos. De esta forma se garantizó la fase previa de familiarización.

3.2.1. Características técnicas del velódromo

Las pruebas de campo se desarrollaron en el velódromo Olímpico de Barcelona situado en el barrio de Horta. El cual tenía 20 años de antigüedad, construido en agosto de 1984 para realizar los campeonatos del mundo de pista y utilizado también para celebrar las pruebas de pista de las olimpiadas de Barcelona '92, con un aforo de 3.600 espectadores. Sus características técnicas son las que se muestran en la tabla 23 y figura 29.

Anchura (m)	7,00
Diámetro (m)	43,48
Longitud ed las rectas (m)	45,90
Longitud de las curvas (m)	79,10
Ángulo de inclinación de las rectas (α)	11°42'15"
Ángulo de inclinación de las curvas (α)	41°21'16"
Longitud del borde exterior de la pista (m)	285,17
Superficie total de la pista (m²)	2023
Anchura zona azul (cm)	60,0
Línea negra o cuerda (m)	250,0
Línea roja o de sprinters (por encima de la cuerda) (cm)	90,00

* El material del velódromo era de madera de teca natural del Camerún.

Tabla 23. Características técnicas del Velódromo Olímpico de Horta en Barcelona



Figura 29. Velódromo Olímpico de Horta en Barcelona

Es importante indicar que en el centro de las dos rectas del velódromo existían dos líneas rojas pintadas perpendicularmente a estas. Se trata de las líneas de

salida de la prueba de persecución (Figura 30). También el hecho de que la línea negra o cuerda tenía una longitud de 250 m, marcada a intervalos de 5 m, por lo que las líneas de persecución delimitaban la cuerda en dos segmentos de 125 m. Todos estos datos son importantes tenerlos en cuenta para que posteriormente se entienda el protocolo de la prueba de campo.



Figura 30. Línea de persecución del Velódromo

3.2.2. Características de la bicicleta de pista

La bicicleta de pista que se utilizó tuvo una serie de características diferenciadoras respecto a otro tipo de bicicletas (Figura 31), como las bicicletas de competición de montaña o de carretera. Cuando el ciclista rueda sobre una bicicleta de pista debe conocer y tener en cuenta dos aspectos fundamentales:

- a. La bicicleta de pista no tiene frenos y por lo tanto cuando se quiere frenar hay que dejar de pedalear poco a poco e ir perdiendo, por efecto de las fuerzas de rodadura y aerodinámica, la energía cinética o velocidad de desplazamiento.
- b. La transmisión de la fuerza se realiza mediante una cadena que se engrana en un piñón fijo (Figura 32), esto conlleva que el deportista no puede dejar de pedalear en ningún momento. Además, los incrementos en la velocidad de desplazamiento se producen única y exclusivamente por el aumento en la frecuencia de pedaleo.



Figura 31. Bicicleta de pista utilizada en el estudio



Figura 32. Piñón fijo de la bicicleta de pista

3.3. Diseño de investigación

Tal y como se ha comentado con anterioridad, las pruebas de laboratorio se realizaron en el Departamento de Fisiología del Deporte del CAR, con el soporte técnico de los fisiólogos y enfermeras del mismo y las pruebas de campo en el Velódromo Olímpico de Barcelona, con el soporte de los técnicos de la Federación Catalana de Ciclismo.

3.3.1. Protocolo experimental

El protocolo experimental consistió en la realización de tres pruebas efectuadas en diferentes días. En una primera sesión los sujetos se sometieron a una prueba en cicloergómetro, la cual sirvió como prueba de referencia (*gold-standard*).

Durante la misma semana los sujetos realizaron dos sesiones de familiarización, en el velódromo, en las condiciones explicadas anteriormente. Entre una y dos semanas después de la primera prueba en laboratorio se llevó a cabo la segunda prueba, que consistió en la realización del protocolo en pista (test). La tercera y última prueba se desarrolló entre una y dos semanas más tarde respecto a la segunda (retest) (Figura 33).

Todas las pruebas se realizaron en la misma franja horaria, por la tarde, con el fin de controlar el efecto del biorritmo sobre el rendimiento (16, 100, 317). Las condiciones de entrenamiento y nutricionales en las que cada uno de los sujetos realizaron las pruebas fueron las mismas: las 48 h previas realizaron un

descanso activo, concretamente un entrenamiento aeróbico ligero (alrededor del 50 % de la PAM) en bicicleta; además los 3 días previos a cada una de las pruebas los sujetos realizaron una dieta rica en hidratos de carbono (80 %) (Dieta de sobrecompensación de hidratos de carbono) (53), con el objetivo de intentar homogeneizar las condiciones nutricionales de los sujetos y controlar esta variable.

El protocolo experimental se inició en el mes de marzo de 2004 y finalizó en el mes de agosto del mismo año.

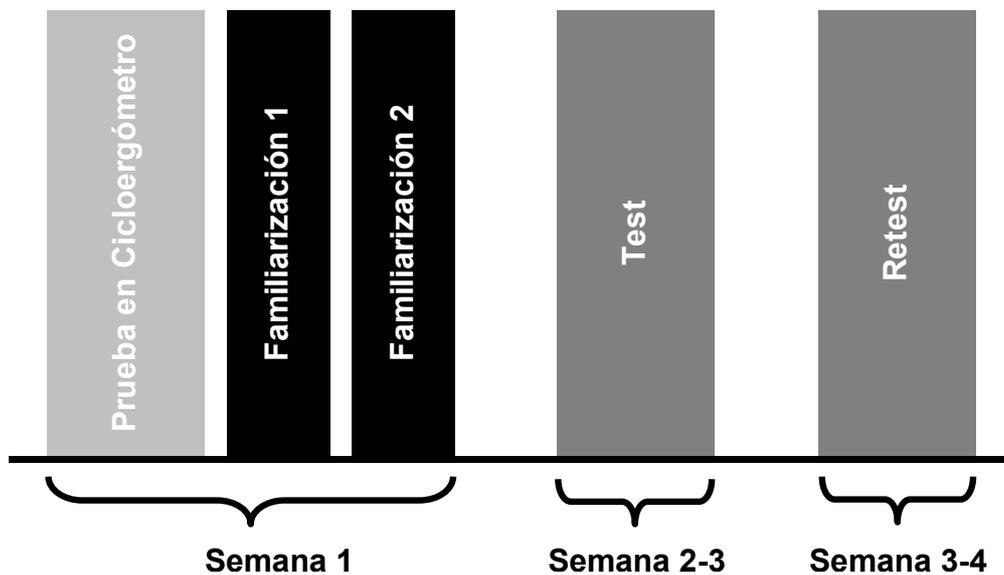


Figura 33. Cronograma de la fase experimental

3.3.1.1. Determinación de la PAM en cicloergómetro

Se realizó una prueba en laboratorio sobre un cicloergómetro de freno electromagnético (Cardgirus®, España). Tras 10 min de calentamiento a 100 W, se realizaron escalones rectangulares de 4 min de duración, sin pausa entre ellos, con incrementos de 30 W hasta alcanzar el nivel de trabajo correspondiente a un cociente respiratorio de 1 ($R \geq 1,0$). A continuación se realizaron incrementos de $10 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$ hasta que el deportista llegó al agotamiento. La frecuencia ventilatoria (FV), el volumen corriente (V_T), la fracción espirada de O_2 (FEO_2), la fracción espirada de CO_2 ($FECO_2$), el volumen ventilatorio (V_E), el cociente respiratorio (R) y el VO_2 se midieron en tiempo real, respiración a respiración, durante toda la prueba, mediante un sistema de integrado de calorimetría indirecta Quark PFT® (Cosmed, Italia).

Durante los últimos 15 seg de cada escalón se midió la $[La^-]$. Al finalizar el esfuerzo se midió la $[La^-]$ en el 3^{er} min de recuperación que se consideró como la $[La^-]_{máx}$ (121). Al final de cada escalón y hasta la determinación del umbral anaeróbico se midió la percepción subjetiva del esfuerzo (38).

El criterio para determinar el final de la prueba fue cuando se reunieron dos de las siguientes características:

- a. La cadencia de pedaleo fue inferior a 70 rpm (235, 301).
- b. El sujeto alcanzó su nivel de agotamiento (27, 34).
- c. La carga impuesta no pudo ser mantenida por el sujeto (337).

Una vez finalizada la prueba, se determinó la potencia aeróbica máxima como la máxima carga que el sujeto había podido mantener durante el minuto de duración de escalón. Cuando no fue posible mantener la carga durante 1 min y, en consecuencia, no se completó el último escalón, la potencia aeróbica máxima se calculó añadiendo la fracción de tiempo expresada en segundos del escalón no completado a la carga del último escalón completado mediante la siguiente ecuación (212):

$$PAM (W) = W_f + [(t \cdot D^{-1}) \times P]$$

donde,

W_f : Carga del último escalón completado.

t: Tiempo mantenido durante el último escalón no completado (seg).

D: Duración de los últimos escalones de la prueba (en este caso 60 seg).

P: Diferencia de potencia entre los últimos escalones (en este caso 10 W).

El consumo máximo de oxígeno se determinó como el valor promedio del VO_2 de los últimos 30 seg de esfuerzo cuando por lo menos se cumplieron dos de los criterios recomendados por la Asociación Británica de Ciencias del Deporte y el Ejercicio (45) que se pueden observar en la tabla 24:

- Meseta o *Plateau* en la relación VO_2 / intensidad del ejercicio. Definido como un incremento en el VO_2 menor a $2 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ó un 3 % con un incremento en la intensidad del ejercicio. Si se no se consigue la meseta se mide el VO_2 pico.
- Un cociente respiratorio final igual o superior a 1,15.
- Una diferencia en la FC final de $10 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ respecto a la $\text{FC}_{\text{máx}}$ estimada ($220 - \text{edad}$).
- Una $[\text{La}^-]$ en sangre postesfuerzo (4 ó 5 min) de 8 mM o superior.
- Fatiga subjetiva y agotamiento.
- Percepción subjetiva del esfuerzo de 19 ó 20 en la escala de Borg (en la escala subjetiva del esfuerzo del 6 al 20).

Tabla 24. Criterios para la determinación del $\text{VO}_{2\text{máx}}$

3.3.1.2. Determinación del umbral láctico individual en cicloergómetro

Una vez concluida la prueba en cicloergómetro, la evolución de la $[\text{La}^-]$ respecto a la potencia desarrollada se ajustó con una ecuación polinómica de segundo grado que permitió la determinación del ULI de cada uno de los sujetos de estudio.

El ULI se calculó como la mínima $[\text{La}^-]$, medida durante el desarrollo de la prueba en cicloergómetro (con una carga inicial alrededor del 30-40 % $\text{VO}_{2\text{máx}}$), más la concentración de un valor de lactato fijo establecido de $1,5 \text{ mM}$ (324) (Figura 34).

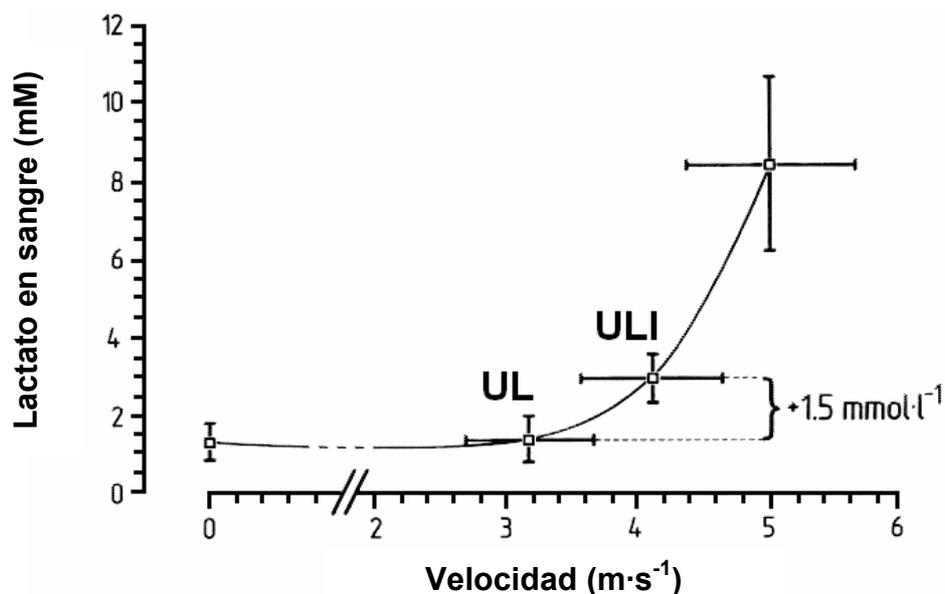


Figura 34. Ejemplo de determinación del ULI (Modificado de Roecker y col. (324))

3.3.1.3. Determinación de la economía y adaptación cardíaca al esfuerzo

Se determinó la economía para cada una de las intensidades relativas de trabajo (% PAM) expresada mediante $[La]$ y VO_2 . Así como la adaptación cardíaca expresada mediante FC y pulso de O_2 .

Además, se determinó la economía de pedaleo máxima (E) para cada una de las intensidades relativas de trabajo. Calculada como la producción de potencia mecánica en relación al VO_2 asociado, expresado en valores absolutos ($W \cdot L^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) (85).

3.3.1.4. Determinación de la eficiencia mecánica total y del diferencial de eficiencia mecánica

La GE y DE se calcularon mediante los valores promedio del VO_2 y VCO_2 de los últimos 3 minutos de cada escalón a nivel submáximo. A partir de los cuales y mediante la fórmula propuesta por Brouwer (49), se estimó el gasto energético:

$$(J \cdot s^{-1}) = [(3869 \times VO_2) + (1195 \times VCO_2)] \times (4186 / 60) \times 100$$

A continuación, se calculó la GE como la relación entre el trabajo mecánico realizado (W) respecto la energía consumida ($J \cdot s^{-1}$) expresado en porcentaje (271):

$$GE (\%) = (\text{trabajo mecánico realizado (W)} / \text{energía consumida (J} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}) \times 100 \%$$

Además, la DE se calculó como el índice de cambio de la carga cumplida $\times \text{min}^{-1}$ respecto a la energía consumida $\times \text{min}^{-1}$.

La cual se calculó mediante la regresión lineal individual ($y = ax + b$) construida con 3 ó 4 valores de eficiencia mecánica entre las intensidades del 50 y 80 % $VO_{2\text{máx}}$. Siendo la DE la inversa de la pendiente (a) expresada en porcentaje (85).

3.3.1.5. Determinación del ritmo de oxidación de grasas y del punto de cruce metabólico

Para el cálculo del ritmo de oxidación de grasas y el punto de cruce metabólico se determinaron los valores de VO_2 y VCO_2 como media de los últimos dos minutos de cada uno de los escalones, mediante calorimetría indirecta. Se estimó el ritmo de oxidación de grasas ($1,67 \times VO_2 - 1,67 \times VCO_2$) y glucosa ($4,55 \times VCO_2 - 3,21 \times VO_2$) mediante ecuaciones estequiométricas a partir del VO_2 y VCO_2 (120), en las que se asume que la excreción de nitrógeno por la orina es despreciable.

Para la determinación del ritmo de oxidación de grasas en cada uno de los sujetos de estudio se calculó el punto de máximo ritmo de oxidación de grasas ($G_{m\acute{a}x}$) ($g \cdot \text{min}^{-1}$), a partir del cual se construyó una curva del ritmo de oxidación de grasas versus a la intensidad relativa del esfuerzo ($\% VO_{2m\acute{a}x}$).

La función sirvió para calcular las siguientes variables:

- a. **$G_{m\acute{a}x}$** : Intensidad del esfuerzo a la cual se halla el mayor ritmo de oxidación de grasas.
- b. **$G_{m\acute{i}n}$** : Intensidad del esfuerzo donde el ritmo de oxidación de grasas llega a ser insignificante (cuando $R = 1,0$) o mínimo ritmo de oxidación de grasas.
- c. **Zona $G_{m\acute{a}x}$** : Rango de intensidades relativas comprendidas un 10 % por debajo de la $G_{m\acute{a}x}$, existiendo un límite inferior y otro superior respecto a la $G_{m\acute{a}x}$ ($G_{m\acute{a}x} \pm 10 \%$) o zona de máximo ritmo de oxidación de grasas.

Si la economía de los sujetos durante un escalón del protocolo fue menor de un valor arbitrario de $3,35 \text{ KJ} \cdot \text{L O}_2^{-1}$ (economía media del test progresivo menos dos veces la desviación estándar), el valor del ritmo de oxidación de grasas de ese escalón no fue tenido en cuenta para el cálculo de la Zona $G_{m\acute{a}x}$. Además de las intensidades relativas en $G_{m\acute{a}x}$ y $G_{m\acute{i}n}$, se determinaron las intensidades relativas del esfuerzo por debajo de $G_{m\acute{a}x}$ a 5 %, 10 % y 20 % para realizar una nueva función media de los sujetos estudiados (1). También, se realizó una función media para cada uno de los grupos estudiados (Triatlón masculino,

triatlón femenino, ciclismo de carretera y ciclismo de montaña), con el fin de ser comparados.

Para la determinación del punto de cruce metabólico (48) se construyó, para cada uno de los sujetos de estudio, otra curva para el ritmo de oxidación de hidratos de carbono y grasas, ambos expresados en porcentaje respecto al $G_{\text{máx}}$ y al máximo ritmo de oxidación de hidratos de carbono ($H_{\text{máx}}$), calculándose el punto de intersección entre ambos, así como la intensidad relativa asociada. Por último, se realizó una función media para cada uno de los grupos con el objeto de compararlos entre sí.

3.3.1.6. Medida directa de la potencia – sistema SRM –

En las pruebas de pista la potencia mecánica fue medida de forma directa mediante el dinamómetro de biela SRM (Schoberer Rad Meßtechnik®, Alemania). Este sistema está compuesto por 2 galgas extensiométricas situadas entre la cadena y las bielas, las cuales detectan el momento de fuerza aplicado por el ciclista sobre los pedales (*Powermeter*). La potencia es calculada mediante el producto del momento de fuerza (M) por la velocidad angular (ω) o frecuencia de pedaleo (rpm) (194).

$$\text{Potencia (W)} = \text{momento de Fuerza (Nm)} \times \text{Velocidad Angular (rad}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$$

La pendiente de la relación entre la frecuencia de las galgas extensiométricas y el momento de fuerza es calibrada durante la manufacturación y es única para cada uno de los sistemas SRM. La cual viene indicada por el fabricante y se debe de introducir cuando se empieza a utilizar el sistema por primera vez.

La potencia mecánica es transmitida inductivamente con una frecuencia de muestreo de 500 Hz, mediante un sensor y a través de un cable, a un microcomputador situado en el manillar de la bicicleta (*Powercontrol*). El sistema permite medir y almacenar la potencia, la velocidad, la frecuencia de pedaleo y la frecuencia cardíaca medias. En la presente tesis se registraron a intervalos de 0,5 seg.

El sistema SRM ha sido confirmado como válido y fiable en la determinación de los datos de producción máxima y submáxima de potencia mecánica (17).

Además de tener una relación casi perfecta cuando ha sido comparado con un motor de freno mecánico ($R^2 = 0,990$) (305), ($R^2 = 1,000$) (193, 249). Estos mismos autores han observado que la producción de potencia mecánica medida es más fiable y válida que cuando se comparan con algunos ergómetros como los Monark® (Suecia).

Por otra parte, la precisión del modelo utilizado en la presente tesis (versión profesional) está establecida en $\pm 2,5 \%$ (223), y se ha observado una baja variabilidad ($\pm 1,8 \%$ ó $\pm 2 \text{ W}$) (193).

Antes de realizar cada una de las pruebas en el velódromo, el sistema SRM fue calibrado siguiendo escrupulosamente los procedimientos recomendados por el fabricante (408), pues el sistema puede verse modificado por los cambios de temperatura y de tensión en la cadena.

Al finalizar cada una de las pruebas la información obtenida se transfería a la computadora, con el objetivo de obtener un registro de cada prueba en forma de archivo individual.

3.3.1.7. Protocolo experimental (test-retest)

El protocolo experimental consistió en una prueba de campo triangular (progresiva y máxima). La velocidad inicial se determinó en función del nivel de rendimiento del deportista. Se calculó estimando el 40 % de la PAM, a partir de la prueba de laboratorio, previamente realizada, mediante la ecuación polinómica de Di Prampero y col. (101), tal y como han procedido otros autores (302).

Los escalones tuvieron una duración de 1 min con el objetivo de no hacer muy larga la prueba y que los sujetos consiguiesen llegar a la fatiga en no más de 20 min pues en un esfuerzo de estas características los individuos tendrían que alcanzar el consumo máximo de oxígeno entre los 15 y los 20 min (33). El otro objetivo es intentar hacer coincidir la duración de las pruebas de campo con la duración de la prueba de laboratorio, que se estimó durar alrededor de ese tiempo.

Los incrementos de carga fueron muy progresivos, de 12,5 W, para que todos los sujetos se adaptasen con facilidad al protocolo. Se estimó el incremento de

velocidad para cada uno e los sujetos en función del incremento en vatios objetivo, mediante la ecuación de Di Prampero y col. (101).

La intensidad de la prueba se impuso mediante una liebre acústica construida con una aplicación informática en Excel.95, con la cual se programaba el protocolo para cada uno de los individuos. La señal sonora se utilizó mediante un PC portátil y se amplificó con un sistema de sonido colocado en el centro de la pista. Los sujetos tenían que seguir la señal acústica coincidiendo cada vez que se emitía un sonido con una de las líneas de persecución. La prueba finalizaba cuando el sujeto no capaz de mantener la velocidad impuesta y acumuló un retraso de unos 5 m respecto a la línea de referencia (línea de la prueba de persecución), tal y como han procedido otros autores (255).

Con el objetivo de estimar con posterioridad la producción de potencia mecánica y el consumo máximo de oxígeno, se controlaron las siguientes variables:

- a. El peso del sujeto vestido de ciclista así como el de la bicicleta (que se supuso constante) antes de realizar cada prueba.
- b. Los tubulares de la bicicleta fueron hinchados siempre a 8 Kg de presión y los tests se realizaron en una superficie de madera.
- c. Las variables ambientales (Temperatura (°C), Humedad (%) y Presión atmosférica (mmHg)) fueron controladas y validadas por el observatorio Fabra de Barcelona.
- d. Se despreció la resistencia del aire durante el desarrollo del protocolo experimental en velódromo, ya que la influencia que pudiese ejercer sobre el sistema bicicleta-ciclista era positiva en un sentido de la marcha y negativa en el sentido contrario.

3.3.1.8. Estimación de la producción de potencia mecánica

Existen diferentes estudios en la literatura en los que relacionan la potencia mecánica producida por el ciclista en relación a la velocidad de desplazamiento así como con otras variables y coeficientes (22, 59, 101, 215, 260, 290, 291, 395, 396) (Ecuación 1.1.-1.9.) (Apéndice 1).

Con las diferentes variables medidas en las pruebas de campo se estimó la potencia para cada uno de los escalones del protocolo de campo así como la potencia aeróbica máxima mediante las diferentes funciones propuestas en la literatura. Los resultados de estas funciones se compararon con la potencia medida directamente con el sistema SRM, evaluando cual de ellas se ajustó más, tanto a nivel submáximo como a nivel de potencia aeróbica máxima.

3.3.1.9. Estimación del $VO_{2m\acute{a}x}$

En la literatura existen diferentes estudios en los que se han propuesto fórmulas para estimar el VO_2 (8, 94, 217, 218, 255, 307, 316, 376) (Ecuación 2.1.-2.7.) (Apéndice 2) así como el consumo máximo de oxígeno (101, 158, 195, 360) (Ecuación 3.1.-3.10.) (Apéndice 3) en ciclistas, en función de diferentes variables como la velocidad de desplazamiento.

Mediante estas funciones se estimó el consumo máximo de oxígeno conseguido en el protocolo de pista por los sujetos y se comparó con el medido en laboratorio, evaluando de esta manera cual es la función que estima mejor el consumo máximo de oxígeno a partir de los datos del protocolo propuesto en pista.

3.3.1.10. Determinación de ritmos de entrenamiento y estandarización de protocolos

Mediante las diferentes variables medidas en la prueba de laboratorio se realizó una nueva propuesta para la determinación de intensidades de entrenamiento, para las especialidades de resistencia aeróbica, utilizando los conceptos de Zona $G_{m\acute{a}x}$, $G_{m\acute{a}x}$, cruce metabólico, $G_{m\acute{i}n}$ y $VO_{2m\acute{a}x}$. Una vez evaluado el protocolo de campo se estandarizó y se propuso cuatro protocolos de pruebas con el fin de ser aplicados a diferentes poblaciones, en función de su nivel de rendimiento.

3.4. Análisis estadístico

Se realizó una estadística descriptiva para el análisis del conjunto de variables estudiadas. Los valores de los resultados se presentaron como media y desviación estándar ($x \pm DE$). Se utilizó diferentes herramientas estadísticas

para la realización de cada uno de los estudios planteados, las cuales se presentan a continuación.

3.4.1. Cálculo del tamaño de la muestra

Después de realizar la prueba de laboratorio se calculó el tamaño de la muestra utilizando la desviación estándar de la potencia aeróbica máxima de los primeros 20 sujetos evaluados, para una potencia de 0,8, un error alfa de 0,05 y un error de un 5 %. El tamaño de la muestra mínimo necesario para que los resultados tengan una precisión adecuada es de 34 sujetos.

Para realizar el cálculo del tamaño de la muestra se utilizó el paquete informático *PS Power and Sample Size Calculations 2.1.30*.

El rango de potencia aeróbica máxima valorado fue amplio, por lo que se buscó una muestra heterogénea, puesto que, la inferencia solo es aplicable dentro del rango experimental cubierto por los valores de la variable independiente por lo que resultaría muy peligroso extrapolar la línea ajustada por regresión más allá de dicho rango (76). En este sentido, el rango de datos fue desde los niveles de potencia aeróbica máxima que puede tener un aficionado hasta los que pueden desarrollar un ciclista de elite o un triatleta profesional.

3.4.2. Comparación de las variables fisiológicas y mecánicas entre los diferentes grupos de estudio en la prueba de laboratorio

Para comparar las variables fisiológicas y mecánicas de la prueba en laboratorio entre los diferentes grupos de estudio se utilizó una prueba ANOVA de una vía (análisis de la varianza de una vía) (383), siendo la variable independiente la variable grupo y las variables dependientes las variables fisiológicas (V_E , $VO_{2máx}$, $FC_{máx}$, $[La^-]_{máx}$, ULI, FC_{ULI} , $Borg_{ULI}$, $G_{máx}$, Zona $G_{máx}$, $G_{mín}$, pulso de O_2), mecánicas (PAM, P_{rel} , FC_{cic} , P_{ULI} , % PAM_{ULI}), eficiencia mecánica (GE y DE) y economía (E). En caso de que este análisis resultase significativo a nivel de $p < 0,05$ se realizaron los contrastes a priori mediante la prueba de Scheffe, cuando las varianzas fueron homogéneas y de Games-Howell, cuando las varianzas no fueron homogéneas. La homogeneidad de las varianzas fue testada mediante el estadístico de Levene.

También se comparó la relación existente entre $[La^-]$, FC y VO_2 expresado de forma relativa y absoluta en relación a la % PAM, así como el pulso de oxígeno (VO_2 / FC) para las diferentes intensidades relativas de trabajo (entre el 40 % y el 100 %) y entre los diferentes grupos de estudio. Para realizar este análisis se procedió mediante la misma metodología descrita previamente.

3.4.3. Estudio de la intensidad relativa a la que sitúa el concepto de cruce metabólico

El punto de cruce metabólico se calculó igualando la función de la representación del ritmo de oxidación de grasas ($y = ax^2 + bx + c$) y de los hidratos de carbono ($y = me^{(bx)}$). Como su solución no se puede resolver mediante métodos analíticos se resolvió mediante métodos numéricos repetitivos.

3.4.4. Estudio de la fiabilidad y validez del protocolo experimental

Para medir la fiabilidad absoluta de la prueba de campo se utilizó diferentes herramientas estadísticas: la prueba t de Student, el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y el coeficiente de variación (CV). También se utilizó el error total de las variables máximas (VAM, PAM, FC y $[La^-]$) y submáximas (FC) evaluadas en las pruebas de campo y laboratorio.

Otra herramienta estadística aplicada fueron los *límites de confianza* de Altman y Bland (7) y Bland y Altman (36), más apropiada que los anteriores porque estos tienen en cuenta las diferencias individuales en el test-retest de la muestra estudiada, y aporta información sobre el sesgo o exactitud relacionados con el error sistemático y la precisión relacionada con el error aleatorio al comparar las dos mediciones del test-retest.

Por último, se utilizó el Error Estándar Medio de Predicción (EEMP), para acabar de aportar más información sobre el error sistemático y aleatorio entre el test-retest.

Estas dos últimas herramientas estadísticas se aplicaron a la potencia aeróbica máxima hallada en las pruebas de laboratorio y en las de campo.

Por otra parte, la repetibilidad de la prueba de campo se evaluó aplicando los estadísticos arriba descritos para evaluar la fiabilidad en las variables estudiadas entre el test-retest de las dos pruebas de campo realizadas. Y la validez se evaluó estudiando la fiabilidad el test-retest entre la prueba de laboratorio y el promedio de las dos pruebas de campo realizadas.

3.4.5. Estudio de la relación de las diferentes variables estudiadas

La determinación del coeficiente de correlación de Pearson se utilizó para comprobar la existencia de relaciones entre las diferentes variables estudiadas, teniéndose en consideración las relaciones cuando $r \leq 0,8$ y la significación $p < 0,05$ (280).

3.4.6. Estimación de la potencia en función de la velocidad

Para comparar las estimaciones de la producción de potencia mecánica mediante diferentes ecuaciones publicadas con la medida por el sistema SRM se calculó el EEMP, así como el error sistemático y el error aleatorio (318).

3.4.7. Estimación del % PAM en función del % VAM

Se estudió la relación % PAM - % VAM mediante una función exponencial con base logarítmica (248). Además, se calculó el coeficiente de determinación (R^2) y el error estándar de predicción absoluto y relativo (SEE y % SEE).

3.4.8. Estimación del VO_2 en función de la velocidad

Para comparar las estimaciones del consumo máximo de oxígeno indirecto mediante diferentes ecuaciones publicadas se calculó el EEMP, así como el error sistemático y el error variable (318). Además, se comparó el consumo máximo de oxígeno estimado en las pruebas de campo mediante las diferentes ecuaciones propuestas con el consumo máximo de oxígeno de laboratorio mediante la prueba t de Student, con el fin de evaluar la fiabilidad relativa. Por último, se estudió la relación existente entre el consumo máximo de oxígeno expresado de diferentes maneras ($L \cdot \text{min}^{-1}$, $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$, $L \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, $\text{mL} \cdot \text{Kg}^{-0,32} \cdot \text{min}^{-1}$, $\text{mL} \cdot \text{Kg}^{-0,75} \cdot \text{min}^{-1}$) y la Velocidad Aeróbica Máxima (VAM) mediante el coeficiente de correlación así como el SEE.

La herramienta utilizada para realizar los cálculos estadísticos fue el paquete informático SPSS 13.0 y la hoja de cálculo Excel 03.

4. RESULTADOS

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el desarrollo de la presente tesis se han agrupado de acuerdo con los objetivos planteados. En el punto 4.1 se han presentado los resultados de las variables fisiológicas y mecánicas máximas de la población muestral así como la comparación entre los diferentes grupos de estudio. En el apartado 4.2 los parámetros fisiológicos y mecánicos submáximos de la población muestral y su comparación entre los diferentes grupos de estudio. En el 4.3 la fiabilidad y validez de la prueba de campo, y en el 4.4 los datos sobre la estimación de la producción de potencia mecánica y el consumo máximo de oxígeno.

4.1. Resultados de las variables máximas obtenidas en la prueba de laboratorio

En este apartado se han expuesto los resultados de las variables fisiológicas y mecánicas máximas, medidos en la prueba de laboratorio de todos los sujetos participantes en la presente tesis, así como los resultados promedio y su comparación entre los diferentes grupos de estudio.

4.1.1. Variables fisiológicas máximas de la población muestral

La medición en la *prueba de laboratorio* de las variables cardiorrespiratorias y metabólicas máximas ofrecieron los siguientes resultados (Tabla 25):

V_E (L·min ⁻¹)	$VO_{2máx}$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	$VO_{2máx}$ (L·min ⁻¹)	$FC_{máx}$ (ppm)	$[La]_{máx}$ (mM)
157,1 ± 26,7	61,5 ± 5,9	4,2 ± 0,5	185,2 ± 11,1	8,4 ± 2,6

Tabla 25. Variables cardiorrespiratorias y metabólicas máximas ($\bar{X} \pm DE$)

4.1.2. Variables mecánicas máximas de la población muestral

La medición en la *prueba de laboratorio* de las variables mecánicas máximas ofrecieron los siguientes resultados (Tabla 26):

PAM (W)	P_{Rel} (W·kg⁻¹)	FP_{máx} (rpm)
354,7 ± 41,3	5,1 ± 0,5	87,7 ± 10,0

P_{Rel}: Potencia relativa; FP_{máx}: Frecuencia de pedaleo máxima.

Tabla 26. Variables mecánicas máximas ($\bar{X} \pm DE$)

4.1.3. Variables fisiológicas y mecánicas máximas de cada uno de los grupos de estudio en la prueba de laboratorio

La adaptación de los diferentes grupos de estudio en la prueba de laboratorio se puede observar en las Tablas 27 y 28.

	V_E (L·min⁻¹)	VO_{2máx} (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	VO_{2máx} (L·min⁻¹)	FC_{máx} (ppm)	[La⁻]_{máx} (mM)
TRIATLÓN M	162,8 ± 32,6	58,8 ± 4,4	4,2 ± 0,5 ^a	180,4 ± 11,5 ^b	8,3 ± 2,7
TRIATLÓN F	128,3 ± 13,3	58,4 ± 6,9	3,5 ± 0,2	177,0 ± 2,3	7,4 ± 3,3
CARRETERA	157,9 ± 16,2	64,8 ± 5,5	4,3 ± 0,3 ^a	190,2 ± 6,5	8,1 ± 1,8
MONTAÑA	162,8 ± 19,5	65,6 ± 5,9	4,6 ± 0,2 ^a	197,8 ± 9,5 ^c	10,4 ± 3,7

^a p < 0,001 (diferencias significativas respecto al grupo de triatlón femenino); ^b p < 0,05 (diferencias significativas respecto al grupo de montaña); ^c p < 0,05^c (diferencias significativas respecto al grupo de triatlón femenino).

Tabla 27. Variables cardiorrespiratorias y metabólicas máximas ($\bar{X} \pm DE$)

La comparación de las variables cardiorrespiratorias y metabólicas máximas entre los diferentes grupos de estudio reveló que el consumo máximo de oxígeno absoluto fue significativamente menor en el grupo de triatlón femenino respecto al de los demás grupos. La FC_{máx} tuvo una significación mayor en el grupo de montaña respecto al grupo de triatlón masculino y al grupo de triatlón femenino. Por otra parte, los promedios de la V_E, el consumo máximo de oxígeno expresado en valores relativos y la [La⁻]_{máx} no fueron significativamente diferentes entre los diferentes grupo de estudio (Tabla 27).

Respecto a las variables mecánicas máximas solo se encontraron diferencias significativas para la potencia aeróbica máxima siendo menor para el grupo de triatlón femenino respecto a los grupos de triatlón masculino y de montaña

(Tabla 28). No se encontraron diferencias significativas para la potencia aeróbica máxima entre los grupos masculinos de triatlón, montaña y carretera.

	PAM (W)	P_{Rel} (W·kg⁻¹)	FP_{máx} (rpm)
TRIATLÓN M	363,5 ± 40,4 ^a	5,0 ± 0,5	85,5 ± 12,1
TRIATLÓN F	295,0 ± 12,9	4,9 ± 0,5	93,2 ± 4,2
CARRETERA	354,5 ± 33,6	5,3 ± 0,5	87,9 ± 7,6
MONTAÑA	381,9 ± 34,0 ^a	5,4 ± 0,3	88,5 ± 13,8

^a p < 0,05 (diferencias significativas respecto al grupo de triatlón femenino).

Tabla 28. Variables mecánicas máximas ($\bar{X} \pm DE$)

4.2. Resultados de las variables submáximas obtenidas en la prueba de laboratorio

En este apartado se exponen los resultados obtenidos en la prueba de laboratorio de aquellas variables submáximas relacionadas con la economía (ULI, $[La^-] / \% PAM^{-1}$, $VO_2 / \% PAM^{-1}$, $FC / \% PAM^{-1}$, VO_2 / FC^{-1} y $W / L^{-1} O_2$), la eficiencia mecánica (GE y DE), el ritmo de oxidación de grasas y el punto de cruce metabólico.

4.2.1. Umbral láctico individual

La medición del ULI en la *prueba de laboratorio*, expresado en diferentes variables, ofreció los siguientes resultados (Tabla 29):

ULI (Mm)	P_{ULI} (W)	% PAM_{ULI} (%)	VO₂ (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	VO₂ (L·min⁻¹)	FC_{ULI} (ppm)	Borg_{ULI} (nº)
3,01 ± 0,71	263,0 ± 37,5	75,2 ± 6,6	47,9 ± 5,5	3,3 ± 0,4	157 ± 13	16,7 ± 0,8

Tabla 29. Variables cardiorrespiratorias y metabólicas submáximas, correspondientes al ULI ($\bar{X} \pm DE$)

En las tablas 30 y 31 se puede observar los valores de las diferentes variables correspondientes a la intensidad relativa del ULI para cada uno de los grupos de estudio.

En cuanto a las variables cardiorrespiratorias y metabólicas correspondientes al ULI se observó que la $[La^-]$ fue significativamente mayor para el grupo de triatlón masculino respecto al de carretera, la FC tuvo una significación mayor para el grupo de montaña respecto al de triatlón femenino y la potencia fue significativamente menor para el grupo de triatlón femenino respecto a los demás grupos. No se encontraron diferencias significativas para la FC entre los

grupos de chicos, ni para la % PAM_{ULI} entre los diferentes grupos de estudio (Tabla 30).

	ULI (mM)	P _{ULI} (W)	% PAM _{ULI} (%)	FC _{ULI} (ppm)
TRIATLÓN M	3,44 ± 0,73 ^a	264,7 ± 32,9 ^b	74,3 ± 8,6	154 ± 14
TRIATLÓN F	2,77 ± 0,79	198,9 ± 7,0	70,0 ± 0,8	143 ± 8
CARRETERA	2,53 ± 0,17	274,4 ± 29,9 ^c	77,4 ± 4,4	162 ± 8
MONTAÑA	3,07 ± 0,80	290,3 ± 19,1 ^c	77,8 ± 1,7	169 ± 7 ^d

^a p < 0,01 (diferencias significativas respecto al grupo de carretera); ^b p < 0,05 (diferencias significativas respecto al grupo de triatlón femenino); ^c p < 0,01 (diferencias significativas respecto al grupo de triatlón femenino); ^d p < 0,05 (diferencias significativas respecto al grupo de triatlón femenino).

Tabla 30. Variables cardiorrespiratorias y metabólicas submáximas, correspondientes al ULI ($\bar{X} \pm DE$)

Cuando el ULI se expresó como VO₂ en L·min⁻¹ tuvo una significación menor en el grupo de triatlón femenino respecto al resto de los grupos y no se observaron diferencias significativas entre los grupos masculinos. Cuando el ULI se expresó en mL·Kg⁻¹·min⁻¹ o en Borg_{ULI} no se observó una significancia entre los diferentes grupos (Tabla 31).

	VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	VO ₂ (L·min ⁻¹)	Borg _{ULI} (n°)
TRIATLÓN M	45,7 ± 4,3	3,2 ± 0,4 ^a	16,3 ± 0,5
TRIATLÓN F	43,2 ± 3,9	2,6 ± 0,0	16,0 ± 0,0
CARRETERA	51,3 ± 5,4	3,5 ± 0,3 ^a	17,2 ± 0,8
MONTAÑA	51,0 ± 5,1	3,6 ± 0,1 ^b	16,0 ± 0,0

^a p < 0,001 (diferencias significativas respecto al grupo de triatlón femenino); ^b p < 0,01 (diferencias significativas respecto al grupo de triatlón femenino).

Tabla 31. Valores del ULI expresado en función de diferentes variables ($\bar{X} \pm DE$)

4.2.2. Relación concentración de lactato e intensidad relativa del esfuerzo

La comparación entre la relación [La⁻] y la % PAM promedio de todos los grupos respecto a la promedio de cada uno de ellos se puede observar en la Figura 35.

Se encontraron diferencias significativas entre los grupos de triatlón masculino y de carretera para las intensidades relativas del 50 % (2,06 ± 0,75 vs. 1,13 ± 0,20, p < 0,01), 60 % (2,25 ± 0,87 vs. 1,27 ± 0,32, p < 0,01) y 70 % (3,00 ± 1,24 vs. 1,70 ± 0,41, p < 0,01) (Figura 36 y Tabla 32). Y entre el grupo de carretera y de triatlón femenino en el 80 % (3,10 ± 0,82 vs. 5,10 ± 0,58, p < 0,001) y el 90 % (5,09 ± 1,28 vs. 8,17 ± 0,52, p < 0,001) (Figura 37 y Tabla 32).

