



**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO  
Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

Determinantes del rendimiento en carreras de media  
maratón: validez predictiva de modelos de estimación  
mediante test de campo y de laboratorio

**Autor:**

José Ramón Alvero Cruz

**Directores:**

Dr. D. Fernando Alacid Cárceles

Dr. D. Manuel Avelino Giráldez García

Dr. D. Elvis Álvarez Carnero

Murcia, febrero de 2017





**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO  
Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

Determinantes del rendimiento en carreras de media  
maratón: validez predictiva de modelos de estimación  
mediante test de campo y de laboratorio

**Autor:**

José Ramón Alvero Cruz

**Directores:**

Dr. D. Fernando Alacid Cárceles

Dr. D. Manuel Avelino Giráldez García

Dr. D. Elvis Álvarez Carnero

Murcia, febrero de 2017





**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

**AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR DE LA TESIS  
PARA SU PRESENTACIÓN**

El Dr. D. Fernando Alacid Cárceles, el Dr. D. Manuel Avelino Giráldez García y el Dr. D. Elvis Álvarez Carnero como Directores de la Tesis Doctoral titulada “Determinantes del rendimiento en carreras de media maratón: validez predictiva de modelos de estimación mediante test de campo y de laboratorio” realizada por D. José Ramón Alvero Cruz en el Departamento de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmamos, para dar cumplimiento a los Reales Decretos 99/2011, 1393/2007, 56/2005 y 778/98, en Murcia a 24 de febrero de 2017.

Dr. Fernando Alacid Cárceles

Dr. Manuel Avelino Giráldez García

Dr. Elvis Álvarez Carnero



## AGRADECIMIENTOS

*Primeramente a mi mujer, Carmen, que me deja todo el tiempo para dedicarme a "todo esto".*

*A mis Directores-Profesores y amigos, Manuel Giráldez y Elvís Álvarez. Carnero, porque cada tutoría, me han enseñado a pensar un poquito más. Gracias, esto no finaliza nunca.*

*Al Prof. Fernando Alacid, simplemente por su amistad.*

*A todos los entrenadores y también atletas, en especial a Juan Vázquez del Club Atlético Guadalhorce de Alora y a Dani Pérez del Club Atletismo Málaga, a Tonitóm y Adrián Jiménez del Club Atletismo Marbella, a Rafa Elena de los Cuasicuerentones, a Juan Ramón Campos del Rincón de la Victoria y a todo el resto de los que me olvidó y que han participado en los diferentes estudios.*

*A todos los atletas que han participado en los diferentes "Coopers" y en las diferentes "Medias".*

*Atléticas gracias a todos.*





*"Es más importante la imaginación que el conocimiento"*

*Albert Einstein*

*"No hay nada más poderoso, que una idea a la que le ha llegado su tiempo"*

*Victor Hugo*



***Dedicatoria***

*A mi padre Ramón Alvero Llundell, que me enseñó el poder de la constancia en el trabajo y el atletismo por todas las pistas y “crosses” .....“La segona, va per tú, papa”*



## ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	5
ÍNDICE GENERAL.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
ÍNDICE DE TABLAS.....	15
ABREVIATURAS.....	17
RESUMEN.....	19
ABSTRACT.....	23
I. INTRODUCCIÓN.....	27
1.1. Métodos de determinación de la Resistencia Aeróbica.....	30
1.2. Contribución del metabolismo en los test de carrera.....	31
1.3. Validación de pruebas de campo en Fisiología del Deporte.....	35
1.4. Preguntas de importancia.....	40
1.5. Bibliografía del capítulo 1.....	40
II. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	45
2.1. Justificación.....	47
2.2. Hipótesis y objetivos.....	49
2.3. Diseño general de la tesis doctoral.....	50
III. MATERIAL Y METODO.....	53
3.1. Sujetos.....	55
3.2. Método.....	55
3.3. Análisis estadístico.....	60
3.4. Bibliografía del capítulo 3.....	61
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
<b>4.1. Estudio 1: Modelos fisiológicos y antropométricos para la predicción del rendimiento en corredores de media y larga distancia. Revisión de la literatura.....</b>	<b>65</b>

<b>4.2. Estudio 2:</b> El Test de Cooper es mejor que los test de laboratorio para predecir el rendimiento en la media maratón corredores aficionados.....	101
<b>4.3. Estudio 3:</b> Reliability and Accuracy of Cooper's test in half-marathon recreational runners.....	129
<b>4.4. Estudio 4:</b> Fiabilidad y validez relacionada al criterio, del test de Cooper para predecir el tiempo en media maratón.....	139
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	161

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Introducción

Fig. 1.- Conceptualización de un constructo multifactorial en corredores de fondo.....	36
--	----

### Justificación, Diseño, Hipótesis y Objetivos

Fig. 2.- Diagrama de flujos del diseño y realización de los estudios de la presente tesis.....	48
--	----

### Material y métodos

Fig. 3.- Mapa de España con la señal de las 16 medias maratones.....	60
--	----

### Estudio 1

Fig. 4.- Diagrama de búsqueda y proceso de selección de trabajos.....	69
---	----

### Estudio 2

Fig. 5.- Cronograma de los test de Laboratorio, test de Cooper y Media Maratón.....	105
---	-----

Fig. 6.- Panel A: Gráfico de Bland-Altman comparando ecuación de Cooper con tiempo real. Panel B: Gráfico de Bland-Altman comparando ecuación Laboratorio con tiempo real.....	113
--	-----

Fig. 7.- Gráfico de pronósticos y residuos tipificados del test de Cooper.....	114
--	-----

Fig. 8.- Gráfico de pronósticos y residuos tipificados del test de Laboratorio.....	115
---	-----

### Estudio 3

Fig. 9.- Scatter plots are agreement analysis by Bland-Altman plots between the difference and the mean of the Cooper's test variables. Upper figure represents total distance and lower figure is maximal heart rate at the end of the test.....	135
---	-----

Estudio 4

Fig. 10.- Relación entre la distancia del test Cooper y el tiempo final en la media maratón.....	148
Fig. 11.- Regresión entre los valores predichos y el tiempo final.....	150
Fig. 12.- Gráfico de Bland & Altman entre la marca predicha y el tiempo real.....	151



## ÍNDICE DE TABLAS

Introducción	
Tabla 1.- Métodos de validación de test en Fisiología del Deporte.....	38
Justificación, Diseño, Hipótesis y Objetivos	
Tabla 2.-: Esquematización de los estudios de la tesis doctoral.....	50
Material y métodos	
Tabla 3.- Fases del test progresivo de esfuerzo en banda rodante en el Laboratorio.....	57
Tabla 4.- Características de las medias maratones.....	59
Estudio 1	
Tabla 5.- Recuento parcial y total de trabajos de predicción del rendimiento en carreras de medio fondo y fondo.....	70
Tabla 6.- Múltiples variables y modelos de regresión del rendimiento en la especialidad de 5000 m.....	81
Tabla 7.- Múltiples variables y modelos de regresión del rendimiento en la especialidad de 10000 m.....	84
Tabla 8.- Múltiples variables y modelos de regresión del rendimiento en la especialidad de media maratón.....	87
Tabla 9.- Múltiples variables y modelos de regresión del rendimiento en la especialidad de maratón.....	89
Estudio 2	
Tabla 10.- Características antropométricas de los participantes.....	109
Tabla 11.- Variables de Laboratorio.....	109
Tabla 12.- Variables resultantes del Test de Cooper.....	110
Tabla 13.- Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables de estudio y el tiempo en media maratón.....	111

Tabla 14.- Modelos de regresión múltiple derivados del test de campo y laboratorio.....	112
Tabla 15.- Modelos significativos con ejemplos de modelos con exclusión de variables.....	116
Estudio 3	
Table 16.- Anthropometric and training variables of the sample.....	133
Table 17.- Relative and absolute reliability of Cooper's test variables.....	134
Estudio 4	
Tabla 18.- Porcentaje de corredores segmentados por tiempo oficial de carrera.....	145
Tabla 19.- Características demográficas y variables de la media maratón y del test de Cooper.....	146
Tabla 20.- Modelo de regresión múltiple del test de Cooper.....	149

## ABREVIATURAS

**ATP:** Adenosín-trifosfato

**CLD:** Corredores de Larga Distancia

**CLM:** Corredores de Media Distancia

**CO<sub>2</sub>:** Anhídrido carbónico

**CP:** Creatínfosfato

**EC:** Economía de Carrera (RE: Running economy)

**FR:** (resp/min): Frecuencia respiratoria

**LT:** Lactate threshold: Umbral del lactato

**MLSS:** (Maximal Lactate Steady State): Máximo estado estable del lactato

**mmol/L:** milimoles/Litro (usualmente la concentración de lactato)

**O<sub>2</sub>:** Oxígeno

**OBLA:** Onset blood lactate accumulation

**OPLA:** Onset plasma lactate accumulation),

**PAM:** Potencia aeróbica máxima

**PETO<sub>2</sub> ( kPa ):** Presión de O<sub>2</sub> al final de la espiración

**PETCO<sub>2</sub> ( kPa ):** Presión de CO<sub>2</sub> al final de la espiración

**PC:** Potencia crítica

**RQ: CR:** Cociente respiratorio

**T<sub>lim</sub>:** Tiempo límite

**VCO<sub>2</sub> (mL, L):** Producción de CO<sub>2</sub>

**VE (L):** Ventilación

**VE/VO<sub>2</sub> :** Equivalente respiratorio de O<sub>2</sub>

**VE/VCO<sub>2</sub> :** Equivalente respiratorio de CO<sub>2</sub>

**VO<sub>2</sub>max(mL, L):** Consumo máximo de oxígeno

**VO<sub>2</sub>max(%):** Porcentaje del consumo máximo de oxígeno (Uso fraccional)

18

$v_{VO_2\max}$ : Velocidad mínima en la que se consigue el  $VO_2\max$

$V_t$  **BTPS (L)** : Volumen tidal: Volumen corriente

## RESUMEN

### **Introducción:**

Existen una cantidad importante de variables predictoras de las carreras de medio-fondo y fondo. Entre ellas, las más importantes a destacar son el máximo consumo de oxígeno, la velocidad alcanzar el máximo consumo de oxígeno, la economía de carrera y los valores de lactato en diferentes intensidades. Los objetivos de la presente tesis doctoral fueron los siguientes: Realizar una búsqueda de las diferentes variables y modelos predictivos relacionados con el rendimiento en carreras de 5000 m, 10000 m, media maratón y maratón. Comprobar la capacidad predictiva de ecuaciones obtenidas con modelos derivados de un test de laboratorio o en un test de Cooper, en base a la distancia recorrida. Así mismo se estudiar la fiabilidad y la precisión del test de Cooper en corredores de larga distancia y por último comprobar la validez relacionada al criterio del test de Cooper frente al tiempo de carrera en corredores de ambos sexos y diferente nivel de rendimiento.

### **Material y métodos:**

El diseño de la investigación consistió en cuatro estudios: el primero consistió en un estudio de revisión de la literatura realizado una búsqueda en Pubmed, Medline, Scielo, SportDiscus y Scopus, manejando diferentes palabras clave y esta revisión se ha realizado bajo un marco de asignación de atributos clave como Search, Appraisal, Synthesis and Analysis (SALSA). El segundo estudio fue un estudio transversal, con 23 corredores varones, amateurs, para comparar la capacidad predictiva mediante regresiones múltiples, de variables obtenidas en el test de Cooper frente a las variables de un test de Laboratorio. Las variables de Laboratorio se obtuvieron por la realización de una valoración de la composición corporal y un test ergoespiométrico maximal con intercambio de gases. En el tercer trabajo comprobó la fiabilidad y la precisión del Test de Cooper en corredores amateurs de fondo, mediante el coeficiente de correlación

intraclase, el coeficiente de variación, las diferencias medias, el tamaño del efecto con el coeficiente  $d$  de Cohen y un análisis de concordancia de Bland Altman. El cuarto trabajo se realizó sobre 198 sujetos (177 varones y 21 mujeres) en corredores que previamente a la media maratón, llevaron a cabo un test de Cooper en pista de atletismo, como extensión del segundo estudio y para comprobar la validez frente al criterio (tiempo real de la media maratón), con un análisis de concordancia de Bland Altman.

### Resultados:

Trabajo 1: Se han contabilizado un total de 53 trabajos desde el año 1983 hasta la actualidad. Doce en la modalidad del 5000 m., trece en el 10000 m, diez en media maratón y dieciocho en maratón. Se han encontrado hasta un total de 141 variables relacionadas al rendimiento en carreras de media y larga distancia, perteneciendo un 49,3% al ámbito de las variables derivadas de la valoración del metabolismo aeróbico, un 23,6% de variables relacionadas a la carga de entrenamiento y 19,2% a variables antropométricas, composición corporal y componentes del somatotipo.

Trabajo 2: Se encontraron correlaciones significativas entre el tiempo de media maratón con la distancia en el test de Cooper ( $r = -0,93$ ;  $P < 0,001$ ), el peso corporal ( $r = 0,40$ ;  $P < 0,04$ ), la velocidad en VT1 ( $r = -0,72$ ;  $P < 0,0001$ ), la  $vVO_{2max}$  ( $r = -0,84$ ;  $P < 0,0001$ ),  $VO_{2}VT2$  ( $r = -0,79$ ;  $P < 0,0001$ ) y  $VO_{2max}$  ( $r = -0,64$ ;  $P < 0,05$ ). La distancia en el test de Cooper, fue el mejor predictor para el tiempo en la media maratón ( $R^2: 0,873$ ;  $EEE: 3,78$  min) y en el modelo de laboratorio el  $vVO_{2max}$  y el peso corporal, presentaron un  $R^2 = 0,77$ ;  $EEE: 5,28$  min).

Trabajo 3: La precisión para la distancia total recorrida en el test de Cooper y la frecuencia cardiaca fue relativamente alta ( $C_b = 0,994$  y  $0,956$  respectivamente). El coeficiente de variación para la distancia recorrida fue muy pequeña: 1,7% (52,2 metros) y el coeficiente de correlación intraclase fue de 0,99 mostró una excelente fiabilidad. Además en el análisis de concordancia no se observó sesgo proporcional tanto en la distancia como la frecuencia cardiaca

Trabajo 4: Los resultados muestran una gran validez frente al criterio del test de Cooper frente al tiempo real de la prueba, con unas diferencias medias entre el valor predicho y el criterio de  $0,48 \pm 5,20$  min (IC 95%:  $-0,24 - 1,21$ ),

$P= 0,188$ , derivándose la siguiente ecuación: Tiempo final (min) =  $205,6272 - 0,0356 * \text{Distancia Cooper (m)}$ . y sin ser el sexo una variable que se integre en el modelo de regresión.