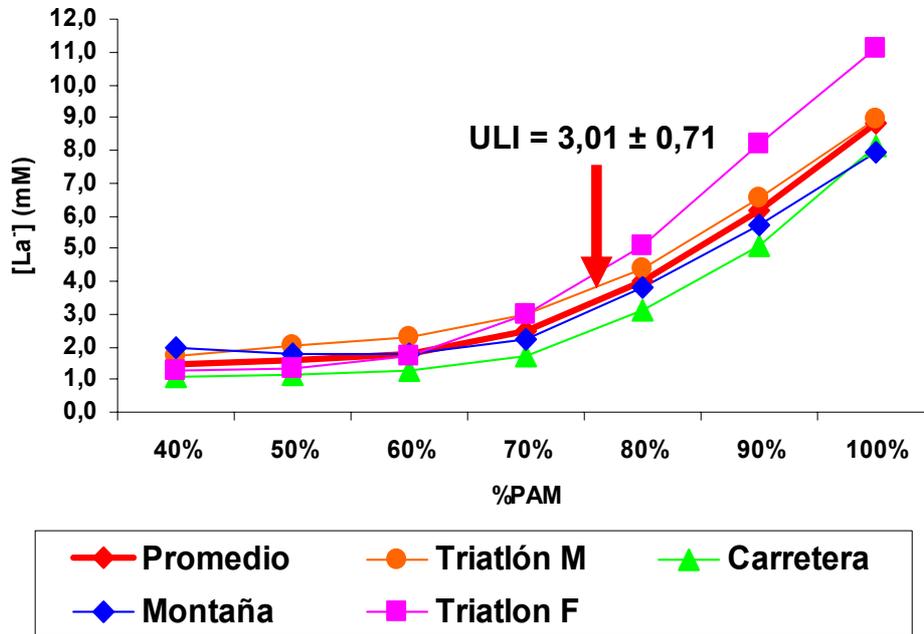
COMPARACIÓN RELACIÓN $[La^-]$ / %PAM

Figura 35. Comparación de la relación $[La^-]$ y % PAM promedio de todos los sujetos de estudio, respecto a la promedio de cada uno de los grupos

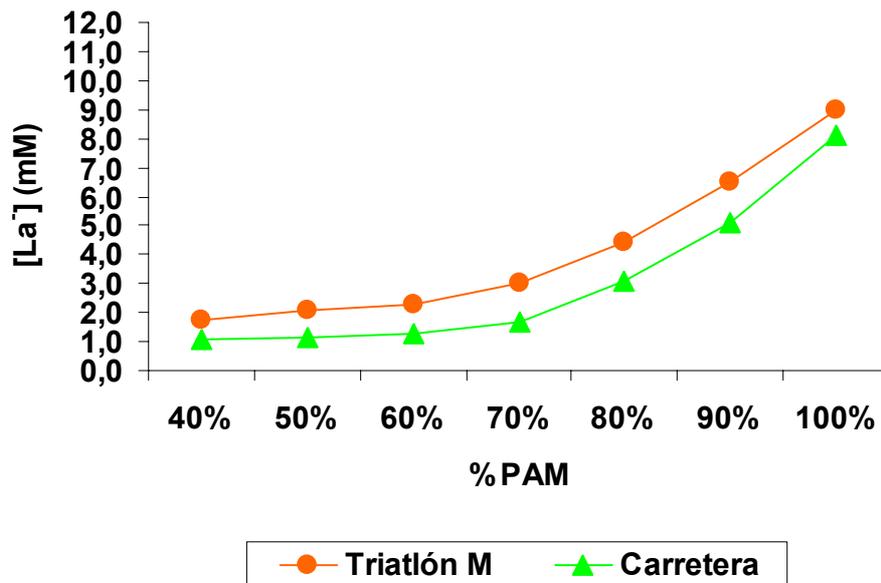
COMPARACIÓN RELACIÓN $[La^-]$ / % PAM
GRUPO TRIATLÓN M vs. CARRETERA

Figura 36. Comparación de la relación $[La^-]$ y % PAM entre los grupos de triatlón masculino y de carretera

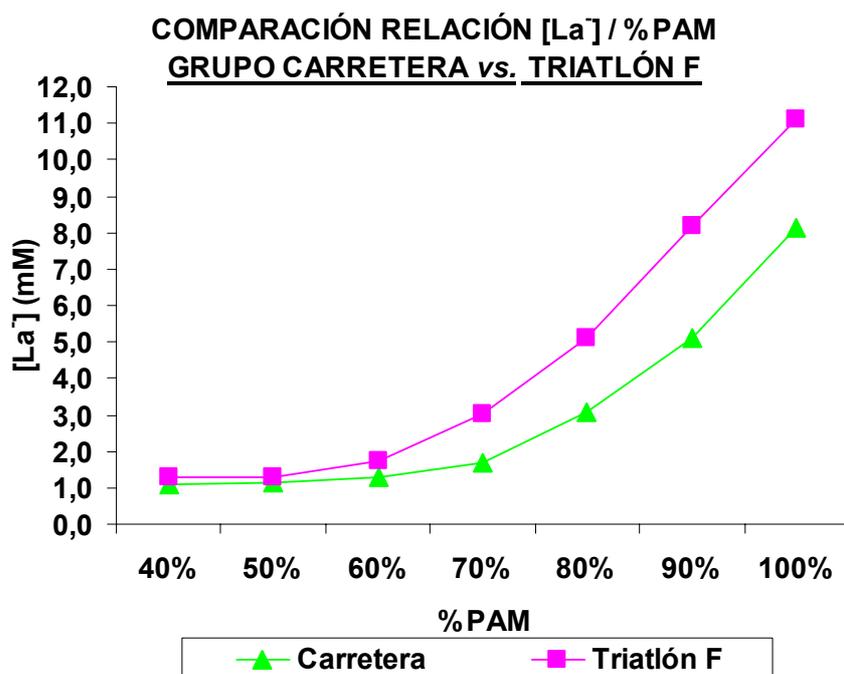


Figura 37. Comparación de la relación [La⁻] y % PAM entre los grupos de carretera y de triatlón femenino

% PAM	TRIATLÓN M	TRIATLÓN F	CARRETERA	MONTAÑA
40 %	1,74 ± 0,74	1,27 ± 0,77	1,09 ± 0,16	1,94 ± 0,44
50 %	2,06 ± 0,75 ^a	1,31 ± 0,70	1,13 ± 0,20	1,77 ± 0,61
60 %	2,25 ± 0,87 ^a	1,72 ± 0,94	1,27 ± 0,32	1,77 ± 0,96
70 %	3,00 ± 1,24 ^a	3,01 ± 0,83	1,70 ± 0,41	2,21 ± 0,82
80 %	4,41 ± 1,53	5,10 ± 0,58 ^b	3,10 ± 0,82	3,83 ± 0,64
90 %	6,53 ± 2,01	8,17 ± 0,52 ^c	5,09 ± 1,28	5,74 ± 0,68
100 %	8,96 ± 2,35	11,12 ± 0,79	8,14 ± 1,79	7,92 ± 1,08

^a p < 0,01 (diferencias significativas respecto al grupo de carretera); ^{b, c} p < 0,001 (diferencias significativas respecto al grupo de carretera).

Tabla 32. Valores de [La⁻] (mM) para cada una de las intensidades relativas de trabajo ($\bar{X} \pm$ DE)

% PAM	TRIATLÓN M	TRIATLÓN F	CARRETERA	MONTAÑA
40 %	1,9 ± 0,3	1,7 ± 0,0	1,9 ± 0,2	2,0 ± 0,2
50 %	2,3 ± 0,3 ^a	2,0 ± 0,0	2,3 ± 0,2 ^b	2,4 ± 0,2 ^b
60 %	2,7 ± 0,3 ^c	2,3 ± 0,0	2,7 ± 0,2 ^d	2,9 ± 0,1 ^c
70 %	3,1 ± 0,4 ^e	2,6 ± 0,1	3,1 ± 0,2 ^f	3,3 ± 0,1 ^e
80 %	3,5 ± 0,4 ^g	2,9 ± 0,1	3,6 ± 0,2 ^h	3,8 ± 0,2 ^g
90 %	3,9 ± 0,5 ⁱ	3,2 ± 0,1	4,0 ± 0,3 ⁱ	4,2 ± 0,2 ^j
100 %	4,2 ± 0,5 ^{k, l}	3,4 ± 0,0	4,3 ± 0,3 ^l	4,6 ± 0,2 ^m

^a p < 0,05 (diferencias significativas respecto al grupo de triatlón femenino); ^k p < 0,05 (diferencias significativas respecto al grupo de montaña); ^{b, c, e, g, i, m} p < 0,01 (diferencias significativas respecto al grupo de triatlón femenino); ^{a, d, f, h, j, l} p < 0,001 (diferencias significativas respecto al grupo de triatlón femenino).

Tabla 33. Valores de VO₂ (L·min⁻¹) para cada una de las intensidades relativas de trabajo ($\bar{X} \pm$ DE)

4.2.3. Relación consumo de oxígeno e intensidad relativa del esfuerzo

En la figura 38 presenta la relación existente entre el VO_2 y cada una de las intensidades de % PAM para cada uno de los grupos de estudio. Cuando el VO_2 se expresó en $mL \cdot Kg^{-1} \cdot min^{-1}$ no se encontraron diferencias significativas para ninguna de las intensidades relativas estudiadas entre los grupos de estudio, pero cuando se expresó en $L \cdot min^{-1}$ se observó una significancia menor para el grupo de triatlón femenino respecto a los demás grupos y para cada una de las intensidades relativas estudiadas (Tabla 33).

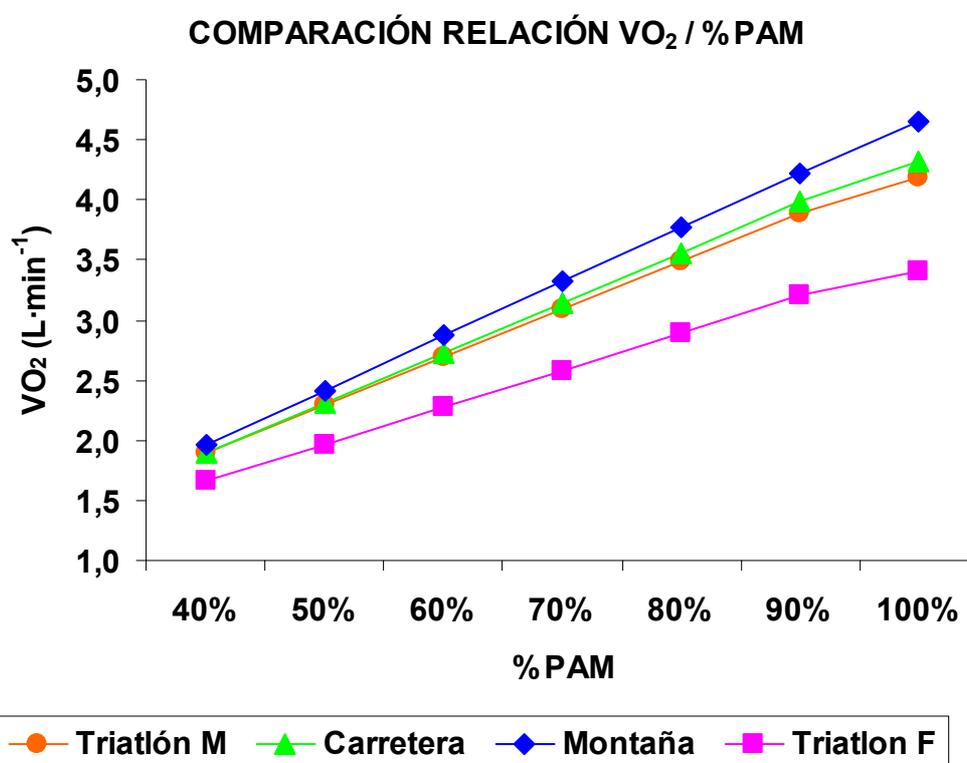


Figura 38. Comparación de la relación VO_2 / % PAM entre los diferentes grupos de estudio

4.2.4. Relación frecuencia cardíaca e intensidad relativa del esfuerzo

La comparación entre la FC y la % PAM promedio de todos los grupos respecto a la promedio de cada uno de ellos se puede observar en la figura 39.

Se observó que el grupo de montaña tuvo una FC significativamente mayor respecto a los grupos de triatlón masculino y de triatlón femenino a una intensidad relativa del 100 % de la PAM (Figura 39 y Tabla 34).

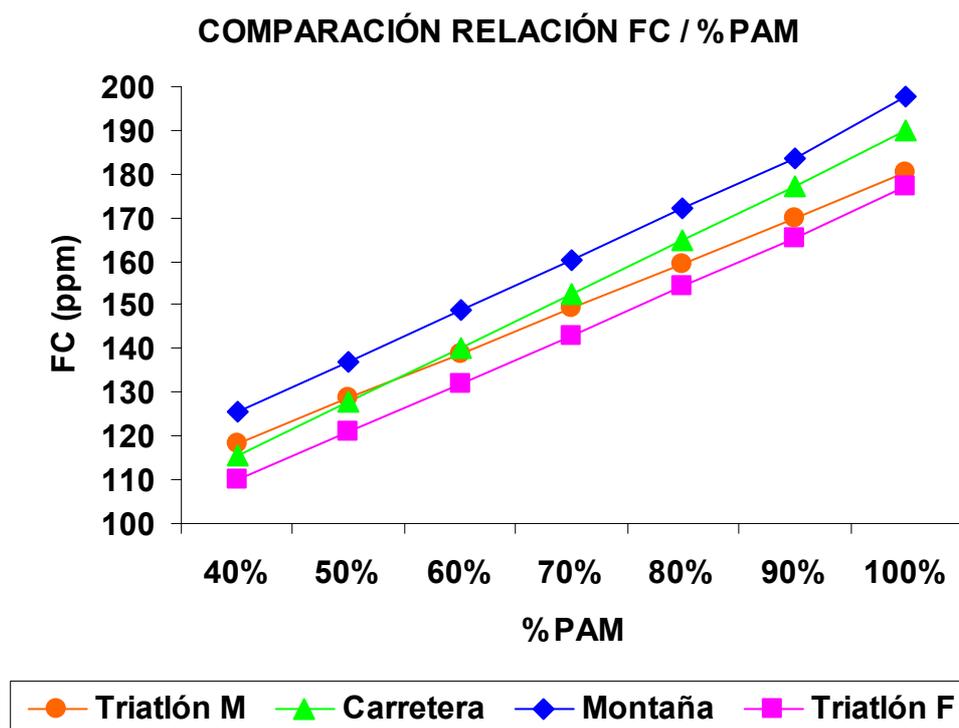


Figura 39. Comparación de la relación FC / % PAM entre los diferentes grupos de estudio

% PAM	TRIATLÓN M	TRIATLÓN F	CARRETERA	MONTAÑA
40 %	118 ± 14	110 ± 14	116 ± 11	126 ± 9
50 %	129 ± 13	121 ± 12	128 ± 10	137 ± 8
60 %	139 ± 12	132 ± 11	140 ± 9	149 ± 8
70 %	149 ± 12	143 ± 9	153 ± 8	160 ± 8
80 %	159 ± 11	154 ± 7	165 ± 8	172 ± 9
90 %	170 ± 11	165 ± 6	177 ± 8	184 ± 9
100 %	180 ± 12	177 ± 2	190 ± 7	198 ± 10 ^{a, b}

^a $p < 0,05$ (diferencias significativas respecto al grupo de triatlón masculino); ^b $p < 0,05$ (diferencias significativas respecto al grupo de triatlón femenino).

Tabla 34. Valores de las diferentes intensidades relativas expresadas en FC (ppm) ($\bar{X} \pm DE$)

4.2.5. Economía de pedaleo

La economía de pedaleo promedio de los sujetos fue de $85,1 \pm 4,7 \text{ W} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, sin encontrarse diferencias significativas entre los diferentes grupos de estudio (Tabla 35).

PROMEDIO	TRIATLÓN M	TRIATLÓN F	CARRETERA	MONTAÑA
$85,1 \pm 4,7$	$86,9 \pm 4,9$	$83,6 \pm 2,3$	$83,3 \pm 4,3$	$85,4 \pm 5,4$

Tabla 35. Valores promedio de la economía de pedaleo expresada en $\text{W} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($\bar{X} \pm DE$)

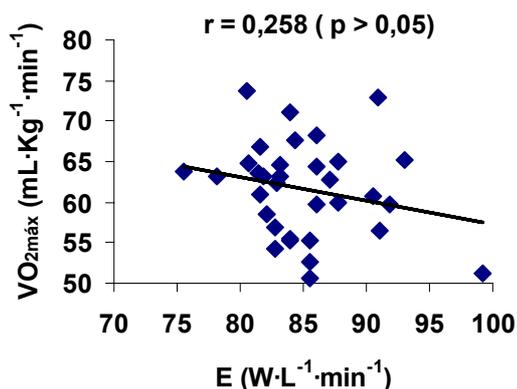


Figura 40. Relación entre $VO_{2\text{máx}}$ ($\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) y Economía ($\text{W}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)

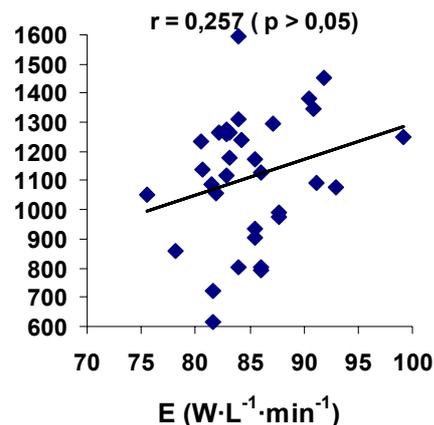


Figura 41. Relación entre $VO_{2\text{máx}}$ ($\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-0,32}\cdot\text{min}^{-1}$) y Economía ($\text{W}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)

Los valores de economía de pedaleo no tuvieron una relación significativa respecto al $VO_{2\text{máx}}$ ni expresado en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ni en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-0,32}\cdot\text{min}^{-1}$ (Figura 40 y 41).

4.2.6. Pulso de oxígeno

Respecto al pulso de oxígeno, no se observaron diferencias significativas para ninguna de las intensidades relativas entre los diferentes grupos de estudio (Tabla 36).

% PAM	TRIATLÓN M	TRIATLÓN F	CARRETERA	MONTAÑA
40 %	16,2 ± 3,3	15,3 ± 2,0	16,5 ± 2,3	15,7 ± 1,0
50 %	18,0 ± 3,3	16,4 ± 1,5	18,1 ± 2,1	17,6 ± 1,1
60 %	19,6 ± 3,3	17,3 ± 1,1	19,5 ± 2,0	19,3 ± 1,4
70 %	20,9 ± 3,4	18,1 ± 0,8	20,7 ± 1,9	20,8 ± 1,7
80 %	22,1 ± 3,5	18,8 ± 0,4	21,6 ± 1,9	22,0 ± 2,0
90 %	23,1 ± 3,6	19,4 ± 0,1	22,5 ± 1,8	23,1 ± 2,3
100 %	23,4 ± 3,5	19,3 ± 0,1	22,8 ± 1,8	23,6 ± 2,1

Tabla 36. Valores de las diferentes intensidades relativas expresadas como pulso de oxígeno en $\text{mL O}_2\cdot\text{p}^{-1}$ ($\bar{X} \pm \text{DE}$)

4.2.7. Eficiencia mecánica

En la figura 42 se puede observar la relación de la evolución entre la eficiencia mecánica total (GE) y el aumento de carga progresivo promedio de todos los sujetos de estudio.

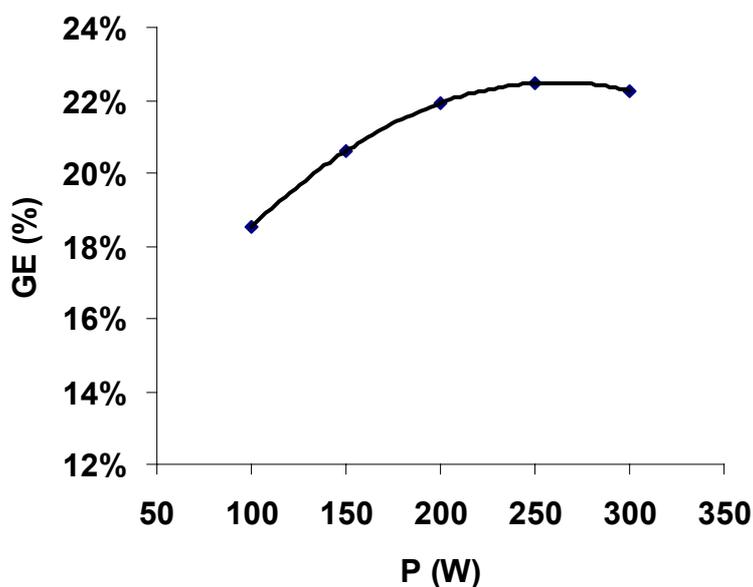


Figura 42. Cambio en la eficiencia mecánica total respecto al aumento progresivo de la carga. El ajuste de la ecuación polinómica de segundo grado fue $y = -0,000002x^2 + 0,000797x + 0,120880$ y un $R^2 = 0,956$.

La eficiencia mecánica total promedio de los sujetos fue de $22,6 \pm 1,7$ %, con un máximo de 27,8 % encontrado en el grupo de triatlón masculino. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes grupos de estudio (Tabla 37).

PROMEDIO	TRIATLÓN M	TRIATLÓN F	CARRETERA	MONTAÑA
$22,6 \pm 1,7$	$22,8 \pm 2,0$	$21,8 \pm 1,5$	$22,3 \pm 1,4$	$23,2 \pm 1,9$

Tabla 37. Valores promedio de la eficiencia mecánica total expresada en % ($\bar{X} \pm DE$)

En la figura 43 se puede observar la relación de la evolución entre el diferencial de eficiencia mecánica (DE) y el aumento de carga progresiva promedio de todos los sujetos de estudio.

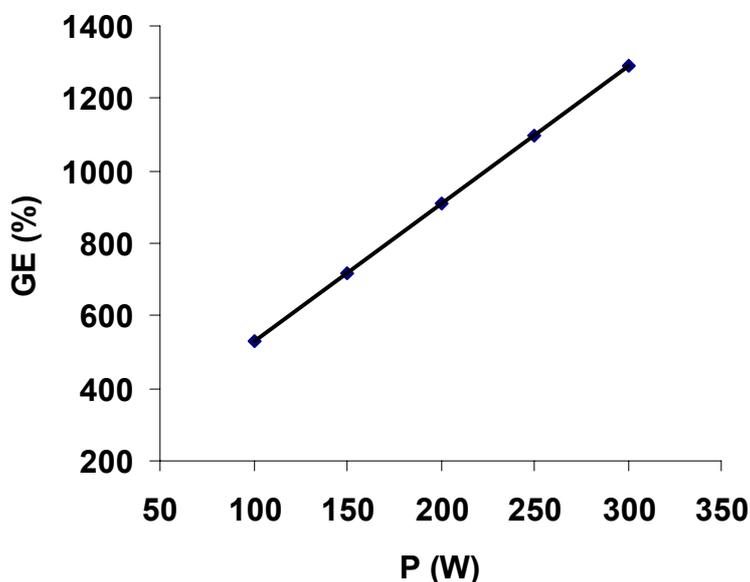


Figura 43. Cambio en el diferencial de eficiencia mecánica respecto al aumento progresivo de la carga. El ajuste de la ecuación lineal fue $y = 3,7899x + 151,57$ y un $R^2 = 0,996$

El diferencial de eficiencia mecánica promedio de los sujetos fue de $25,8 \pm 2,6$ %, con un máximo de 31,0 % encontrado en el grupo de triatlón masculino. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes grupos de estudio (Tabla 38).

PROMEDIO	TRIATLÓN M	TRIATLÓN F	CARRETERA	MONTAÑA
$25,8 \pm 2,6$	$26,1 \pm 2,5$	$25,1 \pm 3,6$	$25,1 \pm 2,3$	$27,4 \pm 2,7$

Tabla 38. Valores promedio del diferencial de eficiencia mecánica expresada en % ($\bar{X} \pm DE$) Además, los valores del DE no tuvieron una relación significativa respecto al $VO_{2m\acute{a}x}$ ni expresado en $mL \cdot Kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ni en $mL \cdot Kg^{-0,32} \cdot min^{-1}$ (Figura 45 y 47). Aunque, sí que la tuvo la GE respecto al $VO_{2m\acute{a}x}$ expresado en $mL \cdot Kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ($r = 0,500$, $p < 0,01$) y $mL \cdot Kg^{-0,32} \cdot min^{-1}$ ($r = 0,498$, $p = 0,01$) (Figura 44 y 46), a pesar de que la correlación fue baja.

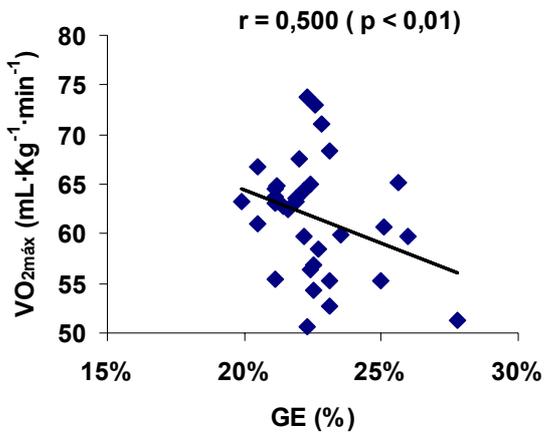


Figura 44. Relación entre $VO_{2\text{máx}}$ ($\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) y GE (%)

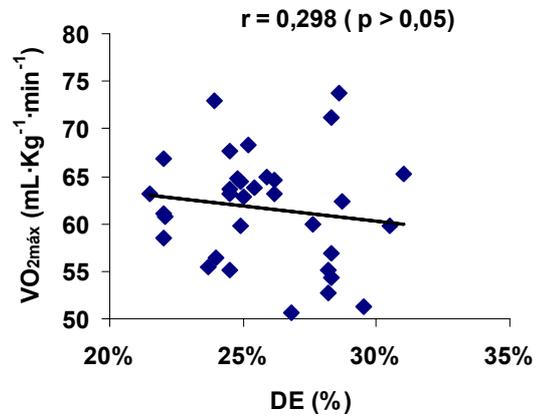


Figura 45. Relación entre $VO_{2\text{máx}}$ ($\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) y DE (%)

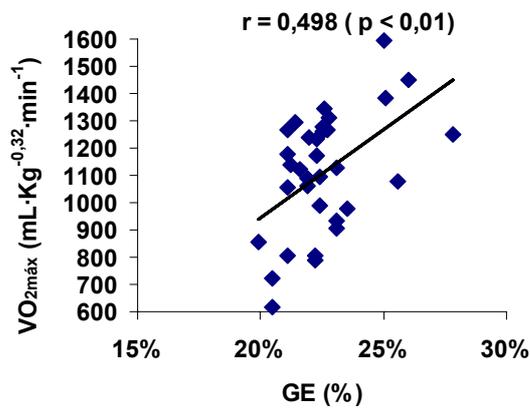


Figura 46. Relación entre $VO_{2\text{máx}}$ ($\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-0,32}\cdot\text{min}^{-1}$) y GE (%)

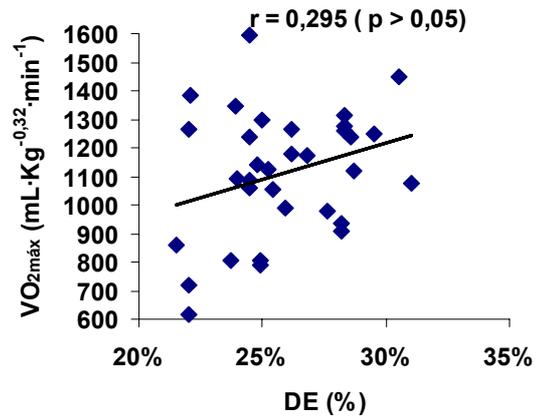


Figura 47. Relación entre $VO_{2\text{máx}}$ ($\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-0,32}\cdot\text{min}^{-1}$) y DE (%)

4.2.8. Máximo ritmo de oxidación de grasas

En la figura 48 y tabla 39 se presenta la relación existente entre el ritmo de oxidación de grasas ($\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$) y la intensidad relativa del ejercicio, expresada como % $VO_{2\text{máx}}$, promedio de todos los sujetos, así como la comparación entre los respectivos grupos estudiados.

	G (g·min ⁻¹)	Potencia (W)	VO₂máx (%)
-20 % G_{máx}	0,30 ± 0,12	115,0 ± 19,5	33,3 ± 6,6
-10 % G_{máx}	0,42 ± 0,12	150,2 ± 20,0	43,3 ± 6,6
-5 % G_{máx}	0,44 ± 0,13	167,8 ± 20,5	48,3 ± 6,6
G_{máx}	0,45 ± 0,12	181,8 ± 23,7	52,3 ± 7,0
+5 % G_{máx}	0,44 ± 0,12	199,3 ± 23,7	57,3 ± 7,0
+10 % G_{máx}	0,40 ± 0,12	216,9 ± 25,7	62,3 ± 7,0
+20 % G_{máx}	0,28 ± 0,12	251,9 ± 28,1	72,3 ± 7,0
G_{min}	0,00 ± 0,0	307,6 ± 43,3	87,8 ± 6,8

Tabla 39. Ritmo de oxidación de grasas promedio expresado en g·min⁻¹ y su relación concomitante con la % VO₂máx ($\bar{X} \pm DE$)

COMPARACIÓN RELACIÓN Ritmo Oxidación Grasas / % VO₂máx PROMEDIO

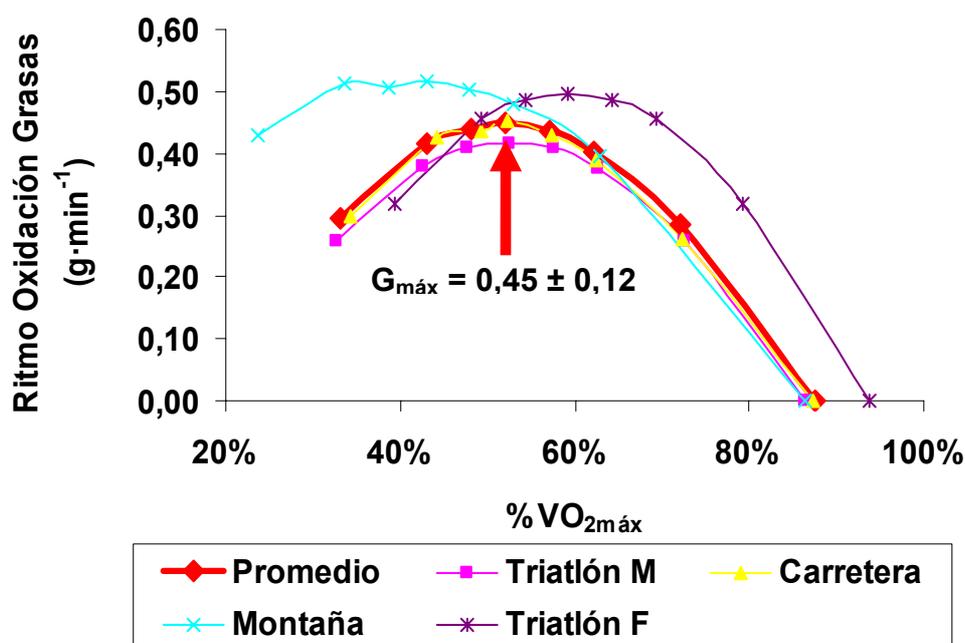


Figura 48. Comparación de la relación del ritmo de oxidación de grasas (g·min⁻¹) y la % VO₂máx promedio de todos los grupos con respecto a la de cada uno de ellos

Como se puede observar en la función, el G_{máx} fue de 0,45 ± 0,12 g·min⁻¹ y se situó a una intensidad relativa del 52,3 ± 7,0 % VO₂máx y absoluta de 182,0 ± 23,9W. La G_{min} se situó a una intensidad relativa del 87,8 ± 6,8 % VO₂máx y absoluta de 307,9 ± 43,0W.

Por otra parte, la Zona G_{máx} se situó en las intensidades relativas comprendidas entre 43,3 ± 6,6 y 62,3 ± 7,0 % VO₂máx ó entre el -8,7 ± 4,0 % y el 10,5 ± 8,4 % de la G_{máx}; y absolutas de entre 150,5 ± 20,2W y 217,1 ±

25,9W. A intensidades superiores por encima del límite superior de la Zona $G_{\text{máx}}$ (20 % $G_{\text{máx}}$) el ritmo de oxidación de grasas disminuyó marcadamente (Figura 48).

No se encontraron diferencias significativas ni para el $G_{\text{máx}}$ ni para las diferentes intensidades relativas respecto al $G_{\text{máx}}$ evaluadas (5, 10 y 20 % $VO_{2\text{máx}}$), expresado como ritmo de oxidación de grasas ($\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$) entre los diferentes grupos estudiados, ni como producción de potencia mecánica ni para los límites de la Zona $G_{\text{máx}}$ expresados en porcentajes de la diferencia respecto al $G_{\text{máx}}$.

Cuando el ritmo de oxidación de grasas se expresó en % $VO_{2\text{máx}}$ se encontraron diferencias significativas en las diferentes intensidades relativas evaluadas respecto al $G_{\text{máx}}$, excepto para la G_{min} (Figura 49-52).

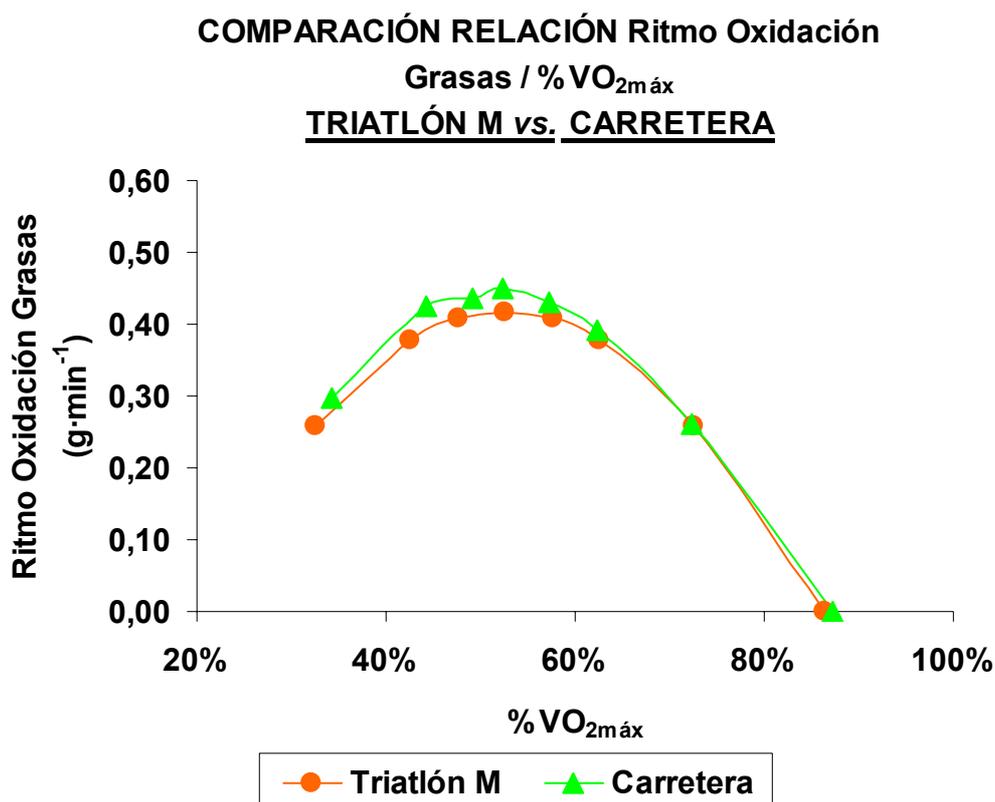


Figura 49. Comparación de la relación Ritmo Oxidación de Grasas / % $VO_{2\text{máx}}$ de los grupos de triatlón masculino y de carretera

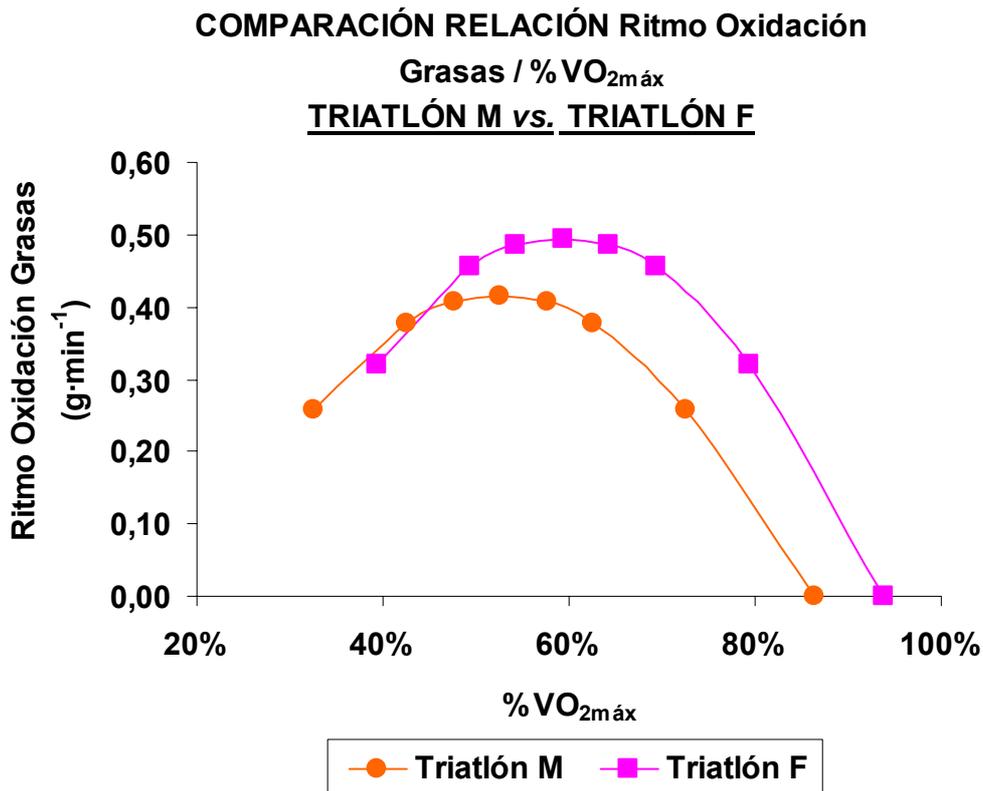


Figura 50. Comparación de la relación Ritmo Oxidación de Grasas / % VO_{2máx} de los grupos de triatlón masculino y de triatlón femenino

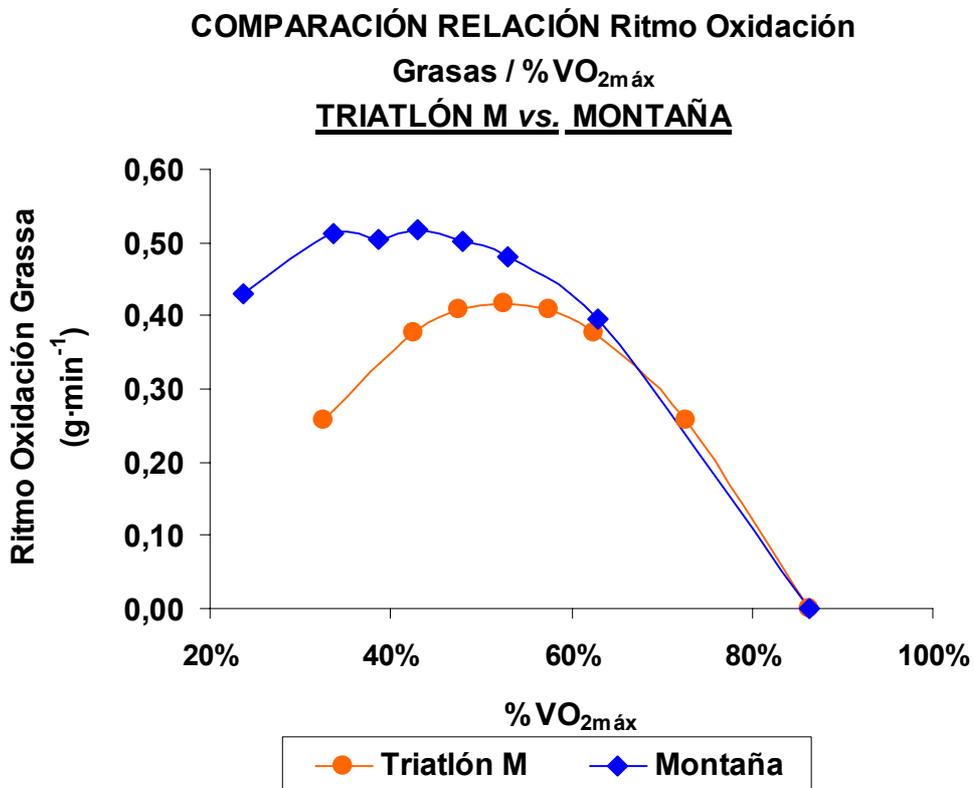


Figura 51. Comparación de la relación Ritmo Oxidación de Grasas / % VO_{2máx} de los grupos de triatlón masculino y de montaña

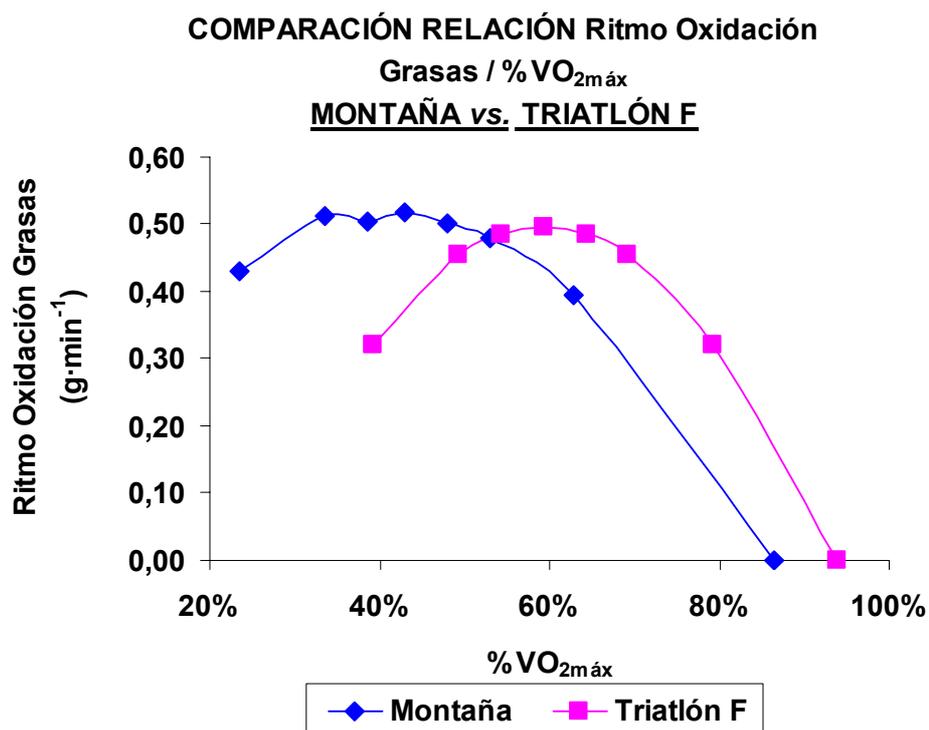


Figura 52. Comparación de la relación Ritmo Oxidación de Grasas / % VO₂máx de los grupos de montaña y de triatlón femenino

Se observó que en el grupo de montaña fue significativamente menor respecto a los de carretera y de triatlón femenino para las intensidades de -20 %, -10 % y -5 % del G_{máx}. En la intensidad de G_{máx}, +20 %, +10 % y + 5 % del G_{máx} el grupo de montaña se obtuvieron valores con una significancia inferior respecto al grupo de triatlón masculino y de triatlón femenino, y el de triatlón masculino en comparación al de triatlón femenino (Tabla 40).