**Conclusiones:**

Existe una importante falta de modelos de estimación del rendimiento en corredores de media y larga distancia, basados en los test de campo. La distancia en el test de Cooper, fue mejor predictor para el tiempo de carrera en la media maratón, que el modelo del test de laboratorio. Una ecuación derivada con un fácil test de Cooper consigue una alta fiabilidad y precisión en la predicción del tiempo en media maratón en corredores populares de ambos sexos. El test de Cooper se muestra como un método de fácil ejecución e instauración en el conjunto del esquema de entrenamiento y sirve como instrumento de estimación preciso del ritmo de competición.

**Palabras clave:** Media maratón, Test de Cooper, modelos predictivos, Rendimiento.





## ABSTRACT

### **Introduction:**

There are a several predictor variables of performance in middle and long distance runners. Among them, the most important variables are the maximal oxygen uptake, the speed reached at maximal oxygen uptake, the running economy and lactate levels in different intensities and velocities. The aim of this thesis was to test the predictive ability of the variables obtained in laboratories than variables obtained on a test of 12 min running test (Cooper test), based on the traveled distance.

### **Material and methods:**

The research design consisted of four studies. The first was review of the literature. The lack of knowledge of works in the literature for prediction performance in marathon races, led to carry out a literature review of the variables and regression models in 5000 m, 10000 m., half marathon and Marathon races. The second was a cross-sectional study with 23 recreational male runners, to compare the predictive ability of variables obtained with the Cooper test against the laboratory test. Laboratory variables were obtained by conducting an assessment of body composition and an incremental test with gas exchange. The third work is designed to confirm the reliability and criterion-related validity of the Cooper Test to predict the half-marathon race time. One week before half-marathon runners carried out a Cooper test in athletic tracks. The fourth study was conducted on 198 athletes (177 men and 21 women) in runners than prior to the half-marathon, they carried out a Cooper test in athletic tracks, as an extension of the second study and to check the validity against the criterion (real time of the half-marathon), with a concordance of Bland-Altman analysis.

**Results:**

Study 1: A total of 54 works have been counted since 1983 to the present. Twelve in the modality of the 5000 m., thirteen in the 10000 m, ten in half marathon and nineteen in Marathon. They have been found up to a total of 141 variables related to performance in middle and long distance races, belonging to 49.3% within the scope of the variables derived from the evaluation of the aerobic metabolism, 23.6% of variables related to the training and 19.2% to anthropometric variables, composition body and somatotype components.

Study 2: We found significant correlations between the half-marathon race time with the distance in the Cooper test ( $r = -0.93$ ;  $P < 0.001$ ), body weight ( $r = 0.40$ ;  $P = 0.04$ ), the speed in VT1 ( $r = -0.72$ ;  $P < 0.0001$ ), the  $v\text{VO}_2\text{max}$  ( $r = -0.84$ ;  $P < 0.0001$ ),  $\text{VO}_2\text{VT2}$  ( $r = 0.79$ ;  $P < 0.0001$ ) and  $\text{VO}_2\text{max}$  ( $r = 0.64$ ;  $P < 0.05$ ). The distance in the Cooper test, was the best predictor for the time race in the half marathon ( $R^2: 0.873$ ;) EEE: 3,78 min) and the laboratory model, the  $v\text{VO}_2\text{max}$  and body weight, presented a  $R^2 = 0.77$ ; EEE: 5.28 min).

Study 3: The reliability to the total distance in the Cooper test and heart rate was relatively high ( $C_b = 0.994$  and  $0.956$ ). The coefficient of variation for the distance in Cooper test was very small: 1.7% (52.2 meters) and the intraclass correlation coefficient was 0.99 showed excellent reliability. Also in the analysis of concordance do not show proportional bias than in the distance, and heart rate were observed.

Study 4: The results show a great validity against the criterion of the Cooper test against the real time of the test, with a mean differences between the predicted value and the criterion of  $0.48 \pm 5.2$  min (95% CI: - 0.24 - 1.21),  $P = 0.188$ , deriving the equation: final race time (min) =  $205.6272 - 0.0356 * \text{distance Cooper (m)}$ . and without inclusion of the gender variable that integrates in the regression model.

**Conclusions:**

There is a significant lack of models for the estimation of performance in middle and long distance runners, based on field tests. The distance in the Cooper

---

test, was best predictor for the race time in the half marathon, the model of the laboratory test. An equation derived with an easy test of Cooper gets a high reliability and accuracy in the prediction of half-marathon race time in recreational runners of both sexes. The Cooper test is displayed as a method of easy implementation and establishment in the training scheme and serves as instrument of estimation should be the pace of competition.

**Key words:** Half-marathon, Cooper Test, Predictive models, Performance



# **I - INTRODUCCIÓN**



## I. INTRODUCCIÓN

La práctica deportiva se ha convertido en estas últimas décadas en un aspecto cada vez más cotidiano y habitual en la vida de la sociedad española en general; así como también en una alternativa de ocio privilegiada para capas cada vez más amplias de la población. Desde esta perspectiva y contando con que el turismo es una de las principales actividades de ocio vacacional para la mayor parte de los individuos, encontrarnos con que turismo y deporte, dos actividades que por otro lado, han conocido una evolución paralela a lo largo de todo el siglo XX encuentran en este lugar, una importante relación que, cada vez más se pone de relieve y se intensifica. (Medina & Sánchez Martín, 2004).

La organización de eventos deportivos es una de las estrategias por las que muchos territorios han optado como modo de promocionarse. El turismo y el deporte son actividades que la población practica durante su tiempo de ocio, por lo que establecer vínculos entre ambos conceptos es cada vez más frecuente como motor de desarrollo local.

Dentro de las actividades más practicadas por los españoles en este siglo podemos encontrar actividades gimnásticas guiadas (26,3-34,5%), la natación (22,9-32,6%), el fútbol (24,6-26,6%), el ciclismo (19,1-19,8%) y la carrera a pie (11,9-12,9%). Sin embargo, la dimensión competitiva de las mismas no es analizada habitualmente, a pesar de que en los últimos años el crecimiento de competiciones deportivas populares (amateur) ha cobrado especial relevancia en España y numerosos países occidentales, siendo las carreras populares a pie aquellas que han crecido de forma más notable, alcanzando hasta un 5,6% de la población (Seijo, 2013)

La motivación hacia la práctica de las carreras populares de fondo en el campo amateur, desde los 10 km, a la media maratón y la maratón, ha sido analizada por diversos autores (Llopis & Llopis, 2006). En la sociedad española destacan también, los estudios de García Ferrando, de los cuales puede concluirse que no existe un único motivo que lleve a la práctica deportiva, sino que es el producto de la interacción de varios motivos que en algunos casos sirven para

iniciarse y en otros, al mantenimiento de esa práctica deportiva. (García Ferrando, 2001).

En relación a las carreras populares la motivación principal, como se ha señalado no es unifactorial y por ello se puede atribuir a factores como la influencia familiar o de los amigos, el mantenimiento de la condición física, la pérdida de peso o por factores motivacionales propiamente derivados directamente del entrenamiento y las sensaciones positivas que se obtienen al correr.(Llopis & Llopis, 2006).

Con independencia de los factores intrínsecos o extrínsecos que llevan a las personas a participar en carreras populares, parece que un aspecto importante de este fenómeno es el hecho, de su condición de corredores amateur e incluso en ocasiones atletas poco experimentados. Este aspecto deja en abierto algunas cuestiones que deben generar dudas en aquellos que prescriben, entrenan o aconsejan a corredores con este perfil. Uno de los aspectos más complejos en este sentido, es el relacionado con el rendimiento (tiempo final para completar una carrera) en una distancia determinada y en los factores fisiológicos/biológicos que lo determinan (constructos).