% PAM	TRIALIÓN M	TRIALIÓN F	CARRETERA	MONTAÑA
-20 % G _{máx}	32,6 ± 5,3	39,3 ± 0,8 ^b	34,2 ± 6,5 ^a	23,6 ± 5,2
-10 % G _{máx}	42,6 ± 5,3	49,3 ± 0,8 ^b	44,2 ± 6,5 ^a	33,6 ± 5,2
-5 % G _{máx}	47,3 ± 5,3	54,3 ± 0,8 ^b	49,2 ± 6,5 ^a	38,6 ± 5,2
G _{máx}	52,6 ± 5,3	59,3 ± 0,8 ^{d, e}	52,3 ± 7,2	43,0 ± 4,4 ^c
+5 % G _{máx}	57,6 ± 5,3	64,3 ± 0,8 ^{d, e}	57,3 ± 7,2	48,0 ± 4,4 ^c
+10 % G _{máx}	62,6 ± 5,3	69,3 ± 0,8 ^{d, e}	62,3 ± 7,2	53,0 ± 4,4 ^c
+20 % G _{máx}	72,6 ± 5,3	79,3 ± 0,8 ^{d, e}	72,3 ± 7,2	63,0 ± 4,4 ^c
G _{min}	86,4 ± 5,4	93,8 ± 3,0	87,3 ± 8,6	86,4 ± 7,8

a, b, e p < 0,05 (diferencias significativas respecto al grupo de Montaña); c p < 0,05 (diferencias significativas respecto al grupo de Triatlón masculino); d p < 0,01 (diferencias significativas respecto al grupo de Triatlón masculino).

Tabla 40. Valores de las diferentes intensidades relativas respecto al G_{máx} expresado en % VO₂máx ($\bar{X} \pm DE$)

Por último, se observó que el $G_{m\acute{a}x}$ no correlacionó con el índice de masa corporal (Figura 53), y una muy baja correlación con el consumo máximo de oxígeno (Figura 54).

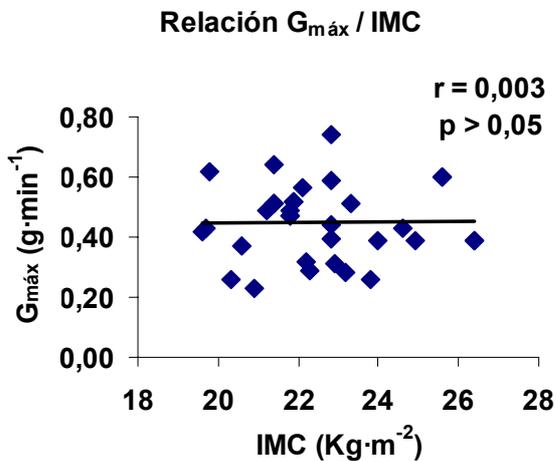


Figura 53. Relación entre el $G_{m\acute{a}x}$ y el IMC

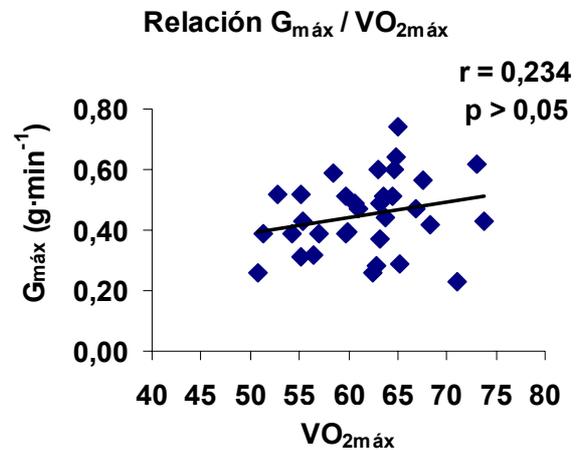


Figura 54. Relación entre el $G_{m\acute{a}x}$ y el $VO_{2m\acute{a}x}$

4.2.9. Cruce metabólico

En la figura 55 se presentó la relación existente entre el ritmo de oxidación de grasas ($g \cdot min^{-1}$) y de hidratos de carbono en relación a la intensidad relativa del esfuerzo, expresada como $\% VO_{2m\acute{a}x}$, promedio de todos los sujetos de estudio. El ritmo de oxidación de grasas se representó mediante la función polinómica de segundo grado: $y = -3,6383x^2 + 3,818x - 0,5604$ y el de hidratos de carbono mediante la función exponencial con base neperiana: $y = 0,3331e^{3,1514x}$.

En la figura 56 se representa la relación que se estableció entre el ritmo de oxidación de grasas y de hidratos de carbono, expresados en %, en relación a la intensidad relativa del ejercicio, expresada como $\% VO_{2m\acute{a}x}$, promedio de todos los sujetos de estudio. Mediante la cual se calculó el punto de cruce metabólico promedio de todos los sujetos de estudio. El ritmo de oxidación de grasas se representó mediante la siguiente función polinómica de segundo grado: $y = -8,1838x^2 + 8,625x - 1,2963$ y el de hidratos de carbono mediante la siguiente función exponencial con base neperiana: $y = 0,0453e^{3,0828x}$.

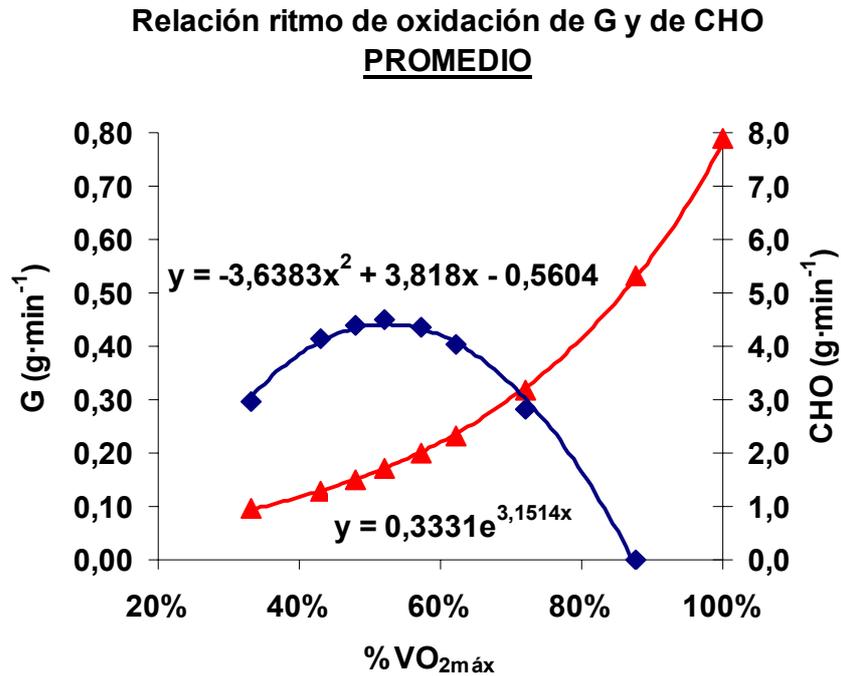


Figura 55. Ritmo de oxidación de grasas (G) y de hidratos de carbono (CHO) en relación a la intensidad relativa (% $VO_{2máx}$)

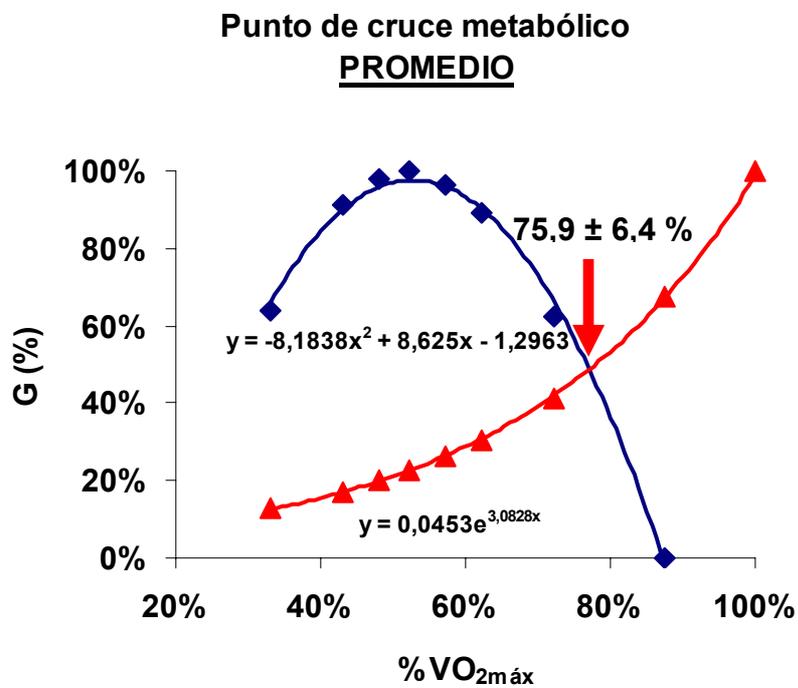


Figura 56. Cálculo del punto de cruce entre el metabolismo aeróbico glucolítico y lipolítico o punto de cruce metabólico

Una vez comparados los diferentes conceptos fisiológicos estudiados ($G_{\text{máx}}$, $G_{\text{mín}}$, cruce metabólico y ULI) el $G_{\text{máx}}$ se encontró a una intensidad significativamente menor respecto a la de cruce metabólico, al ULI y al $G_{\text{mín}}$; además, el cruce metabólico y el ULI fueron significativamente inferiores al $G_{\text{mín}}$, todos ellos expresados como producción de potencia mecánica, % $VO_{2\text{máx}}$ ritmo de oxidación de grasas y de hidratos de carbono. No se encontraron diferencias significativas para la intensidad relativa a la que se situó el cruce metabólico y el ULI (Tabla 41).

Por último, no se encontraron diferencias significativas en el punto de cruce metabólico entre los diferentes grupos de estudio, expresado en producción de potencia mecánica, % $VO_{2\text{máx}}$, ritmo de oxidación de grasas e de hidratos de carbono.

	$G_{\text{máx}}$	Cruce metabólico	ULI	$G_{\text{mín}}$
Potencia (W)	181,8 ± 23,7 ^{a, b, c}	267,5 ± 35,1 ^d	263,7 ± 38,9 ^e	307,6 ± 43,3
% $VO_{2\text{máx}}$	52,1 ± 6,8 ^{f, g, h}	75,9 ± 6,4 ⁱ	75,2 ± 6,6 ^j	87,6 ± 6,9
G ($\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$)	0,45 ± 12,0 ^{k, l, m}	0,24 ± 0,08 ⁿ	0,25 ± 0,18 ^ñ	0,00 ± 0,0
CHO ($\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$)	2,33 ± 0,51 ^{o, p, q}	3,06 ± 0,74 ^r	3,56 ± 0,97 ^s	5,31 ± 1,18

a, f, k, o p < 0,001 (diferencias significativas respecto al cruce metabólico); b, g, l, p p < 0,001 (diferencias significativas respecto al ULI); c, h, m, q, d, i, n, r, e, j, ñ, s p < 0,001 (diferencias significativas respecto al $G_{\text{mín}}$).

Tabla 41. Comparación de la intensidad relativa y absoluta a la que se encuentra el $G_{\text{máx}}$ y el cruce metabólico, ULI y $G_{\text{mín}}$ ($\bar{X} \pm \text{DE}$)

4.3. Fiabilidad y validez del protocolo triangular realizado en pista

Respecto a las *pruebas de campo*, la medición de las variables cardíacas, metabólicas y mecánicas máximas (Tabla 42) proporcionaron los siguientes resultados:

PAM (W)	P_{Rel} ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$)	VAM ($\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$)	$FP_{\text{máx}}$ (rpm)	$FC_{\text{máx}}$ (ppm)	$[\text{La}]_{\text{máx}}$ (mM)
407,8 ± 61,9	5,9 ± 0,8	41,6 ± 1,8	99,7 ± 3,9	184,4 ± 12,1	6,9 ± 1,6

Tabla 42. Variables mecánicas, cardíacas y metabólicas máximas ($\bar{X} \pm \text{DE}$)

4.3.1. Variables fisiológicas, mecánicas y ambientales de las pruebas de campo

La adaptación de la población muestral en los diferentes protocolos de campo así como la comparación de las medias de las variables estudiadas entre el test y retest se pueden observar en la tabla 43.

	Prueba de campo (test)	Prueba de campo (Retest)
P_o (W)	51,4 ± 6,3	51,6 ± 6,2
ΔP (W)	11,7 ± 1,9	11,7 ± 1,6
PAM (W)	404 ± 63	412 ± 64
V_{OSRM} (Km·h ⁻¹)	30,6 ± 1,8	30,7 ± 1,5
ΔV (Km·h ⁻¹)	0,65 ± 0,04	0,65 ± 0,03
$V_{máxSRM}$ (Km·h ⁻¹)	41,5 ± 1,7	41,8 ± 1,8
$V_{máxOb}$ (Km·h ⁻¹)	41,1 ± 1,8	41,3 ± 1,7
$FC_{máx}$ (ppm)	185 ± 11	186 ± 12
$[La]_{máx}$ (mM)	6,9 ± 1,7	7,0 ± 1,8
$FP_{máx}$ (c·min ⁻¹)	99 ± 4	100 ± 4
V_{viento} (Km·h ⁻¹)	1,9 ± 2,1	1,6 ± 1,7
T° (min:seg)	17:38 ± 02:07	18:12 ± 02:01
Escalones (n°)	17,8 ± 2,2	18,2 ± 2,1
T ^a (°C)	20,3 ± 5,0	21,1 ± 4,6
H (%)	62,1 ± 15,1	68,0 ± 16,6
Pb (mmHg)	728,4 ± 3,6	728,1 ± 3,5

Tabla 43. Valores de las variables medidas en ambas pruebas de campo ($\bar{X} \pm DE$)

No se encontraron diferencias significativas entre las medias de las diferentes variables estudiadas entre las dos pruebas de campo.

En la realización de la prueba de campo se evidenció el efecto curva producido, muy probablemente por las características morfológicas del velódromo (Figura 57).

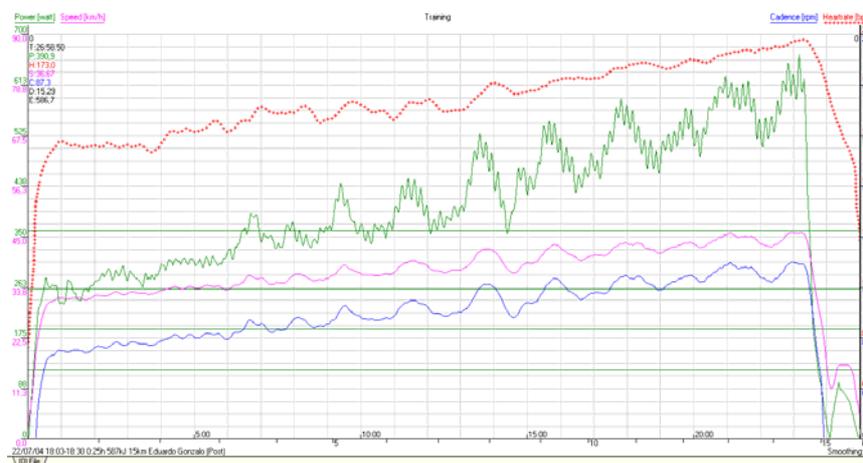


Figura 57. Monitorización de una prueba de velódromo en la que se evidencia el efecto curva

La comparación de las medias de los resultados de la prueba de laboratorio respecto a la media de las dos pruebas de campo se pueden observar en la tabla 44.

	Laboratorio	Campo
P _O (%)	28,6 ± 3,4	51,5 ± 5,4***
ΔP (W)	20,6 ± 4,6	11,7 ± 1,4***
PAM (W)	354,7 ± 41,3	407,8 ± 61,9***
FC _{máx} (ppm)	185,2 ± 11,1	184,4 ± 12,1
[La ⁻] _{máx} (mM)	8,4 ± 2,6	6,9 ± 1,6**
FP _{máx} (c·min ⁻¹)	87,7 ± 10,0	99,7 ± 3,9***
T ^o (min:seg)	23:54 ± 03:27	17:55 ± 01:53***
T ^a (°C)	21,8 ± 1,9	20,7 ± 4,0
H (%)	59,7 ± 7,3	65,0 ± 13,0*
Pb (mmHg)	747,7 ± 12,0	728,2 ± 2,8***

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001.

Tabla 44. Valores de las variables medidas en la prueba de laboratorio y de campo ($\bar{X} \pm DE$) Se encontraron diferencias significativas entre algunas de las variables estudiadas, destacando las diferencias en el protocolo (P_O, ΔP y T^o) y de variables máximas como la PAM, [La⁻]_{máx} y FP_{máx}.

4.3.2. Fiabilidad y validez de la prueba de campo

La fiabilidad y validez del protocolo de campo propuesto se presentan a continuación, teniendo en cuenta las variables de PAM y FC, para el estudio de la validez, e incluyendo el de la VAM para el estudio de la repetibilidad.

4.3.2.1. Repetibilidad de la prueba de campo

No se encontraron diferencias significativas en la PAM (404 ± 63 vs. 412 ± 64 W), la FC_{máx} (185 ± 11 vs. 186 ± 12 ppm), la [La⁻]_{máx} (6,9 ± 1,7 vs. 7,0 ± 1,8 mM), ni en la VAM (41,5 ± 1,7 vs. 41,8 ± 1,8 Km·h⁻¹) entre las dos pruebas de campo (p > 0,05). El CCI fue significativo entre las medidas repetidas de la PAM (CCI = 0,953; p < 0,001) (Figura 58), entre la FC_{máx} (CCI = 0,931; p < 0,001) (Figura 59), entre la [La⁻]_{máx} (CCI = 0,787; p < 0,001) (Figura 60) y entre la VAM (CCI = 0,890; p < 0,001) (Figura 61).

En cuanto a la variabilidad de las mediciones, el CV fue del 15 % y por lo tanto relativamente bajo. Además el EEMP fue del 6,8 % ó 27,7 W, del cual el 4,4 %

ó 1,2 W fue debido a un error sistemático y el 95,6 % ó 26,4 W a un error aleatorio.

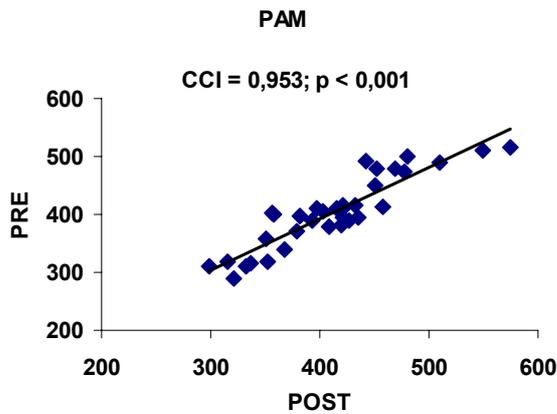


Figura 58. CCI de la PAM del test – retest de las pruebas de campo

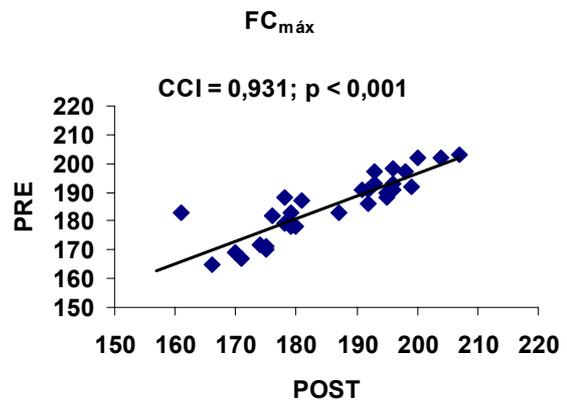


Figura 59. CCI de la $FC_{máx}$ del test – retest de las pruebas de campo

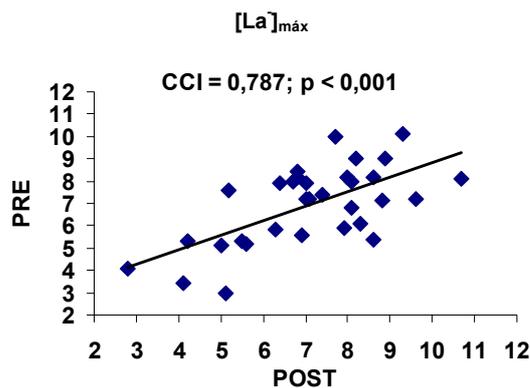


Figura 60. CCI de la $[La]_{máx}$ del test – retest de las pruebas de campo

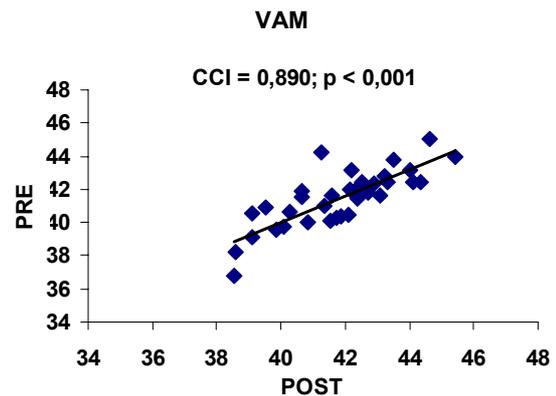


Figura 61. CCI de la $V_{máx}$ del test – retest de las pruebas de campo

Por otra parte, en la figura 60 se puede observar la concordancia entre ambos tests. El sesgo \pm error aleatorio de la técnica Bland y Altman ($-8,1 \pm 52,6$ W) del test-retest. Existe un sesgo cercano a cero ($-8,1$ W ó 2,0 %), por lo que se puede afirmar que hubo una alta exactitud en la medida de la potencia aeróbica máxima y que la medida de esta variable fue altamente repetible. Por otra parte, el 95 % de las diferencias o intervalo de confianza de esas medidas se situó entre 44,5 W y - 60,7 W, por lo que la variabilidad o precisión de las mediciones hay que tenerla en consideración, ya que se encontró una baja precisión (Figura 62).

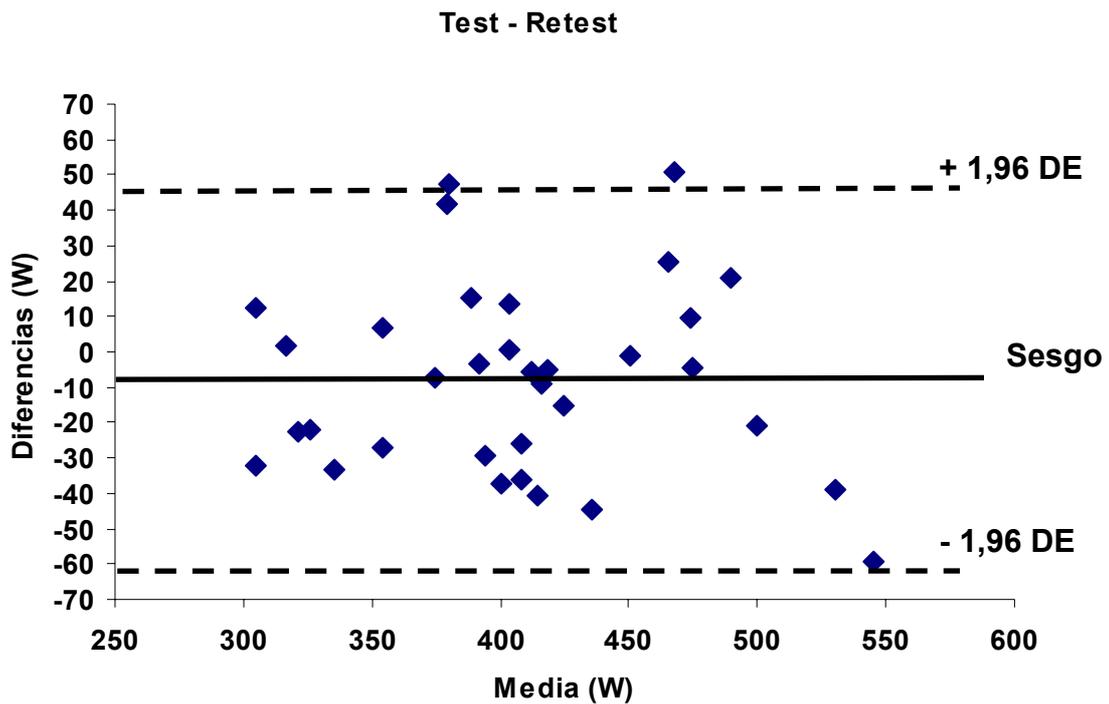


Figura 62. Repetibilidad del protocolo de la prueba triangular de campo (test-retest)
 Por último no se encontraron diferencias significativas en la FC para cada una de las intensidades relativas de trabajo (Figura 63), medidas como el promedio de cada escalón en el protocolo de campo realizado (Figura 64).

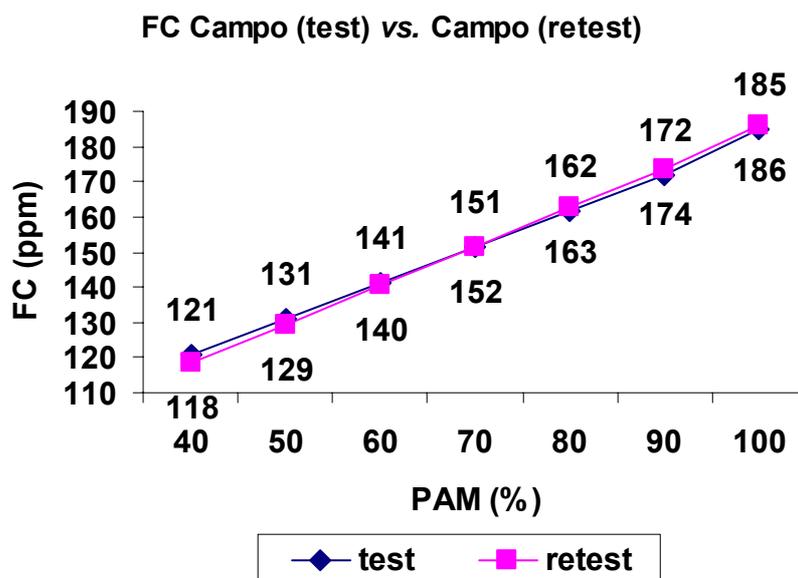
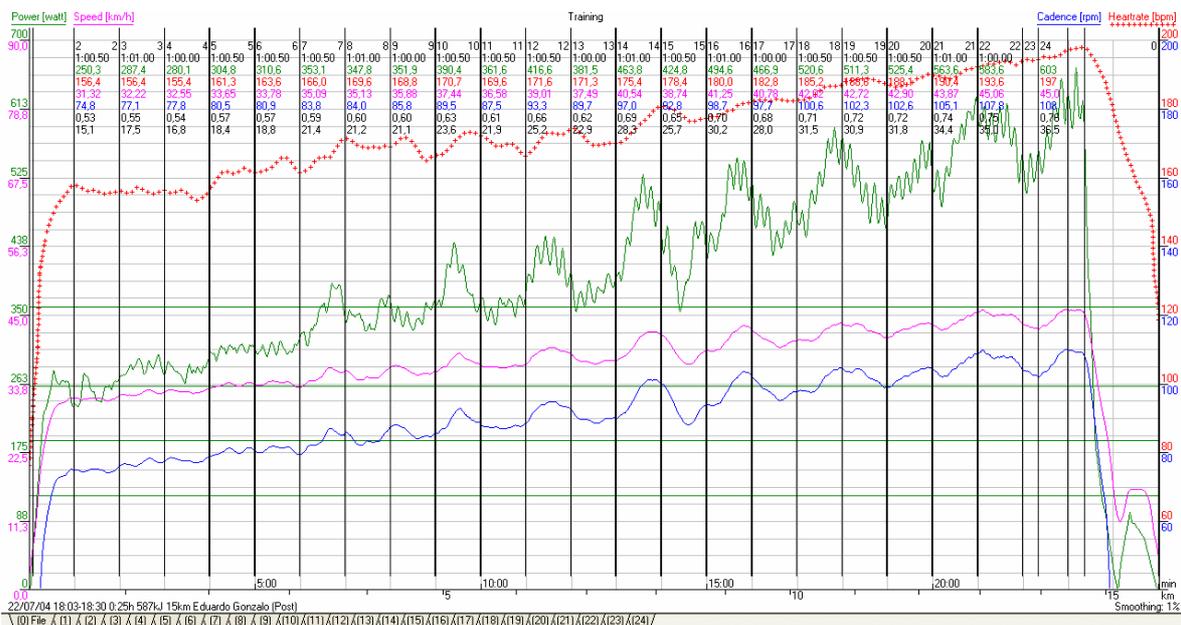


Figura 63. Relación de la FC para cada una de las intensidades relativas de trabajo del protocolo de la prueba triangular de campo (test-retest)



Rojo: FC (ppm); **Verde:** P (W); **Rosa:** V (Km·h⁻¹); **Azul:** FP (rpm).

Figura 64. Monitorización de la prueba de campo y determinación de las variables máximas y submáximas

Por todos estos hallazgos, se puede afirmar que el protocolo de campo propuesto es altamente repetible y por lo tanto fiable.

4.3.2.2. Validez de la prueba de campo

Entre la prueba de laboratorio y el promedio de las dos pruebas de campo no se encontraron diferencias significativas para la $FC_{m\acute{a}x}$ (185 ± 11 vs. 184 ± 12 ppm; $p > 0,05$, respectivamente), aunque sí para la PAM (355 ± 41 vs. 408 ± 62 W; $p < 0,001$, respectivamente) y para la $[La]_{m\acute{a}x}$ ($8,4 \pm 2,6$ vs. $6,9 \pm 1,6$ mM; $p < 0,01$, respectivamente). El CCI fue significativo entre las medidas repetidas de la PAM (CCI = 0,838; $p < 0,001$) (Figura 65), la $FC_{m\acute{a}x}$ (CCI = 0,862; $p < 0,001$) (Figura 66), y la $[La]_{m\acute{a}x}$ (CCI = 0,474; $p < 0,05$) (Figura 67).

En cuanto a la variabilidad de las mediciones el CV fue del 13 % y por lo tanto relativamente bajo. El EEP fue del 17,3 % ó 65,8 W, del cual el 41,4 % ó 27,0 W fue debido a un error fijo y el 58,9 % ó 38,7 W a un error aleatorio.

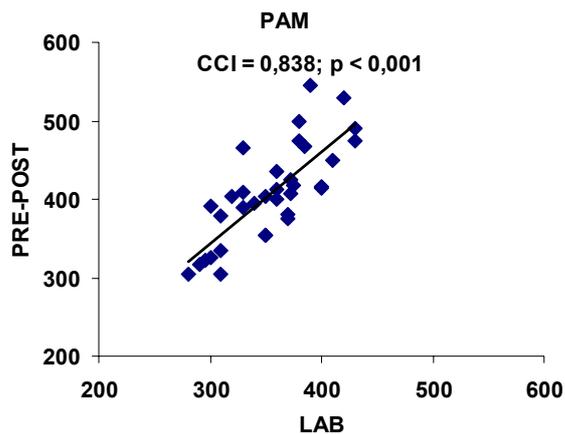


Figura 65. CCI de la PAM del test – retest de las pruebas de campo y laboratorio

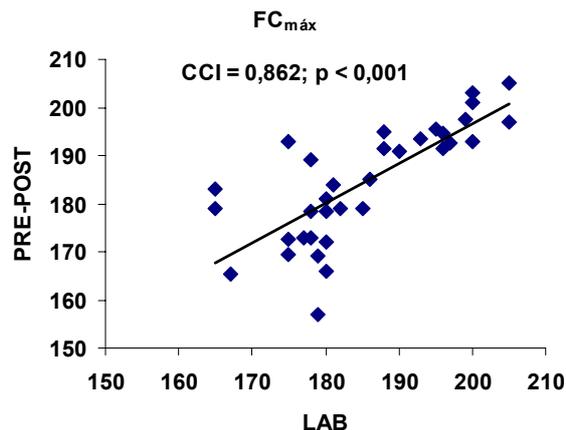


Figura 66. CCI de la $FC_{máx}$ del test – retest de las pruebas de campo y laboratorio

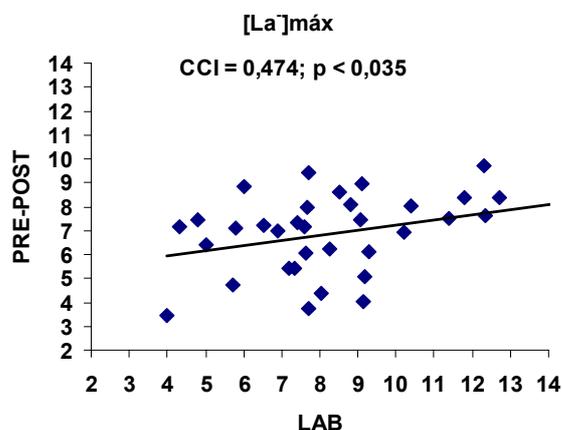


Figura 67. CCI de la $[La]_{máx}$ del test – retest de las pruebas de campo y laboratorio

Por otra parte en la figura 68 se puede observar la concordancia entre ambos tests. El sesgo \pm error aleatorio de la técnica Bland y Altman ($53,2 \pm 77,1$ W) del test-retest. Existió un pequeño sesgo ($53,2$ W ó $13,9$ %), por lo que se puede afirmar que hubo una baja exactitud en la medida de la potencia aeróbica máxima y que se puede cuestionar la fiabilidad. Por otra parte, el 95 % de las diferencias o intervalo de confianza de esas medidas se sitúan entre $130,2$ W y $-23,9$ W, por lo que la variabilidad de las mediciones también hubo que tenerla en consideración, ya que existió una baja precisión.

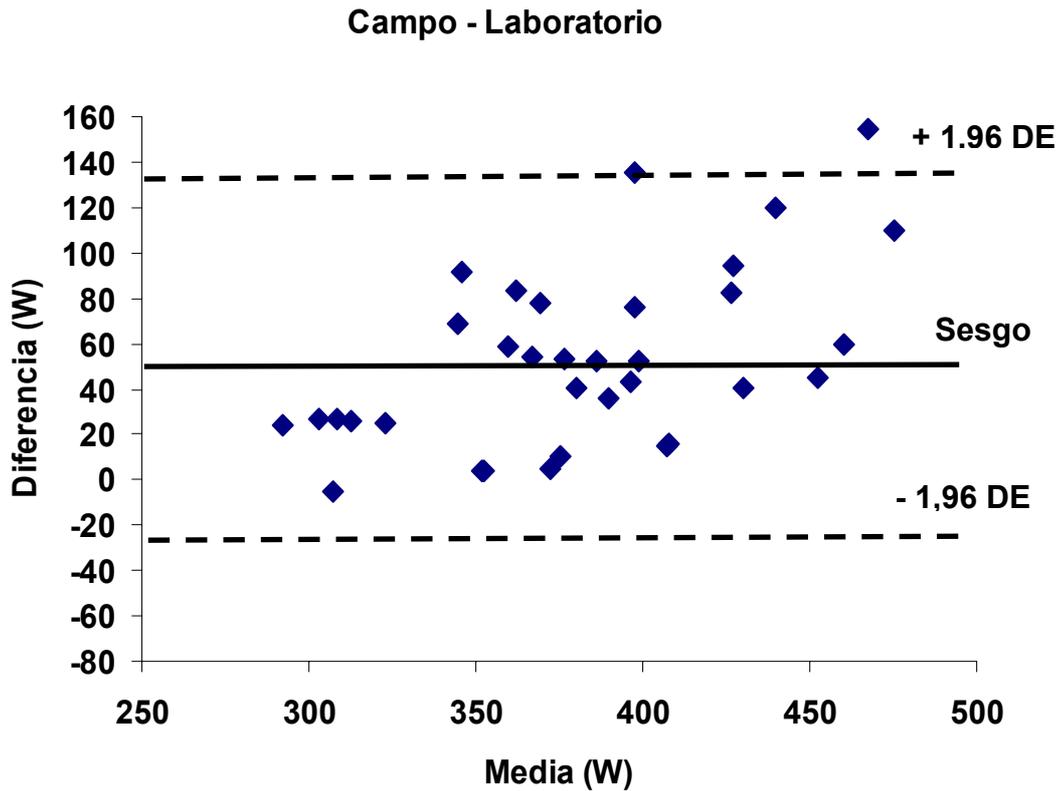


Figura 68. Validez del protocolo de la prueba triangular de campo

Por último no se encontraron diferencias significativas en la FC para cada una de las intensidades relativas de trabajo entre la prueba realizada en laboratorio respecto al promedio de las pruebas de campo (Figura 69).

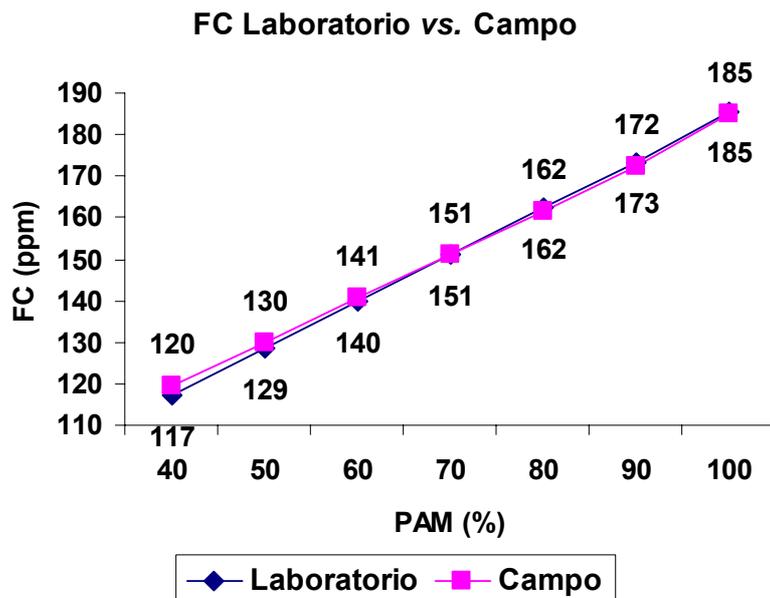


Figura 69. Relación de la FC para cada una de las intensidades relativas de trabajo del protocolo de la prueba triangular de laboratorio vs. campo (test-retest)

Por todos estos hallazgos, se puede considerar que la prueba de campo propuesta puede ser considerada como válida.

4.4. Estimación de la producción de PAM y del $VO_{2m\acute{a}x}$ de forma indirecta

A continuación se muestran los resultados obtenidos sobre las fórmulas que estimaron mejor la producción de potencia mecánica submáxima y máxima en relación a la medida por el sistema SRM, así como aquellas que mejor estimaron el consumo máximo de oxígeno en relación al medido en laboratorio. Además, se establece la relación existente entre el % VAM / % PAM.

4.4.1. Estimación de la PAM

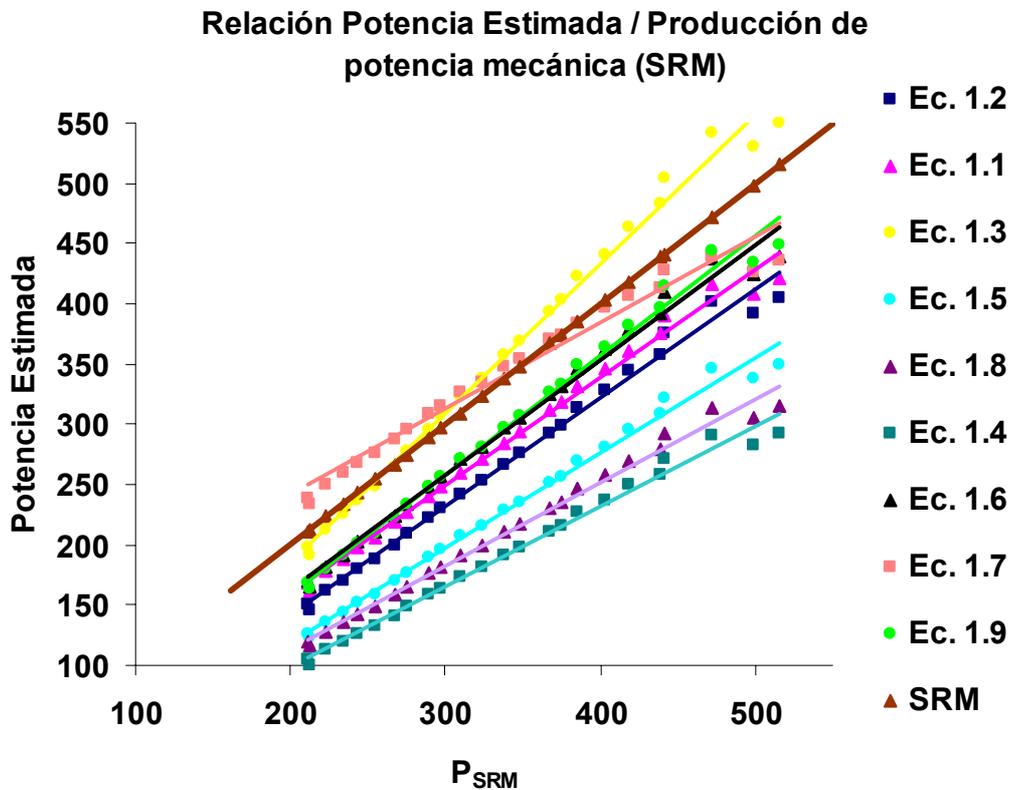
Una vez estudiada la relación existente entre la estimación de la potencia mecánica mediante las diferentes funciones existentes (Apéndice 1) en la literatura y la producción de potencia mecánica medida por el sistema SRM, se observó que las ecuaciones que presentaron un menor error variable fueron las de Candau y col. (59), seguida por la de Olds (291), Whitt (396) y Di Prampero y col. (101), las demás mostraron errores variables considerablemente más altos, en especial la de Whitt y Wilson (395) y Olds (290) (Figura 70 y Tabla 45).

Ecuación	Autor	Error Aleatorio	Error Sistemático	EEMP
Ecuación 1.9	Candau y col. (59)	0,5 %	12,2 %	12,7 %
Ecuación 1.6	Olds (291)	0,7 %	12,6 %	13,2 %
Ecuación 1.1	Whitt (396)	0,8 %	15,7 %	16,5 %
Ecuación 1.2	Di Prampero y col. (101)	0,6 %	21,1 %	21,6 %
Ecuación 1.5	Menard (260)	1,1 %	32,2 %	33,3 %
Ecuación 1.4	Kyle (215)	1,8 %	42,7 %	44,6 %
Ecuación 1.8	Basset (22)	1,8 %	37,2 %	39,0 %
Ecuación 1.3	Whitt y Wilson (395)	5,6 %	3,3 %	8,9 %
Ecuación 1.7	Olds (290)	8,4 %	0,0 %	8,4 %

Tabla 45. Error variable, fijo y total de la estimación de la producción de potencia mecánica entre las diferentes funciones y la medida mediante el sistema SRM

Las funciones de Olds (290) y Whitt y Wilson (395) tuvieron un menor EEMP respecto al resto de ecuaciones. Aunque la práctica totalidad del error total se debió al error variable. A pesar de esto, la ecuación de Olds (290) fue la única función que no presentó diferencias significativas entre la estimación de la

potencia aeróbica máxima respecto a la medición de la potencia aeróbica máxima mediante el SRM ($398,4 \pm 51,4$ vs. $407,8 \pm 61,9$; $p < 0,155$).



Ec. 1.1: Whitt (396); Ec. 1.2: Di Prampero y col. (101); Ec. 1.3: Whitt y Wilson (395); Ec. 1.4: Kyle (215); Ec. 1.5: Menard (260); Ec. 1.6: Olds (291); Ec. 1.7: Olds (290); Ec. 1.8: Basset y col. (22); Ec. 1.9: Candau y col. (59).

Figura 70. Representación de la estimación de la producción de potencia mecánica de las diferentes ecuaciones en función de la medida mediante el sistema SRM

4.4.2. Relación % VAM / % PAM

La relación entre el % VAM y el % PAM se determinó mediante una función exponencial con base neperiana (Figura 71), obteniéndose una función promedio $\% PAM = 0,0818e^{(2,5167 \% VAM)}$. Además, se obtuvo un coeficiente de correlación elevado ($r = 0,997$) y un EEP aceptable (13,7 %).

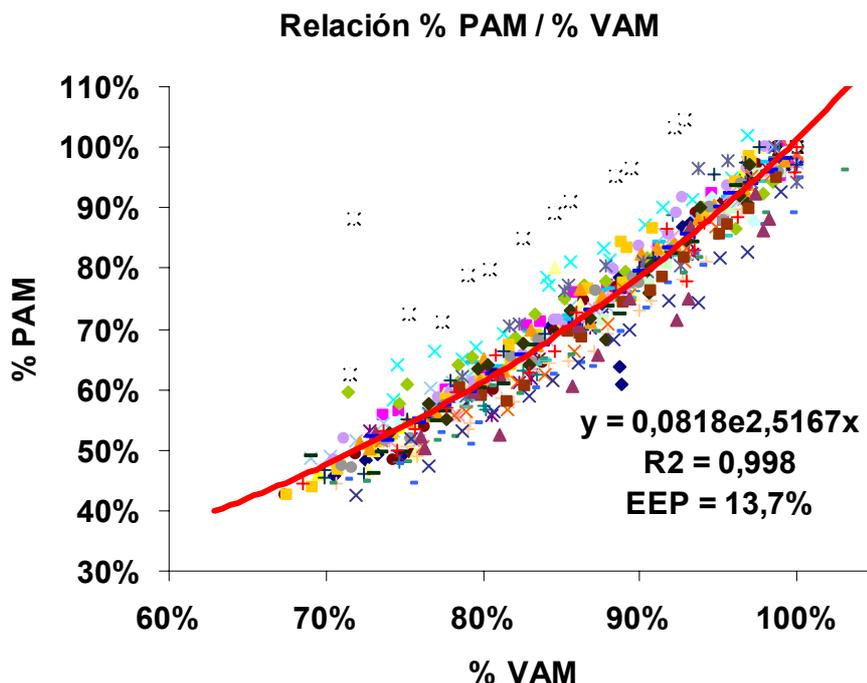


Figura 71. Representación de la relación entre la % VAM y la % PAM del promedio del test-retest de cada uno de los sujetos de estudio

4.4.3. Estimación del $VO_{2\text{máx}}$

Una vez estudiada la relación existente entre la estimación del VO_2 y del consumo máximo de oxígeno mediante las diferentes funciones existentes (Apéndice 2 y 3) se encontraron diferencias significativas para todas las funciones entre la estimación del consumo máximo de oxígeno de las pruebas de campo y el consumo máximo de oxígeno medido en laboratorio, excepto para la de Di Prampero y col. (101), expresado en $L \cdot \text{min}^{-1}$, $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$, $\text{mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $L \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ y $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ (Tabla 46). Aunque, sí existieron diferencias significativas cuando el consumo máximo de oxígeno fue expresado en $\text{mL} \cdot \text{Kg}^{-0,32} \cdot \text{min}^{-1}$ y $\text{mL} \cdot \text{Kg}^{-0,75} \cdot \text{min}^{-1}$.

	$L \cdot \text{min}^{-1}$	$\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$	$\text{mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	$L \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
Laboratorio	$4,20 \pm 0,46$	4204 ± 461	$61,5 \pm 5,9$	$2,30 \pm 0,20$	2295 ± 199
Di Prampero y col. (101)	$4,35 \pm 0,96$	4348 ± 957	$62,9 \pm 9,4$	$2,35 \pm 0,13$	2346 ± 395

Tabla 46. Diferencias no significativas entre el $VO_{2\text{máx}}$ estimado en campo y el medido en laboratorio ($\bar{X} \pm DE$)

La regresión lineal entre el consumo máximo de oxígeno, estimado mediante la ecuación de Di Prampero y col. (101), y la velocidad de desplazamiento medida

mediante el sistema SRM, ofreció un coeficiente de correlación moderado cuando el consumo máximo de oxígeno fue expresado en $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$, $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$, $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$, $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$, $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-0,32}\cdot\text{min}^{-1}$ y $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-0,75}\cdot\text{min}^{-1}$. El coeficiente de correlación fue alto cuando fue expresado en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; además el SEE fue aceptable (Figura 72-78).

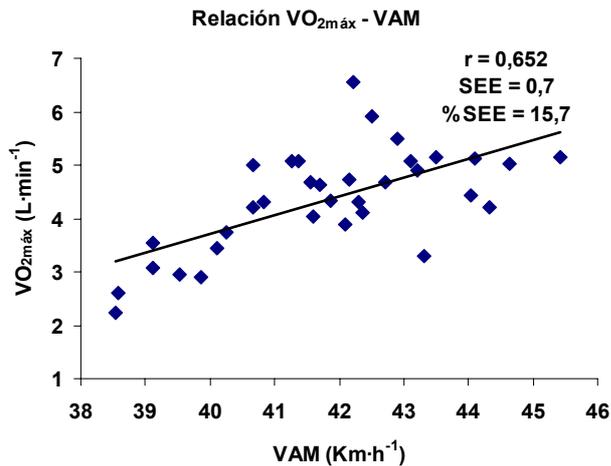


Figura 72. Relación entre la estimación del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ mediante la ecuación de Di Prampero y col. (101) expresado en $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ y la velocidad de desplazamiento medida con el sistema SRM expresada en $\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$

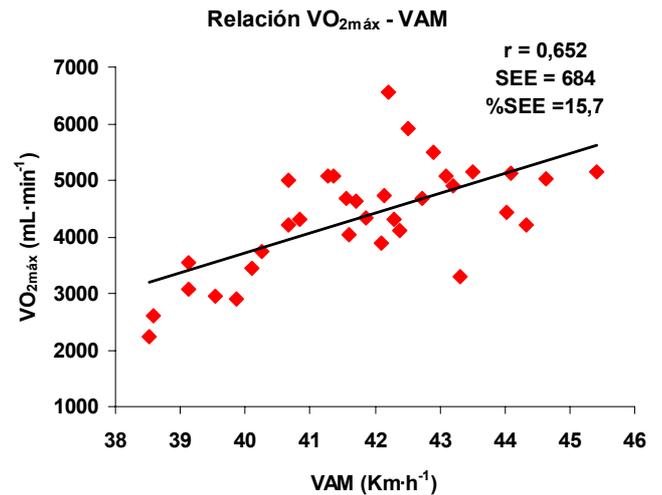


Figura 73. Relación entre la estimación del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ mediante la ecuación de Di Prampero y col. (101) expresado en $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ y la velocidad de desplazamiento medida con el sistema SRM expresada en $\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$

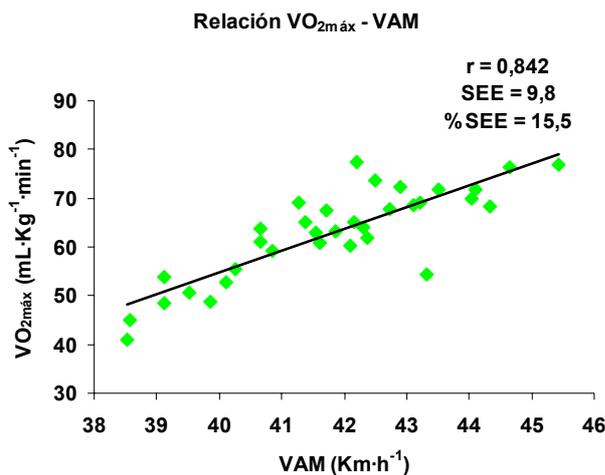


Figura 74. Relación entre la estimación del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ mediante la ecuación de Di Prampero y col. (101) expresado en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ y la velocidad de desplazamiento medida con el sistema SRM expresada en $\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$

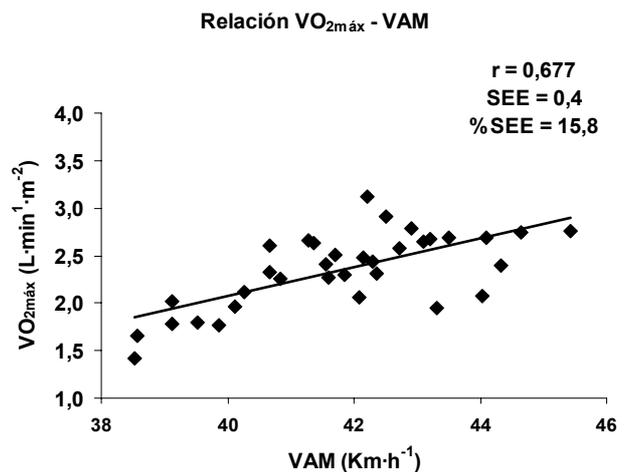


Figura 75. Relación entre la estimación del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ mediante la ecuación de Di Prampero y col. (101) expresado en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-2}$ y la velocidad de desplazamiento medida con el sistema SRM expresada en $\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$

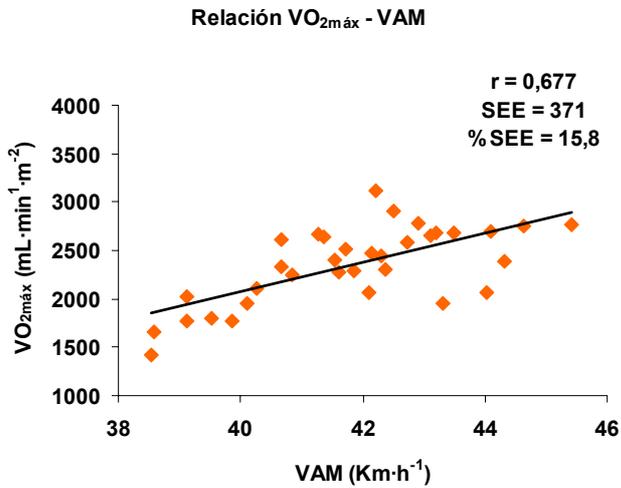


Figura 76. Relación entre la estimación del $VO_{2m\acute{a}x}$ mediante la ecuación de Di Prampero y col. (101) expresado en $mL \cdot min^{-1} \cdot m^{-2}$ y la velocidad de desplazamiento medida con el sistema SRM expresada en $Km \cdot h^{-1}$

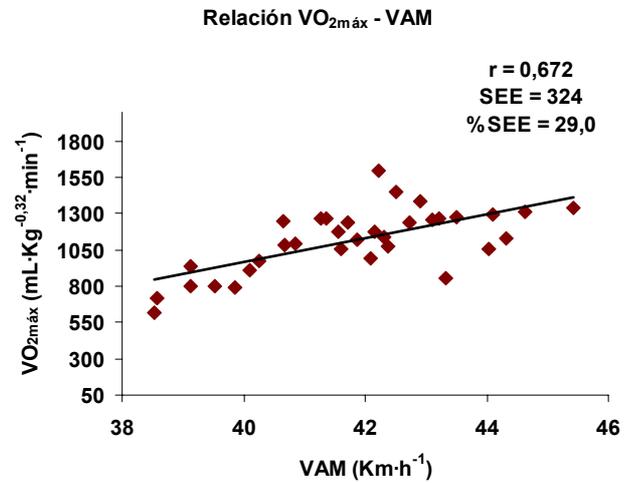


Figura 77. Relación entre la estimación del $VO_{2m\acute{a}x}$ mediante la ecuación de Di Prampero y col. (101) expresado en $mL \cdot Kg^{-0,32} \cdot min^{-1}$ y la velocidad de desplazamiento medida con el sistema SRM expresada en $Km \cdot h^{-1}$

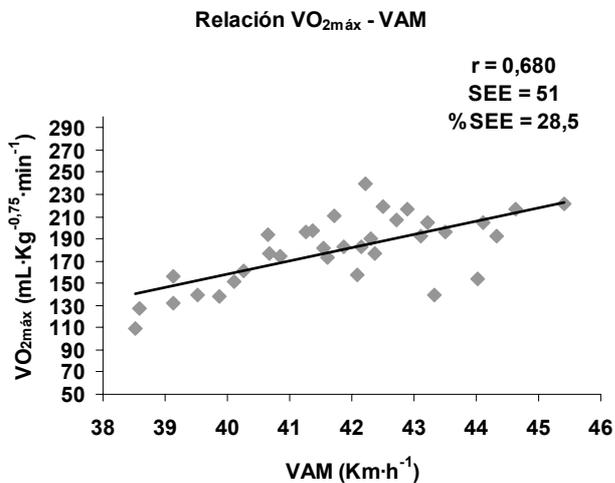


Figura 78. Relación entre la estimación del $VO_{2m\acute{a}x}$ mediante la ecuación de Di Prampero y col. (101) expresado en $mL \cdot Kg^{-0,75} \cdot min^{-1}$ y la velocidad de desplazamiento medida con el sistema SRM expresada en $Km \cdot h^{-1}$

5. DISCUSIÓN

5. DISCUSIÓN

En este apartado se han discutido los resultados siguiendo un orden lógico: en el punto 5.1. lo han sido los protocolos de laboratorio y campo utilizados, en el 5.2. los resultados de todas las variables medidas en la pruebas de laboratorio, en el 5.3. la fiabilidad y la validez de la prueba de campo propuesta, en el punto 5.4. se discutió la nueva propuesta para la determinación de ritmos de entrenamiento y, por último, en el 5.6. la estandarización de los protocolos de campo propuestos en la presente tesis doctoral.

5.1. Discusión de los protocolos utilizados

En este punto se ha discutido la idoneidad del protocolo de laboratorio escogido, las características dinámicas y cinemáticas del velódromo, así como de la bicicleta de pista y la idoneidad del protocolo de campo diseñado. Por último, se discutieron las variables diferenciadoras entre las condiciones de la prueba de laboratorio y campo.

5.1.1. Protocolo de laboratorio

Los protocolos para la determinación del consumo máximo de oxígeno o la potencia aeróbica máxima aplicados tradicionalmente desde la medicina de la actividad física y el deporte, han estado orientados para evaluar personas sanas, sedentarias o con un cierto nivel de actividad física o deportiva, y personas con algún tipo de patología, en general crónica. Estos protocolos basados en incrementos progresivos de carga hasta la fatiga tienen una serie de características comunes:

La prueba empieza a una carga de trabajo baja, por lo que no requiere una gran aplicación de fuerza o un excesivo estrés cardiorrespiratorio y metabólico. El consumo máximo de oxígeno o consumo de oxígeno pico se determina mediante una prueba de carga progresiva con una duración de tan solo 8 ó 12

min. Los sujetos se estresan durante poco tiempo, con las cargas relativas más elevadas. La relación VO_2 / intensidad puede ser determinada si se utiliza un ergómetro. Además, para obtener los mejores datos para la interpretación de las respuestas medidas, el incremento de carga debe ser uniforme tanto en la magnitud como en la duración. Los incrementos de carga se realizan en función del historial médico del paciente y según el criterio evaluador del médico. Estos protocolos siempre incluyen una fase inicial en la que se pedalea algún tiempo sin carga, en general 3 min. Como norma general, los incrementos de carga van de los 5 a los 30 $W \cdot \text{min}^{-1}$. Es muy común la utilización de protocolos en rampa, con incrementos constantes de carga (389).

En la valoración funcional de ciclistas y triatletas de competición, muchos autores han utilizado protocolos adaptados de la metodología descrita por Wasserman y col. (389). En algunos de estos estudios se indica que el objetivo del protocolo utilizado es el de provocar la fatiga entre los 7 y los 12 min de esfuerzo (42, 82, 85, 171, 344). Y los protocolos comprenden escalones de entre 30 seg y 2 min, aunque predominan los de 1 min de duración, con incrementos de carga de entre 20 y 40 W, aunque predominan los de 25 y 30 W (Apéndice 4).

En ciclismo y triatlón, se ha venido utilizando otro tipo de protocolos que difieren de esa metodología más tradicional, innovando en muchos casos protocolos genuinos. Este tipo de protocolos se caracterizan por tener incrementos de carga más elevados y escalones de más larga duración, normalmente entre 3 y 5 min de duración, con un predominio de los de 3 min, y con incrementos de carga de entre 25 y 70 W, con un predominio de los de 35 W. Todos ellos con incrementos uniformes, exceptuando algunos casos en los que la duración de los escalones y los incrementos de carga no son homogéneos a lo largo de toda la prueba (2, 21, 263).

Los protocolos en rampa o minutados se han aplicado en el ámbito de la salud para determinar, entre otras variables, los umbrales ventilatorios y el consumo máximo de oxígeno (389). Los protocolos utilizados en ciclismo y triatlón con incrementos de carga de entre 30 seg y 2 min se han aplicado para determinar estas mismas variables. Sin duda alguna, los protocolos minutados tienen una gran utilidad en la valoración funcional de ciclistas y triatletas, aunque por otra

parte, presentan una serie de limitaciones, las cuales han sido suplidas por otro tipo de protocolos. Los protocolos con incrementos de carga de entre 3 y 5 min permiten crear estados estables metabólicos (411) para la determinación de diferentes conceptos de umbral anaeróbico, como el ULI (114), el inicio de la acumulación de lactato en sangre ó 4 mM (OBLA) y del inicio de la acumulación de lactato en plasma ó 2 mM (OPLA) (301); también la eficiencia muscular (85), o el metabolismo de las grasas (2) e hidratos de carbono. Este tipo de protocolos se han denominado progresivos, maximales y rectangulares (Apéndice 4).

La dualidad de protocolos, buscando un estado estacionario o en rampa, para la determinación de unas u otras variables metabólicas y cardiorrespiratorias se hace patente en estudios como los de Coyle y col. (82, 85), donde utilizan ambos tipos de protocolos para mediar las diferentes variables asociadas a los mismos.

El protocolo de laboratorio aplicado en la presente tesis consistió en la realización de un calentamiento inicial de 10 min a 100 W, con una carga inicial de 200 W para los chicos y de 100 W para las chicas, con escalones rectangulares de 4 min de duración, sin pausa entre ellos, con incrementos de 30 W hasta alcanzar el nivel de trabajo correspondiente a $R = 1$. A partir de este punto el protocolo se incrementó 10 W cada 1 min hasta la fatiga. Por lo que este tipo de protocolo, tiene las características de aquellos que no tienen incrementos homogéneos. Con ello se persiguen dos objetivos, crear estados estables metabólicos, para medir variables relacionadas con la economía de esfuerzo y, una vez alcanzado el umbral anaeróbico, no causar mayor fatiga, para llegar rápidamente a la potencia aeróbica máxima (Apéndice 4).

5.1.2. Características dinámicas y cinemáticas de la bicicleta en el velódromo

Rodar en velódromo tiene una serie de características diferenciadoras respecto al hacerlo en una superficie plana, sin curvas y sin peralte. Para poder entender mejor estas diferencias se puede utilizar el modelo en el que se relaciona la producción de potencia mecánica con la velocidad lineal de desplazamiento (22, 214, 216):

$$P = A_1 \cdot V + A_2 \cdot V^2 + A_3 \cdot V^3$$

En dicho modelo, la constante A_1 está relacionada con la resistencia de rodadura estática, la constante A_2 con la resistencia de rodadura dinámica y la constante A_3 con la densidad del aire, el área frontal del sistema bicicleta-ciclista y el coeficiente de rozamiento aerodinámico. Las causas que hacen aumentar el coeficiente de la resistencia de rodadura estática (A_1) en pista respecto a una superficie plana son las siguientes:

- a. A velocidades de competición, en las curvas la fuerza centrífuga hace aumentar el peso del ciclista en la llanta más de 1,5 veces,
- b. El ángulo de oscilación de la dirección es de $\pm 3^\circ$ a velocidad de competición con cada ciclo de pedalada, haciendo aumentar la resistencia de rodadura debido al aumento del contacto de la cubierta con la superficie de rodadura,
- c. La bicicleta casi nunca está perpendicular con el suelo por lo que hay que hacer una corrección con la dirección para restringir la bicicleta sobre la línea, lo cual causa fricción sobre la cubierta,
- d. Muchas competiciones en pista no son lisas en su totalidad y la rugosidad de la pista también afectará a la resistencia de rodadura.

Con respecto al coeficiente de la resistencia de rodadura dinámica (A_2) en pista no se vería aumentado respecto a rodar en otro tipo de superficie, porque este coeficiente depende de la fricción de los cojinetes, la deformación dinámica de la cubierta y del contacto de las ruedas con el viento.

Las causas que hacen aumentar el coeficiente A_3 en pista respecto a una superficie plana y en recta dependen de diferentes factores. Aunque el más claro sería la densidad del aire, la cual se reduce con la altura y por lo tanto el coeficiente A_3 también se reducirá con la altitud, pero esto sucede si se rueda tanto en velódromo como en otra superficie situadas a cierta altitud. En condiciones a nivel del mar, utilizando la misma aerodinámica, con el mismo corredor y las mismas condiciones ambientales, el coeficiente A_3 se ve modificado constantemente en velódromo. Esto podría ser una gran diferencia

respecto a los esfuerzos ciclistas de ruta o montaña. En este sentido, la característica diferenciadora más importante cuando se rueda en velódromo es el *efecto curva* sobre las variables cinemáticas y dinámicas del ciclista. Aspecto que no ocurre en otras modalidades y especialidades. Cuando el ciclista entra en una curva, para una misma intensidad de esfuerzo aumenta la velocidad disminuyendo proporcionalmente la potencia mecánica (Figura 79). Esto se debe a que la resistencia del aire disminuye en las curvas respecto a las rectas, porque la parte superior del cuerpo tiene una velocidad inferior a la de las ruedas (289). Si se tiene en cuenta la relación entre la potencia y la velocidad, más arriba expuesta, se observará que además en las pruebas de pista este efecto se tiene que notar mucho más que en otro tipo de modalidades ciclistas porque la mayoría de pruebas son de velocidad o de resistencia de corta duración, por lo que el coeficiente A_3 al ser un producto de la velocidad al cubo afectará de forma mucho más importante la producción de potencia mecánica.

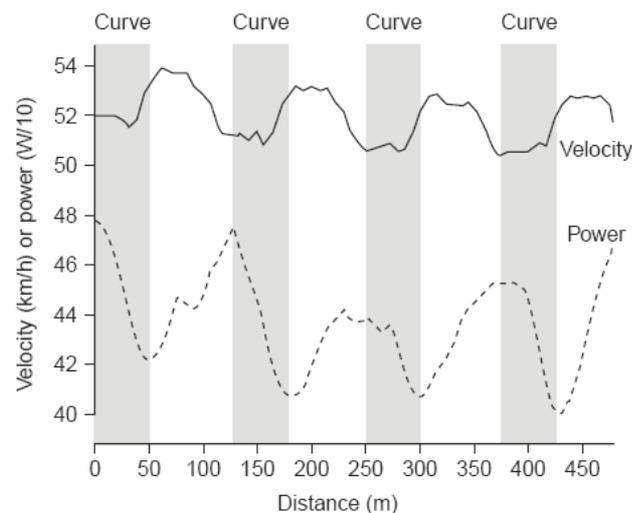


Figura 79. Registro simultáneo de potencia ($W \cdot 10^{-1}$) y velocidad ($Km \cdot h^{-1}$) mediante el sistema SRM de un ciclista rodando en pista (250 m). Las zonas en gris es cuando se rueda en curva, nótese que en esas zonas la velocidad aumenta mientras que la potencia disminuye (289)

Resultados similares se han encontrado de forma empírica en competiciones de pista del más alto nivel internacional, donde además del comportamiento sinusoidal de la potencia y de la velocidad por el efecto curva, se ha observado que la frecuencia de pedaleo tiene un comportamiento paralelo al de la velocidad de desplazamiento. Esto último es debido a que la bicicleta de pista lleva un piñón fijo, y por lo tanto la velocidad de desplazamiento únicamente

aumentará si se produce un incremento en la frecuencia de pedaleo como se puede observar en los datos empíricos de la figuras 80 y 81.

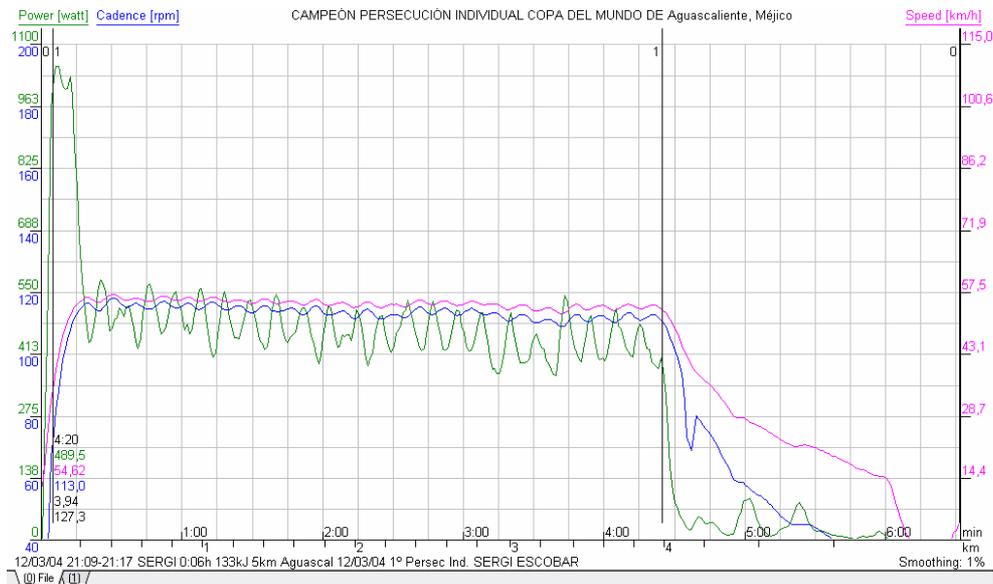


Figura 80. Registro de la potencia, velocidad y frecuencia de pedaleo de Campeón de Persecución Individual de la Copa del Mundo de Aguascaliente, Mejico (12.03.04) (Publicado con el permiso de la Dirección Técnica de Ciclismo en Pista (RFE Ciclismo))

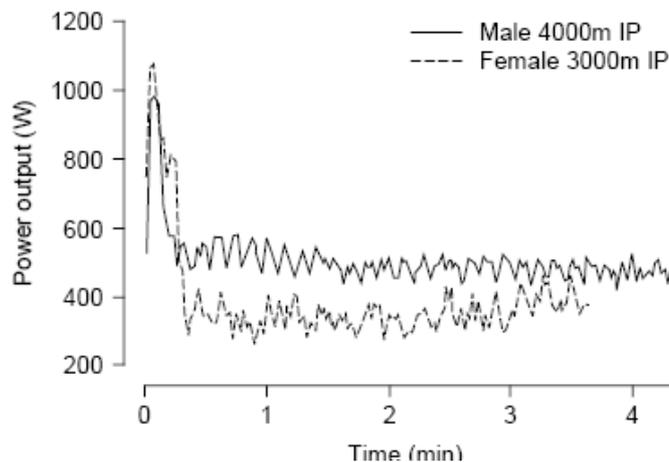


Figura 81. Características de la producción de potencia mecánica de hombres y mujeres especialistas en persecución individual (190)

Aunque no se han encontrado datos concluyentes, como el coeficiente aerodinámico tiene una gran importancia en el modelo planteado más arriba, la reducción del rozamiento con el aire explicaría la disminución tan importante en la producción de potencia mecánica que sucede en el interior de las curvas. Y que se debe tener en consideración al interpretar los resultados de las pruebas

desarrollas en la presente tesis, debido a que el efecto curva introduce una variable diferenciadora respecto al esfuerzo en laboratorio.

5.1.3. Protocolo de campo

La realización de un protocolo de campo no ha sido fácil por el hecho de que en la literatura existen escasos estudios en los que se haya propuesto protocolos en velódromo. Por ejemplo, Van Baak y Binkhorst (376) propusieron un protocolo de 10 min de duración y progresivo hasta la fatiga, Léger y col. (225) realizaron otro de entre 8 y 25 min de duración con una velocidad inicial de $35 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$ con salida lanzada e incrementos de velocidad equivalentes a 1 MET (unidad metabólica = $3,5\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) cada 2 min, también hasta la fatiga. Ricci y Léger (320) desarrollaron un protocolo en el que los ciclistas empezaban a una velocidad inicial de $25 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$, con incrementos de velocidad de $2 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$, hasta los $42 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$ y a continuación, incrementos de $1 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$ hasta la fatiga. Marion and Léger (248) utilizaron 5 velocidades, 3 de ellas fijas ($28,5$, $33,0$, $36,0 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$) y 2 variables en función del consumo máximo de oxígeno del ciclista. Conconi y col. (78) tras 15-30 min de calentamiento realizaron un protocolo incremental con una velocidad inicial de $28\text{-}30 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$ y con incrementos de $1 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$ hasta alcanzar la máxima velocidad posible. Y por último, Padilla y col. (302) propusieron un protocolo incremental pero con cargas constantes, 8 escalones de 2,280 m con 1 min de recuperación entre los mismos., con una velocidad inicial de $28 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$ e incrementos de velocidad de $1,5 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$ hasta la fatiga.

El protocolo de campo de la presente tesis fue progresivo y maximal como los planteados por los demás autores (78, 225, 248, 302, 320, 376).

Es interesante observar que en los estudios realizados en velódromo, los autores no indican la intensidad relativa de inicio de la prueba. La velocidad inicial del protocolo planteado en la presente tesis fue del 40 % PAM alcanzada en la prueba de laboratorio y se calculó mediante la ecuación de Di Prampero y col. (101). Se trata de una intensidad lo suficiente baja para medir la adaptación de todo el espectro aeróbico del deportista, tal y como sugiere Padilla y col. (302).

En la prueba de campo, el incremento de velocidad promedio fue de $0,65 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 1 min lo que equivale a un incremento de potencia promedio de $11,7 \text{ W}$, por lo que fue similar a los incrementos realizados por Ricci y Léger (320), de $2 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 2 min o al 1 MET utilizado por Léger y col. (225). Una de las grandes limitaciones de este último estudio es que realizaron los incrementos de carga estimando la velocidad mediante la ecuación de Pugh (316), la cual no es la más idónea para explicar la relación entre VO_2 y V de desplazamiento, tal como sugirieron los mismos autores y como se ha demostrado en la presente tesis. Por lo tanto, hay que cuestionar la progresividad del protocolo de Léger y col. (225).

Por otra parte, el protocolo propuesto es diferente al propuesto por Marion y Léger (248), ya que proponen un protocolo con incrementos de carga no homogéneos.

Existen pocos estudios que puedan ser considerados como protocolos triangulares y con las suficientes características para poder ser reproducidos con posterioridad (225, 248, 320). Otra prueba que también está bien estandarizada es la de Padilla y col. (302), aunque es un tipo de protocolo rectangular y, por lo tanto, diferente al planteado en la presente tesis.

5.1.4. Relación entre el protocolo de laboratorio con el de campo

La prueba de laboratorio y la de campo consistieron en protocolos progresivos maximales. En la de campo se realizaron incrementos homogéneos de carga mientras que en la de laboratorio fueron aumentos no homogéneos, con el objetivo de evaluar variables de economía a nivel submáximo y no provocar una mayor fatiga al alcanzar la potencia aeróbica máxima.

A la hora de diseñar la prueba de campo se tuvo en cuenta el incremento de carga promedio realizado en la prueba de laboratorio con el fin de realizar incrementos similares. A pesar de todo esto, en el protocolo de la prueba de laboratorio el incremento promedio fue de $20,6 \text{ W}$ cada $2,7 \text{ min}$ y de $11,7 \text{ W}$ cada 1 min en la de campo. Por lo que en proporción los incrementos del protocolo de laboratorio fueron significativamente inferiores a los de campo ($7,7 \pm 0,8$ vs. $11,7 \pm 1,4 \text{ W}\cdot\text{min}^{-1}$; $p < 0,001$). También fue significativamente la duración de la prueba de laboratorio respecto a la de campo ($23:54 \pm 03:27$ vs.

17:55 ± 01:53 min:seg; $p < 0,001$), a pesar de que se intentó realizar un protocolo de campo con una duración similar a la de laboratorio. Una de las posibles causas fue que los sujetos iniciaron los protocolos a una intensidad relativa de trabajo diferente. Y aunque se asumió que la carga inicial del protocolo de laboratorio fuese del 40 % PAM, al final resultó ser del 28,6 % PAM; asimismo, en el protocolo de campo, aunque la velocidad inicial se calculó para que se empezase al 40 % PAM de la prueba realizada en laboratorio, los sujetos empezaron el primer escalón más rápido que la velocidad impuesta, concretamente al 51,5 % PAM conseguida en la prueba de campo. En consecuencia, estas diferencias se han tenido en consideración debido a que pueden afectar a la comparación de los resultados obtenidos entre la prueba de laboratorio y las de campo, y se han tratado más abajo.

La influencia inducida por las diferencias de los protocolos de laboratorio y de campo en las variables cardíacas y metabólicas se discuten en los puntos 5.3.1. y 5.3.2. de la presente tesis.

5.2. Discusión de los resultados de la prueba de laboratorio

En este punto se ha discutido los resultados obtenidos de las diferentes variables medidas en la prueba de laboratorio: variables máximas y submáximas, la eficiencia mecánica y la economía de pedaleo, el ritmo de oxidación de grasas así como sus variables asociadas y, por último, el concepto de cruce metabólico.

5.2.1. Consumo máximo de oxígeno

El consumo máximo de oxígeno ha sido considerado por muchos autores, el mejor indicador de la capacidad de rendimiento aeróbico (264, 293, 349, 367, 393). Por eso se ha utilizado para determinar intensidades de entrenamiento en diferentes deportes de resistencia, Además, en ciclismo se ha utilizado en la selección de ciclistas de elite, debido a que es un prerrequisito para conseguir un alto nivel de rendimiento (19).

El consumo máximo de oxígeno de la presente tesis se ha analizado por grupos, en función de la modalidad y el sexo. En este sentido, el consumo máximo de oxígeno obtenido en el grupo de triatlón masculino ($58,8 \pm 4,4$

$\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) fue similar al medido en triatletas aficionados y de nivel nacional de corta ($48,0\text{-}77,0 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (44, 175, 176, 210, 263, 265, 338, 350, 368, 379) y larga distancia ($61,5\text{-}64,9 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (99, 206), e inferior al de triatletas de nivel internacional de corta ($61,7\text{-}81,1 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (42, 173, 174, 263, 265, 336, 339) y larga distancia ($46,8\text{-}76,8 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (113, 202, 246, 295, 296).

Respecto al grupo de triatlón femenino el consumo máximo de oxígeno ($58,4 \pm 6,9 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) fue superior al obtenido en triatletas aficionadas y de nivel nacional ($42,4\text{-}62,1 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (57, 263, 350) y similar al de nivel internacional de corta ($56,7\text{-}68,1 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (263, 336) y larga distancia ($48,0\text{-}68,6 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (113, 202, 295, 296).

El consumo máximo de oxígeno obtenido en el grupo de montaña ($65,6 \pm 5,9 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) fue superior al encontrado en aficionados ($46,8\text{-}59,6 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (20, 397), similar al de ciclistas de nivel nacional ($52,0\text{-}72,2 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (20) e internacional ($62,0\text{-}82,6 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (160, 281, 354).

El consumo máximo de oxígeno obtenido en el grupo de ciclismo de carretera ($64,8 \pm 5,5 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) fue superior al encontrado en ciclistas aficionados y jóvenes ($54,0\text{-}70,6 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (55, 248, 268, 272, 279, 320, 385), similar al de algunos ciclistas de elite ($55,7\text{-}76,4 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (148, 171, 256, 279, 302, 303, 344, 385), aunque inferiores a otros ciclistas de elite ($57,0\text{-}82,5 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (9, 54, 85, 111, 132, 279, 330), también fueron inferiores a los hallados en ciclistas profesionales ($65,5\text{-}84,8 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (82, 114, 177, 231, 232, 233, 301). Los rangos más elevados de consumo máximo de oxígeno ($> 80 \text{ mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) se han encontrado en ciclistas profesionales escaladores con una masa corporal baja (273).

El nivel de consumo máximo de oxígeno del grupo de triatletas masculino correspondió al encontrado en grupos de triatletas aficionados y de nivel nacional, el de triatlón femenino al observado en nivel internacional, el del de montaña al observado en grupos de nivel nacional e internacional y el de carretera correspondió al observado en grupos de ciclistas de elite y al rango bajo de ciclistas profesionales. El hecho de que el grupo de estudio tuviese un nivel heterogéneo de consumo máximo de oxígeno cumple con lo establecido en los criterios de inclusión de los sujetos al estudio que era el de poseer un

nivel heterogéneo de potencia aeróbica máxima y, en consecuencia, de consumo máximo de oxígeno.

Por otra parte, cuando se analizaron los datos referentes al consumo máximo de oxígeno encontrados en la literatura, se observó que deportistas con un mismo consumo máximo de oxígeno tenían diferentes niveles de rendimiento (80). En cierto modo, se ha considerado el consumo máximo de oxígeno como un factor determinante del rendimiento en especialidades de resistencia aeróbica cuando el nivel de los deportistas es heterogéneo (330, 314) y pobre en grupos con un consumo máximo de oxígeno heterogéneo (95, 282, 283, 286, 339). Sin embargo, se ha observado que el consumo máximo de oxígeno no es un buen factor determinante del rendimiento ni en las modalidades ciclistas de resistencia aeróbica (64, 242) ni en el sector ciclista en triatlón (27, 415). Esto explica porqué el rendimiento en las modalidades y especialidades aeróbicas no se debe única y exclusivamente al nivel del consumo máximo de oxígeno, sino que existen otras variables que determinan mucho más ese rendimiento.

5.2.2. Potencia aeróbica máxima

La potencia aeróbica máxima, definida como la carga más elevada mantenida durante 2 ó 3 min durante un esfuerzo progresivo hasta la fatiga (242), es una variable más determinante del rendimiento, en especialidades de resistencia de media y larga duración, que el consumo máximo de oxígeno.

Esta variable es un buen predictor del rendimiento en distancias de entre 16 y 40 Km (17, 27, 158, 394). Aunque hay que ser precavidos a la hora de interpretar los valores de potencia aeróbica máxima ya que está influenciada tanto por el protocolo de evaluación como por el ergómetro elegido. Y aunque no se han encontrado estudios en que se comparen diferentes protocolos, en ciclistas profesionales, los protocolos con escalones más largos tienden a dar valores de potencia aeróbica máxima más bajos (400-450 W) (301) y los protocolos con escalones más cortos dan producciones de potencia aeróbica máxima mayores (450-500 W) (238, 240, 241, 242). No obstante, los datos de potencia aeróbica máxima de la presente tesis, se relacionan a los hallados por otros autores que utilizaron protocolos similares para determinarla. En este

sentido los valores de potencia aeróbica máxima del grupo de triatlón masculino (364 ± 40 W) fueron similares a los encontrados en triatletas de nivel nacional (304-399 W) (27, 98, 263) e internacional de corta (342-410 W) (263, 336, 339) y larga distancia (363 W) (296). En el grupo de triatlón femenino fueron similares (295 ± 13 W) al de triatletas de nivel internacional de corta (263-301 W) (263, 336) y larga distancia (288 W) (296). En el grupo de montaña (382 ± 34 W) fueron similares a los encontrados en un grupo de nivel nacional (407 W) (20) e internacional (337-399 W) (181, 354). Por último, en el grupo de carretera (355 ± 34 W) fueron similares respecto a un grupo de nivel aficionados y jóvenes (329-401 W) (272, 302) y ciclistas de elite (382-450 W) (227).

El hecho de que el grupo de estudio tuviese un nivel heterogéneo de potencia aeróbica máxima cumple con lo establecido con los criterios de inclusión de los sujetos al estudio.

5.2.3. Umbral láctico individual y la fracción utilizada de consumo máximo de oxígeno

Otra variable que también es más determinante que el consumo máximo de oxígeno en las modalidades ciclistas de resistencia aeróbica y en el triatlón es el umbral láctico individual y la fracción utilizada de consumo máximo de oxígeno (34, 86, 87, 385).