El conjunto de estudios de este manuscrito se enmarca dentro de esta población de deportistas amateurs, corredores de larga distancia (10 kilómetros, media maratón, total maratón) y desde el interés que puede tener la estimación y/o predicción de su rendimiento en pruebas de media maratón.

### 1.1. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AERÓBICA

Las pruebas fisiológicas de evaluación de los atletas, requieren la correcta identificación y evaluación de los factores determinantes específicos de cada especialidad. Se reconoce que el rendimiento en modalidades de larga distancia, está determinado por variables del foro fisiológico como el consumo de oxígeno máximo ( $VO_2max$ ), el coste energético del ejercicio y la utilización de una fracción o reserva elevada del  $VO_2max$ . La posibilidad de conjugar estos factores se definiría como la resistencia aeróbica, puesto que el  $VO_2max$ , establecería el límite superior de la energía dispensada por la vía aeróbica. (Bosquet, Léger, & Legros, 2002)



Los métodos de determinación de la resistencia aeróbica son variados y pueden clasificarse en dos categorías: los métodos directos e indirectos.

Los métodos directos reunirán a todos los procedimientos que permiten una representación de la relación potencia-tiempo, mientras que los métodos indirectos giran en torno a la determinación del denominado umbral anaeróbico (UA), (Hopkins, Schabert, & Hawley, 2001). Sobre los métodos indirectos, hay una opinión general que apoya la utilización del UA en la evaluación de la resistencia aeróbica y para la prescripción de las diferentes intensidades de entrenamiento (Bosquet et al., 2002). El término umbral se refiere a los cambios que se producen de diversas variables fisiológicas (parámetros ventilatorios, cambios de la concentración de lactato en sangre, cambios en la frecuencia cardiaca, etc.) en respuesta a un estímulo (Wasserman, Whipp, Koyal, & Beaver, 1973)

Además al hecho de que el UA no siempre puede representar, la intensidad de un entrenamiento óptimo, derivado de los procesos de adaptación/recuperación, siendo muy utilizada la monitorización de la curva [La]-potencia, para evaluar la resistencia aeróbica y para predecir el rendimiento en carreras de larga distancia y siempre siendo realizada en condiciones estándar (Bosquet et al., 2002)

La determinación de estas variables quizá no sea realista en el universo de todos los atletas amateurs que entrenan y corren medias maratones, por ello cobra un gran interés e importancia la instauración de tests de fácil aplicación, que permitan a entrenadores y atletas un cierto control y orientación de los ritmos de carrera y del entrenamiento.

## 1.2. CONTRIBUCIÓN DEL METABOLISMO EN LOS TEST DE CARRERA

Es difícil la interpretación de los cambios inducidos por el entrenamiento en corredores de media y larga distancia hasta que numerosos determinantes del rendimiento aeróbico y anaeróbico son interdependientes. Muchos de estos tests o procedimientos, están a disposición de entrenadores y fisiólogos pero no todos proveen de una forma certera, información de todos los cambios que se producen con el entrenamiento y por ello pueden ser discordantes.

En corredores de mediodondo y fondo, el buen rendimiento depende de la capacidad de mantener velocidades por encima de la  $v\dot{V}O_2\text{max}$  que se cifra en torno a 110-120% de la velocidad máxima aeróbica. Según Spencer y Gatin el componente aeróbico de estas especialidades sería del 66 y 84% del  $\dot{V}O_2\text{max}$  o del componente aeróbico para corredores de 800 m. y 1500 m. (Spencer & Gatin, 2001).

La consideración de los diferentes determinantes (aeróbicos y anaeróbicos) implicados en el rendimiento, no explican perfectamente los cambios producidos por el entrenamiento, especialmente en estudios con muestras pequeñas. Los estudios con muestras pequeñas de atletas bien entrenados, son la mayor limitación para proveer de información de la efectividad de los programas de entrenamiento.

El  $\dot{V}O_2\text{max}$  es el parámetro más ampliamente estudiado y obtenido para la evaluación de la capacidad aeróbica en el laboratorio. El  $\dot{V}O_2\text{max}$  se considera que tiene implicaciones tanto para el rendimiento como para la salud. Un valor alto de  $\dot{V}O_2\text{max}$  se asocia a reducidos riesgos tanto metabólicos como cardiovasculares. (Vollaard et al., 2009). En otra línea el  $\dot{V}O_2\text{max}$  es considerado de forma amplia para el rendimiento aeróbico y desde el ámbito submáximo al máximo, como expresión de las adaptaciones al entrenamiento y de la demostración de sus efectos. La conjunción entre el  $\dot{V}O_2\text{max}$  y el rendimiento tienen un fuerte vínculo en la búsqueda de métodos de entrenamiento para incrementar el  $\dot{V}O_2\text{max}$  y para mejorar el rendimiento deportivo. En atletas muy entrenados las mejoras del  $\dot{V}O_2\text{max}$  pueden darse tras muchos años de entrenamiento, o ser muy limitadas o pueden permanecer estables aun con aumentos del rendimiento, perdiéndose en cierta manera la relación entre el rendimiento aeróbico y el  $\dot{V}O_2\text{max}$ .

Los ejercicios ergométricos incrementales hasta el agotamiento, son los procedimientos más comunes para valorar la capacidad y la potencia aeróbica en corredores de larga distancia (CLD). Estos test nos permiten la valoración de muchas variables asociadas al rendimiento ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ,  $v\dot{V}O_2\text{max}$ ,  $v\dot{V}O_2$  en los umbrales aeróbico y anaeróbico y los consumos de oxígeno a diferentes velocidades submáximas (estudio de la economía de carrera). También estas valoraciones, permiten la determinación de las diferentes zonas de entrenamiento, velocidades en los umbrales, el tiempo límite de carrera en

intensidades determinadas y variables asociadas. Para todo ello, existen dos tipos de protocolos utilizados, según el interés de la obtención de variables del intercambio de gases o de evaluaciones de los aspectos metabólicos determinados con las concentraciones de lactato (Legaz-Arrese et al., 2011)

Los corredores de fondo realizan a diferentes ritmos y velocidades en sus entrenamientos, pero podríamos preguntarnos cuáles son los determinantes fisiológicos relacionados al rendimiento (Conley & Krahenbuhl, 1980; Noakes, 1998). Cuatro son los factores relacionados al rendimiento y son: el consumo máximo de oxígeno ( $\text{VO}_2\text{max}$ ), la economía de carrera (EC), la utilización fraccional del  $\text{VO}_2\text{max}$  ( $\%\text{VO}_2\text{max}$ ) y la acumulación del lactato en sangre durante el ejercicio submáximo (intensidades submáximas).