En este sentido, en ciclismo de carretera se ha observado que poder mantener elevados porcentajes de consumo máximo de oxígeno (i.e. 90 % o más) durante prolongados periodos de tiempo podría tener más relevancia para el éxito en ciclistas profesionales de carretera (64, 65, 238, 239, 242).

Parece ser que la capacidad respiratoria muscular es determinante para intensidades submáximas de trabajo, existiendo una elevada correlación entre el ULI con el contenido muscular mitocondrial, o sea con la actividad de la citrato sintetasa ($r = 0,85$; $p < 0,01$) (72).

Por otra parte, el umbral láctico individual ha sido medido en pocos grupos de ciclistas (25, 82, 86, 114, 171, 228, 256, 268, 323, 374), y triatletas (308). Esto

es debido a que en estos deportes se han utilizado de forma tradicional el cálculo de los umbrales ventilatorios mediante calorimetría indirecta.

La $\% \text{VO}_{2\text{máx}}$ de la presente tesis al que se situó el ULI en el grupo de triatlón masculino ($74,3 \pm 8,6 \%$ $\text{VO}_{2\text{máx}}$) fue similar ($68,9-83,3 \%$ $\text{VO}_{2\text{máx}}$) al encontrado un grupo de triatletas de corta distancia altamente entrenados (308). El ULI obtenido en el grupo de montaña ($77,8 \pm 1,7 \%$ $\text{VO}_{2\text{máx}}$) fue similar al encontrado en aficionados ($76,9-83,3 \%$ $\text{VO}_{2\text{máx}}$) (397). El ULI obtenido en el grupo de ciclismo de carretera ($77,4 \pm 4,4 \%$ $\text{VO}_{2\text{máx}}$) fue superior al encontrado en ciclistas aficionados y jóvenes ($62,9-74,1 \%$ $\text{VO}_{2\text{máx}}$) (268), mientras que para los ciclistas de elite ($61,0-84,0 \%$ $\text{VO}_{2\text{máx}}$) algunos autores muestran valores similares (85, 86, 111, 170, 171, 256, 303, 330) e inferiores a los hallados en ciclistas profesionales ($86,9-92,3 \%$ $\text{VO}_{2\text{máx}}$) (82, 114, 273).

Por otra parte, la $\% \text{VO}_{2\text{máx}}$ al que se situó el ULI fue mayor en ciclismo y montaña respecto a triatlón masculino, y estos tres a su vez, fueron superiores a los valores de triatlón femenino. A pesar de que no se hallaron diferencias significativas entre los diferentes grupos de estudio.

5.2.4. Pulso de oxígeno

El pulso de oxígeno es un indicador válido del volumen sistólico durante el esfuerzo ciclista en sujetos entrenados (31).

Los valores de pulso de oxígeno observados en el consumo máximo de oxígeno fue de $22,7 \pm 2,9 \text{ mL O}_2 \cdot \text{ppm}^{-1}$, estos datos son sensiblemente inferiores a los encontrados en ciclistas entrenados ($24,6 \pm 2,8 \text{ mL O}_2 \cdot \text{ppm}^{-1}$) (276). Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes grupos en este estudio (Triatlón masculino ($23,4 \pm 3,6 \text{ mL O}_2 \cdot \text{ppm}^{-1}$), triatlón femenino ($19,3 \pm 0,1 \text{ mL O}_2 \cdot \text{ppm}^{-1}$), ciclismo de carretera ($22,8 \pm 1,8 \text{ mL O}_2 \cdot \text{ppm}^{-1}$), ciclismo de montaña ($23,6 \pm 2,1 \text{ mL O}_2 \cdot \text{ppm}^{-1}$)), que se asume a la heterogeneidad de la muestra utilizada.

5.2.5. Economía de pedaleo y la eficiencia mecánica

Se ha sugerido que la eficiencia mecánica (eficiencia mecánica total (GE) y la diferencial de eficiencia (DE)) y la economía de pedaleo (E) son factores

determinantes del rendimiento en las modalidades ciclistas de media y larga duración, especialmente la GE (82, 85, 171, 272).

En la presente tesis, se ha encontrado un rango de valores de GE entre 19,9 y 27,8 %, de DE entre 21,5 y 31,0 %, y de EC entre 75,5 y 99,2 $W \cdot L^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Estos datos son superiores a los hallados por Coyle y col. (85) y Horowitz y col. (171), en ciclistas altamente entrenados, los cuales aportaron unos rangos de valores de GE entre 18,3 y 22,6 % y de DE entre 18,3 y 25,6 %. Muy superiores también a los encontrados por Moseley y col. (271), en un grupo heterogéneo de ciclistas aficionados y profesionales, quienes aportaron un rango de valores de GE entre 17,8 y 19,4 % y de DE entre 20,7 y 22,8 %. También fueron superiores al GE de 22,9 % de un grupo de triatletas altamente entrenados (308).

El rango alto de los valores de GE observado en este estudio estuvo de acuerdo con los valores aportados por Lucía y col. (235), entre 22,0 y 28,1 % y con los valores de CE entre 72,1 y 97,9 %, en ciclistas profesionales. Aunque los picos de GE tan elevados encontrados en la presente tesis podrían ser cuestionados debido a un problema relacionado con la calibración del sistema de medición de calorimetría indirecta. Hecho comentado por Jeukendrup y Martin (188) a los valores de GE pico hallados por Lucía y col. (235) en ciclistas profesionales.

Estos datos parecen indicar que la eficiencia mecánica, en especial la GE, puede ser una variable de gran valor para el rendimiento, aunque las diferencias entre los valores característicos de los ciclistas profesionales y aficionados son pequeños. Hasta tal punto que hay autores que no han encontrado diferencias entre un grupo de ciclistas aficionados respecto a un grupo de ciclistas profesionales (271). No obstante, se ha sugerido que no existen diferencias significativas en la GE entre ciclistas profesionales y aficionados para cargas bajas, pero si para cargas superiores al umbral anaeróbico (235).

La importancia de la GE en las especialidades de larga duración reside a nivel de la resistencia aeróbica, en este sentido Horowitz y col. (171) observaron en un grupo de ciclistas con un consumo máximo de oxígeno y un umbral anaeróbico homogéneos que una diferencia de un 1,8 % en la GE resultó un 9

% de diferencia en la producción de potencia mecánica sostenida durante un esfuerzo de 1 h. En este mismo sentido, Jeukendrup y Martin (189) calcularon que un incremento de 1 % en la GE para un ciclista de 70 Kg y manteniendo una producción de potencia de 400 W durante 1 h supuso una mejora de 48 seg en un prueba de 40 Km.

Además, los factores fisiológicos y metabólicos que determinan la eficiencia mecánica son, aún en gran parte, desconocidos. Aunque se ha sugerido la existencia de una relación de la GE y DE con factores genéticos (50) y con las fibras tipo I ($r = 0,75$; $p < 0,001$ y $r = 0,85$; $p < 0,001$; respectivamente) (85) ($r = 0,75$; $p < 0,001$) (171).

Otra variable que parece tener relación con las variables de eficiencia mecánica y economía de pedaleo es el consumo máximo de oxígeno, en este sentido Lucía y col. (234) aportaron una relación negativa significativa para la GE y la E en relación al consumo máximo de oxígeno ($r = -0,72$; $p < 0,01$ y $r = -0,71$; $p < 0,01$; respectivamente), en ciclistas profesionales. No obstante, Moseley y Jeukendrup (272), en un grupo de ciclistas de nivel heterogéneo no encontraron una correlación significativa entre el consumo máximo de oxígeno y el DE y E pero sí para la GE aunque fue muy pequeña la correlación ($r = 0,491$; $p < 0,05$).

Los datos de la presente tesis están de acuerdo con los hallazgos de estos autores (272), por lo tanto no se encontró una relación significativa entre la DE y la E respecto al consumo máximo de oxígeno, ni expresado en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ni en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-0,32}\cdot\text{min}^{-1}$. Pero, sí que existió una relación significativa entre el GE y el consumo máximo de oxígeno, tanto expresado en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($r = 0,500$; $p < 0,01$) como en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-0,32}\cdot\text{min}^{-1}$ ($r = 0,498$; $p < 0,01$), no obstante, estas relaciones son bajas.

Parece ser que la eficiencia mecánica es un factor determinante del rendimiento en esfuerzos ciclistas de resistencia aeróbica y por lo tanto permita discriminar niveles de rendimiento, siempre y cuando el cicloergómetro y el sistema de calorimetría indirecta estén bien calibrados y exista poco error de medición de las diferentes variables. Lo que también parece claro es que la mejora del rendimiento en ciclistas altamente entrenados y profesionales se debe en gran medida a la mejora de estas variables. En este sentido, Coyle

(82) evidenció una mejora del 8-9 % de la GE (del 21,2 al 23,1 %) y la DE (del 21,4 al 23,1 %) en relación de la evolución del rendimiento de Lance Armstrong durante un periodo de 7 años.

Por último, existe un aspecto de la eficiencia mecánica que permanece poco estudiado y es la evaluación de estas variables en relación a la progresión de un esfuerzo. Es probable que la importancia de la GE resida en minimizar su pérdida en un esfuerzo prolongado (305).

5.2.6. Ritmo de oxidación de grasas

La intensidad relativa de trabajo es uno de los principales factores que determinan el ritmo de oxidación de grasas. Recientemente se ha observado que los deportistas tienen un ritmo de oxidación de grasas más elevado a una intensidad moderada que a una intensidad elevada (11), en este sentido se ha evidenciado que la oxidación de grasas es menor a intensidades bajas y altas, 25 y 85 % $VO_{2m\acute{a}x}$ respectivamente, en relación a aquellas intensidades consideradas moderadas (65 % $VO_{2m\acute{a}x}$) (196, 198, 326). Parece ser que existe una intensidad individual en la que se produce el $G_{m\acute{a}x}$.

El $G_{m\acute{a}x}$ de la muestra estudiada se produjo a una intensidad relativa del 52 % $VO_{2m\acute{a}x}$ y el rango de valores osciló entre el 43 % $VO_{2m\acute{a}x}$ del grupo de montaña, pasando por el 52 y 53 % $VO_{2m\acute{a}x}$ de los grupos de carretera y triatlón masculino respectivamente, y el 59 % $VO_{2m\acute{a}x}$ del grupo de triatlón femenino. Este rango de $G_{m\acute{a}x}$ estuvo de acuerdo con los datos encontrados en la literatura en esfuerzos, todos ellos realizados en cicloergómetro (33-75 % $VO_{2m\acute{a}x}$) (1, 2, 10, 29, 47, 123, 172, 196, 204, 325, 326, 370, 387).

Al comparar los datos presentados, existen dos aspectos que han de mencionarse. El primero es que hay pocos estudios en los que se haya medido el $G_{m\acute{a}x}$ en ciclistas entrenados. En este sentido, se ha observado una $G_{m\acute{a}x}$ a una intensidad relativa del 65 % $VO_{2m\acute{a}x}$ en ciclistas femeninas (325), y del 57 y el 75 % $VO_{2m\acute{a}x}$ en ciclistas de ambos sexos (204, 387), altamente entrenados. Los demás estudios se realizaron con poblaciones poco entrenadas, como por ejemplo con hombres (36-55 % $VO_{2m\acute{a}x}$) (172, 196) y mujeres sedentarios (65 % $VO_{2m\acute{a}x}$) (123); con estudiantes de Educación Física de ambos sexos (49 % $VO_{2m\acute{a}x}$) (10), y con ciclistas masculinos aficionados (33-65 % $VO_{2m\acute{a}x}$) (29, 47,

326, 370). El segundo aspecto es de tipo metodológico. En la mayoría de estos estudios, el $G_{m\acute{a}x}$ se midi3 solo en dos (10, 123, 196, 343, 370), tres (204, 325, 326, 387), o cuatro (29, 172) intensidades relativas de trabajo. Por lo que en esos estudios, es dif3cil determinar de forma precisa la intensidad relativa de trabajo a la que se consigui3 el $G_{m\acute{a}x}$, adem3s con esta metodolog3a se aporta poca informaci3n del comportamiento del ritmo de oxidaci3n de grasas a nivel global. No obstante, recientemente se ha desarrollado una nueva metodolog3a para determinar de forma precisa el $G_{m\acute{a}x}$ para cada una de las intensidades relativas de trabajo (2) y que es la que se ha utilizado en la presente tesis.

Se ha medido el $G_{m\acute{a}x}$ en ciclistas aficionados, encontr3ndose entre el 63-64 % $VO_{2m\acute{a}x}$ y a $0,6 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$, donde la Zona $G_{m\acute{a}x}$ se produjo entre el 51-55 y el 69-72 % $VO_{2m\acute{a}x}$. La oxidaci3n de grasas fue nula ($G_{m\acute{i}n}$) a partir del 81-89 % $VO_{2m\acute{a}x}$ (1, 2). Estos resultados son superiores a los obtenidos respecto al grupo de carretera obtenidos en la presente tesis ($G_{m\acute{a}x} = 53 \text{ \% } VO_{2m\acute{a}x}$; Zona $G_{m\acute{a}x} = 44\text{-}62 \text{ \% } VO_{2m\acute{a}x}$), lo que puede ser debido a que en el grupo de carretera de la presente tesis el nivel de rendimiento fue muy heterog3neo. El $G_{m\acute{i}n}$ hallado en la presente ($88 \pm 7 \text{ \% } VO_{2m\acute{a}x}$) tesis fue similar al observado en otro grupo de ciclistas aficionados por Achten y col. (2) ($89 \pm 3 \text{ \% } VO_{2m\acute{a}x}$).

El hecho de no haber encontrado diferencias significativas en la Zona $G_{m\acute{a}x}$, expresada en valores absolutos, entre los diferentes grupos de estudio, podr3a ser debido a la heterogeneidad de los grupos de carretera y triatl3n masculino. En otros estudios se ha observado que en ciclistas con un mayor nivel de consumo m3ximo de ox3geno el $G_{m\acute{a}x}$ expresado en valores absolutos es mayor respecto a ciclistas de un menor consumo m3ximo de ox3geno (1, 29). Por otra parte, en la presente tesis el $G_{m\acute{a}x}$ no se correlacion3 ni con el 3ndice de masa corporal ni con el consumo m3ximo de ox3geno, los mismos resultados aportan Achten y Jeukendrup (1) para el IMC, aunque a diferencia ellos si que encontraron una correlaci3n significativa aunque baja para el consumo m3ximo de ox3geno ($r = 0,636$; $p < 0,01$).

Con respecto a la Zona $G_{m\acute{a}x}$ se encontraron diferencias significativas cuando fue expresada en valores relativos (% $VO_{2m\acute{a}x}$). En este sentido, en el grupo de triatl3n femenino las intensidades relativas de trabajo a las que se encontr3 la Zona $G_{m\acute{a}x}$ fue mayor respecto al resto de grupos masculinos, y en muchos

casos de forma significativa. En esta línea, podría ser atribuible no tanto por el tipo de entrenamiento, sino por el hecho diferenciador de los efectos de las hormonas femeninas, los estrógenos, los cuales influyen para que en una intensidad relativa de trabajo determinada, los triglicéridos intramusculares de manera más importante en el gasto energético, en mujeres respecto a los hombres (122, 180, 207, 364, 365), lo que se facilitaría por el mayor depósito de triglicéridos intramusculares que poseen (332).

En la Zona $G_{m\acute{a}x}$ de los grupos masculinos se encontraron diferencias significativas entre el grupo de montaña respecto al de triatlón masculino en la parte alta de la Zona $G_{m\acute{a}x}$ y respecto al grupo de carretera en la parte baja de la misma. Estas diferencias podrían ser atribuibles al tipo de entrenamiento realizado en las respectivas modalidades deportivas. Porque se ha observado que el entrenamiento de resistencia aeróbica hace aumentar la capacidad de oxidación de los lípidos a causa del aumento del contenido enzimático mitocondrial y de las enzimas responsables de la β -oxidación (29, 73, 122, 131, 168, 180, 201, 251, 373). Adaptaciones similares también se producen en las deportistas femeninas (81).

Parece evidente que cuando se mide en una misma intensidad relativa de trabajo, después de haber realizado un entrenamiento de resistencia aeróbica, la oxidación de lípidos se vea incrementada en hombres (203, 251), ya que se ha observado que este tipo de entrenamiento no solo hace aumentar la oxidación de triglicéridos intramusculares de forma absoluta, sino que también aumenta la intensidad relativa de trabajo a la que se oxidan grasas (123) y en consecuencia el rendimiento deportivo (164, 168). Estos cambios se producen como resultado de una mejora global del sistema aeróbico de producción de potencia (191).

El hecho de que la muestra de estudio de montaña tuviese una Zona $G_{m\acute{a}x}$ significativamente inferior a los grupos de carretera y triatlón masculino se le puede atribuir al tipo de entrenamiento realizado en función de los requisitos de la competición de cada una de las modalidades deportivas. Se ha observado que el tiempo desarrollado por debajo del primer umbral ventilatorio en ciclistas de carretera de alto nivel competitivo corresponde al 71,5-74,6 % en contra de los 18,5 % en corredores de montaña de alto nivel. Con respecto a la zona de

entre el primer y el segundo umbral ventilatorio en ciclismo de carretera el porcentaje del tiempo total es del 22,7-25,2 % y del 51,4 % en corredores de montaña, y respecto a la zona por encima del segundo umbral ventilatorio es del 2,7-3,3 % respecto al 30,1 % en carreras de carretera por etapas (Vuelta a España y Tour de Francia) (298, 233), respecto a competiciones de montaña de un día del máximo nivel competitivo (181). Por lo tanto, es lógico que la Zona $G_{m\acute{a}x}$ baja del grupo de carretera sea significativamente mayor al grupo de montaña. Además, el ritmo de competición del grupo de triatlón masculino se produce alrededor del ULI (136), por lo que parece lógico pensar que la Zona $G_{m\acute{a}x}$ alta sea significativamente mayor respecto a la del grupo de montaña.

Estas adaptaciones del metabolismo lipídico son efectos específicos del entrenamiento aeróbico. Bergman y Brooks (29) han observado que ciclistas aficionados oxidan más cantidad de lípidos de forma absoluta y relativa a intensidades $\leq 40\%$ $VO_{2m\acute{a}x}$ respecto a personas sedentarias.

Hay que ser cautos al interpretar estos datos, ya que se ha observado que la utilización de la calorimetría indirecta para el cálculo de oxidación de grasas es altamente reproducible a nivel intraindividual, pero existe una gran variación a nivel interindividual (1).

La actividad física regular a bajas y moderada intensidades aumenta la movilización de triglicéridos intramusculares (123), y la oxidación de grasas subcutánea (326), en personas sanas (180, 251) y obesas (369, 375). Conocer la intensidad relativa a la cual se produce el $G_{m\acute{a}x}$ es interesante en el ámbito de la salud, por ejemplo para prevenir el sobrepeso y la obesidad (369).

A la luz de los resultados de la presente tesis, esta variable también puede ser utilizada para orientar el entrenamiento en aquellas modalidades y especialidades de resistencia de media y larga duración, ya que este tipo de entrenamiento aumenta la capacidad muscular para metabolizar triglicéridos intramusculares (TG) y ácidos grasos libres (AGL), con un aumento de la capacidad de acceder a los TG intramusculares y de esta manera economizando la utilización de glucógeno, y por otra parte se ve aumentado el rendimiento (29, 48, 71, 134, 161, 267). A pesar de que en competición los ciclistas y triatletas ingieren productos con altas concentraciones de CHO para retrasar la fatiga debido a la depleción de los depósitos de glucógeno (186).

5.2.7. Concepto de cruce metabólico

El incremento progresivo de la intensidad relativa de trabajo produce un cambio en la utilización de los sustratos energéticos mediante los diferentes sistemas de producción de potencia (249). A bajas y medias intensidades el porcentaje de lípidos utilizados es mayor respecto al porcentaje de CHO, y conforme aumenta la intensidad del esfuerzo aumenta el porcentaje de CHO utilizado, llegando un punto en que el porcentaje de oxidación de CHO es mayor al de las grasas (29, 56, 249, 326). Es el concepto de cruce metabólico propuesto por Brooks y Mercier (48). Parece ser que este fenómeno está favorecido en gran medida por la acumulación muscular de hidrogeniones, los cuales provocan la inhibición de la movilización de los AGL reduciendo su oxidación muscular (182). Las intensidades relativas superiores al UL producen un incremento progresivo de la glucólisis anaeróbica, la cual está acompañada por el metabolismo aeróbico para mantener niveles adecuados de ATP (89, 390), disminuyendo de forma importante el ritmo de oxidación de grasas (43, 198, 326).

Uno de los interrogantes planteados por Brooks y Mercier (48) fue la correlación existente entre el concepto de cruce metabólico con alguna intensidad relacionada con los valores de lactato utilizados tradicionalmente en la determinación de las intensidades de entrenamiento. Coggan y col. (72) ya habían sugerido la posible relación entre el umbral láctico y el concepto de cruce metabólico, en este sentido en la presente tesis se evidenció que la intensidad relativa a la que se ha encontrado el concepto de cruce metabólico no es significativamente diferente a la del concepto de ULI estudiado ($75,9 \pm 6,4$ vs. $75,2 \pm 6,6$ % $VO_{2m\acute{a}x}$; respectivamente). Este hallazgo abre una nueva perspectiva para la prescripción de ejercicio físico en el ámbito de la salud o la determinación de zonas de entrenamiento para deportistas de especialidades de resistencia de media y larga duración.

Por otra parte, en cuanto a la intensidad absoluta donde se produce el cruce metabólico, no se han encontrado diferencias significativas entre los grupos de estudio, ni expresado en producción de potencia, ritmo de oxidación de grasas o de carbohidratos. Tampoco cuando la intensidad relativa se expresó en %

$VO_{2\text{máx}}$. Este hecho puede ser debido a la gran variabilidad del grupo de estudio.

5.3. Discusión de la fiabilidad y validez del protocolo triangular realizado en pista

En este punto se ha discutido los resultados que aportan información a cerca de la repetibilidad y validez de la prueba de campo. Teniendo en cuenta que, la repetibilidad del protocolo de campo propuesto se evaluó mediante el estudio del test-retest de las pruebas de campo, y la validez mediante el estudio del test-retest entre la prueba de laboratorio y la media de las dos pruebas de campo. En ambos estudios se analizó como variables independientes máximas la PAM, la $[La^-]_{\text{máx}}$ y la $FC_{\text{máx}}$ y como variables submáximas la FC a cada una de las intensidades relativas de trabajo.

5.3.1. Repetibilidad

Los resultados obtenidos mediante las diferentes herramientas estadísticas utilizadas para evaluar la fiabilidad del test-retest han aportado las suficientes evidencias para considerar que la prueba de campo propuesta fue fiable.

La aplicación de la prueba de campo en el test-retest estuvo controlada en ambas ocasiones. Esto fue debido a la ausencia de diferencias en la carga inicial (P_O y V_O), en el incremento de carga (ΔP y ΔV), en la carga máxima alcanzada (PAM y VAM), en la duración total de los protocolos y las condiciones ambientales [T^a ($^{\circ}C$), P_b (mmHg), H (%) y velocidad del viento ($Km \cdot h^{-1}$)].

Las primeras evidencias de la fiabilidad de la prueba de campo las aportó la ausencia de diferencias significativas entre las principales variables de campo estudiadas (PAM (404 vs. 412 W), VAM (41,5 vs. 41,8 $Km \cdot h^{-1}$), $FC_{\text{máx}}$ (185 vs. 186 ppm) y $[La^-]_{\text{máx}}$ (6,9 vs. 7,0 mM), la existencia de un CCI elevado (PAM = 0,911, VAM = 0,890, $FC_{\text{máx}}$ = 0,876 y $[La^-]_{\text{máx}}$ = 0,787)) ($p < 0,001$) (384), y un bajo CV (15 %) para la PAM entre las mediciones del test-retest.

Uno de los hallazgos más relevantes fue que la FC a nivel submáximo no presentó diferencias significativas para ninguna de las cargas relativas de trabajo. Todos estos datos indicaron una alta fiabilidad absoluta (280).

Estos primeros hallazgos deben analizarse con cautela debido a que la prueba t de Student aunque sensible al error sistemático no lo es al error aleatorio (15). Por otra parte, mediante el CV no se puede evaluar la heterocedasticidad (varianza no constante a lo largo del tiempo entre grupos o aumento del error aleatorio concomitante al incremento de la variable medida) y por último el CCI es sensible al error total, pero no a los errores sistemático y variable por separado (15).

Otra herramienta estadística que evalúa la fiabilidad absoluta son los límites de confianza propuestos por Bland y Altman (36). Su gran ventaja es que tiene en cuenta las diferencias individuales test-retest y aporta información de dos variables esenciales para determinar la fiabilidad de un test, como son el error aleatorio relacionado con la precisión del test, y el error sistemático o sesgo relacionado con la exactitud del mismo test (15, 62). En este sentido el error total es una manera válida para el análisis de la variabilidad en la comparación de pruebas repetidas (15).

Una característica importante en la evaluación de los límites de confianza de la diferencia entre dos medidas, es que se analizan de forma diferente respecto de las pruebas que necesitan una hipótesis de estudio y no se indica tan solo si son o no significativos (270). Con esta metodología el investigador tiene que decidir si el error determinado es aceptable para la utilización del nuevo método evaluado y, por lo tanto, si es o no fiable (15).

El sesgo obtenido mediante la prueba de Bland y Altman (36) fue del 2 %, el cual estuvo de acuerdo con la exactitud indicada por el fabricante del SRM, que es de un $\pm 2,5$ % (223). Por lo tanto el error sistemático fue asumido por el error introducido mediante el modelo de sistema SRM utilizado en la presente tesis.

El error aleatorio fue del 12,9 %, el cual no pudo ser explicado en su totalidad por la variabilidad que puede introducir el sistema SRM, establecida en $\pm 1,8$ % (193), por lo que hay que buscar otras variables perturbadoras que expliquen el resto de la variabilidad de las mediciones entre el test-retest.

Otra manera de abordar el error de medición entre ambos tests es mediante el EEMP. Este fue del 6,8 %, siendo un 4,4 % de este error debido al error sistemático y el 95,6 % restante al error aleatorio. Concordando, estos datos con el análisis realizado mediante la herramienta de Bland y Altman (36).

Por lo tanto, el error sistemático entre el test-retest quedó justificado por la exactitud indicada por el fabricante. En cuanto al error aleatorio pudo estar causado por diferentes variables (178): del 12,9 % del error aleatorio encontrado solo alrededor de un 2 % quedó justificado por la variabilidad del sistema SRM (*Refinamiento de los instrumentos*) y el restante 11 % estuvo causado por otras variables perturbadoras. Como por ejemplo, debido a problemas con la *Estandarización de los métodos de medición*: las variaciones a la hora de aplicar los protocolos experimentales, variaciones en el viento (a pesar de no existir diferencias significativas entre el test-retest ($1,9 \pm 2,1$ vs. $1,6 \pm 1,7$ $\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$; $p > 0,05$)) o en el cálculo de la potencia aeróbica máxima. También debido a la *Repetición* del protocolo experimental, y aunque se repitió dos veces, aumentando de esta manera la precisión. Como es obvio, si se hubiese realizado más veces el error aleatorio con seguridad hubiese disminuido.

A la luz de de los resultados se puede considerar que el error aleatorio no es suficiente elevado y se puede tolerar y el protocolo de campo propuesto se puede considerar repetible.

5.3.2. Validez

Los resultados obtenidos mediante las diferentes herramientas estadísticas utilizadas para evaluar la fiabilidad del test-retest han aportado los suficientes datos para considerar que la prueba de campo propuesta es válida.

La aplicación de las pruebas de laboratorio y campo tuvieron pequeñas diferencias en cuanto a las características del protocolo [P_O ($28,6 \pm 3,4$ vs. $51,5 \pm 5,4$ %, respectivamente), ΔP ($20,6 \pm 4,6$ vs. $11,7 \pm 1,4$ $\text{W}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente) y duración ($23:54 \pm 03:27$ vs. $17:55 \pm 01:53$ min, respectivamente)]. Por lo tanto, la pequeña diferencia en el protocolo pudo influenciar sobre la diferente adaptación del sujeto entre la prueba de laboratorio y de campo.

A pesar de este hecho, una de las primeras evidencias de la fiabilidad y por tanto validez de la prueba de campo fue la ausencia de diferencias entre la $FC_{\text{máx}}$ del test de laboratorio respecto a las de campo (185 vs. 184 ppm) y un CCI elevado (0,862; $p < 0,001$); otra evidencia fue el también elevado CCI de la PAM (0,838; $p < 0,001$) y su bajo CV (13 %). Estos indicios indican una elevada fiabilidad absoluta. La prueba t de Student mostró diferencias significativas en la PAM entre laboratorio y campo (355 vs. 408 W, $p < 0,001$), lo mismo sucedió para la $[La^-]_{\text{máx}}$ (8,4 vs. 6,9 mM; $p < 0,01$), además esta última variable tuvo un bajo CCI (0,474; $p < 0,05$). Estos últimos datos, sobre todo los de la potencia aeróbica máxima, indicaron que hay que tener cuidado a la hora de asumir la existencia de fiabilidad absoluta, concretamente hay que tener en cuenta el posible error sistemático que pueda existir en la medición de la potencia aeróbica máxima (15).

El análisis Bland y Altman (36) evidenció un error sistemático de 13,9 %, el cual no pudo ser explicado en su totalidad mediante el sesgo introducido por el sistema SRM (2,5 %), ni por el posible error del cicloergómetro (2-4 %) (306). En cuanto al error aleatorio fue del 20,2 %, el cual tampoco pudo ser explicada en su totalidad por la variabilidad que puede introducir el sistema SRM.

Estos datos concuerdan con el EEMP tanto absoluto como relativo observado en laboratorio y fue superior (17,3 % ó 65,8 W) al observado en campo (6,8 % ó 27,7 W). El error fijo en laboratorio tanto absoluto como relativo fue mayor en laboratorio (41,4 % ó 27,0 W) respecto a campo (4,4 % ó 1,2 W). Por otra parte, el error variable absoluto fue mayor en laboratorio (58,9 % ó 38,7 W) respecto a campo (95,6 % ó 26,4 W).

Las causas que pudieron haber influido sobre el error aleatorio fueron las mismas que en el análisis de la repetibilidad de la prueba de campo, aunque en este caso este error fue mayor (20,2 % vs. 12,9 %, respectivamente). Este hecho pudo ser causado por la acentuación entre las diferencias de las variables ambientales entre las condiciones de la prueba de laboratorio respecto a las de campo. En este sentido, en velódromo se introdujo la variable viento que en laboratorio no existió, además de las diferencias significativas entre la presión atmosférica de laboratorio y campo ($747,7 \pm 12,0$ vs. $728,2 \pm 2,8$ mmHg, respectivamente). También debido a las diferencias biomecánicas,

puesto que en laboratorio se utilizó un cicloergómetro y en velódromo una bicicleta de pista. Y, al efecto curva, el cual fue patente en los resultados de la presente tesis doctoral (Figura 57) y está de acuerdo con lo sugerido por otros autores (190, 289). Y por último, a las pequeñas diferencias entre el protocolo de laboratorio y campo.

En cuanto al error sistemático, fue mayor entre la prueba de laboratorio y campo respecto al hallado en la repetibilidad del test (2 % ó 53,2 W frente a 13,9 % ó 8,1, respectivamente). Las causas del error sistemático podrían ser las mismas que las que provocan el error aleatorio entre el protocolo de laboratorio y campo ($P_O = 28,6 \pm 3,4$ frente a $51,5 \pm 5,4$ %, respectivamente y $\Delta P = 20,6 \pm 4,6$ frente a $11,7 \pm 1,4$ W). Una última variable que podría haber afectado al error sistemático fue la calibración del SRM respecto al cicloergómetro y un pequeño error de medición que introduce el sistema SRM cuando la frecuencia de pedaleo no es constante (178).

Esto último se puede explicar desde la física clásica. En el apartado de material y métodos se explicó que el sistema SRM calcula la producción de potencia mecánica mediante el producto del momento de fuerza y la velocidad angular (frecuencia de pedaleo), la física explica que esta relación es correcta si la velocidad es constante (Figura 82). Pero si la velocidad de pedaleo no es constante, existe aceleraciones, entonces no puede realizarse tal simplificación. El SRM mide fuerza y frecuencia de pedaleo (velocidad tras ciertas operaciones triviales) y los multiplica. Cuando la cadencia del ciclista es más o menos constante, la potencia está bien calculada, pero en el caso de variaciones bruscas de cadencia (léase arrancadas), la fórmula a aplicar tendría que ser la de la figura 83 (si se pudiera considerar una aceleración constante) u otras más sofisticadas.

El error sistemático observado fue de unos 50 W, el cual pudo ser explicado en gran medida por las diferencias introducidas de manera no intencionada entre ambos protocolos, por las diferencias ambientales, biomecánicas y por el efecto curva. En este sentido, Lucía y col. (236) han sugerido que en ciclistas profesionales se obtienen unos 50 W más en los protocolos minutados respecto a los de duraciones superiores, que es precisamente el error sistemático entre la prueba de campo y laboratorio.

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Tiempo}} \quad (\text{trabajo} \approx \text{energía})$$

$$\text{Trabajo} = \text{Fuerza} \cdot \text{Desplazamiento} \Rightarrow \text{Potencia} = \frac{\text{Fuerza} \cdot \text{Desplazamiento}}{\text{Tiempo}}$$

SÓLO si la frecuencia de pedaleo es constante se cumple:

$$\frac{\text{Desplazamiento}}{\text{Tiempo}} = \text{Velocidad}^* \Rightarrow \text{Potencia} = \text{Fuerza} \cdot \text{Velocidad}^*$$

* Velocidad: Frecuencia de pedaleo.

Figura 82. Ecuación para el cálculo de la producción de potencia mecánica cuando la frecuencia de pedaleo es constante

PERO si la frecuencia de pedaleo no es constante, aceleraciones y deceleraciones, hay que aplicar:

$$\frac{\text{Desplazamiento}}{\text{Tiempo}} \text{Vo}^* + \left(\frac{\Delta V^{**}}{2}\right) \Rightarrow \text{Potencia} = \text{Fuerza} \cdot \text{Vo}^* + \left(\frac{\Delta V^{**}}{2}\right)$$

* Vo: Frecuencia de pedaleo inicial; ** ΔV: Incremento de frecuencia de pedaleo.

Figura 83. Ecuación para el cálculo de la producción de potencia mecánica cuando la frecuencia de pedaleo no es constante

A pesar del error sistemático en la potencia aeróbica máxima, estas diferencias no tienen porque influir necesariamente en las diferentes variables fisiológicas y cardiorrespiratorias máximas y submáximas (413), en este sentido otro hallazgo importante que afecta de manera muy importante a la validación de la prueba de campo fue que la FC a nivel submáximo no presentó diferencias significativas para ninguna de las intensidades relativas de trabajo, por lo tanto la FC submáxima mostró tener una excelente fiabilidad absoluta. En consecuencia, las pequeñas diferencias de carga, inducidas por las diferencias en los protocolos, no afectaron a la adaptación cardíaca de los deportistas entre la prueba de laboratorio y de campo.

Por último, otro hallazgo colateral de cierta importancia fue que el esfuerzo en laboratorio sobre cicloergómetro fue diferente al esfuerzo en velódromo sobre una bicicleta de pista. El hecho de hallarse menores valores de lactatemia máxima en campo (6,9 vs. 8,4 mM) probablemente se puede explicar mediante el efecto curva, a pesar del hecho paradójico de hallarse una mayor frecuencia de pedaleo en velódromo (99,7 vs. 87,7 rpm, $p < 0,001$) (32, 139, 405).

5.3.3. Relación con otros estudios

Padilla y col. (302) utilizaron una prueba t de Student para evaluar la fiabilidad y la validez de la potencia aeróbica máxima de una prueba de campo con otra de referencia desarrollada en laboratorio. Por lo que, su estudio aporta muy poca información de las posibles fuentes de error en su medición. Y en consecuencia, no utilizan las herramientas estadísticas idóneas para tal fin. La información que nos da es acerca de la fiabilidad absoluta de sus mediciones.

Con respecto a diversas variables como la $FC_{m\acute{a}x}$ diferentes autores tampoco han evidenciado diferencias significativas de esta variable entre una prueba triangular en cicloergómetro respecto a otra de campo (302, 320). Respecto a la $[La^-]_{m\acute{a}x}$ Ricci y Léger (320) no encontraron diferencias significativas, aunque Padilla y col. (302) obtuvieron valores mayores de $[La^-]_{m\acute{a}x}$, y $[La^-]$ en el rango de intensidades de entre el 60 y el 80 % potencia aeróbica máxima en velódromo respecto a laboratorio (13,5 vs. 11,8 mM). Este hecho lo relacionaron con las diferencias entre ambos protocolos, ya que en laboratorio se realizaron incrementos de 3 min y en campo de entre 3:30 y 5 min. Por el contrario, en la presente tesis se halló una $[La^-]_{m\acute{a}x}$ menor en velódromo respecto a laboratorio, la cual no puede estar influenciada por las diferencias de carga entre el protocolo de laboratorio y campo, tal y como sugiere Padilla y col. (302), ya que en campo al haber sido el incremento de carga promedio superior al de laboratorio se tendrían que haber alcanzado mayores $[La^-]_{m\acute{a}x}$. Probablemente, al haber una diferencia en el incremento de carga tan pequeño, entre ambos protocolos, la mayor carga del protocolo de campo no habría sido tan importante como para reflejar una carga metabólica mayor. Aunque, existió un hecho paradójico y es la mayor cadencia de pedaleo desarrollada en campo respecto a laboratorio, la cual tendría que haber influenciado a producir mayores concentraciones de lactato por una mayor implicación de las fibras rápidas, tal y como sugiere (32).

El estudio realizado por Léger y col. (225) tuvo unas características más similares al desarrollado en la presente tesis. El problema del estudio de estos autores es que presentó una serie de sesgos a tener en consideración, tanto en su diseño como en su validación. En ese sentido, estos autores propusieron incrementos de velocidad en función de una fórmula (316), que como se ha

demostrado en el presente estudio, no es la más idónea y probablemente tendrían que haber utilizado la de Di Prampero y col. (101) para haber sido más precisos en el cálculo de los incrementos de carga. Además, la validación de este protocolo la realizaron mediante la comparación del consumo máximo de oxígeno medido en laboratorio y el estimado en campo, mediante la ecuación anteriormente citada, la cual sobreestimó el consumo máximo de oxígeno calculado en laboratorio, según esos mismos autores (60,8 frente a 71,2 mL·Kg⁻¹·min⁻¹).

Por otra parte, los estadísticos utilizados aportan muy poca información, en este sentido utilizaron una correlación de Pearson para explicar la relación entre el consumo máximo de oxígeno de laboratorio y campo, dicho estadístico sólo aporta información de la fiabilidad relativa de ambas variables.

La poca información que ofrecen las herramientas estadísticas aplicadas por los diversos autores, por el hecho de no haber evaluado la influencia sobre la medida de los errores sistemáticos y aleatorios, hizo que fuese poco contrastada con los datos aportados por la presente tesis. Por eso, se puede sugerir que a la hora de controlar y comparar el entrenamiento del deportista haya que hacerlo utilizando siempre el mismo protocolo y en las mismas condiciones, por lo tanto o en laboratorio o en campo.

Estos hallazgos sugieren que debido a las diferencias mecánicas y ambientales, el esfuerzo en laboratorio controlado sobre un cicloergómetro sea diferente al esfuerzo en condiciones específicas.

5.4. Discusión de las ecuaciones propuestas para la estimación de la producción de potencia mecánica y VO_{2máx}

En este punto se han discutido los resultados de las diferentes ecuaciones utilizadas en la estimación la producción de potencia mecánica y el consumo máximo de oxígeno en campo. Indicando cuales de las ecuaciones son las más idóneas para ser utilizadas en función de las medidas de producción de potencia recogidas por el sistema SRM y el consumo máximo de oxígeno medido en laboratorio.

5.4.1. Ecuaciones para la estimación de la producción de potencia mecánica

A la hora de comparar los resultados obtenidos en la presente tesis con los de otros autores no fue posible debido a la ausencia de literatura en la que se evalúe las ecuaciones existentes para estimar la producción de potencia mecánica en relación al sistema SRM.

Una vez estudiada la relación existente entre la estimación de la potencia mecánica mediante las diferentes ecuaciones (Apéndice 1) en la literatura y la producción de potencia mecánica medida en cada una de las intensidades relativas de trabajo mediante el sistema SRM, se observó que las ecuaciones de Whitt y Wilson (395) y Olds (290) mostraron un bajo EEMP (8,9 y 8,4 %, respectivamente) aunque la práctica totalidad de su error se debió al error aleatorio (5,6 y 8,4 %, respectivamente).

Otras ecuaciones que presentaron un bajo EEMP fueron las de Candau y col. (59), seguidas por las de Olds (291), Whitt (396) y Di Prampero y col. (101) (12,2-21,1 %); además de tener un error sistemático no muy elevado (12,2 y 21,1 %, respectivamente). De las cuales, las que presentaron un menor error aleatorio fueron las de Candau y col. (59) y Di Prampero y col. (101), (0,5 y 0,6 %, respectivamente). Por último, la ecuación de Olds (290) fue la única función que no presentó diferencias significativas respecto a la medición de la potencia aeróbica máxima mediante el SRM ($398,4 \pm 51,4$ vs. $407,8 \pm 61,9$; $p > 0,05$).

A pesar de que las ecuaciones de Whitt y Wilson (395) y Olds (290) tuvieron el menor error total no son las mejores para estimar la potencia ya que obtuvieron los mayores errores aleatorios (16,0 y 24,7 W, respectivamente), y precisamente el error aleatorio es difícil de corregir. Por otra parte, las ecuaciones de Candau y col. (59), Olds (291), Whitt (396) y Di Prampero y col. (101) tuvieron un error total moderado pero como se debió casi en su totalidad al error sistemático, éste se puede corregir con facilidad, además la fuente de error aleatorio fue muy baja (1,7, y 1,9 W, respectivamente). Por lo tanto, la ecuación que estima mejor la potencia aeróbica máxima fue la de Olds (290), aunque las más idóneas para ser utilizadas en la estimación de la producción de la potencia mecánica a diferentes intensidades relativas de trabajo fueron

las de Candau y col. (59) y Di Prampero y col. (101), además estas últimas presentan una ventaja respecto a la de Olds (290) y es que son más funcionales a la hora de ser aplicadas, debido a que se tienen que calcular menos coeficientes.