El  $\text{VO}_2\text{max}$  es una de las medidas más comúnmente analizadas en los laboratorios de fisiología del ejercicio como expresión de la máxima producción de ATP, por vía de la fosforilación oxidativa y su dependencia al gasto cardiaco máximo y ha sido utilizado como indicador de la condición física cardiorrespiratoria. No es hasta los años 50, cuando se une la relación de  $\text{VO}_2\text{max}$  con el rendimiento en carreras y es en 1973 cuando Costill informa de una relación inversa ( $r = -0,91$ ) del  $\text{VO}_2\text{max}$  con el tiempo en una carrera de 10 millas. (Costill DL, Thomason H, 1973). El oxígeno utilizado en una carrera está en función del  $\text{VO}_2\text{max}$  y del  $\%\text{VO}_2\text{max}$  que puede ser sostenido para la duración de la carrera. El  $\%\text{VO}_2\text{max}$  mantenido durante las carreras está muy relacionado al umbral del lactato (Costill DL, Thomason H, 1973; Farrell, Wilmore, Coyle, Billing, & Costill, 1979). La economía de carrera entendida como la cantidad de oxígeno utilizada para una velocidad de carrera dada, es otro factor del rendimiento en corredores de larga distancia (Conley & Krahenbuhl, 1980). Estas tres variables  $\text{VO}_2\text{max}$ , el  $\%\text{VO}_2\text{max}$ , el umbral del lactato y la EC podemos incluirlas en el modelo clásico del rendimiento en carreras de LD (Conley & Krahenbuhl, 1980; Costill DL, Thomason H, 1973)

La evaluación fisiológica puede proveer al entrenador y a los científicos del deporte de medios objetivos y reproducibles para valorar el estatus de entrenamiento de un atleta, así como también para informar sobre sus potencialidades físicas y sus capacidades de rendimiento. La información generada a partir de estos test puede entonces ser utilizada para realizar ajustes

apropiados al programa de entrenamiento individual. La determinación del consumo máximo de oxígeno, mediante las técnicas de calorimetría indirecta es una de las mediciones más frecuentemente realizadas para la medición de la capacidad y potencia aeróbica. Si bien esta es una valoración muy precisa y reproducible, tiene sus desventajas en términos de disponibilidad, costo y tiempo frente a los test de campo.

Un test de campo válido para la medición de la capacidad de resistencia podría eliminar muchas de las limitaciones de la evaluación en el laboratorio. Los test de campo pueden reducir la dependencia de equipamiento especializado e incrementar el número de sujetos a evaluar en el mismo momento. Por lo tanto, el atleta y el entrenador pueden obtener una retroalimentación más regular y si el test es válido, pueden proporcionar información similar a la obtenida con los test de laboratorio o incluso mayor.

Los test de campo se han aplicado en numerosos grupos, tanto en niños como adultos y en personas de diverso nivel de condición física y sobre todo para estimar el  $VO_2\text{max}$  y para la valoración de la condición física en sus diversas cualidades. Otra parte de los estudios se centran en la comparación de las diferencias de cálculo del  $VO_2\text{max}$  estimado mediante el test de campo con el real y por tanto el estudio de la fiabilidad de dichos test para la estimación de la potencia aeróbica.

En general en todos los estudios, se ha obtenido una alta fiabilidad (coeficientes de correlación intraclase (CCI) entre 0,88 y 0,98). (Ayán, Cancela, Romero, & Alonso, 2015; Chaabène et al., 2012; Dabonneville, Berthon, Vaslin, & Fellmann, 2003; Eriksson A, Johansson FR, 2015; Kervio, Carre, & Ville, 2003; Penry JT, Wilcox AR, 2011; Thomas A, Dawson B, 2006; Tong, Fu, & Chow, 2001), pero ninguno de ellos se ha realizado como método de estimación del rendimiento en carreras de fondo.

En escolares de muy pequeña edad (4 años), realizan un test mini-Cooper encontrando un CCI de 0,945 (Ayán et al., 2015). Estudios de Eriksson de fiabilidad, en 34 tenistas que realizaron un test de lanzadera de 20 yardas, mostró un CCI de 0,95 (Eriksson A, Johansson FR, 2015). El estudio de Chaabène, fue realizado en 43 karatekas, para comprobar la fiabilidad de un test aeróbico específico para karatekas, también con un CCI > 0,9 (Chaabène et al., 2012).

Sobre un grupo de 60 sujetos sanos se realizó un test de Cooper para estimar el  $\text{VO}_2\text{max}$ , presentando dicho test un alto valor de CCI ( $> 0,96$ ) (Penry JT, Wilcox AR, 2011). Otros estudios realizados con test de carrera de 5 minutos, también presentan valores  $>$  de 0,88 de CCI (Dabonneville et al., 2003; Tong et al., 2001). De todos los estudios referenciados en el párrafo anterior solo analizan la fiabilidad mediante el CCI, solamente uno es realizado con el test de Cooper.

### 1.3. VALIDACIÓN DE LAS PRUEBAS DE CAMPO EN FISIOLÓGÍA DEL DEPORTE

La utilización de pruebas de Laboratorio y test de campo en Fisiología del Deporte y del Entrenamiento es frecuente, en el quehacer de los entrenadores y fisiólogos del ejercicio. Uno de los aspectos en esta área de investigación, se centraría en la calidad de la medida y se basaría en métodos psicométricos desarrollados desde la psicología, la sociología y la educación. (Atkinson & Nevill, 1998).

El "The Scientific Advisory Committee of the Medical Outcomes Trust for Health Status and Quality of Life", propone 8 atributos que garantizan instrumentos de evaluación para las medidas del estado de salud y de la calidad de vida. (Committee, 2002).

Estos atributos son:

1. Modelos conceptuales y de medida
2. Validez
3. Fiabilidad o Confiabilidad
4. Sensibilidad
5. Interpretabilidad
6. Carga administrativa y demandada
7. Formas alternativas
8. Adaptación al lenguaje y a la cultura

En el área de la Fisiología del Deporte, lo común es validar pruebas con pocos de estos atributos, normalmente con la validez y la fiabilidad.

El modelo conceptual se refiere a la descripción del concepto y la razón de ser, de que una medida tuviera la intención de valorar y la relación entre esos conceptos. Por ejemplo la razón de ser (*rationale*) de un test en fisiología del deporte sería su creación o conceptualización para la selección o para el control longitudinal de cualquier capacidad relacionada al rendimiento. Por ejemplo la conceptualización de un constructo multifactorial relacionado al rendimiento facilitarían la definición de componentes medibles (Figura 1).

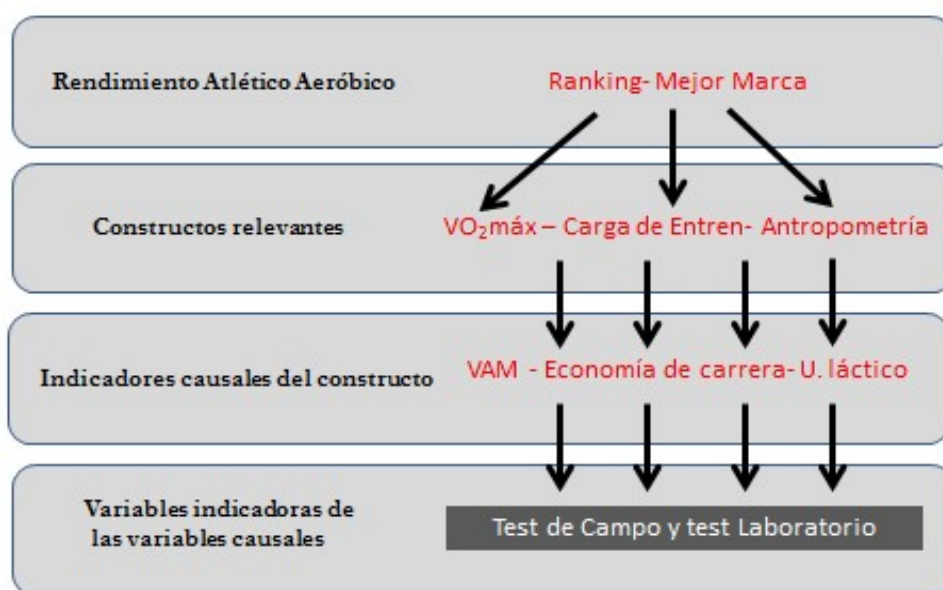


Figura 1.- Conceptualización de un constructo multifactorial en corredores de fondo.