Este es otro de los principales hallazgos de la presente tesis, ya que el hecho de conocer qué ecuaciones estiman mejor la producción de potencia mecánica a nivel de campo se convierte una herramienta muy útil para los entrenadores y preparadores de ciclismo así como para los investigadores del deporte.

5.4.2. Relación % PAM y % VAM

En la prueba de campo se alcanzó una velocidad máxima promedio de 41,7 $\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$ esta VAM es superior a las aportadas por otros estudios (39,3 y 39,7 $\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$) (248, 320). Marion y Léger (248), estudiaron la relación % PAM - % VAM explicándola mediante una función exponencial con base logarítmica. En la presente tesis se ha utilizado el mismo tipo de función para establecer la relación entre estas dos variables (% PAM = 0,0818 e (2,5167 % VAM)). Estos autores presentaron una alta correlación ($r = 0,981$) así como un bajo error estándar de la estimación (SEE = 5,7 %) para una muestra de 16 sujetos. En la presente tesis también se ha encontrado un alto coeficiente de correlación ($r = 0,997$) y un error estándar de la estimación aceptable (SEE = 13,7 %). Es interesante observar que el error estándar de estimación de la presente tesis es superior al hallado por Marion y Léger (248). Una posible explicación puede ser la diferente metodología utilizada para calcular el % PAM. Mientras que en el presente estudio se utilizó el porcentaje de la potencia aeróbica máxima de las pruebas triangulares en pista medida mediante el SRM, Marion y Léger (248) estimaron el VO_2 al final de cada repetición mediante retroextrapolación y la expresaron como porcentaje del consumo máximo de oxígeno calculado en laboratorio, de esta manera expresaron el % PAM.

Se puede considerar que la ecuación % PAM - % VAM de la presente tesis parece haber sido establecida con una metodología más correcta que las reportadas por otros autores a pesar de que la precisión o el error estándar de la estimación sea superior. Para poder discutir más en profundidad esta

cuestión sería necesario que estos autores hubiesen indicado el error aleatorio y sistemático.

En definitiva la relación % PAM - % VAM es una buena herramienta para los profesionales del entrenamiento ciclista, ya que se puede estimar el porcentaje de potencia aeróbica máxima, o lo que es lo mismo, la intensidad relativa de trabajo a la cual rueda el ciclista o el triatleta conociendo la velocidad de desplazamiento. Situación aplicable solo cuando las condiciones climatológicas son estables o están controladas, como por ejemplo en el interior de un velódromo.

5.4.3. Ecuaciones propuestas para la estimación del $VO_{2\text{máx}}$

Uno de los objetivos secundarios de la presente tesis es observar como se ajustan las ecuaciones utilizadas para estimar el VO_2 o $VO_{2\text{máx}}$ en la prueba de campo (Apéndices 2 y 3). La única que ha estado de acuerdo con el $VO_{2\text{máx}}$ medido en la prueba de laboratorio ha sido la de Di Prampero y col. (101). Precisamente, Padilla y col. (302) en un protocolo triangular en pista hasta la fatiga no encontraron diferencias significativas entre la estimación del $VO_{2\text{máx}}$ mediante la ecuación de Di Prampero y col. (101) y el $VO_{2\text{máx}}$ medido en laboratorio.

Otros estudios, que estimaron el consumo máximo de oxígeno mediante la técnica de retroextrapolación del VO_2 en pruebas de campo mostraron resultados contradictorios. En este sentido, Ricci y Léger (320) encontraron diferencias significativas en el consumo máximo de oxígeno medido en una prueba de laboratorio respecto al estimado mediante retroextrapolación en una prueba de campo triangular hasta la fatiga. A este hecho no le supieron dar explicación, aunque es muy probable que existiesen problemas a la hora de aplicar la técnica de retroextrapolación del VO_2 . Por el contrario, Marion y Léger (248) no encontraron diferencias significativas en el consumo máximo de oxígeno entre una prueba en laboratorio en rampa y otra en campo en la que se realizaban 5 intensidades de manera progresiva hasta la fatiga y utilizando la técnica de retroextrapolación.

En la presente tesis se ha relacionado mediante las ecuaciones de Di Prampero y col. (101) el consumo máximo de oxígeno estimado y la VAM de

las pruebas de campo. Los resultados muestran una relación media ($r = 0,600-0,700$) entre las diferentes expresiones del consumo máximo de oxígeno y una relación elevada cuando se expresó en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($r = 0,842$). Además, el error estándar de la estimación resultó ser relativamente bajo ($\text{SEE} = 15,5\%$).

Por lo tanto, la ecuación de Di Prampero y col. (101) parece ser la más idónea para estimar el consumo máximo de oxígeno en la prueba de campo propuesta en la presente tesis.

Otra cuestión evaluada en la presente tesis doctoral fue la relación entre el consumo máximo de oxígeno estimado en pista y la VAM. En este sentido, la expresión de consumo máximo de oxígeno que tuvo más relación con la VAM, y en este caso con el rendimiento aeróbico máximo, fue el expresado en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ($r = 0,842$), más que el expresado en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-0,32}\cdot\text{min}^{-1}$ ($r = 0,672$). Estos resultados divergen de los hallados por otros autores, los cuales sugieren que la expresión de consumo máximo de oxígeno que tiene más relación con el rendimiento máximo en ciclistas profesionales (PAM) es el expresado como $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-0,32}\cdot\text{min}^{-1}$ (301). En consecuencia, estos resultados sugieren que para un grupo de nivel heterogéneo es más idóneo expresar el consumo máximo de oxígeno en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ cuando se evalúa la VAM, puesto que tiene una mayor relación con el rendimiento aeróbico máximo del deportista.

5.5. Discusión de la determinación de ritmos de entrenamiento o zonas de intensidad relativa de trabajo

En este punto se ha realizado una propuesta para la determinación de intensidades de entrenamiento en función de los diferentes conceptos fisiológicos determinados en la presente tesis. Se ha realizado una propuesta de ritmos de entrenamiento en función de si se desea utilizar una prueba de laboratorio o el protocolo planteado en el presente trabajo.

5.5.1. Determinación de ritmos de entrenamiento en función de una prueba de laboratorio

Existen diferentes estudios en los que se ha sugerido que el entrenamiento a una misma intensidad relativa de trabajo se produce una adaptación del metabolismo lipídico, incrementando el $G_{\text{máx}}$ en valores absolutos como la

intensidad relativa de trabajo a la cual se consigue el máximo ritmo de oxidación de grasas (123). Por otra parte, el entrenamiento de resistencia aeróbica produce un aumento del UL asociado a un incremento en la capacidad de oxidación de lípidos (168, 180, 373). Además, en ciclismo también se ha estudiado que el ritmo de competición mejora mucho más realizando un entrenamiento interválico a esa misma intensidad relativa de trabajo, respecto a intensidades superiores o inferiores (358).

Todos estos hallazgos han contribuido a consolidar el principio de especificidad del entrenamiento. Este principio consiste en que los estímulos de entrenamiento son específicos al tipo de estímulo de entrenamiento que se utilice, por lo tanto específico al sistema de producción de potencia, al grupo muscular y a cada articulación (381, 382). Por lo que se justifica la utilidad de la determinación de intensidades de entrenamiento en el deporte de competición.

Tradicionalmente se han utilizado 3 conceptos básicos para la determinación de zonas de entrenamiento en las modalidades ciclistas para el entrenamiento de la resistencia aeróbica. El primero es aquel concepto relacionado con el umbral aeróbico, el segundo con el umbral anaeróbico y el tercero con el consumo máximo de oxígeno (114, 130, 348, 354). Estos autores proponen 3 ó 4 zonas de entrenamiento submáximo.

Por otra parte, de esta tesis se desprende que se puede utilizar una nueva metodología para la determinación de zonas de entrenamiento aeróbico, por un lado utilizando la metodología del ritmo de oxidación de grasas e hidratos de carbono y, por otro, por el hecho de que parece justificado el intercambiar el $G_{\text{máx}}$ por primer umbral ventilatorio (11) y el concepto de cruce metabólico por el de UL tal y como se ha objetivado en la presente tesis.

Teniendo en cuenta el principio de especificidad y que en la presente tesis se han tratado conceptos metabólicos interesantes a considerar en el entrenamiento de resistencia aeróbica a continuación se propone una metodología con 6 zonas de entrenamiento, la cual se puede determinar de forma precisa en laboratorio mediante los conceptos de Zona $G_{\text{máx}}$, concepto de cruce metabólico, $G_{\text{mín}}$ y $VO_{2\text{máx}}$.

Esta nueva metodología propone una primera zona denominada *Aeróbico 1* (A_1), que se inicia desde que el individuo rompe la situación basal hasta el inicio de la zona $G_{m\acute{a}x}$ ($-10\% G_{m\acute{a}x}$). La segunda zona denominada *Aeróbico 2* (A_2) es desde el inicio de la la Zona $G_{m\acute{a}x}$ ($\pm 10\% G_{m\acute{a}x}$) hasta el $G_{m\acute{a}x}$. La tercera zona denominada *Aeróbico 3* (A_3) desde el $G_{m\acute{a}x}$ hasta el final de la Zona $G_{m\acute{a}x}$ ($+10\% G_{m\acute{a}x}$). La cuarta zona denominada *Aeróbico 4* (A_4) desde el final de la zona $G_{m\acute{a}x}$ hasta el concepto de de cruce metabólico. La quinta zona denominada *Aeróbico 5* (A_5) desde el concepto de cruce metabólico hasta el $G_{m\acute{i}n}$ y la sexta y última zona denominada *Aeróbico 6* (A_6) que alcanza el $G_{m\acute{i}n}$ hasta el $VO_{2m\acute{a}x}$ (Figura 84, Tabla 47).

Aeróbico 1 (A_1)	$-10\% G_{m\acute{a}x}$
Aeróbico 2 (A_2)	$-10\% G_{m\acute{a}x} - \% G_{m\acute{a}x}$
Aeróbico 3 (A_3)	$G_{m\acute{a}x} - +10\% G_{m\acute{a}x}$
Aeróbico 4 (A_4)	$+10\% G_{m\acute{a}x} - CM$
Aeróbico 5 (A_5)	$CM - G_{m\acute{i}n}$
Aeróbico 6 (A_6)	$G_{m\acute{i}n} - VO_{2m\acute{a}x}$

Tabla. 47. Propuesta de zonas de entrenamiento mediante el cálculo con calorimetría indirecta en laboratorio de los conceptos Zona $G_{m\acute{a}x}$, $G_{m\acute{a}x}$, CM, $G_{m\acute{i}n}$ y $VO_{2m\acute{a}x}$

5.5.2. Determinación de ritmos de entrenamiento en función a la prueba de campo propuesta

La metodología desarrollada con anterioridad puede aplicar a la prueba de campo propuesta por esta tesis. Para ello se proponen a nivel general las siguientes intensidades relativas de trabajo (Tabla 48):

Aeróbico 1 (A_1)	$> 40\% PAM$
Aeróbico 2 (A_2)	$41-54\% PAM$
Aeróbico 3 (A_3)	$55-69\% PAM$
Aeróbico 4 (A_4)	$70-79\% PAM$
Aeróbico 5 (A_5)	$80-89\% PAM$
Aeróbico 6 (A_6)	$90-100\% PAM$

Tabla 48. Propuesta de zonas de entrenamiento, para aplicar al protocolo propuesto en campo

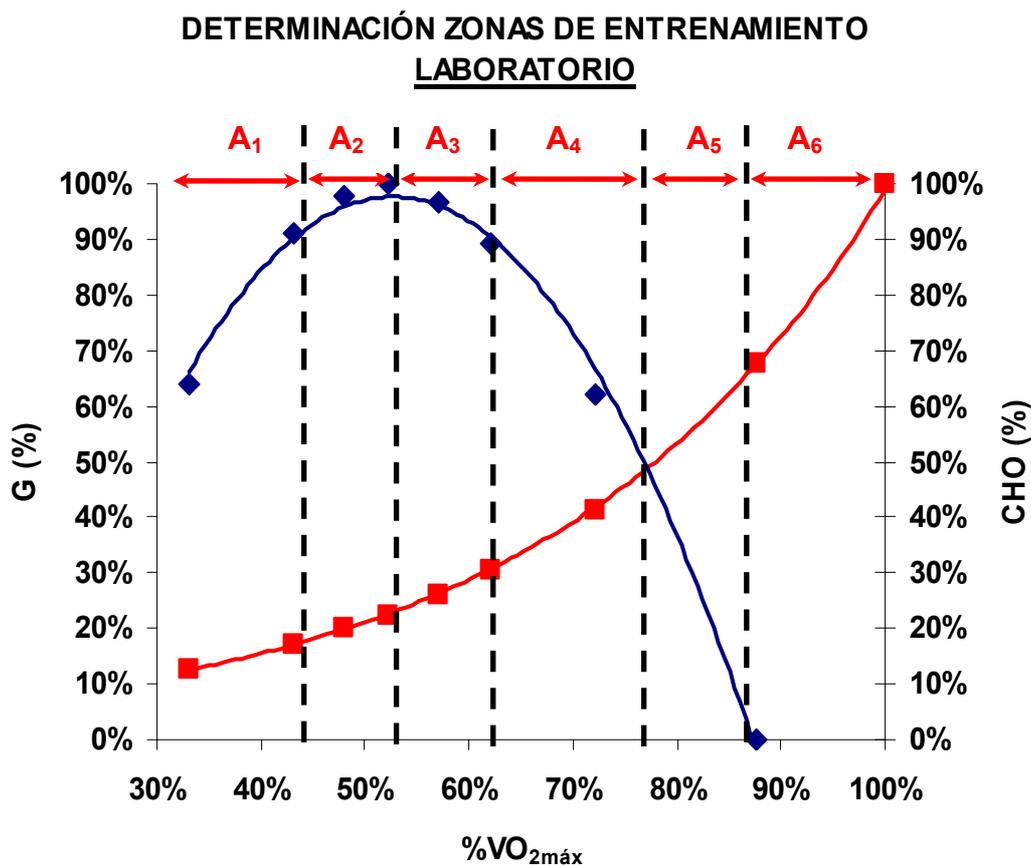


Figura 84. Determinación de zonas de entrenamiento en laboratorio, mediante el ritmo de oxidación de grasas e hidratos de carbono

5.6. Discusión del diseño del protocolo de campo

En este punto se ha realizado la propuesta de estandarización de zonas de entrenamiento en función del nivel de rendimiento del deportista teniendo en cuenta las características del protocolo validado en la presente tesis doctoral.

5.6.1. Estandarización del protocolo de campo en función del nivel de rendimiento del deportista

Con el fin de adaptar la prueba de campo validada en la presente tesis doctoral a diferentes grupos de ciclistas y triatletas en función de su nivel de rendimiento, se han estandarizado 4 protocolos diferentes. Los protocolos han sido diseñados para que tengan una duración máxima de 20 min.

Las variables de producción de potencia mecánica y VO₂ de las diferentes estandarizaciones fueron estimadas mediante las ecuaciones de Di Prampero y col. (101), las variables de de dichas ecuaciones fueron calculadas como los

valores promedio obtenidos en la presente tesis doctoral ($M = 69,4 \text{ Kg}$, $P_b = 747,7 \text{ mmHg}$, $T^a = 295 \text{ }^\circ\text{K}$ y $ASC = 1,84 \text{ m}^2$).

Para la estimación de la producción de potencia mecánica y VO_2 fuesen representativos de la población no se ha estandarizado un protocolo que llegase a velocidades superiores a las medidas en la presente tesis, las cuales serían propias de ciclistas profesionales de altísimo nivel, los cuales desarrollan potencias aeróbicas máximas superiores a 550 W (300). En consecuencia se ha estimado la producción de potencia mecánica en todas las estandarización propuestas y el VO_2 en todas excepto en la última (Estandarización D) en la cual el consumo máximo de oxígeno se sobreestima de manera considerable.

El protocolo "A" ha sido diseñado para aplicarse a ciclistas y triatletas jóvenes de ambos sexos (Tabla 49), el protocolo "B" a ciclistas juveniles y triatletas de nivel nacional de ambos sexos (Tabla 50), el "C" para ciclistas sub23 y triatletas de ambos sexos de nivel internacional (Tabla 51) y el "D" para ciclistas y triatletas profesionales (Tabla 52).

Escalones (nº)	V ($\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$)	P (W)	VO_2 ($\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)
1	22,0	63	15,6
2	22,7	67	16,4
3	23,3	72	17,3
4	24,0	77	18,3
5	24,6	82	19,3
6	25,3	88	20,3
7	25,9	94	21,4
8	26,6	100	22,6
9	27,2	106	23,8
10	27,9	113	25,1
11	28,5	120	26,4
12	29,2	127	27,7
13	29,8	134	29,2
14	30,5	142	30,7
15	31,1	150	32,2
16	31,8	159	33,8
17	32,4	168	35,5
18	33,1	177	37,2
19	33,7	186	39,0
20	34,4	196	40,9

Tabla 49. Estandarización protocolo "A"

Escalones (nº)	V (Km·h ⁻¹)	P (W)	VO ₂ (mL·Kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
1	27,0	104	23,4
2	27,7	111	24,7
3	28,3	117	26,0
4	29,0	125	27,3
5	29,6	132	28,7
6	30,3	140	30,2
7	30,9	148	31,7
8	31,6	156	33,3
9	32,2	165	35,0
10	32,9	174	36,7
11	33,5	183	38,5
12	34,2	193	40,3
13	34,8	203	42,2
14	35,5	213	44,2
15	36,1	224	46,3
16	36,8	235	48,4
17	37,4	247	50,6
18	38,1	259	52,9
19	38,7	271	55,2
20	39,4	284	57,6

Tabla 50. Estandarización protocolo "B"

Escalones (nº)	V (Km·h ⁻¹)	P (W)	VO ₂ (mL·Kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
1	32,0	162	34,5
2	32,7	171	36,2
3	33,3	180	37,9
4	34,0	190	39,7
5	34,6	200	41,6
6	35,3	210	43,6
7	35,9	221	45,6
8	36,6	232	47,7
9	37,2	243	49,9
10	37,9	255	52,2
11	38,5	267	54,5
12	39,2	280	56,9
13	39,8	293	59,4
14	40,5	306	61,9
15	41,1	320	64,6
16	41,8	335	67,3
17	42,4	349	70,1
18	43,1	364	73,0
19	43,7	380	75,9
20	44,4	396	79,0

Tabla 51. Estandarización protocolo "C"

Escalones (nº)	V (Km·h ⁻¹)	P (W)
1	37,0	240
2	37,7	251
3	38,3	264
4	39,0	276
5	39,6	289
6	40,3	302
7	40,9	316
8	41,6	330
9	42,2	345
10	42,9	360
11	43,5	375
12	44,2	391
13	44,8	407
14	45,5	424
15	46,1	442
16	46,8	459
17	47,4	478
18	48,1	496
19	48,7	516
20	49,4	535

Tabla 52. Estandarización protocolo “D”

Por último, la VAM se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\text{VAM (Km·h}^{-1}\text{)} = V_f + [(t \cdot D^{-1}) \times \Delta V]$$

donde,

V_f : Velocidad del último escalón completado.

t: Tiempo mantenido durante el último escalón no completado (seg).

D: Duración de los últimos escalones de la prueba (en este caso 60 seg).

ΔV : Diferencia de velocidad entre los últimos escalones (en este caso 0,65 Km·h⁻¹).

La fórmula propuesta permite conocer la VAM de forma precisa, ya que se adapta al protocolo exacto que se desee utilizar, y por lo tanto si se introducen variaciones en los protocolos estandarizados en la presente tesis se podrá calcular igualmente de forma precisa la VAM.

6. CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

1. El protocolo triangular de campo propuesto en la presente tesis doctoral es fiable y, por lo tanto, válido. En consecuencia, se puede utilizar para la determinación de ritmos de entrenamiento en ciclistas y triatletas en velódromo.
2. La determinación de diferentes variables fisiológicas máximas y submáximas como la $G_{máx}$, Zona $G_{máx}$, cruce metabólico, $G_{mín}$ y potencia aeróbica máxima han servido para realizar la nueva propuesta de ritmos de entrenamiento.
3. El concepto de cruce metabólico se encuentra a la misma intensidad relativa de esfuerzo que el umbral láctico individual.
 - 3.1. El concepto de cruce metabólico y el umbral láctico individual se pueden utilizar indistintamente para determinar zonas de entrenamiento como conceptos de intensidades que definen el Umbral Anaeróbico.
4. La producción de potencia mecánica medida con el sistema SRM puede ser estimada mediante las diferentes ecuaciones propuestas en la literatura de manera exacta y precisa.
 - 4.1. La ecuación de Olds (290) es la única que estima la potencia aeróbica máxima en relación a la producción de potencia mecánica medida con el SRM.
 - 4.2. Las ecuaciones propuestas por Candau (59) y Di Prampero y col. (101) son las que mejor estiman la producción de potencia mecánica en cada una de las intensidades relativas de trabajo.
5. La función que relaciona el % PAM con el % VAM es una buena herramienta para estimar el % PAM que desarrolla el ciclista o el triatleta en entrenamiento o competición, solo conociendo la velocidad de

- desplazamiento y la VAM en condiciones atmosféricas controladas o en velódromo.
6. De todas las ecuaciones estudiadas para estimar el consumo máximo de oxígeno, la que lo estima mejor es la de Di Prampero y col. (101).
 - 6.1. El consumo máximo de oxígeno estimado y expresado en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ mediante la ecuación de Di Prampero y col. (101) es la expresión que tiene una mayor relación con la VAM en el protocolo de campo diseñado en la presente tesis.
 - 6.2. Al estimar el consumo máximo de oxígeno en situaciones controladas de campo o en pista la manera más exacta de expresarlo es en $\text{mL}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.
 7. Se ha desarrollado una nueva propuesta metodológica para la determinación de zonas de entrenamiento a partir de una prueba en laboratorio.
 - 7.1. Se han estandarizado 4 protocolos para aplicarlos en diferentes poblaciones, cada uno de ellos con una duración máxima de 20 min de duración:
 - 7.2. Protocolo "A": para aplicarse a ciclistas y triatletas jóvenes de ambos sexos. La velocidad inicial es de $22,0 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$, duración del escalón de 1 min, incrementos de velocidad $0,65 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$.
 - 7.3. Protocolo "B": para aplicarse a ciclistas juveniles y triatletas de nivel nacional de ambos sexos. La velocidad inicial es de $27,0 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$, duración del escalón de 1 min, incrementos de velocidad $0,65 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$.
 - 7.4. Protocolo "C": para aplicarse a ciclistas Sub23 y triatletas de nivel internacional de ambos sexos. La velocidad inicial es de $32,0 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$, duración del escalón de 1 min, incrementos de velocidad $0,65 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$.
 - 7.5. Protocolo "D": para aplicarse a ciclistas y triatletas profesionales de ambos sexos. La velocidad inicial es de $37,0 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$, duración del escalón de 1 min, incrementos de velocidad $0,65 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Esta tesis doctoral ha contribuido a generar nuevo conocimiento en el ámbito de las ciencias del deporte, aportando nuevas relaciones y describiendo nuevas metodologías. Mediante el concepto de cruce metabólico y aplicándolo al deporte de competición, determinando que dicho concepto y el ULI se encuentran a la misma intensidad relativa de esfuerzo, se ha aportado un protocolo de campo original para ciclistas y triatletas. También, se ha determinado la ecuación que mejor estima la potencia aeróbica máxima y la producción de potencia mecánica submáxima en relación a la producción de potencia medida mediante el sistema SRM, se ha aportado una nueva metodología para determinar zonas de entrenamiento y, por último, se han estandarizado diferentes protocolos para determinar intensidades de entrenamiento mediante una prueba en velódromo fácil de utilizar, no invasiva y económica.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHTEN, J., and A. E. JEUKENDRUP. Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *Int. J. Sports Med.* 24:603 – 608, 2003.
2. ACHTEN, J., M. GLEESON, and A. E. JEUKENDRUP. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:92 – 97, 2002.
3. ADAMS, G. M. *Exercise Physiology Laboratory Manual*. Dubuque, IA: Wm. C. Brown, 1990.
4. ALGARRA, J. L., and A. GORROTXATEGI. *Ciclismo total. 1. Fundamentos del ciclismo*. Madrid: Gymnos, 1996.
5. ALGARRA, J. J. *Ciclismo*. Madrid: Comité Olímpico Español, 1990.
6. ALTER, M. J. *Los estiramientos. Bases científicas y desarrollo de ejercicios*. Barcelona: Paidotribo, 1999.
7. ALTMAN, D. G., and J. M. BLAND. Measurement in medicine: the analysis of method comparison studies. *Statistician.* 32:307 – 317, 1983.
8. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. *Guidelines for Graded Exercise Testing and Training*, 3rd Ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1986.
9. ANSLEY, L., E. SCHABORT, A. ST CLAIR GIBSON, M. I. LAMBERT, and T. D. NOAKES. Regulation of Pacing Strategies during Successive 4-km Time Trials. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:1819 – 1825, 2004.
10. ARNOS, P. M., J. SOWASH, and F. F. ANDRES. Fat oxidation at varied work intensities using different exercise modes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29:S199, 1997.
11. ASTORINO, T. A. Is the ventilatory threshold coincident with maximal fat oxidation during submaximal exercise in women?. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 40:209 – 216, 2000.

12. ASTRAND, P. O., and K. RODAHL. *Physical training. Textbook of Work Physiology*. New York: McGraw-Hill book Co, 1970.
13. ASTRAND, I., P. O. ASTRAND, E. H. CHRISTENSEN, and R. HEDMAN. Intermittent muscular work. *Acta Physiol. Scand.* 48:448 – 453, 1969.
14. ASTRAND, I., P. O. ASTRAND, E. H. CHRISTENSEN, and R. HEDMAN. Myohemoglobin as an oxygen store in man. *Acta Physiol. Scand.* 48:454 – 460, 1969.
15. ATKINSON, G., and A. M. NEVILL. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med.* 26:217 – 238, 1998.
16. ATKINSON, G., and R. REILLY. Circadian variation in sports performance. *Sports Med.* 21:292 – 312, 1996.
17. BALMER, J., R. C. DAVISON, D. A. COLEMAN, and S. R. BIRD. The validity of power output recorded during exercise performance tests using a Kingcycle air-braked cycle ergometer when compared with an SRM powermeter. *Int. J. Sports Med.* 21:195 – 199, 2000.
18. BANISTER, E. W., J. B. CARTER, and P. C. ZARKADAS. Training theory and taper: validation in triathlon athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 79:182 – 191, 1999.
19. BARBEAU, P., O. SERRESSE, and M. R. BOULAY. Using maximal and submaximal aerobic variables to monitor elite cyclists during a season. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:1062 – 1069, 1993.
20. BARON, R. Aerobic and anaerobic power characteristics of off-road cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:1387 – 1393, 2001.
21. BASSET, F. A., and M. R. BOULAY. Specificity of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81:214 – 221, 2000.
22. BASSETT, D. R., C. R. KYLE, L. PASSFIELD, J. P. BROFER, and E. R. BURKE. Comparing cycling world hour records, 1967 – 1996: modelling with empirical data. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:1665 – 1676, 1999.

23. BEASLEY, J. C., and S. A. PLOWMAN. Effect of optimized and Standard cycle ergometry on VO_{2max} in trained cyclists and runners. *Res. Q. Exerc. Sports*. 60:373 – 378, 1989.
24. BENEDICT, F. G., and E. P. CATHCART. *Publication n° 187*. Washington D.C.: Carnegie Institution, 1913.
25. BENEKE, R., and S. P. VON DUVILLARD. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med. Sci. Sports Exerc*. 28:241 – 246, 1996.
26. BENTLEY, D. J., L. R. MCNAUGHTON, D. THOMPSON, V. E. VLECK, and A. M. BATTERHAM. Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc*. 33:2077 – 2081, 2001.
27. BENTLEY, D. J., G. J. WILSON, A. J. DAVIE, and S. ZHOU. Correlations between peak power output, muscular strength and cycle time trial performance in triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness*. 38:201 – 207, 1998.
28. BERG, E., A. JACOB, M. LEHMANN, H. H. DICKHUTH, G. HUBER, and J. KEUL. Aktuelle aspekte der modernen ergometrie. *Pneumologie*. 44:2 – 13, 1990.
29. BERGMAN, B. C., and G. A. BROOKS. Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. *J. Appl. Physiol*. 86:479 – 487, 1999.
30. BERNARD, T., F. VERCRUYSSSEN, F. GREGO, C. HAUSSWIRTH, R. LEPERS, J-M. VALLIER, and J. BRISSWALTER. Effect of cycling cadence on subsequent 3 km running performance in well trained triathletes. *Br. J. Sports Med*. 37:154 – 159, 2003.
31. BHAMBHANI, Y. N., S. NORRIS, and G. J. BELL. Prediction of stroke volume from oxygen pulse measurements in untrained and trained men. *Can. J. Appl. Physiol*. 19:49–59, 1994.

32. BILLAT, V. L., N. BLONDEL, and S. BERTHOIN. Determination of the velocity associated with the longest time to exhaustion at maximal oxygen uptake. *Eur. J. Appl. Physiol.* 80:159 – 161, 1999.
33. BILLAT, L. V., and J. P. KORALSZTEIN. Significance of the velocity at VO_{2max} and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med.* 22:90 – 108, 1996.
34. BISHOP, D., G. JENKINS, and L. T. MACKINNON. The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:1270 – 1275, 1998.
35. BISHOP, D. Reliability of a 1-h endurance performance test in trained female cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29:554 – 559, 1997.
36. BLAND, J. M., and D. J. ALTMAN. Statical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1:307 – 310, 1986.
37. BOMPA, T. O. *Theory and methodology of training.* Dubuque, IA: Kendall / Hunt Pb. Co, 1983.
38. BORG, G. A. V. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14:377 – 381, 1982.
39. BOUCHARD, C., T. RANKINEN, Y. C. CHAGNON, T. RICE, L. PERUSSE, J. GAGNON, I. BORECKI, P. AN, A. S. LEON, J. S. SKINNER, J. H. WILMORE, M. PROVINCE, and D. C. RAO. Genomic Scan for maximal oxygen uptake and its response to training in the Heritage Family Study. *J. Appl. Physiol.* 88:551 – 559, 2000.
40. BOUCHARD, C., A. S. LEON, D. C. RAO, J. S. SKINNER, J. H. WILMORE, and J. GAGNON. The Heritage Famili Study. Aims, design, and measurements protocol. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:721 – 729, 1995.
41. BOULAY, M. R. Physiological monitoring of elite cyclists. *Sports Med.* 20:1 – 11, 1995.

42. BOUSSANA, A., O. HUE, S. MATECKI, O. GALAY, M. RAMONATXO, A. VARRAY, D. LE GALLAYS. The effect of cycling followed by running on respiratory muscle performance in elite and competition triathlete. *Eur. J. Appl. Physiol.* 87:441 – 447, 2002.
43. BOYD, A. E., S. R. GAMBER, M. MAGER, and H. E. LEBOVITZ. Lactate inhibition of lipolysis in exercising man. *Metabolism.* 23:531 – 542, 1974.
44. BRISSWALTER, J., C. HAUSSWIRTH, D. SMITH, F. VERCRUYSSSEN, and J. M. VALLIER. Energetically optimal cadence vs. freely-chosen cadence during cycling: effect of exercise duration. *Int. J. Sports Med.* 20:60 – 64, 1999.
45. BRITISH ASSOCIATION OF SPORT AND EXERCISE SCIENCES. *Guidelines for the physiological testing of athletes.* (Eds.). BIRDS, S., and R. DAVIDSON. Leeds: British Association of Sport and Exercise Sciences, 1997.
46. BROKER, J. P., and C. R. KYLE. *Pursuit Aerodynamics, Project 96: Wind Tunnel Test Results.* Colorado Springs: USOC Sport Science and Technology Report, 1995.
47. BROOKS, G., and J. TRIMMER. Glucose kinetics during highintensity exercise and the crossover concept. *J. Appl. Physiol.* 80:1073 – 1074, 1996.
48. BROOKS, G. A., and M. MERCIER. The balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise, the “crossover” concept. *J. Appl. Physiol.* 76:2253 – 2261, 1994.
49. BROUWER, E. On simple formulae for calculating the heat expenditure and the quantities of carbohydrate and fat oxidize in metabolism of men and animals, from gaseous exchange (oxygen and carbonic acid output) and urine N. *Acta Physiol. Pharmacol. Neerl.* 6:795 – 802, 1957.

50. BUEMANN, B., B. SCHIERNING, S. TOUBRO, B. M. BIBBY, T. SORENSEN. L. DALGAAD, O. PEDERSEN, and A. ASTRUP. The association between the val/ala-55 polymorphism of the uncoupling protein 2 gene and exercise efficiency. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 25:467 – 471, 2001.
51. BULBULIAN, R., J. W. JEONG, and M. MURPHY. Comparison of anaerobic components of the Wingate and critical power tests in males and females. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28:1336 – 1341, 1996.
52. BULL, A. J., T. J. HOUSH, G. O. JOHNSON, and S. R. PERRY. Effect of mathematical modeling on the estimation of critical power. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:526 – 530, 2000.
53. BURKE, L. M. Nutritional practices of male and female endurance cyclists. *Sports Med.* 31:521 – 532, 2001.
54. BURKE, E. R., F. CERNY, D. COSTILL, W. FINK. Characteristics of skeletal muscle in competitive cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 9:109 – 112, 1977.
55. BURNLEY, M., J. H. DOUST, and A. M. JONES. Effects of Prior Warm-up Regime on Severe-Intensity Cycling Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:838 – 845, 2005.
56. BUTTERFIELD, G. E. *Fat as a fuel for exercise*. In: Sports Nutrition, a Practical Approach. (Eds.). Berning, J. R. and S. Steen. New York: Aspen, 1990.
57. BUTTS, N. K., B. A. HENRY, and D. MCLEAN. Correlations between VO_{2max} and performance times of recreational triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 31:367 – 344, 1991.
58. CAIOZZO, V. J., J. A. DAVIS, J. F. ELLIS, J. L. AZUS, R. VANDAGRIFF, C. A. PRIETTO, and W. C. MCMASTER. A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J. Appl. Physiol.* 53:1184 – 1189, 1982.

59. CANDAU, R. B., F. GRAPPE, M. MÉNARD, B. BARBIER, G. MILLET, M. D. HOFFMAN, A. R. BELLI, and J. D. ROUILLON. Simplified deceleration method for assessment of resistive forces in cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:1441 – 1447, 1999.
60. CAPELLI, C., G. ROSA, F. BUTTI F, G. FERRETTI, A. VEICSTEINAS, and P. E. DI PRAMPERO. Energy cost and efficiency of riding aerodynamic bicycles. *Eur. J. Appl. Physiol.* 67:144 – 149, 1993
61. CARTER, J. E. L. Body composition of Montreal Olympic Athletes. *Med. Sport.* 16:107 – 116, 1982.
62. CHATBURN, R. L. Evaluation of instrument error and method agreement. *Am. Assoc. Nurse Anesthet. J.* 64:261 – 268, 1996.
63. CHENG, B., H. KUIPERS, A. C. SNYDER, H. A. KEIZER, A. JEUKENDRUP, and M. HESSELINK. A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int. J. Sports Med.* 13:518 – 522, 1992.
64. CHICHARRO, J. L., J. HOYOS, and A. LUCIA. Effects of endurance training on the isocapnic buffering and hypocapnic hyperventilation phases in professional cyclists. *Br. J. Sports Med.* 34:450 – 455, 2000.
65. CHICHARRO, J. L., A. CARVAJAL, J. PARDO, M. PEREZ, and A. LUCIA. Physiological parameters determined at OBLA vs. a fixed heart rate of 175 beats·min⁻¹ in an incremental test performed by amateur and professional cyclists. *Jpn. J. Physiol.* 49:63 – 69, 1999.
66. CHRISTENSEN, E. H., R. HEDMAN, and B. SALTIN. Intermittent and continuous running. *Acta Physiol. Scand.* 50:269 – 286, 1960.
67. CLAUSEN, J. P. Effects of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiol. Rev.* 57:779 – 815, 1977.
68. CLEMENT, D. *Ciclismo en carretera. Técnica y táctica.* Barcelona: Hispano Europea, 1985.
69. CLEMENTS, K., B. YATES, and M. CURRAN. The prevalence of chronic knee injury in triathletes. *Br. J. Sports Med.* 33:214 – 216, 1999.

70. COAST, J. R., and H. G. WELCH. Linear increase in optimal pedal rate with increased power output in cycle ergometry. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 53:339 – 342, 1985.
71. COGGAN, A. R., D. L. HABASH, L. A. MENDENHALL, S. C. SWANSON, and C. L. KIEN. Isotopic estimation of CO₂ production during exercise before and after endurance training. *J. Appl. Physiol.* 75:70 – 75, 1993.
72. COGGAN, A. R., W. M. KOHRT, R. J. SPINA, J. P. KIRWAN, D. M. BIER, and J. O. HOLLOSZY. Plasma glucose kinetics during exercise in subjects with high and low lactate threshold. *J. Appl. Physiol.* 73:1873 – 1880, 1992.
73. COGGAN, A., W. KOHRT, R. SPINA, D. BIER, and J. HOLLOSZY. Endurance training decreases plasma glucose turnover and oxidation during moderate-intensity exercise in men. *J. Appl. Physiol.* 68:990–996, 1990.
74. COGGAN, A. R., and E. F. COYLE. Metabolism and performance following carbohydrate ingestion late in exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21:59 – 65, 1989.
75. COGGAN, A. R., and D. L. COSTILL. Biological and technological variability of three anaerobic ergometer tests. *Int. J. Sports Med.* 5:142 – 145, 1984.
76. COLTON, T. *Estadística en medicina*. Barcelona: Masson-Salvat, 1979.
77. COMETTI, G. *Les methods modernes de musculation*. Dijon, Bourgogne: UFR Staps, 1989.
78. CONCONI, F., CH. BORSETTO, I. CASONI, and M. FERRARI. *Noninvasive determination of the anaerobic threshold in cyclists*. In: BURKE, E. R., and M. M. NEWSOM (Eds.). *Medical and scientific aspects of cycling*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1988.
79. CONLEE, R. K. Muscle glycogen and exercise endurance: a twenty-year perspective. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 15:1 – 28, 1987.

80. CONLEY, D., and G. KRAHENBURT. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12:3, 1980.
81. COSTILL, D. L., W. J. FINK, L. H. GETCHELL, and J. L. IVY. Lipid metabolism in skeletal muscle of endurance-trained males and females. *J. Appl. Physiol.* 47:787 – 791, 1979.
82. COYLE, E. F. Improved muscular efficiency displayed as Tour de France championship matures. *J. Appl. Physiol.* 98:2191 – 2196, 2005.
83. COYLE, E. F. Fluid and fuel intake during exercise. *J. Sports Sci.* 22:39 – 55, 2004.
84. COYLE, E. F. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 23:25 – 63, 1995.
85. COYLE, E. F., L. SIDOSSIS, J. F. HOROWITZ, and J. D. BELTZ. Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24:782 – 788, 1992.
86. COYLE, E. F., M. E. FELTNER, S. A. KAUTZ, M. T. HAMILTON, S. J. MONTAIN, A. M. BAYLOR, L. D. ABRAHAM, and G. W. PETREK. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23:93 – 107, 1991.
87. COYLE, E. F., A. R. COGGAN, M. K. HOPPER, and T. J. WALTERS. Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J. Appl. Physiol.* 64:2622 – 2630, 1988.
88. COYLE, E. F., A. R. COGGAN, M. K. HEMMERT, and J. L. IVY. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J. Appl. Physiol.* 61:162 – 172, 1986.
89. COYLE, E. F., W. H. MARTIN, E. E. EHSANI, G. M. HAGBERG, S. A. BLOOMFIELD, D. R. SINACORE, and J. O. HOLLOSZY. Blood lactate threshold in some well-trained ischemic heart disease patients. *J. Appl. Physiol.* 54:18 – 23, 1983.
90. CRAIG, N. P., K. I. NORTON. Characteristics of track cycling. *Sports Med.* 31:457 – 468, 2001.

91. CRAIG, N. P., K. I. NORTON, P. C. BOURDON, S. M. WOOLFORD, T. STANEF, B. SQUIRES, T. S. OLDS, R. A. CONVERS, and C. B. WALSH. Aerobic and anaerobic indices contributing to track endurance cycling performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 67:150 – 158, 1993.
92. DALLAM, G. M., S. JONAS, and T. K. MILLER. Medical considerations in triathlon competition: recommendations for triathlon organisers, competitors and coaches. *Sports Med.* 35:143 – 61, 2005.
93. DAUNCEY, H., and G. HARE. The Tour de France: A pre-modern contest in a post-modern context. *Int. J. Hist. Sport.* 20:1 – 29, 2003.
94. DAVIES, C. T. M. Effect of fair resistance on the metabolic cost and performance of cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* 45:245 – 254, 1980.
95. DAVIES, C. T. M., and M. W. THOMPSON. Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 41:233 – 245, 1979.
96. DAVIES, C. T. M., J. M. TUXWORTH, and M. JOUNG. Physiological effects of repeated exercise. *Clin. Sci.* 39:247 – 258, 1970.
97. DEITRICK, R. W. Physiological responses of typical versus heavy weight triathletes to treadmill and bicycle exercise. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 31:367 – 375, 1991.
98. DELETRAT, A., V. TRICOT, T. BERNARD, F. VERCRUYSSSEN, C. HAUSSWIRTH, and J. BRISSWALTER. Drafting during swimming improves efficiency during subsequent cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35:1612 – 1619, 2003.
99. DENGEL, D. R., M. G. FLYNN, D. L. COSTILL, and J. P. KIRWAN. Determinants of success during triathlon competition. *Res. Q. Exerc. Sport.* 60:234 – 238, 1989.
100. DESCHODT, V. J., and L. M. ARSAC. Morning vs. evening maximal cycle power and technical swimming ability. *J. Strength Cond. Res.* 18:149 – 154, 2004.
101. DI PRAMPERO, P. E., G. CORTILLI, P. MOGNONI, and F. SAIBENE. Equation of motion of a cyclist. *J. Appl. Physiol.* 47:201 – 206, 1979.