La validez es la capacidad de una prueba de obtener resultados consistentes con otras medidas de las mismas características (Karras DJ, 1997). Tales evidencias pueden estar basadas en las características inherentes al test (validez lógica), relacionada al criterio (validez predictiva o concurrente) o de constructo (validez convergente y divergente) (Ary D, Cheser L, Razavieh A, 2006). Si el objetivo es la selección de deportistas o atletas mediante un test, este debería ser capaz de discriminar a los individuos de diferentes niveles.

En clinimetría, existen métodos alternativos tales como las curvas ROC, que se usan por su capacidad discriminativa (valores por encima de 0,70 son considerados que poseen una capacidad discriminativa buena) (Zweig & Campbell, 1993). La capacidad discriminativa no es suficiente para validar un test, requiriéndose para su validación un método criterio. Coeficientes de correlación por encima de 0,7 también pueden ser inicialmente válidos para realizar una validez de constructo, pero no es apropiado para establecer una validez predictiva. La validez de constructo debe posteriormente pasar por otro paso muy importante, que es valorar la validez longitudinal del test. Tal propiedad es la llamada sensibilidad externa, que sería la capacidad de medir cambios en la medida de referencia. (por ejemplo en corredores de media maratón, los cambios en el test de Cooper se relacionarían a los cambios en la marca realizada en la media maratón. Estos cambios indicarían el constructo de interés y probaría la validez longitudinal del test de Cooper)

Otro aspecto a tener en cuenta es la fiabilidad y según Atkinson y Nevill (Atkinson & Nevill, 1998) existen dos tipos de fiabilidad: la absoluta (grado de variación de medidas repetidas para los individuos) y la relativa (grado en el cual los individuos mantienen su posición en una muestra tras medidas repetidas). Otros autores utilizan el término concordancia y fiabilidad, cuando se refieren a la reproducibilidad absoluta o relativa respectivamente. Cuando los test son utilizados para valoraciones transversales entre individuos, el parámetro de fiabilidad absoluta utilizado, sería el coeficiente de correlación intraclass (CCI). Para la fiabilidad relativa se requiere el error estándar de medida y valoraría el cambio en el tiempo (valoraciones longitudinales)

La sensibilidad es considerada la propiedad esencial de un instrumento de evaluación (Terwee, Dekker, Wiersinga, Prummel, & Bossuyt, 2003). Podemos clasificarla como externa (se ha referido anteriormente en el apartado de validez longitudinal) e interna y se refiere a la capacidad de medir el cambio en un momento dado. Como métodos utilizan el tamaño del efecto de Cohen, la respuesta media estandarizada y por último el índice de sensibilidad de Guyatt's. (Husted, Cook, Farewell, & Gladman, 2000).

Otra característica que debe ser evaluada es la carga administrativa y demandada, que se refiere a las obligaciones y deberes que comporta un test o

procedimiento de evaluación y esta tendrá un efecto directo sobre la aceptabilidad, la adherencia y la motivación hacia el test por parte del sujeto analizado. (Committee, 2002)

La interpretabilidad es otra característica importante. Esta se alcanza por la comparación de los resultados de forma individual o por grupo, para normalizar los datos y por el análisis de los cambios detectables.

Sirva como resumen un cuadro en el cual se recogen algunos de los atributos para la evaluación de las medidas y validación de pruebas (Tabla 1).

Tabla 1.- Métodos de validación de test en Fisiología del Deporte

Término anglosajón	Término castellano	Tipos	Métodos
Validity	Validez	Validez de constructo	de Correlaciones > 0,70
		Validez criterio	contra Curvas ROC ABC > 0,70
		Validez longitudinal	
Reliability or Reproducibility	Fiabilidad o Confiabilidad	Relativa	CCI
		Absoluta	SEM y SEM% Diferencias medias e IC 95% Coeficiente de variación Bland-Altman



---

		Student T-test
Responsiveness	Sensibilidad	Tamaño del efecto de Cohen
		Respuesta media estandarizada
		Índice de sensibilidad de Guyatt's
Interpretability	Interpretabilidad	Comparación con datos normativos
		Comparación de datos mínimos detectables
	Carga administrativa y obligaciones demandada	Aceptabilidad, Adherencia y motivación
		Deberes

---

ABC: Área bajo la curva, CCI: Coeficiente de correlación intraclase, SEM: Standard error of the mean

En conclusión creemos que la aplicación de métodos rigurosos para el desarrollo y validación de test fisiológicos y de rendimiento, pueden mejorar la calidad de la investigación en ciencias del deporte y en la práctica profesional (Atkinson G, Batterham A, 2008).

#### 1.4. PREGUNTAS DE IMPORTANCIA

Tras una revisión de la literatura, de las cuestiones que basan el trabajo de esta tesis, tratamos de responder las siguientes preguntas:

1. ¿Se puede predecir el tiempo de carrera en las disciplinas de medio fondo y fondo?
2. ¿Existen modelos que predicen el rendimiento deportivo en carreras de medio fondo y fondo?
3. ¿Existe relación de la distancia recorrida en un test de Cooper con el tiempo realizado en la media maratón?
4. ¿Predicen mejor las variables de laboratorio que las de campo?
5. Es fiable y preciso el test de Cooper para predecir el tiempo de carrera en media maratón?
6. ¿Es válido el test de Cooper, para predecir la marca, en una amplia población de corredores, de ambos sexos y diferente nivel de rendimiento?

Con la presente tesis y sus diferentes trabajos, se ha intentado responder a las preguntas 1 y 2, con el trabajo 1; las preguntas 3, 4 y 6 se han respondido con los trabajos 2 y 4, respectivamente. La pregunta 5 se ha intentado responder con el trabajo 3.

#### 1.5. BIBLIOGRAFIA DEL CAPÍTULO 1

- Ary D, Cheser L, Razavieh A, S. C. (2006). *Introduction to research in education*. Wadsworth: Belmont CA.
- Atkinson G, Batterham A, D. B. (2008). Is it time for sports performance researchers to adopt a clinical-type research framework? *Int J Sports Med*, 29, 703–705.
- Atkinson, G., & Nevill, A. (1998). Statistical Methods for Asssing Measurement Error (Reliability) in Variables Relevant to Sports Medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217–238.
- Ayán, C., Cancela, J. M., Romero, S., & Alonso, S. (2015). Reliability of Two Field-Based Tests for Measuring Cardiorespiratory Fitness in Preschool Children.

- Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 29(10), 2874–80. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000934>
- Bosquet, L., Léger, L., & Legros, P. (2002). Methods to determine aerobic endurance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 32(11), 675–700. <http://doi.org/10.2165/00007256-200232110-00002>
- Chaabène, H., Hachana, Y., Franchini, E., Mkaouer, B., Montassar, M., & Chamari, K. (2012). Reliability and construct validity of the karate specific aerobic test (KSAT). *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22344054>
- Committee, S. A. (2002). Medical Outcomes Trust. Assessing Health status and quality-of-life instruments and review criteria. *Quality of Life Research*, 11, 193–215.
- Conley, D. L., & Krahenbuhl, G. S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(5), 357–360. <http://doi.org/10.1249/00005768-198012050-00010>
- Costill DL, Thomason H, R. E. (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports Exerc*, 5(4), 248–252.
- Dabonneville, M., Berthon, P., Vaslin, P., & Fellmann, N. (2003). The 5 min running field test: test and retest reliability on trained men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 353–360. <http://doi.org/10.1007/s00421-002-0617-1>
- Eriksson A, Johansson FR, B. M. (2015). Reliability and criterion-related validity of the 20-yard shuttle test in competitive junior tennis players. *Open Access J Sports Med*, 14(6), 269–76. <http://doi.org/10.2147/OAJSM.S86442>
- Farrell, P. A., Wilmore, J. H., Coyle, E. F., Billing, J. E., & Costill, D. L. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Medicine and Science in Sports*, 11(4), 338–44. <http://doi.org/10.1249/00005768-197901140-00005>
- Hopkins, W. G., Schabort, E. J., & Hawley, J. a. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(3), 211–234.

<http://doi.org/10.2165/00007256-200131030-00005>

- Husted, J. A., Cook, R. J., Farewell, V. T., & Gladman, D. D. (2000). Methods for assessing responsiveness: a critical review and recommendations. *Journal of Clinical Epidemiology*, 53(5), 459–468. [http://doi.org/10.1016/S0895-4356\(99\)00206-1](http://doi.org/10.1016/S0895-4356(99)00206-1)
- Karras DJ. (1997). Statistical methodology: II. Reliability and validity Assessment in study design, Part B. *Academic Emergency Medicine*, 4(2), 144–7.
- Kervio, G., Carre, F., & Ville, N. S. (2003). Reliability and intensity of the six-minute walk test in healthy elderly subjects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(1), 169–174. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000043545.02712.A7>
- Legaz-Arrese, A., Munguía-Izquierdo, D., Carranza-García, L., Reverter-Masía, J., Torres-Dávila, C., & Medina-Rodríguez, R. (2011). The validity of incremental exercise testing in discriminating of physiological profiles in elite runners. *Budapest Acta Physiologica Hungarica*, 98(2), 147–156. <http://doi.org/10.1556/APhysiol.98.2011.2.6>
- Llopis, D., & Llopis, R. (2006). Razones para participar en carreras de resistencia. Un estudio con corredores aficionados. *Cultura, Ciencia Y Deporte*, 4, 33–40.
- M, G. F. (2001). *Los españoles y el deporte: Prácticas y comportamientos en la última década del siglo XX. Encuesta sobre los hábitos deportivos de los españoles*. Madrid: Consejo Superior de Deportes.
- Medina, F. X., & Sánchez Martín, R. (2004). Deporte, turismo y desarrollo local. *Studium. Revista de Humanidades*, 10, 183–196. Retrieved from [http://dialnet.unirioja.es/servlet/fichero\\_articulo?codigo=1196002&orden=0](http://dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=1196002&orden=0)
- Noakes, T. D. (1998). Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints: a rebuttal. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(9), 1381–1398. <http://doi.org/10.1097/00005768-199809000-00007>
- Penry JT, Wilcox AR, Y. J. (2011). Validity and reliability analysis of Cooper’s 12-minute run and the multistage shuttle run in healthy adults. *J Strength Cond Res*, 25(3), 597–605. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cc2423>.
- Seijo, M. (2013). *Perfil de Riesgo cardiovascular en los corredores populares de Galicia*. Universidade de A Coruña.

- Spencer, M. R., & Gastin, P. B. (2001). Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(1), 157–162. <http://doi.org/10.1097/00005768-200101000-00024>
- Terwee, C. B., Dekker, F. W., Wiersinga, W. M., Prummel, M. F., & Bossuyt, P. M. (2003). On assessing responsiveness of health-related quality of life instruments: Guidelines for instrument evaluation. *Quality of Life Research*. <http://doi.org/10.1023/A:1023499322593>
- Thomas A, Dawson B, G. C. (2006). The yo-yo test: reliability and association with a 20-m shuttle run and VO<sub>2</sub>max. *Int J Sports Physiol Perform*, 1(2), 137–49.
- Tong, T. K., Fu, F. H., & Chow, B. C. (2001). Reliability of a 5-min running field test and its accuracy in V<sub>2</sub>O<sub>2</sub>max evaluation. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(3), 318–323.
- Vollaard, N., Constantin-Teodosiu, D., Fredriksson, K., Rooyackers, O., Jansson, E., Greenhaff, P., ... Sundberg, C. (2009). Systematic analysis of adaptations in aerobic capacity and submaximal energy metabolism provides a unique insight into determinants of human aerobic performance. *Journal of Applied Physiology*, 106(5), 1479–1486. <http://doi.org/10.1152/jappphysiol.91453.2008>
- Wasserman, K., Whipp, B. J., Koyal, S. N., & Beaver, W. L. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 35(2), 236–243.
- Zweig, M. H., & Campbell, G. (1993). Receiver-operating characteristic (ROC) plots: A fundamental evaluation tool in clinical medicine. *Clinical Chemistry*.



## **II – JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**





## II. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### 2.1. JUSTIFICACIÓN

El contexto general de la presente tesis se inició con el planteamiento general de pensar en la utilidad de poder predecir el tiempo en carreras de fondo y en particular en las carreras de media maratón, como disciplina que tiene un gran arraigo en la población atlética popular. Pueden existir diversas razones para apoyar la necesidad de predecir el tiempo de carrera y estas se deberían a diferentes motivos, como: el ajuste individualizado del esfuerzo a la capacidad, por razones de obtener un éxito deportivo, por razones de salud (control del peso, enfermedades crónicas) para establecer rangos de esfuerzo y como no, de orientación al entrenador y al propio atleta.

Por estas razones surge la necesidad de hacer una revisión de la literatura y una búsqueda en las bases de datos, nos descubrieron una numerosa serie de variables que se pudieron ordenar como: variables demográficas, variables de la fisiología del ejercicio (relativas a la valoración del metabolismo aeróbico), variables referentes a la carga de entrenamiento, variables morfológicas y de composición corporal, variables bioquímicas y variables obtenidas por medio de los test de campo. De estas últimas variables, solamente se ha encontrado un trabajo, el cual descubre, de entrada, una falta total de este tipo de procedimientos de campo, aún a pesar de su probable mayor validez ecológica y aplicación diaria en el entrenamiento. El test de Cooper es un conocido test que es de fácil aplicación y realización, de una gran validez ecológica, unido a su bajísima complejidad en el análisis de los datos que aporta.

Otra cuestión que nos preocupó y que queríamos analizar es si la validez de los datos obtenidos en los laboratorios era mejor o peor que los datos obtenidos en el campo. De una inicial población de alrededor de treinta atletas, se quiso dilucidar si las variables obtenidas en el test de esfuerzo, tenían mayor valor para la predicción del rendimiento en carreras de media maratón que los datos obtenidos en un test de campo. Datos iniciales de nuestras observaciones, apuntaron a que el test de Cooper y el resultado de la distancia recorrida, superan

a las variables obtenidas en el laboratorio, por lo cual, lo hace un test muy accesible a grandes poblaciones de atletas populares, derivándose una información rápida a los mismos atletas y entrenadores.

Pero también se pretendió conocer si el test de Cooper era un test fiable y preciso, pues si tuviera esas características, también sería preciso para la predicción del rendimiento en media maratón.