102. DIEM, C. *Historia de los Deportes*. Barcelona: Luis de Caralt, 1965.
103. DOUGLAS, P. S. Cardiac considerations in the triathlete. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21:S214 – S218, 1989.
104. DWYER, J., and R. BYBEE. Heart rate indices of the anaerobic threshold. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15:72 – 76, 1983.
105. EDWARDS, H. T., R. MARGARIA, and D. B. DILL. Metabolic rate, blood sugar and the utilization of carbohydrate. *Am. J. Physiol.* 108:203 – 209, 1934.
106. EHLENZ, H., M. GROSSER, y E. ZIMMERMANN. *Entrenamiento de la fuerza*. Barcelona: Martínez Roca, 1990.
107. EICHNER, E. R. *Ergolytic drugs. Sports Science Exchange*. Chicago: Gatorade Sports Science Institute, 1989.
108. FARIA, E. W., D. L. PARKER, and I. E. FARIA. The Science of Cycling. Physiology and Training – Part 1. *Sports Med.* 35:285 – 312, 2005.
109. FARIA, E. W., D. L. PARKER, and I. E. FARIA. The Science of Cycling. Factors affecting performance – Part 2. *Sports Med.* 35:313 – 337, 2005.
110. FARIA, I. E. Energy expenditure, aerodynamics and medical problems in cycling. *Sports Med.* 14:43 – 63, 1992.
111. FARIA, I. E., E. W. FARIA, S. ROBERTS, and D. YOSHIMURA. Comparison of physical and physiological characteristics in elite young and mature cyclists. *Res. Q. Exerc. Sport.* 60:388 – 395, 1989.
112. FARIA, I. E., and P. R. CAVANAGH. *The physiology and biomechanics of cycling*. New York: John Wiley and Sons, 1978.
113. FELLMANN, N., M. SAGNOL., M. BEDU., G. FALGAIRETTE, E. VAN PRAAGH, G. GAILLARD, P. JOUANEL, and J. COUDERT. Enzymatic and hormonal responses following a 24 h endurance run and a 10 h triathlon race. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57:545 – 553, 1988.
114. FERNANDEZ-GARCIA, B., J. PEREZ-LANDALUCE, M. RODRIGUEZ-ALONSO, and N. TERRADOS. Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:1002 – 1006, 2000.

115. FIRTH, M. S. A sport-specific training and testing device for racing cyclists. *Ergonomics*. 24:565 – 571, 1981.
116. FLUCK, M. Molecular mechanisms in muscle adaptation. *Ther. Umsch.* 60:371 – 381, 2003.
117. FOSTER, C. Physiological Testing. Does it help the athlete?. *Phys. Sports Med.* 17:103 – 110, 1989.
118. FOX, E. L., and D. K. MATHEWS. *Interval training. Conditioning for Sports and General Fitness*. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1974.
119. FRANCESCATO, M. P., M. GIRARDIS, and P. E. DI PRAMPERO. Oxygen cost of internal work during cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* 72:51 – 57, 1995.
120. FRAYN, K. N. Calculations of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J. Appl. Physiol.* 55:628 – 634, 1983.
121. FREUND, H., S. OYONO-ENGUELLE, A. HEITZ, C. OTT, J. MARBACH, M. GARTNER, and A. PAPE. Comparative lactate kinetics after short and prolonged submaximal exercise. *Int. J. Sports Med.* 11:284 – 288, 1990.
122. FRIEDLANDER, A. F., G. A. CASAZZA, M. A. HORNING, M. J. HUIE, M. F. PIACENTINI, J. K. TRIMMER, and G. A. BROOKS. Training induced alterations of carbohydrate metabolism in women: women respond differently than men. *J. Appl. Physiol.* 85:1175 – 1186, 1998.
123. FRIEDLANDER, A. L., G. A. CASAZZA, M. A. HORNING, T. F. BUDDINGER, and G. A. BROOKS. Effects of exercise intensity and training on lipid metabolism in young women. *Am. J. Physiol.* 275:E853 – E863, 1998.
124. FRIEDLANDER, A., G. CASAZZA, M. HUIE, M. HORNING, and G. BROOKS. Endurance training alters glucose kinetics in response to the same absolute, but not the same relative workload. *J. Appl. Physiol.* 82:1360 – 1369, 1997.
125. FRY, R. W., A. R. MORTON, and D. KEAST. Periodisation and the prevention of overtraining. *Can. J. Sports Med.* 17:241 – 248, 1992.

126. GARCIA, J. M., M. NAVARRO y J. A. RUIZ. *Planificación del entrenamiento deportivo*. Barcelona: Gymnos, 1996.
127. GASTIN, P. B. Energy system interaction and relative contraction during maximal exercise. *Sports Med.* 31:725 – 741, 2001.
128. GASTIN, P.B., and D. L. LAWSON. Variable resistance all-out test to generate accumulated oxygen deficit and predict anaerobic capacity. *Eur. J. Appl. Physiol.* 69:331 – 336, 1994.
129. GILMAN, M. B. The use of Heart rate to monitor intensity of endurance training. *Sports Med.* 21:73 – 79, 1996.
130. GILMAN, M. B., and C. L. WELLS. The use of heart rates to monitor exercise intensity in relation to metabolic variables. *Int. J. Sports Med.* 14:339 – 344, 1993.
131. GIRANDOLA, R., and F. KATCH. Effects of physical training on ventilatory equivalent and respiratory exchange ratio during weight-supported, steady-state exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 35:119 – 125, 1976.
132. GNEHM, P., S. REICHENBACH, E. ALTPETER, H. WIDMER, and H. HOPPELER. Influence of different racing positions on metabolic cost in elite cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29:818 – 823, 1997.
133. GOLLNICK, P. D. *Energy metabolism and prolonged exercise*. In: LAMB, D. R., and R. MURRAY. (Eds.). *Perspectives in exercise science and sports medicine*. Vol. 1. Prolonged exercise. Indianapolis: Benchmark Press Inc., 1988.
134. GOLLNICK, P. D. Metabolism of substrates: energy substrate metabolism during exercise and as modified by training. *Fed. Proc.* 44:353 – 357, 1985.
135. GONZALEZ, J. J. y E. GOROSTIAGA. *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza*. Barcelona: INDE, 1995.
136. GONZALEZ-HARO, C., J. M. GONZALEZ-DE-SUSO, J. M. PADULLES, F. DROBNIC, and J. F. ESCANERO. Physiological adaptation during short distance triathlon swimming and cycling sectors simulation. *Physiol. Behav.* 86:467 – 474, 2005.

137. GONZALEZ-HARO, C., y J. M. GONZALEZ-de-SUSO, Gestión de la competición durante el triatlón de distancia olímpica. *Apunts d'EF*. 69:59 – 64, 2002.
138. GOTSHALL, R. W., T. A. BAUER, and S. L. FAHRNER. Cycling cadence alters exercise hemodynamics. *Int. J. Sports Med*. 17:17 – 21, 1996
139. GRAHAM, K. S., and T. M. MCLELLAN. Variability of time to exhaustion and oxygen deficit in supramaximal exercise. *Aust. J. Sci. Med. Sport*. 24:11 – 14, 1989.
140. GREGOR, R. J., and J. B. WHEELER. Biomechanical factors associated with shoe/pedal interfaces. Implications for injury. *Sports Med*. 17:117 – 131, 1994.
141. GROSS, A. C., C. R. KYLE, and D. J. MALEWICKI. The aerodynamics of human-powered land vehicles. *Sci. Am*. 249:142 – 152, 1983.
142. GROSSER, M. *Entrenamiento de la velocidad*. Barcelona: Martínez Roca, 1992.
143. GROSSER, M., P. BRUGGEMANN, y F. ZINTL. *Alto rendimiento deportivo*. Barcelona: Martínez Roca, 1989.
144. GROSSER, M., y A. NEUMAIER. *Técnicas de entrenamiento*. Barcelona: Martínez Roca, 1986.
145. GULBIN, J. P. and T. GAFFNEY. Ultraendurance triathlon participation: typical race preparation of lower level triathletes. *J. Sports Med. Pys. Fit*. 39:12 – 15, 1999.
146. GUYTON, A. C., and J. E. HALL. *Text book of medical physiology*. 10th edition. Philadelphia: W. B. Saunders, 2000.
147. HAGBERG, J. M., and E. F. COYLE. Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. *Med. Sci. Sports Exerc*. 15:287 – 289, 1983.
148. HAGBERG, J. M., J. P. MULLIN, M. BAHRKE, and J. LIMBURG. Physiological profiles and selected psychological characteristics of national class American cyclists. *J. Sports Med*. 19:341 – 346, 1979.

149. HAMEED, M., K. H. W. LANGE, J. L. ANDERSEN, P. SCHJERLING, M. KJAER, S. D. R. HARRIDGE, and G. GOLDSPIN. The effect of recombinant human growth hormone and resistance training on IGF-I mRNA expression in the muscles of elderly men. *J. Physiol.* 555:231 – 240, 2004.
150. HARRE, D. *Teoría del entrenamiento deportivo*. Buenos Aires: Stadium, 1987
151. HAUSSWIRTH, C., J.-M. VALLIER, D. LEHENAFF, J. BRISSWALTER, D. SMITH, G. MILLET, and P. DREANO. Effect of two drafting modalities in cycling on running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:485 – 492, 2001.
152. HAUSSWIRTH, C., D. LEHENAFF, P. DREANO, and K. SAVONEN. Effects of cycling alone or in a sheltered position on subsequent running performance during a triathlon. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:599 – 604, 1999.
153. HAVEL, R. J., L. A. CARLSON, L. G. EKELUND, and A. HOLMGREN. Turnover rate and oxidation of different free fatty acids in man during exercise. *J. Appl. Physiol.* 19:613 – 618, 1964.
154. HAVEL, R. J., A. NAIMARK, and C. F. BORCHGREVINK. Turnover rate and oxidation of free fatty acids of blood plasma in man during exercise: studies during continuous infusion of palmitate-1-C¹⁴. *J. Clin. Invest.* 42:1054 – 1059, 1963.
155. HAWLEY, J. A. Effect of increased fat availability on metabolism and exercise capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:1485 – 1491, 2002.
156. HAWLEY, J., y L. BURKE. *Rendimiento deportivo máximo*. Barcelona: Paidotribo, 2000.
157. HAWLEY, J. A., and W. G. HOPKINS. Aerobic glycolytic and aerobic lipolytic power systems. A new paradigm with implications for endurance and ultraendurance events. *Sports Med.* 19:240 – 250, 1995.

158. HAWLEY, J. A., and T. D. NOAKES. Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 65:79 – 83, 1992.
159. HELGERUD, J., L. C. ENGEN, U. WISLØFF, and J. HOFF. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:1925 – 1931, 2001.
160. HELLER, J., and J. NOVOTNY. Aerobic and anaerobic capacity in elite mountain bikers. *Acta. Univ. Carol. Kinaanthropol.* 33:61 – 68, 1997.
161. HENRIKSSON, J. Training-induced adaptations of skeletal muscle and metabolism during submaximal exercise. *J. Physiol.* 270:661 – 675, 1977.
162. HERMANSEN, L. Muscular fatigue during maximal exercise of short duration. *Med. Sport Sci.* 13:45 – 52, 1981.
163. HICKEY, M. S., D. L. COSTILL, G. K. McCONNELL, J. J. WIDRICK, and H. TANAKA. Day to day variation in time trial cycling performance. *Int. J. Sports Med.* 13:467 – 470, 1992.
164. HICKSON, R. C., M. J. RENNIE, R. CONLEE, W. W. WINDER, and J. O. HOLLOSZY. Effects of increased plasma free fatty acids on glycogen utilization and endurance. *J. Appl. Physiol.* 43:829 – 833, 1977.
165. HILL, N. S., C. JACOBY, and H. W. FARBER. Effect of an endurance triathlon on pulmonary function. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23:1260 – 1264, 1991.
166. HILLER, W. D. B. Dehydration and hyponatremia during triathlon. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21:S219 – S221, 1989.
167. HILLER, W. D. B., M. L. O'TOOLE, E. E. FORTESS, R. H. LAIRD, P. C. IMBERT, and T. D. SISK. Medical and physiological considerations in triathlons. *Am. J. Sports Med.* 15:164 – 167, 1987.
168. HOLLOSZY, J. O., and E. F. COYLE. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J. Appl. Physiol.* 56:831 – 838, 1984.

169. HOPKINS, W. G., E. J. SCHABORT, and J. A. HAWLEY. Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med.* 31:211 – 234, 2001.
170. HOPKINS, S. R., and D. C. MCKENZIE. The laboratory assessment of endurance performance in cyclists. *Can. J. Appl. Physiol.* 19:266 – 274, 1994.
171. HOROWITZ, J. F., L. S. SIDOSSIS, and E. F. COYLE. High efficiency of type I muscle fibers improves performance. *Int. J. Sports Med.* 15:152 – 157, 1994.
172. HOWLEY, E. T., G. E. DUNCAN, and P. DEL CORRAL. Optimum intensity for fat oxidation. *Med. Sci. Sport Exerc.* 29:S199, 1997.
173. HUE, O. Prediction of drafted-Triathlon race time from submaximal laboratory testing in elite triathletes. *Can. J. Appl. Physiol.* 28:547 – 560, 2003.
174. HUE, O., D. LE GALLAIS, and C. PREFAUT. Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake in present triathletes. *Can. J. Appl. Physiol.* 25:102 – 113, 2000.
175. HUE, O., D. LE GALLAIS, A. BOUSSANA, O. GALY, K. CHAMARI, B. MERCIER, and C. PREFAUT. Catecholamine, blood lactate and ventilatory responses to multi-cycle-run blocks. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:1582 – 1586, 2000.
176. HUE, O., D. LE GALLAIS, D. CHOLLET, A. BOUSSANA, and C. PRÉFAUT. The influence of prior cycling on biomechanical and cardiorespiratory response profiles running in triathletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 77:98 – 105, 1998.
177. HUG, F., D. BENDAHAN, Y. LE FUR, P. J COZZONE, and L. GRELOT. Metabolic Recovery in Professional Road Cyclists: A 31P-MRS Study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:846 – 852, 2005.
178. HULLEY, S. B. y CUMMINGS, S. R. *Planificación de las mediciones: precisión y exactitud.* En HULLEY, S. B. y CUMMINGS (Eds.). *Diseño de la investigación Clínica*, 1993.

179. HULTMAN, E., M. BERGSTROM, LL. SPRIET, and K. SODERLUND. *Energy metabolism and fatigue*. In: TAYLOR, A. W. (Eds). *Biochemistry of exercise VII: international series on sport sciences*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1990.
180. HURLEY, B. F., P. M. NEMETH, W. H. MARTIN, J. M. HAGBERG, G. P. DALSKY, and J. O. HOLLOSZY. Muscle triglyceride utilization during exercise: effect of training. *J. Appl. Physiol.* 60:562 – 567, 1986.
181. IMPELLIZZERI, F., A. SASSI, M. RODRIGUEZ-ALONSO, P. MOGNONI, and S. MARCORA. Exercise intensity during off-road cycling competitions. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:1808 – 1813, 2002.
182. ISSEKUTZ. B., and H. I. HILLER. Plasma free fatty acids during exercise and the effect of lactic acid. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 110:237 – 245, 1962.
183. JACOBS, K. A., and W. M. SHERMAN. The efficacy of carbohydrate supplementation and chronic high-carbohydrate diets for improving endurance performance. *Int. J. Sport Nutr.* 9:92 – 115, 1999.
184. JACOBS, I., O. BAR-OR, J. KARLSSON, R. DOTAN, P. TESCH, P. KAISER, and O. INBAR. Changes in muscle metabolites in females with 30-s exhausting bicycle exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14:457 – 460, 1982.
185. JENSEN, K., and L. JOHANSEN. Reproducibility and validity of physiological parameters measured in cyclists riding on racing bikes placed on a stationary magnetic brake. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 8:1 – 6, 1998.
186. JENTJENS, R. L. P. G., J. ACHTEN, and A. E. JEUKENDRUP. High Oxidation Rates from Combined Carbohydrates Ingested during Exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:1551 – 1558, 2004.
187. JEUKENDRUP, A. E., R. L. P. G. JENTJENS and L. MOSELEY. Nutritional considerations in triathlon. *Sports Med.* 35:163 – 181, 2005.
188. JEUKENDRUP, A. E., and D. T. MARTIN. Are world-class cyclists really more efficient?. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35:1238 – 1239, 2003.

189. JEUKENDRUP, A. E., and J. MARTIN. Improving Cycling Performance. How should we spend our time and money. *Sports Med.* 31:559 – 569, 2001.
190. JEUKENDRUP, A. E., N. P. CRAIG, and J. A. HAWLEY. The physiological demands of world class cycling. *J. Sci. Med. Sport.* 3:400 – 419, 2000.
191. JEUKENDRUP, A., and A. VAN DIEMEN. Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *J. Sports Sci.* 16:S91 – S99, 1998.
192. JEUKENDRUP, A., W. H. M. SARIS, F. BROUNS, and A. D. KESTER. A new validated endurance performance test. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28:266 – 270, 1996.
193. JONES, S. M., and L. PASSFIELD. *The dynamic calibration of bicycle power measuring cranks.* In: *The Engineering of Sport*, HAAKE, S. J. (Eds.). Oxford: Blackwell Science, 1998.
194. JONES, L. N. *Clinical exercise testing.* Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1988.
195. JONES, N. L., L. MAKRIDES, C. HITCHCOCK, T. CHYPCHAR, and N. MCCARTNEY. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am. Rev. Respir. Dis.* 131:700 – 708, 1985.
196. JONES, N. L., G. J. F. HEIGENHAUSER, A. KUSKIS, C. G. MATSOS, J. R. SUTTON, and C. J. TOEWS. Fat metabolism in heavy exercise. *Clin. Sci. Lond.* 59:469 – 478, 1980.
197. JONSON, N. A., S. R. STANNARD, and M. W. THOMPSON. Muscle triglyceride and glycogen in endurance exercise: implications for performance. *Sports Med.* 34:151 – 1164, 2004.
198. KANALEY, J. A., C. D. MOTTRAM, P. D. SCANOL, and M. D. JENSEN. Fatty acid kinetic responses to running above or below lactate threshold. *J. Appl. Physiol.* 79:439 – 447, 1995.
199. KATCH, V., A. WELTMAN, S. SADY, and P. FREEDSON. Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *Eur. J. Appl. Physiol.* 39:219 – 227, 1978.

200. KAVANAGH, M. H., and I. JACOBS. Breath-by-breath oxygen consumption during performance of the Wingate test. *Can. J. Appl. Sport Sci.* 13:91 – 93, 1988.
201. KIENS, B., B. ESSEN-GUSTAVSON, N. J. CHRISTENSEN, and B. SALTIN. Skeletal muscle substrate utilization during submaximal exercise in man: effects of endurance training. *J. Physiol.* 469:459 – 478, 1993.
202. KIMBER, N. E., J. J. ROSS, S. L. MASON, and D. B. SPEEDY. Energy balance during an ironman triathlon in male and female triathlete. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 12:47 – 62, 2002.
203. KLEIN, S., E. F. COYLE, and R. R. WOLFE. Fat metabolism during low-intensity exercise in endurance trained and untrained men. *Am. J. Physiol.* 267: E934 – E940, 1994.
204. KNECHTLE, B., G. MULLER, F. WILLMANN, K. KOTTECK, P. ESER, and H. KNECHT. Fat oxidation in man and women endurance athletes in running and cycling. *Int. J. Sports Med.* 25:38 – 44, 2004.
205. KOHRT, W. M., J. S. O'CONNOR, and J. S. SKINNER. Longitudinal assessment of responses by triathletes to swimming, cycling, and running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21:569 – 575, 1989.
206. KOHRT, W. M., D. W. MORGAN, B. BATES, and J. S. SKINNER. Physiological responses of triathletes to maximal swimming, cycling and running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19:51 – 55, 1987.
207. KOIVISTO, V., R. HENDLER, E. NADEL, and P. FELIG. Influence of physical training on the fuel-hormone response to prolonged low intensity exercise. *Metabolism.* 31:192 – 197, 1982.
208. KONOPKA, P. *Ciclismo deportivo*. Barcelona: Editorial Juventud, 1992.
209. KRAEMER, W. J., and N. A. RATAMESS. Hormonal response and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med.* 35:339 – 361, 2005.
210. KREIDER, R. B., T. BOONE, W. R. THOMPSON, S. BURKES, and CH. W. CORTES. Cardiovascular and thermal responses of triathlon performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20:385 – 390, 1988.

211. KRONISCH, R. L. and R. P. PFEIFFER. Mountain Biking Injuries. *Sports Med.* 32:523 – 537, 2002.
212. KUIPERS, H., F. T. J. VERSTAPPEN, H. A. KEIZER, and P. GUERTEN. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiological correlates. *Int. J. Sports Med.* 6:197 – 201, 1985.
213. KUJALA, U. M., P. MARTI, J. KAPRIO, M. HERNELAHTI, H. TIKKANEN, and S. SARNA. Occurrence of chronic disease in former top-level athletes. Predominance of benefits, risks or selection effects?. *Sports Med.* 33:553 – 561, 2003.
214. KYLE, C. R. *Selecting cycling equipment*. In: High Tech Cycling. BURKE, E. R. (Eds.). Champaign, IL: Human Kinetics, 1996.
215. KYLE, C. R. *Racing with the sun*. Warrendale, Philadelphia: Society of Automotive Engineers, 1991.
216. KYLE, C. R. The effect of crosswinds upon time trials. *Cycling Sci.* 3: 51 – 56, 1991.
217. LANG, P. B., R. W. LATIN, K. E. BERG, and M. B. MELLION. The accuracy of the ACSM cycle ergometry equation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24:272 – 276, 1992.
218. LATIN, R. W., K. E. BERG, P. SMITH, R. TOLLE, and S. WOODBY-BROWN. Validation of a cycle ergometry equation for predicting steady-rate VO_2 . *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:970 – 974, 1993.
219. LAURSEN, P. B., E. C. RHODES, R. H. LANGILL, D. C. MCKENZIE, and J. E. TAUNTON. Relationship of exercise test variables to cycling performance in an Ironman triathlon. *Eur. J. Appl. Physiol.* 87:433 – 440, 2002.
220. LAURSEN, P. B., M. A. BLANCHARD, and D. G. JENKINS. Acute high-intensity interval training improves Tvent and peak power output in highly-trained males. *Can. J. Appl. Physiol.* 27:336 – 348, 2002.
221. LAURSEN, P. B., and E. C. RHODES. Factors affecting performance in an ultraendurance triathlon. *Sports Med.* 31:195 – 209, 2001.

222. LA VOIE, N. F., T. M. MERCER, and M. A. CIOLFI. *VO_{2max} of competitive cyclists using a conventional cycle ergometer test versus a sport-specific bicycle test.* In: BURKE, E. R., and M. M. NEWSOM (Eds.). *Medical and scientific aspects of cycling.* Champaign, IL: Human Kinetics, 1988.
223. LAWTON, E. W., D. T. MARTIN, and H. LEE. *Validation of SRM power cranks using dynamic calibration.* Fifth IOC World Congress on Sport Sciences: 1999 Oct 31 – Nov 5; Sydney: Internacional Olympic Comitee. 199, 1999.
224. LE BLANC, P., S. J. PETERS, R. J. TUNSTALL, D. CAMERON-SMITH, and G. J. F. HEIGENHAUSER. Effects of aerobic training on pyruvate dehydrogenase and pyruvate dehydrogenase kinase in human skeletal muscle. *J. Physiol.* 557:559 – 570, 2004.
225. LEGER, L., M. G. THIBAUT, and M. J.-M. GODE. Épreuve cycliste progressive sur piste pour déterminer la puissance aérobie maximale et fonctionnelle. *Med. Sport.* 56:454 – 460, 1982.
226. LEHL, F. Au gramme près. *Le Cycle.* 330:61 – 67, 2004.
227. LINDSAY, F. H., J. A. HAWLEY, K. H. MYBURGH, H. H. SCHOMER, T. D. NOAKES, and S. C. DENNIS. Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28:1427 – 1434, 1996.
228. LJUNGGREN, G., R. CECI, and J. KARLSSON. Prolonged exercise at a constant load on a bicycle ergometer: ratings of perceived exertion and leg aches and pain as well as measurements of blood lactate accumulation and heart rate. *Int. J. Sports Med.* 8:109 – 116, 1987.
229. LOVELESS, D. J., C. L. WEBER, L. J. HASELER, and D. A. SCHNEIDER. Maximal Leg-Strength Training Improves Cycling Economy in Previously Untrained Men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:1231 – 1236, 2005.
230. LOY, S. F., J. J. HOFFMANN, and G. J. HOLLAND. Benefits and practical use of cross-training in sports. *Sports Med.* 19:1 – 8, 1995.

231. LUCIA, A., A. F. SAN JUAN, M. MONTILLA, S. CAÑETE, A. SANTALLA, C. EARNEST, and M. PEREZ. In Professional Road Cyclists, Low Pedaling Cadences Are Less Efficient. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:1048 – 1054, 2004.
232. LUCIA, A., F. GOMEZ-GALLEGO, J. L. CHICHARRO, J. HOYOS, K. CELAYA, A. CORDOVA, G. VILLA, J. M. ALONSO, M. BARRIOPEDRO, M. PEREZ, and C. P. EARNEST. Is there an association between ACE and CKMM polymorphism and cycling performance status during 3-week races?. *Int. J. Sport Med.* 25:442 – 447, 2004.
233. LUCIA, A., J. HOYOS, A. SANTALLA, C. EARNEST, and J. L. CHICHARRO. Tour de France versus Vuelta a España: Which Is Harder? *Med. Sci. Sports Exerc.* 35:872 – 878, 2003.
234. LUCIA, A., J. HOYOS, A. SANTALLA, M. PEREZ, and J. L. CHICHARRO. Kinetics of VO_2 in professional cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:320 – 325, 2002.
235. LUCIA, A., J. HOYOS, M. PEREZ, A. SANTALLA, and J. L. CHICHARRO. Inverse relationship between VO_{2max} and economy/efficiency in world-class cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:2079 – 2084, 2002.
236. LUCIA, A. J. HOYOS, and J. L. CHICHARRO. Physiology of Professional Road Cycling. *Sports Med.* 31:325 – 337, 2001.
237. LUCIA, A., J. HOYOS, and J. L. CHICHARRO. Preferred pedalling cadence in professional cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:1361 – 1366, 2001.
238. LUCIA, A., H. JOYOS, and J. L. CHICHARRO. Physiological Response to Professional Road Cycling: Climbers vs. Time Trialists. *Int. J. Sports Med.* 21: 505 – 512, 2000.
239. LUCIA, A., J. HOYOS, M. PEREZ, and J. L. CHICHARRO. Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:1777 – 1782, 2000.
240. LUCIA, A., J. HOYOS, J. L. CHICHARRO. The slow component of O_2 in professional cyclists. *Br. J. Sports Med.* 34:367 – 374, 2000.

241. LUCIA, A., J. HOYOS, A. CARVAJAL, and J. L. CHICHARRO. Heart rate response to professional road cycling: The Tour de France. *Int. J. Sports Med.* 20:167 – 172, 1999.
242. LUCIA, A., J. PARDO, A. DURANTEZ, J. HOYOS, and J. L. CHICHARRO. Physiological differences between professional and elite road cyclists. *Int. J. Sports Med.* 19:342 – 348, 1998.
243. MADSEN, K., D. A. MACLEAN, B. KIENS, and D. CHRISTENSEN. Effects of glucose, glucose plus branched-chain amino-acids, or placebo on bike performance over 100km. *J. Appl. Physiol.* 81:2644 – 2650, 1996.
244. MANNO, R. *Fundamentos del entrenamiento deportivo*. Barcelona: Paidotribo, 1991.
245. MANNO, R. Adaptación y entrenamiento. *Stadium* 131:33 – 42, 1988.
246. MARGARITIS, I., F. TESSIER, F. VERDERA, S. BERMON, and P. MARCONNET. Muscle enzyme release does not predict muscle function impairment after triathlon. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 39:133 – 139, 1999.
247. MARGARITIS, I. Facteur limitants de la performance en triathlon. *Can. J. Appl. Physiol.* 21:1 – 15, 1996.
248. MARION, G. A., and L. A. LEGER. Energetics of indoor track cycling in trained competitors. *Int. J. Sports Med.* 9:234 – 239, 1988.
249. MARTIN, J. C., D. L. MILLIKEN, J. E. COBB, K. L. MCFADDEN, and A. R. COGGAN. Validation of a mathematical-model for road cycling power. *J. Appl. Biomech.* 14:276 – 291, 1998.
250. MARTIN, D. E, y P. N. COE. *Entrenamiento para corredores de fondo y medio fondo*. Barcelona: Paidotribo, 1997.
251. MARTIN, W. H., G. P. DALSKY, B. F. HURLEY, D. E. MATTHEWS, D. M. BIER, J. M. HAGBERG, M. A. ROGERS, D. S. KING, and J. O. HOLLOSZY. Effect of endurance training on plasma free fatty acid turnover and oxidation during exercise. *Am. J. Physiol.* 265:E708 – E714, 1993.

252. MATHEWS, D. K., and E. L. FOX. *The physiological basis of physical education and athletics*. Philadelphia: W. B. Saunders, 1971.
253. MATVEEV, L. P. *Osnovy sportivnoj trenirovki*. Moscow: Fisikultura i Sport, 1977.
254. MATVEEV, L. P. *Problema periodisaziivsportivnoj trenirovki*. Moscow: Fisikultura i Sport, 1965.
255. MCCOLE, S. D., K. CLANEY, J-C. CONTE, R. ANDERSON, and J. M. HAGBERG. Energy expenditure during bicycling. *J. Appl. Physiol.* 68:748 – 753, 1990.
256. MCDANIEL, J., J. L. DURSTINE, G. A. HAND, and J. C. MARTIN. Determinants of metabolic cost during submaximal cycling. *J. Appl. Physiol.* 93:823 – 828, 2002.
257. MCLELLAN, T. M., S. S. CHEUNG, and I. JACOBS. Variability of time to exhaustion during submaximal exercise. *Can. J. Appl. Physiol.* 20:39 – 51, 1995.
258. MCLELLAN, T. M., and I. JACOBS. Reliability, reproducibility and validity of the individual anaerobic threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.* 67:125 – 131, 1993.
259. MELLION, M. B., and E. R. BURKE. *Clinics in sports medicine, bicycling injuries*. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1994.
260. MENARD, M. Amelioration de la performance du coureur. *1st Cong. Int. Sur la Science et la Technique du cyclisme*. Torremolinos (Málaga), Spain, 1992.
261. MEYER, T., A. LUCIA, C. P. EARNEST, and W. KINDERMANN. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters – theory and application. *Int. J. Sports Med.* 26:S38 – S48, 2005.
262. MILLET, G. P., R. B. CANDAU, B. BARBIER, T. BUSSO, J. D. ROUILLON, and J. C. CHATARD. Modelling the transfers of training effects on performance in elite triathletes. *Int. J. Sports Med.* 23:55 – 63, 2002.

263. MILLET, G. P., G. Y. MILLET, M. D. HOFMANN, and R. B. CANDAU. Alterations in running economy and mechanics after maximal cycling in triathletes: influence of performance level. *Int. J. Sports Med.* 12:127 – 132, 2000.
264. MITCHELL, J. H., B. J. SPROULE, and C. B. CHAPMAN. The physiological meaning of the maximal oxygen intake test. *J. Clin. Invest.* 37:538 – 547, 1958.
265. MIURA, H., K. KITAGAWA, and T. ISHIKO. Characteristics feature of oxygen cost at simulated laboratory triathlon test in trained triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 39:101 – 106, 1999.
266. MIURA, H., K. KITAGAWA, and T. ISHIKO. Economy during a simulated laboratory test triathlon is highly related to Olympic distance triathlon. *Int. J. Sports Med.* 18:276 – 280, 1997.
267. MOLE, P. A., L. B. OSCAI, and J. O. HOLLOSZY. Adaptation of muscle to exercise: increase in levels of palmitoyl CoA-synthase, carnitine palmitoyl transferase and palmitoyl CoA dehydrogenase and the capacity to oxidize fatty acids. *J. Clin. Invest.* 50:2323 – 2330, 1971.
268. MONTFORT-STEIGER, V., C. A. WILLIAMS, and N. ARMSTRONG. The reproducibility of an endurance performance test in adolescent cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 94:618 – 625, 2005.
269. MORGAN, W. P. *Ergogenic aids and muscular performance*. New York: Academia Press, 1972.
270. MORROW, J. R., and A. W. JACKSON. How 'significant' is your reliability?. *Res. Q. Exerc. Sport.* 64:352 – 355, 1993.
271. MOSELEY, L., J. ACHTEN, J. C. MARTIN, and A. E. JEUKENDRUP. No differences in cycling efficiency between world-class and recreational cyclists. *Int. J. Sports Med.* 25:374 – 379, 2004.
272. MOSELEY, L., and A. E. JEUKENDRUP. The reliability of cycling efficiency. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:621 – 627, 2001.

273. MUJIKA, I., and S. PADILLA. Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. *Sports Med.* 31:479 – 487, 2001.
274. NADEL, E. R., E. CAFARELLI, M. F. ROBERTS, and C. B. WENGER. Circulatory regulation during exercise in different ambient temperatures. *J. Appl. Physiol.* 46:330 – 437, 1979.
275. NAVARRO, F. *Bases del entrenamiento y su planificación*. Madrid: COES, 2002.
276. NEARY, J. P., D. C. MCKENZIE, and Y. N. BHAMBHANI. Effects of short-term endurance training on muscle deoxygenation trends using NIRS. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:1725 – 1732, 2002.
277. NEBELSICK-GULLETT, L. J., T. J. HOUSH, G. O. JOHNSON, and S. M. BAUGE. A comparison between methods of measuring anaerobic work capacity. *Ergonomics.* 31:1413 – 1419, 1988.
278. NEPTUNE, R. R., and M. L. HULL. A theoretical analysis of preferred pedalling rate selection in endurance cycling. *J. Biomech.* 32:409 – 415, 1999.
279. NESI, X., L. BOSQUET, and P. PELAYO Preferred pedal rate: an index of cycling performance. *Int. J. Sports Med.* 26:372 – 375, 2005.
280. NEVILL, A. N., and G. ATKINSON. Assessing measurement agreement (repeatability) between 3 or more trials. *J. Sports Sci.* 16:29, 1998.
281. NISHII, T., Y. UMEMURA, and K. KITAGAWA. Full suspension mountain bike improves off-road cycling performance. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 44:356 – 360, 2004.
282. NOAKES, T. D. Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints. A rebuttal. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:1381 – 1398, 1998.
283. NOAKES, T. D. Challenging beliefs: ex Africa semper aliquid novi. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29:571 – 590, 1997.
284. NOAKES T, D. Fatal cycling injuries. *Sports Med.* 20:348 – 362, 1995.

285. NOAKES, T. D. The hyponatremia of exercise. *Int. J. Sports Nutr.* 2:205 – 228, 1992.
286. NOAKES, T. D., K. H. MYBURGH, and R. SCHALL. Peak treadmill running velocity during de VO_{2max} test predicts running performance. *J. Sports Sci.* 8:35 – 45, 1990.
287. NOAKES, T. D., N. GOODWIN, B. L. RAYNER, T. BRANKEN, and R. K. TAYLOR. Water intoxication: a possible complication during endurance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17:370 – 375, 1985
288. NORTON, K. I., B. SQUIRES, L. H. NORTON, N. P. CRAIG, P. MCGRATH, and T. S. OLDS. Exercise stimulus increases ventilation from maximal to supramaximal intensity. *Eur. J. Appl. Physiol.* 70:115 – 125, 1995.
289. OLDS, T. S. Modelling human locomotion: applications to cycling. *Sports Med.* 31:497 – 509, 2001.
290. OLDS, T. S., K. I. NORTON, E. L. A. LOWE, S. OLIVE, F. REAY, and S. LY. Modeling road-cycling performance. *J. Appl. Physiol.* 78:1596 – 1611, 1995.
291. OLDS, T. S., K. I. NORTON, and N. P. CRAIG. Mathematical model of cycling performance. *J. Appl. Physiol.* 75:730 – 737, 1993.
292. O'TOOLE, M. L., P. S. DOUGLAS, W. D. B. HILLER, and R. H. LAIRD. Hematocrits of triathletes: is monitoring useful?. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:372 – 377, 1999.
293. O'TOOLE, M. L., and P. S. DOUGLAS. Applied physiology of triathlon. *Sports Med.* 19:251 – 267, 1995.
294. O'TOOLE, M. L., P. S. DOUGLAS, and W. D. B. HILLER. Lactate, oxygen uptake, and cycling performance in triathletes. *Int. J. Sports Med.* 10:413 – 418, 1989.
295. O'TOOLE, M. L., and P. S. DOUGLAS. Introduction: the ultraendurance triathlete: physiologic and medical considerations. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21:S198 – S199, 1989.

296. O'TOOLE, M. L., W. D. B. HILLER, L. O. CROSBY, and P. S. DOUGLAS. The ultraendurance triathlete: a physiological profile. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19:45 – 50, 1987.
297. OZOLIN, N. *El entrenamiento en el sistema contemporáneo actual*. La Habana: Científico-Técnica, 1983.
298. PADILLA, S., I. MUJICA, J. ORBAÑANOS, J. SANTISTEBAN, F. ANGULO, and J. J. GOIRIENA. Exercise intensity and load during mass-start stage races in professional road cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:796 – 802, 2001.
299. PADILLA, S., I. MUJICA, J. ORBAÑANOS, and F. ANGULO. Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:850 – 856, 2000.
300. PADILLA, S., I. MUJICA, F. ANGULO, and J. J. GOIRIENA. Scientific approach to the 1-h cycling world record: a case study. *J. Appl. Physiol.* 89:1522 – 1527, 2000.
301. PADILLA, S., I. MUJICA, G. CUESTA, and J. J. GOIRIENA. Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:878 – 885, 1999.
302. PADILLA, S., I. MUJICA, G. CUESTA, J. M. POLO, and J. C. CHATARD. Validity of a velodrome test for competitive road cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 73:446 – 451, 1996.
303. PALMER, G. S., S. C. DENNIS, T. D. NOAKES, and J. A. HAWLEY. Assessment of the reproducibility of performance testing on an air-braded cycle ergometer. *Int. J. Sports Med.* 17:293 – 298, 1996.
304. PALMER, G. S., J. A. HAWLEY, S. C. DENNIS, and T. D. NOAKES. Heart rate response during a 4-d cycle stage race. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26:1278 – 1283, 1994.
305. PASSFIELD, L., and J. H. DOUST. Changes in cycling efficiency and performance after endurance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:1935 – 1941, 2000.

306. PATON, C. D., and W. G. HOPKINS. Tests of cycling performance. *Sports Med.* 31:489 – 496, 2001.
307. PEDERSEN, P. K., J. B. SØRENSEN, K. JENSEN, L. JOHANSEN, and K. LEVIN. Muscle fiber type distribution and nonlinear VO₂-power output relationship in cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:655 – 661, 2002.
308. PEELING, P. D., D. J. BISHOP, and G. J. LANDERS. Effect of swimming intensity on subsequent cycling and overall triathlon performance. *Br. J. Sports Med.* 39:960 – 964, 2005.
309. PEREZ, J. C. *Ciclismo: Los orígenes del ciclismo*. Madrid: Librería Deportiva, 1983.
310. PERREY, S., F. GRAPPE, A. GIRARD, A. BRINGARD, A. GROSLAMBERT, W. BERTUCCI, and J. D. ROUILLON. Physiological and metabolic responses of triathletes to a simulated 30-min time-trial in cycling at self-selected intensity. *Int. J. Sports Med.* 24:138 – 143, 2003.
311. PLATONOV, V. N. y S. L. FESSENKO. *Los sistemas de entrenamiento de los mejores nadadores del mundo. I y II*. Barcelona: Paidotribo, 1994.
312. PLATONOV, V. N. *El entrenamiento deportivo: Teoría y metodología*. Barcelona: Paidotribo, 1988.
313. POLLACK, M. L. Characteristics of elite class distance runners. *Ann. NY. Acad. Sci.* 301:278 – 282, 1977.
314. POWERS, S. K., S. DODD, R. DEASON, R. BIRD, and T. MCKNIGHT. Ventilatory threshold, running economy and distance running performance of trained athletes. *Res. Q. Exerc. Sport.* 54:179 – 182, 1983.
315. PRINGLE, J. S. M. and M. ANDREW. Jones Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* 88:214 – 226, 2002.
316. PUGH, L. C. G. E. The relation of oxygen intake and speed in competition cycling and comparative observations on the bicycle ergometer. *J. Physiol.* 241:795 – 808, 1974.

317. RACINAIS, S., S. BLONC, S. JONVILLE, and O. HUE. Time of Day Influences the Environmental Effects on Muscle Force and Contractility. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:256 – 261, 2005.
318. RAWLINGS, J. O. *Applied regression analysis: a research tool*. Belmont, California: Wadsworth Inc, 1988.
319. REHRER, N. J. Fluid and Electrolyte Balance in Ultra-Endurance Sport. *Sports Med.* 31:701 – 715, 2001.
320. RICCI, J., and L. A. LEGER. VO_{2max} of cyclists from treadmill, bicycle ergometer and velodrome tests. *Eur. J. Appl. Physiol.* 50:283 – 289, 1983.
321. ROBERGS, R. A., F. GHIASVAND, and D. PARKER. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 287: R502–R516, 2004.
322. ROBERTSON, R. J, *Introductory notes on validation and applications of ergogenics*. In: LAMB, D. R. and WILLIAMS, M. H, (Eds.). *Ergogenics: Enhancement of performance in exercise and sport*. Indianapolis: Brown & Benchmark Press, 1991.
323. ROECKER, K., H. STRIEGEL, and H.-H. DICKHUTH. Heart-rate recommendations: transfer between running and cycling exercise?. *Int. J. Sports Med.* 24:173 – 178, 2003.
324. ROECKER, K., O. SCHOTTE, A. M. NIESS, T. HORSTMANN, and H.-H., DICKHUTH. Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:1552 – 1557, 1998.
325. ROMIJN, J. A., E. F. COYLE, L. S. SIDOSSIS, J. ROSENBLATT, and R. R. WOLFE. Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *J. Appl. Physiol.* 88:1707 – 1714, 2000.
326. ROMIJN, J. A., E. F. COYLE, L. S. DIDOSSIS, A. GASTALDELLI, J. F. HOROWITZ, E. ENDERT, and R. R. WOLFE. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am. J. Physiol.* 265:E380 – E391, 1993.

327. ROSS, W. D., and M. J. MARFELL-JONES. *Kinanthropometry*. In: MCDUGALL, J. D., H. A. Wenger, and H. J. GREEN. (Eds.). *Physiological testing of high-performance athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1991.
328. ROWLANDS, D. S., and B. DOWNEY. *Physiology of Triathlon*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2000.
329. RUIZ, L. M., y J. ARRUZA. *Procesos táctico-decisionales y pericia en el deporte*. Madrid: COES, 2002.
330. SALTIN, B., and P. O. ASTRAND. Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 23:353 – 358, 1967.
331. SANCHEZ, F., y L. M. RUIZ. *Optimización del aprendizaje de la técnica*. Madrid: COES, 2002.
332. SANCHEZ, J., J. M. PEQUIGNOT, L. PEYRIN, and H. MONOD. Sex differences in the sympatho-adrenal response to isometric exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 45:147 – 154, 1980.
333. SANTALLA, A., M. PEREZ, M. MONTILLA, L. VICENTE, R. DAVISON, C. EARNEST, and A. LUCIA. Sodium bicarbonate ingestion does not alter the VO_2 slow component of professional cyclists. *J. Sports Sci.* 1:39 – 47, 2003.
334. SAUNDERS, A. G., J. P. DUGAS, R. TUCKER, M. I. LAMBERT, and T. D. NOAKES. The effects of different air velocities on heat storages and body temperature in humans cycling in a hot, humid environment. *Acta Physiol. Scand.* 183:241 – 255, 2005.
335. SCRIMGEOUR, G. A., T. D. NOAKES, B. ADAMS, and K. MYBURGH. The influence of weekly distance training on fractional utilisation of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55:202 – 209, 1986.
336. SCHABORT, E. J, S. C. KILLIAN, A. ST CLAIR GIBSON, J. A. HAWLEY, and T. D. NOAKES. Prediction of triathlon race time from laboratory testing in national triathletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:844 – 849, 2000.

337. SCHABORT, E. J., J. A. HAWLEY, W. G. HOPKINS, I. MUJIKA, and T. D. NOAKES. A new reliable laboratory test of endurance performance for road cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:1744 – 1750, 1998.
338. SCHNEIDER, D. A., and J. POLLACK. Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in female triathletes. *Int. J. Sports Med.* 12:379 – 383, 1991.
339. SCHNEIDER, D. A., K. A. LACROIX, G. R. ATKINSON, P. J. TROPED, and J. POLLACK. Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in triathletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22:257 – 264, 1990.
340. SEIFERT, J. G., and M. E. LANGENFELD. *The use of windload simulators for VO_{2max} determination and bicycling research.* In: BURKE, E. R., and M. M. NEWSOM (Eds.). *Medical and scientific aspects of cycling.* Champaign, IL: Human Kinetics, 1988.
341. SEIRUL·LO, F. *Preparación física aplicada a los deportes colectivos: Balonmano.* INEF-Galicia: Cuadernos técnicos pedagógicos, 1993.
342. SIDORENKO, S. *Periodización y control del entrenamiento de los saltadores.* Workshop de saltos celebrado en el CAR de Sant Cugat. Transcripción de M. Vélez, 1991.
343. SIDOSSIS, L., A. GASTALDELLI, S. KLEIN, and R. R. WOLFE. Regulation of plasma fatty acid oxidation during low- and high-intensity exercise. *Am. J. Physiol.* 272:E1065 – E1070, 1997.
344. SIDOSSIS, L. S., J. F. HOROWITZ, and E. F. COYLE. Load and velocity of contraction influence gross and delta mechanical efficiency. *Int. J. Sports Med.* 13:407 – 411, 1992.
345. SIMONEAU, J. A., G. LORTIE, M. R. BOULAY, and C. BOUCHARD. Tests of anaerobic alactacid and lactacid capacities: description and reliability. *Can. J. Appl. Sports Sci.* 8:266 – 270, 1983.
346. SJODIN, B., and I. JACOBS. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int. J. Sports Med.* 2:23 – 36, 1981.

347. SJOGAARD, G. Muscle morphology and metabolic potential in elite road cyclists during a season. *Int. J. Sports Med.* 5:250 – 254, 1984.
348. SKINNER, J. S., and T. H. MCLELLAN. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res. Q. Exerc. Sport.* 51:234 – 238, 1980.
349. SLEIVERT, G. G., and D. S. ROWLANDS. Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Sports Med.* 22:8 – 18, 1996.
350. SLEIVERT, G. G., and H. A. WENGER. Physiological predictors of short-course triathlon performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:871 – 876, 1993.
351. SMITH, J. C., B. S. DANGELMAIER, and D. W. HILL. Critical power is related to cycling time trial performance. *Int. J. Sports Med.* 20:374 – 378, 1999.
352. SPEEDY, D. B., T. D. NOAKES, I. R. ROGERS, J. M.D. THOMPSON, R. G. D. CAMPBELL, J. A. KUTTNER, D. R. BOSWELL, S. WRIGHT, and M. HAMLIN. Hyponatremia in ultradistance triathletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:809 – 815, 1999.
353. SPURWAY, N. C. Aerobic exercise, anaerobic exercise and the lactate threshold. *Br. Med. Bull.* 48:569 – 591, 1992.
354. STAPELFELDT, B., A. SCHWIRTH, Y. O. SCHUMACHER, and M. HILLEBRECHT. Workload demands in mountain bike racing. *Int. J. Sports Med.* 25:294 – 300, 2004.
355. STARLING, R. D., T. A. TRAPPE, A. C. PARCELL, CH. G. KERR, W. J. FINK, and D. L. COSTILL. Effects of diet on muscle triglyceride and endurance performance. *J. Appl. Physiol.* 82:1185 – 1189, 1997.
356. STEGMANN, J. *Exercise physiology. Physiologic bases of work and sport.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1981.
357. STEIN, T. P., R. W. HOYT, M. O'TOOLE, M. J. LESKIW, M. D. SCHLUTER, R. R. WOLFE, and W. D. HILLER. Protein and energy metabolism during prolonged exercise in trained athletes. *Int. J. Sports Med.* 10:311 – 316, 1989.

358. STEPTO, N. K., J. A. HAWLEY, S. T. DENNIS, and W. G. HOPKINS. Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:736 – 741, 1999.
359. STONE, M. H., W. A. SANDS, J. CARLOCK, S. CALLAN, D. DICKIE, K. DAIGLE, J. COTTON, S. L. SMITH, and M. HARTMAN. The importance of isometric maximum strength and peak rate-of-force development in sprint cycling. *J. Strength Cond. Res.* 18:878 – 84, 2004.
360. STORER, T. W., J. A. DAVIS, and V. J. CAIOZZO. Accurate prediction of VO_{2max} in cycle ergometry. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22:704 – 712, 1990.
361. SVEDAHL, K. and B. R. MACINTOSH. Anaerobic threshold: The concept and methods of measurement. *Can. J. Appl. Physiol.* 28:299 – 323, 2003.
362. TANAKA, H., D. R. BASSEST, T. C. SWENSEN, and R. M. SAMPEDRO. Aerobic and anaerobic power characteristics of competitive cyclists in the United States Cycling Federation. *Int. J. Sports Med.* 14:334 – 338, 1993.
363. TARNOPOLSKY, M. A., and D. P. MACLENNAN. Creatine monohydrate supplementation enhances high-intensity exercise performance in males and females. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 10:452 – 463, 2000.
364. TARNOPOLSKY, M. A., S. A. ATKINSON, S. M. PHILLIPS, and J. D. MACDOUGALL. Carbohydrate loading and metabolism during exercise in men and women. *J. Appl. Physiol.* 78:1360 – 1368, 1995.
365. TARNOPOLSKY, L. J., J. D. MACDOUGALL, S. A. ATKINSON, M. A. TARNOPOLSKY, and J. R. SUTTON. Gender differences in substrate for endurance exercise. *J. Appl. Physiol.* 68:302 – 308, 1990.
366. TAYLOR, D. G., P. STYLES, P. M. MATTHEWS, D. A. ARNOLD, D. G. GADIAN, P. BORE, and G. K. RADD. Energetics of human muscle: exercise-induced ATP depletion. *Magn. Reson. Med.* 3:44 – 54, 1986.
367. TAYLOR, H. L., E. R. BUSKIRK, and A. HENSCH. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J. Appl. Physiol.* 8:73 – 80, 1955.

368. TEW, G. The effect of cycling cadence on subsequent 10Km running performance in well-trained triathletes. *J. Sports Sci. Med.* 4:342 – 353, 2005.
369. THOMPSON, D. C., and M. Q. PATTERSON. Cycle helmets and the prevention of injuries. Recommendations for competitive sport. *Sports Med.* 25:213 – 219, 1998.
370. THOMPSON, D. L., K. M. TOWNSEND, R. BOUGHEY, K. PATTERSON, and D. R. BASSET. Substrate use during and following moderate and low-intensity exercise: Implications for weight control. *Eur. J. Appl. Physiol.* 78:43 – 49, 1998.
371. TIPTON, CH. M. Sports Medicine: a century of progress. *J. Nutr.* 127:S878 – S885, 1997.
372. TOO, D. Biomechanics of cycling and factors affecting performance. *Sports Med.* 10:286 – 302, 1990.
373. TURCOTTE, L. P., E.A. RICHTER, and B. KIENS. Increased plasma FFA uptake and oxidation during prolonged exercise in trained vs. untrained humans. *Am. J. Physiol.* 262:E791 – E799, 1992.
374. URHAUSEN, A., B. COEN, B. WEILER, and W. KINDERMANN. Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *Int. J. Sports Med.* 14:134 – 139, 1993.
375. VAN AGGEL-LEIJSEN, D. P., W. H. SARIS, G. B. HUL, and M. A. VAN BAAK. Long-term effects of low-intensity exercise training on fat metabolism in weight-reduced obese men. *Metabolism.* 51:1003 – 1010, 2002.
376. VAN BAAK, M. A., and R. A. BINKHORST. Oxygen consumption during outdoor recreational bicycling. *Ergonomics.* 24:725 – 733, 1981.
377. VAN EENOO, P., and F. T. DELBEKE. The prevalence of doping in flanders in comparison to the prevalence of doping in international sports. *Int. J. Sports Med.* 24:565 – 570, 2003.

378. VAN LOON, L. J. C., P. L. GREENHAFF, D. CONSTANTIN-TEODOSIUS, W. H. M. SARIS, and A. J. WAGENMAKERS. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilization in humans. *J. Physiol.* 536:295 – 304, 2001.
379. VERCRUYSSSEN, F., J. BRISSWALTER, C. HAUSSWIRTH, T. BERNARD, O. BERNARD, and J-M. VALLIER. Influence of cycling cadence on subsequent running performance in triathletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:530 – 536, 2002.
380. VERKHOSHANSKY, Y. V. Topical problems of the modern theory and methodology of sports training. *Coach. Sports Sci. J.* 1:2 – 10, 1996.
381. VERKHOSHANSKY, Y. V. Main features of a modern scientific sport training theory. *New Stu. Athl.* 13:9 – 20, 1988.
382. VERKHOSHANSKY, Y. V. Organization of the training process. *New Stu. Athl.* 13:21 – 31, 1988.
383. VINCENT, W. J. *Statics in Kinesiology*. 2nd edition. Champaign, IL: Human Kinetics, 1999.
384. VINCENT, J. *Statistics in kinesiology*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1994.
385. VRIJENS, J., J. L. PANNIER, and J. BOUCKAERT. Physiological profile of competitive road cyclists. *J. Sports Med.* 22:207 – 216, 1982.
386. WAGNER, P. D. New ideas on limitations to VO_{2max} . *Exerc. Sport Sci. Rev.* 28:10 – 14, 2000.
387. WALLMANN, H., and J. ROSANIA. An introduction to periodization training for the triathlete. *Strenght Cond. J.* 23:55 – 64, 2001.
388. WARD-SMITH, A. J. Aerobic and anaerobic energy conversion during high-intensity exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:1855 – 1860, 1999.
389. WASSERMAN, K., J. E. HANSEN, D. Y. SUE, R. CASABURI, and B. J. WHIPP. *Principles of exercise testing and interpretation*. 3rd ed. Philadelphia: Lea and Febiger, 1999.

390. WASSERMAN, K. The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. *Am. Rev. Respir. Dis.* 129:S35 – S40, 1984.
391. WASSERMAN, K., B. J. WHIPP, S. N. KOYAL, and W. L. BEAVER. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.* 35:236 – 242, 1973.
392. WELLS, C. L., and R. R. PATE. *Training for performance of prolonged exercise*, In: LAMB, D., and R. MURRY (Eds.). Perspectives in exercise science and sports medicine, vol 1: prolonged exercise. Indiana: Benchmark Press, 1988.
393. WELTMAN, A., D. SNEAD, R. SEIP, R. SCHURRER, J. WELTMAN, R. RUTTAND, and A. ROGOL. Percentages of maximal heart rate, heart rate reserve and VO_{2max} for determining endurance training intensity in male runners. *Int. J. Sport Med.* 11:218 – 222, 1990.
394. WESTON, A. R., K. H. MYBURGH, F. H. LINDSAY, S. C. DENNIS, T. D. NOAKES, and J. A. HAWLEY. Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 75:7 – 13, 1997.
395. WHITT, F. R., and D. G. WILSON. *Bicycling science*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1982.
396. WHITT, F. R. Estimation of the energy expenditure of sporting cyclists. *Ergonomics.* 14:419 – 424, 1971.
397. WILBER, R. L., K. M. ZAWADZKI, J. T. KEARNEY, M. P. SHANNON, and D. DISALVO. Physiological profiles of elite off-road and road cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29:1090 – 1094, 1997.
398. WILLIAMS, M. H. *Beyond training. How athletes enhance performance legally and illegally*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1989.
399. WILLIAMS, J. H., W. S. BARNES, and J. F. SIGNORILE. A constant-load ergometer for measuring peak power output and fatigue. *J. Appl. Physiol.* 65:2343 – 2348, 1988.

400. WINDER, W. W., R. C. HICKSON, J. M. HAGBERG, A. A. EHSANI, and J. A. MCLANE. Training-induced changes in hormonal and metabolic responses to submaximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 46:766 – 771, 1979.
401. WISLØFF, U., C. CASTAGNA, J. HELGERUD, R. JONES, and J. HOFF. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br. J. Sports Med.* 38:285 – 288, 2004.
402. WITHERS, R. T., G. VAN DER PLOEG, and J. P. FINN. Oxygen deficits incurred during 45, 60, 75 and 90-s maximal cycling on air-braked ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol.* 67:185 – 191, 1993.
403. WOLFARTH, B., M. S. BRAY, J. M. HAGBERG, L. PE´RUSSE, R. RAURAMAA, M. A. RIVERA, S. M. ROTH, T. RANKINEN, and C. BOUCHARD. The Human Gene Map for Performance and Health-Related Fitness Phenotypes: The 2004 Update. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:881 – 903, 2005.
404. WOLFE, B. L., L. M. LEMURA, and P. J. COLE. Quantitative analysis of single- vs. multiple- set programs in resistance training. *J. Strength Cond. Res.* 18:35 – 47, 2004.
405. WOOLFORD, S. M., R. T. WITHERS, N. P. CRAIG, P. C. BOURDON, T. STANEF, and I. MCKENZIE. Effect of pedal cadence on the accumulated oxygen deficit, maximal aerobic power and blood lactate transition thresholds of high-performance junior endurance cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 80:285 – 291, 1999.
406. www.ctc.org.uk (15.02.2004).
407. www.ironmanlive.com (04.08.2005)
408. www.srm.de (01.01.2005).
409. www.triathlon.org (01.01.2005).
410. www.uci.ch (01.01.2005).

-
411. YEH, M. P., R. M. GARDNER, T. D. ADAMS, F. G. YANOWITZ, and R. O. CRAPO. "Anaerobic threshold": problems of determination and validation. *J. Appl. Physiol.* 55:1178 – 1186, 1983.
412. YOUNG, D. R., R. PELLIGRA, and R. R. ADACHI. Serum glucose and free fatty acids in man during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* 21:1047 – 1051, 1966.
413. ZHANG, Y.-Y., M. C. JOHNSON II, N. C. CHOW, and K. WASSERMAN. Effect of exercise testing protocol on parameters of aerobic function. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23:625 – 630, 1991.
414. ZHOU, S., and S. B. WESTON. Reliability of using the D-max method to define physiological responses to incremental exercise testing. *Physiol. Meas.* 18:145 – 54, 1997.
415. ZHOU, S., S. J. ROBSON, M. J. KING, and A. J. DAVIE. Correlations between short-course triathlon performance and physiological variables determined in laboratory cycle and treadmill tests. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 37:122 – 130, 1997.
416. ZINTL, F. *Entrenamiento de la resistencia*. Barcelona: Martínez Roca, 1991.

APÉNDICE I

En los diferentes apéndices se presenta parte de la información referenciada en el apartado de “Material y Métodos” y de “Discusión”, debido al gran tamaño de la misma, se tuvo que proceder a la realización del presente apartado. El apéndice 1 consta de las ecuaciones para el cálculo de la producción de potencia mecánica, el 2 y 3 de las ecuaciones para estimar el VO_2 y el $VO_{2m\acute{a}x}$ y, por último, en el apéndice 4 se exponen los diferentes tipos de protocolos utilizados para evaluar el rendimiento en ciclistas y triatletas.

APÉNDICE 1: Ecuaciones utilizadas en el estudio para estimar la producción de potencia mecánica

Ecuación 1.1. Whitt (396):

$$P = 0,022 \cdot M \cdot V + 0,0119 \cdot SF \cdot V^3 + 2,715 \cdot M \cdot V \cdot s$$

P = Potencia (W)

M = Masa del sistema ciclista-bicicleta (Kg)

V = Velocidad de desplazamiento ($Km \cdot h^{-1}$)

SF = Superficie Frontal (m^2)

s = Pendiente (%)

Ecuación 1.2. Di Prampero y col. (101):

$$P = (0,045 \cdot M \cdot V) + [0,041 \cdot BSA \cdot (P_b / T) \cdot V^3]$$

P = Potencia (W)

M = Masa del sistema ciclista-bicicleta (Kg)

V = Velocidad de desplazamiento ($m \cdot s^{-1}$)

P_b = Presión Atmosférica (mmHg)

T = Temperatura ($^{\circ}K$)

BSA = Área de superficie corporal (m^2) ($BSA = 0,007184 \times BM^{0,425} \times H^{0,725}$) (*Du Bois y Du Bois, 1916*)

BM = Masa del ciclista (Kg)

H = Talla del ciclista (m)

Ecuación 1.3. Whitt y Wilson (395):

$$P = C_v \cdot [K_1 + [K_2 \cdot (C_v + C_w) \cdot (C_v + C_w)] + [10,32 \cdot E_m \cdot (s / 100 + 1,01 \times a / g)]]$$

P = Potencia (W)

C_v = Velocidad del ciclista ($m \cdot s^{-1}$)

K_1 y K_2 = Constantes

C_w = Velocidad del viento ($m \cdot s^{-1}$)

E_m = Masa del sistema ciclista-bicicleta (Kg)

s = Pendiente (%)

a = Aceleración del sistema ciclista-bicicleta ($m \cdot s^{-2}$)

g = Gravedad ($9,81 m \cdot s^{-2}$)

Ecuación 1.4. Kyle (215):

$$P = W \cdot V \cdot [\sin(\arctan G) + C_{rr1} \times \cos(\arctan G)] + N \cdot C_{rr2} \cdot V^2 + 1/2 C_d \cdot A \cdot \rho \cdot V \cdot (V + V_W)^2$$

P = Potencia (W)

W = Masa del sistema ciclista-bicicleta (Kg)

V = Velocidad del ciclista ($m \cdot s^{-1}$)

G = Pendiente (%)

C_{rr1} = Coeficiente de rodadura

N = Número de ruedas

C_{rr2} = Factor que define la variación de la resistencia de rodadura en función de la velocidad

C_d = Coeficiente de rozamiento aerodinámico

A = Área frontal (m^2)

ρ = Densidad del aire ($Kg \cdot m^{-3}$)

Ecuación 1.5. Menard (260):

$$P = [(SCx \cdot (\rho / 2) \cdot V_o^3] + [(SCx_v \cdot (\rho / 2) \cdot V_o^3] + [(Cr \cdot M) \cdot V_o]$$

P = Potencia (W)

SCx = Coeficiente de penetración en el aire determinado mediante pruebas en túnel de viento (0,259 m²)

ρ = Densidad del aire (1,225 Kg·m⁻³ a nivel del mar)

V = Velocidad de desplazamiento (m·s⁻¹)

SCx_v = Coeficiente de penetración en el aire de las ruedas determinado mediante pruebas en túnel de viento (0,012 m²)

C_R = Coeficiente de rodadura estático estimado en tubulares inflados a 10 bar de presión (0,003)

M = Masa del sistema ciclista-bicicleta (Kg)

g = Gravedad (9,81 m·s⁻²)

Ecuación 1.6. Olds (291):

$$E_{tot} = E_{Rr} + E_{Ra} + E_G + E_{acc}$$

E_{tot} = Energía total (J)

E_{Rr} = Energía requerida para superar la resistencia de rodadura (J)

E_{Ra} = Energía requerida para superar la resistencia del aire (J)

E_G = Energía requerida para subir o bajar desniveles (J)

E_{acc} = Energía requerida para transmitir energía cinética al sistema (J)

$$E_{Rr} = C_{Rr} \cdot \cos(\arctan S) \cdot (M + M_b) \cdot d$$

C_{Rr} = Coeficiente de la resistencia de rodadura (0,0457)

S = Pendiente (%)

M = Masa del ciclista (Kg)

M_b = Masa de la bicicleta (Kg)

d = Distancia recorrida (m)

$$E_{Ra} = 0,19 \cdot CF_p \cdot CF_A \cdot (V_{ss} + V_w)^2 \cdot (d - d_{acc})$$

CF_p = Factor de corrección para la densidad del aire

CF_A = Factor de corrección para el área de superficie corporal.

V_{SS} = Velocidad media del sistema ($m \cdot s^{-1}$)

V_W = Velocidad del viento ($m \cdot s^{-1}$)

d_{acc} = Distancia de aceleración (m)

$$CF_p = (PB \times 288) / (755 \times T)$$

$$CF_A = BSA / 1,77$$

$$BSA = M^{0,425} \cdot H^{0,725} \cdot 0,007184$$

PB = Presión Barométrica (mmHg)

T = Temperatura ambiental ($^{\circ}K$)

BSA = Área de superficie corporal (m^2)

$$E_G = (M + Mb) \cdot g \cdot \text{sen}(\arctan S) \cdot d$$

$$E_{acc} = 0,5 \cdot (M + M_b) \cdot V_{SS}^2 + 0,19 \cdot CF_p \cdot CF_A \cdot (V_W^2 + (V_{SS} + V_W)^2) \cdot (d_{acc}/2)$$

Ecuación 1.7. Olds (290):

$$\text{Demanda} = E_R + E_A + E_G + E_{KE}$$

Demanda = Demanda energética (J)

E_R = Energía requerida para superar la resistencia de rodadura (J)

E_A = Energía requerida para superar la resistencia del aire (J)

E_G = Energía requerida para subir o bajar desniveles (J)

E_{KE} = Energía requerida para transmitir energía cinética al sistema (J)

$$E_R = d \cdot \mu_R \cdot \cos(\arctan S) \cdot CF_G \cdot 9,80665 \cdot (M + M_b)$$

$$\mu_R = (a + (b / P) / \text{Diam}) \cdot CF_S$$

$$CF_G = (6,378 / (6,378 + (Alt / 1000)))^2$$

$$E_G = d \cdot (M + M_b) \cdot CF_G \cdot 9,80665 \cdot \text{sen}(\arctan S)$$

d = Distancia recorrida (m)

μ_R = Coeficiente de la resistencia de rodadura del sistema

S = Pendiente (%)

CF_G = Factor de corrección de la gravedad debido a la altitud

M = Masa del ciclista (Kg)

M_b = Masa de la bicicleta (Kg)

a = -0,00051

b = 9,73744

P = Presión de las ruedas (psi)

Diam = Diámetro de la rueda (in)

CF_S = Factor de corrección de la μ_R para la superficie de rodadura (asfalto = 1, cemento = 0,87)

Alt = Altitud (m)

$$E_A = 0,5 \cdot CF_D \cdot C_D \cdot A_p \cdot \rho \cdot CF_{XW} \cdot V_{SS} \cdot (t + 3k^{(-t/k)} - 1,5k^{(-2t/k)} + (k/3)^{(-3t/k)} - 11k/6) + KE_A$$

$$CF_D = 1 - 0,3835 + 1,25 \cdot Esp^2$$

$$A_p = 0,4147 \cdot (A_b / 1,771) + 0,1159$$

$$A_b = H^{0,725} \cdot M^{0,425} \cdot 0,007184$$

$$\rho = 1,225 \cdot (P_B / 260) \cdot (288,15 / T) \cdot CF_H$$

$$CF_H = (P_{O_2} \cdot 32 + P_{N_2} \cdot 28 + P_{H_2O} \cdot 18) / (0,2093 \cdot 32P_B + 0,7904 \cdot 28P_B)$$

$$P_{H_2O} = 15,573^{(0,0606 \cdot (T - 291))} \cdot (RH / 100)$$

$$P_{O_2} = 0,2093 \cdot (P_B - P_{H_2O})$$

$$P_{N_2} = 0,7904 \cdot (P_B - P_{H_2O})$$

$$CF_{XW} = \text{RAIZ}(V_{SS}^2 + V_W^2 + 2 \cdot V_{SS} \cdot V_W \cdot \cos X_W) \cdot (V_{SS} + V_W \cdot \cos X_W / V_{SS}^2)$$

CF_D = Factor de corrección para la E_A en situación de rebufo

C_D = Coeficiente de rozamiento del sistema (0,592)

A_p = Proyección frontal del área del sistema (m^2)

ρ = Densidad del aire ($Kg \cdot m^{-3}$)

CF_{XW} = Factor de corrección de la resistencia del aire en situación viento cruzado

Esp = Espacio entre el ciclista el grupo o vehículo (m)

A_b = Área de superficie corporal (m^2)

H = Talla (cm)

P_B = Presión barométrica (mmHg)

T = Temperatura ambiental ($^{\circ}K$)

CF_H = Factor de corrección de la densidad del aire en condiciones de humedad

P_{H_2O} = Presión del vapor del agua (Torr)

RH = Humedad relativa (%)

P_{O_2} = Presión parcial del O_2 (Torr)

P_{N_2} = Presión parcial del N_2 (Torr)

V_{SS} = Velocidad media del sistema ($m \cdot s^{-1}$)

V_W = Velocidad del viento ($m \cdot s^{-1}$)

X_W = Ángulo del viento relativo a la dirección del sistema (rad)

t = Tiempo (s)

k = Tiempo constante para la aceleración (s)

KE_A = Energía cinética angular

$$E_{KE} = 0,5 \cdot (M + M_b) \cdot [V_{SS} \cdot (1 - \exp^{(-t/k)})]^2 + KE_A$$

KE_A = Articulación de la cadera + Articulación de la rodilla + Articulación del tobillo + Bielas / Pedales + Pedales + Piñón + Ruedas + Cadena

$$\text{Articulación de la cadera} = 0,3536 \cdot M \cdot (0,39 \cdot H / 170,18) \cdot 0,785 \cdot (\text{cad}/60)$$

$$\text{Articulación de la rodilla} = 0,1286 \cdot M \cdot (0,27 \cdot H / 170,18) \cdot 1,309 \cdot (\text{cad}/60)$$

$$\text{Articulación del tobillo} = 0,0276 \cdot M \cdot (0,18 \cdot H / 170,18) \cdot 0,349 \cdot (\text{cad} / 60)$$

$$\text{Bielas / pedales} = 1,2 \cdot 0,14 \cdot \text{Cad} \cdot \pi / 30$$

$$\text{Pedales} = 0,45 \cdot 0,03 \cdot \text{Cad} \cdot \pi / 30$$

$$\text{Piñón} = 0,46 \cdot 0,02 \cdot V_{SS} \cdot (1^{-(t/k)}) / (\text{Diam} \cdot 0,0127)$$

$$\text{Ruedas} = 3,16 \cdot 0,23 \cdot V_{SS} \cdot (1^{-(t/k)}) / (\text{Diam} \cdot 0,0127)$$

$$\text{Cadena} = 0,25 \cdot 0,08 \cdot \text{Cad} \cdot \pi / 30$$

Articulación de la cadera; articulación de la rodilla; articulación del tobillo; bielas / pedales; pedales; piñón; ruedas; cadena = Masa, radio de giro y velocidad angular del respectivo segmento corporal y los componentes de la bicicleta teniendo en cuenta la energía cinética angular (J)

Cad = Cadencia o frecuencia de pedaleo (rpm)

π = Pi (3,1416)

Ecuación 1.8. Basset y col. (22):

$$P = K \cdot [(0,00953 \cdot M_t \cdot V) + (0,0775 \cdot V^2) + (K_1 \cdot A_f \cdot 0,007551 \cdot V^3)]$$

P = Potencia (W)

K = Coeficiente de rodadura

M_t = Masa del sistema ciclista-bicicleta (Kg)

V = Velocidad de desplazamiento ($\text{Km} \cdot \text{h}^{-1}$)

K_1 = Factores de corrección de la resistencia aerodinámica ($K_1 = K_d \times K_{po} \times K_b \times K_c \times K_h$)

K_d = Densidad del aire

K_{po} = Posición del ciclista

K_b = Componentes de la bicicleta

K_c = Ropa del ciclista

K_h = Tipo de manillar

A_f = Área de superficie corporal (m^2) ($A_f = 0,0293 \times H^{0,725} \times M^{0,425} + 0,0604$)

H = Talla del ciclista (m)

M = Masa del ciclista (Kg)

Ecuación 1.9. Candau y col. (59):

$$P = C_R \cdot M \times g' \cdot (D_R / T_R) + \rho / 2 \cdot AC_D \cdot (D_R / T_R)^3$$

P = Potencia (W)

C_R = Coeficiente de rodadura (0,00563)

M = Masa del sistema ciclista-bicicleta (Kg)

g' = Gravedad ($9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

D_R = Distancia (m).

T_R = Tiempo (s).

ρ = Densidad del aire ($1,22 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a nivel del mar)

AC_D = Superficie frontal ($0,333 \text{ m}^2$)

APÉNDICE II

APÉNDICE 2: Ecuaciones utilizadas en el estudio para estimar el VO₂**Ecuación 2.1. Pugh (316):**

$$VO_2 = 2,9409 + 0,0381 \cdot V^3$$

VO₂ = Consumo de Oxígeno (mL·Kg⁻¹·min⁻¹)

V = Velocidad de desplazamiento (m·s⁻¹)

Ecuación 2.2. Davies (94):

$$VO_2 = 4 + 0,0386 \cdot V + 0,0006675 \cdot V^3$$

VO₂ = Consumo de Oxígeno (mL·Kg⁻¹·min⁻¹)

V = Velocidad de desplazamiento (Km·h⁻¹)

Ecuación 2.3. Van Baak y Binkhorst (376):

$$VO_2 = 11,7 - 2,48 \cdot V + 10,11 \cdot V^2$$

VO₂ = Consumo de Oxígeno (mL·Kg⁻¹·min⁻¹)

V = Velocidad de desplazamiento (m·s⁻¹)

Ecuación 2.4. ACSM (8):

$$VO_2 = P \cdot 2 + 3,5 + 260$$

VO_2 = Consumo de Oxígeno ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)

P = Potencia (Kgm)

Ecuación 2.5. McCole y col. (255):

$$VO_2 = -4,5 + 0,17 \cdot V_R + 0,052 \cdot V_W + 0,022 \cdot W_r$$

VO_2 = Consumo de Oxígeno ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)

V_R = Velocidad de desplazamiento ($\text{Km} \cdot \text{h}^{-1}$)

V_W = Velocidad del viento ($\text{Km} \cdot \text{h}^{-1}$)

W_R = Masa corporal del ciclista (Kg)

Ecuación 2.6. Lang y col. (217); Latin y col. (218):

$$VO_2 = P \cdot 1,9 + 3,5 + 260$$

VO_2 = Consumo de Oxígeno ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)

P = Potencia (Kgm)

Ecuación 2.7. Pedersen y col. (307):

$$VO_2 = 661 + 9,73 \cdot W$$

VO_2 = Consumo de Oxígeno ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)

W = Potencia (W)

APÉNDICE III

APÉNDICE 3: Ecuaciones utilizadas en el estudio para estimar el $VO_{2m\acute{a}x}$

Ecuación 3.1. Di Prampero y col. (101):

$$VO_{2m\acute{a}x} = [R_1 \cdot M \cdot V + R_2 \cdot BSA \cdot (P_b / T) \cdot V^3] + MB$$

$VO_{2m\acute{a}x}$ = Consumo máximo de Oxígeno

$R_1 = 8,6 \cdot 10^{-3}$ (ml $O_2 \cdot Kg^{-1} \cdot min^{-1}$)

M = Masa del sistema ciclista-bicicleta (Kg)

V = Velocidad (m·seg⁻¹)

$R_2 = 7,8 \cdot 10^{-3}$ (ml $O_2 \cdot S^2 \cdot K \cdot mmHg \cdot m^{-5}$)

BSA = Área de superficie corporal (m²) = $0,007184 \times BM^{0,425} \times H^{0,725}$ (Du Bois y Du Bois, 1916)

BM = Masa del Ciclista (Kg)

H = Altura ciclista (cm)

P_b = Presión Atmosférica (mmHg)

T = Temperatura (°K)

MB = Metabolismo Basal (ml $O_2 \cdot s^{-1}$), considerado como $3,6 \text{ ml } O_2 \cdot Kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (McArdle y col., 1986)

Ecuación 3.2. Jones y col. (195) (Estimación hombres):

$$VO_{2m\acute{a}x} = (5,41 \cdot H) - (0,025 \cdot E) - 5,66$$

Ecuación 3.3. Jones y col. (195) (Estimación mujeres):

$$VO_{2m\acute{a}x} = (3,01 \cdot H) - (0,017 \cdot E) - 2,56$$

Ecuación 3.4. Jones y col. (195) (Estimación ambos sexos):

$$VO_{2m\acute{a}x} = (4,6 \cdot H) - (0,028 \cdot E) - (0,62 \cdot S) - 4,31$$

Ecuación 3.5. Jones y col. (194) (Estimación hombres):

$$VO_{2m\acute{a}x} = 4,2 - (0,032 \cdot E) \quad (1)$$

$$VO_{2m\acute{a}x} = 60 - (0,55 \cdot E) \quad (2)$$

$$VO_{2m\acute{a}x} = (3,45 \cdot H) - (0,028 \cdot E) + (0,022 \cdot M) - 3,76 \quad (3)$$

$$VO_{2m\acute{a}x} = 0,83 \cdot H^{2,7} \cdot (1 - 0,007 \cdot E) \quad (4)$$

Ecuación 3.6. Jones y col. (194) (Estimación mujeres):

$$VO_{2m\acute{a}x} = 2,6 - (0,014 \cdot E) \quad (1)$$

$$VO_{2m\acute{a}x} = 48 - (0,37 \cdot E) \quad (2)$$

$$VO_{2m\acute{a}x} = (2,49 \cdot H) - (0,018 \cdot E) + (0,01 \cdot M) - 2,26 \quad (3)$$

$$VO_{2m\acute{a}x} = 0,62 \cdot H^{2,7} \cdot (1 - 0,007 \cdot E) \quad (4)$$

Ecuación 3.7. Jones y col. (194) (Estimación para ambos sexos):

$$VO_{2m\acute{a}x} = (3,2 \cdot H) - (0,024 \cdot E) + (0,019 \cdot M) - (0,49 \cdot S) - 3,17 \quad (1)$$

$$VO_{2m\acute{a}x} = 0,83 \cdot H^{2,7} \cdot (1 - 0,007 \cdot E) \times (1 - 0,25 \cdot S) \quad (2)$$

$VO_{2m\acute{a}x}$ = Consumo de Oxígeno ($L \cdot min^{-1}$)
 H = Talla (m)
 E = Edad (años)
 S = Sexo (Hombres = 0; mujeres = 1)
 M = Masa del deportista

Ecuación 3.8. Storer y col. (360) (Estimación hombres):

$$VO_{2m\acute{a}x} = 10,51 \cdot W_{m\acute{a}x} + 6,35 \cdot BW - 10,49 \cdot A + 519,3$$

Ecuación 3.9. Storer y col. (360) (Estimación mujeres):

$$VO_{2m\acute{a}x} = 9,39 \cdot W_{m\acute{a}x} + 7,7 \cdot BW - 5,88 \cdot A + 136,7$$

$VO_{2m\acute{a}x}$ = Consumo máximo de Oxígeno ($mL \cdot min^{-1}$)
 $W_{m\acute{a}x}$ = Potencia aeróbica máxima (W)
 BW = Masa corporal del ciclista (Kg)
 A = Edad (años)

Ecuación 3.10. Hawley y Noakes (158):

$$VO_{2m\acute{a}x} = 0,01141 \cdot W_p + 0,435$$

$VO_{2m\acute{a}x}$ = Consumo máximo de Oxígeno ($L \cdot min^{-1}$)
 W_p = Potencia Aeróbica Máxima
 P = Potencia (W)

APÉNDICE IV

APÉNDICE 4: Protocolos utilizados para valorar el rendimiento ciclista en diferentes modalidades y especialidades

Carga (W)	Calentamiento		Duración (min)	Modalidad /	Autor
	Tiempo (min)	Δ carga (W)			
0	3	30	1	Carretera	Burnley y col. (55)
100	3	26	1	Carretera	Hug y col. (177)
125	5	25	3:20	Carretera	Montfort-Steiger y col. (268)
100	3	25	1	Carretera	Nesi y col. (279)
200	10 – 15	20	1	Carretera	Ansley y col. (9)
100	10	20	1	Carretera	Lucía y col. (231)
95	0	35	5 – 2 ^b	Carretera	Achten y col. (2)
95	0	35	3	Carretera	Achten y col. (2)
95	0	20	3	Carretera	Achten y col. (2)
100	5	15	0:30	Carretera	Laursen y col. (220)
80	2	45 – 20 ^a	1	Carretera	Neary y col. (276)
150	1	30	1	Carretera	Bentley (26)
60	3	35	3	Carretera	Moseley y col. (272)
100	4	50	4	Carretera	Fernández-García y col. (114)
		25	1	Carretera	Lucía y col. (241)
110	4	35	4; R = 1	Carretera	Padilla y col. (301)
100	0	18	3; R = 1	Carretera	Padilla y col. (302)
150	0	30	2	Carretera	La Voie y col. (222)
100	5	50	2,5	Carretera	Kuipers y col. (212)
100	3	20	3	Montaña	Stapelfeldt y col. (354)
80	4	40	4	Montaña	Baron (20)
		25	3 – 1 ^c	Montaña	Wilber y col. (397)

R = Recuperación entre escalones de carga; ^a Incrementos de 80 W hasta cada 2 min 260 W y a partir de aquí incrementos de 20 W cada 1 min hasta la PAM; ^b Escalones de carga de 5 min hasta R = 1 y a partir de aquí escalones de 2 min hasta la fatiga; ^c Escalones de carga de 3 min a nivel submáximo y de 1 min a nivel máximo.

Calentamiento		Δ carga	Duración	Modalidad /	Autor
Carga (W)	Tiempo (min)	(W)	(min)		
100	4	40	4; R = 1	Triatlón M	Peeling y col. (308)
150	6	15	0:30	Triatlón M	Tew (368)
100	6	30	1	Triatlón M	Bernard y col. (30)
150	6	25	2	Triatlón M	Delextrat y col. (98)
30	1	30	1	Triatlón M	Hue (173)
30	3	30	1	Triatlón M	Boussana y col. (42)
100	3	40	1,5	Triatlón M	Kimber y col. (202)
100	6	30	1	Triatlón M	Vercruyssen y col. (379)
100	4	25	1 – 2 ^d	Triatlón M	Basset y Boulay (21)
30	1	30	1	Triatlón M	Hue y col. (174)
		70 – 35 ^e	3 – 2	Triatlón M	Millet y col. (263)
3,33·Kg ⁻¹	2:30	25	2:30	Triatlón M	Schabort y col. (336)
100	6	25	1	Triatlón M	Brisswalter y col. (44)
1,0 kp	0	0,25 kp	1	Triatlón M	Miura y col. (265)
50	5	30	3	Triatlón M	Bentley y col. (27)
30	1	30	1	Triatlón M	Hue y col. (176)
1,0 Kp	1	0,25 Kp	1	Triatlón M	Miura y col. (266)
200	1	25	1	Triatlón M	Zhou y col. (415)
140	3	35 / 70 ^e	2	Triatlón M	Sleivert y Wenger (350)
0,5 Kg	4	0,25 Kg	1	Triatlón M	Butts y col. (57)
80	1	40	1	Triatlón M	Deitrick (97)
0	2	30	2	Triatlón M	Schneider y Pollack (338)
0	4	40	2	Triatlón M	Schneider y col. (339)
150	2	25	1	Triatlón M	Dengel y col. (99)
1,5 Kg	3	0,33 Kg	3	Triatlón M	Kohrt y col. (205)
1,5 Kg	0	0,33 Kg	2	Triatlón M	Kohrt y col. (206)
100	3	40	1,5	Triatlón F	Kimber y col. (202)
100	4	25	1 – 2 ^d	Triatlón F	Basset y Boulay (21)
		70 – 35 ^e	3 – 2	Triatlón F	Millet y col. (263)
3,33·Kg ⁻¹	2:30	25	2:30	Triatlón F	Schabort y col. (336)
140	3	35 / 70 ^f	2	Triatlón F	Sleivert y Wenger (350)

R = Recuperación entre escalones de carga; ^d Escalones de 1 min hasta 200 W y de 2 min hasta la fatiga; ^e Incrementos de 70 W hasta cada 3 min 280 W y a partir de aquí incrementos de 35 W cada 2 min hasta la PAM; ^f Incrementos de 35 W hasta el UV y a partir de aquí incrementos de 70 W hasta el VO_{2máx}.