Y por fin unos buenos resultados a priori, provocaron la necesidad de aumentar la muestra a un número mayor, a ambos sexos y a deportistas de diferentes niveles de entrenamiento y rendimiento.

Este es en resumen el hilo conductor que sustenta y justifica los diferentes estudios realizados (Figura 2).

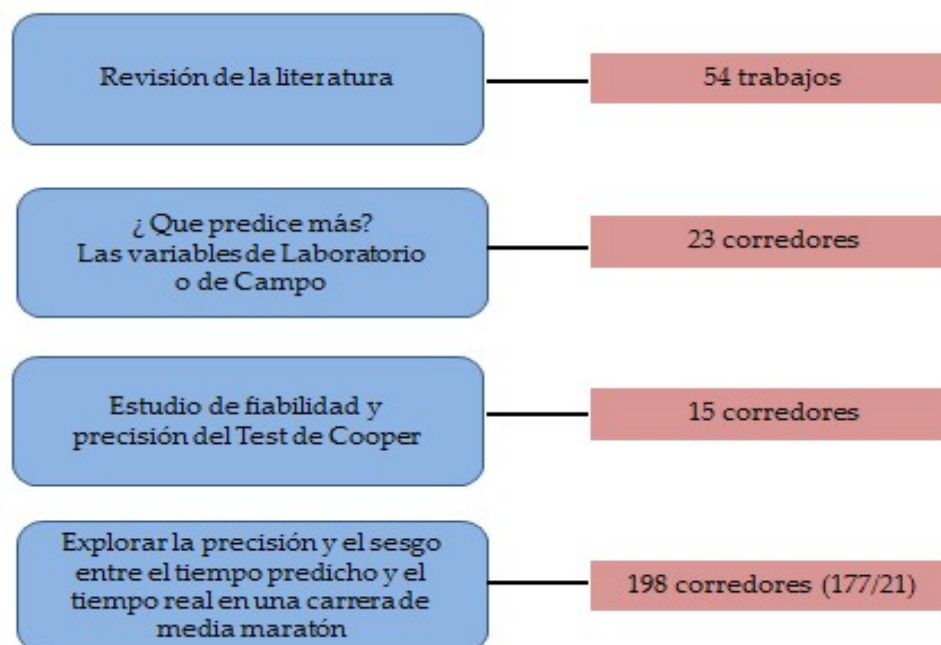


Figura 2. Diagrama de flujos del diseño y realización de los estudios de la presente tesis.

## 2.1. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Las hipótesis y objetivos de la presente tesis fueron los siguientes:

✓ *Trabajo 1: Revisión de la literatura*

Objetivo:

Investigar que variables fisiológicas de laboratorio y de campo son predictoras del tiempo en media maratón así como especialidades de fondo (5000 m y 10000 m) y maratón

✓ *Trabajo 2: Laboratorio vs Test de Campo*

Hipótesis:

*La capacidad predictiva sobre el tiempo de la media maratón del test de Cooper es superior a la de un test de laboratorio.*

Objetivo:

Comparar modelos de predicción de variables fisiológicas básicas obtenidas tras la realización de un test de Laboratorio y de un test de Cooper y evaluar la capacidad predictiva de las ecuaciones basadas en variables fisiológicas de laboratorio y de campo en un grupo de atletas amateurs.

✓ *Trabajo 3: Fiabilidad y precisión del test de Cooper*

3.-Hipótesis:

*El test de Cooper es un método fiable y preciso en corredores de fondo.*

3.-Objetivo:

Comprobar la fiabilidad y la precisión del test de Cooper en corredores de larga distancia.

✓ *Trabajo 4: Validez relacionada al criterio*

4- Hipótesis:

*La predicción del tiempo en media maratón basada en la distancia recorrida con el test de Cooper, no difiere del tiempo oficial realizado en la media maratón, en atletas de ambos sexos y con diferentes niveles de rendimiento*

4.-Objetivo:

Evaluar la validez del test de Cooper para predecir el tiempo invertido en la carrera de media maratón en atletas de ambos sexos y con diferentes niveles de rendimiento

### 2.3. DISEÑO GENERAL DE LA TESIS DOCTORAL

En la tabla 2 se muestra el diseño general de los estudios, con sus apartados tipo de estudio, Objetivos y Método.

Tabla 2.- Esquematización de los estudios de la tesis doctoral

Estudio 1 : Temporada 2011-2012-2013-2014-2015-2016

Tipo de estudio	Revisión de la Literatura
Objetivos	Investigar que variables fisiológicas de laboratorio y de campo son predictoras del tiempo en media maratón así como especialidades de fondo y maratón
Método	Se revisaron los artículos originales en inglés y castellano registrados en las bases de datos Medline/Pubmed, SciELO, ScienceDirect, Scopus y SportDiscus Palabras clave: "middle distance runners", "long distance runners", "performance", "performance prediction", "anthropometric and physiological determinants", "performance determinants", "5000 m", "10000 m", "half-marathon" and "marathon", así como las combinaciones de todas ellas. Se emplearon los operadores booleanos "and", "or" y "not".

	Esta revisión se ha realizado bajo un marco de asignación de atributos clave como: Búsqueda, Valoración, Síntesis y Análisis.
--	---

## Estudio 2 : Temporada 2011-2012

Tipo de estudio	Transversal, exploratorio, relacional predictivo
Objetivos	Investigar que variables fisiológicas básicas y de laboratorio presentaban una alta asociación con tiempo en la media maratón Investigar que variables fisiológicas básicas y obtenidas tras la realización estandarizada de un Test de Cooper presentaban una alta asociación con tiempo en la media maratón Explorar y Evaluar la capacidad predictiva de las ecuaciones basadas en las diferentes variables fisiológicas de laboratorio y de campo
Método	Participantes: 23 corredores de fondo, varones Pruebas de esfuerzo incremental, máxima en laboratorio, con intercambio de gases 15-20 días previo a la media maratón Prueba de campo: Test de Cooper 7-10 días previo a la media maratón Control del tiempo en media maratón y de variables fisiológicas (Frecuencia Cardíaca, RPE) Estudio de regresiones múltiples. Confección de ecuaciones de predicción

## Estudio 3

Tipo de estudio	Metodológico, para describir la repetitividad de la variable independiente del estudio y su precisión. Con un diseño transversal de dos medidas repetidas intra-sujeto.
Objetivos	Comprobar la fiabilidad y la precisión del test de Cooper en corredores de larga distancia.
Método	Participantes: 15 sujetos varones, corredores de media maratón Prueba de campo: Test de Cooper, realizada en 2 momentos

	(test-retest) separados 48 horas, a la misma hora y con similares condiciones ambientales.
--	--

#### Estudio 4 Temporada 2012-2013-2014-2015

Tipo de estudio	Transversal, exploratorio correlacional, predictivo
Objetivos	Evaluar la validez del test de Cooper para predecir el tiempo invertido en la carrera de media maratón en atletas de ambos sexos y con diferentes niveles de rendimiento
Método	Participantes: 198 sujetos (177 varones, 21 mujeres) corredores de media maratón Prueba de campo: Test de Cooper 7-10 días previo a la media maratón Control de tiempo de carrera y de variables fisiológicas de la media maratón (Frecuencia Cardíaca, RPE)

## **III – MATERIAL Y MÉTODO**





### III. MATERIAL Y MÉTODO

#### 3.1. SUJETOS

Los participantes del segundo estudio (que completaron el test de Laboratorio y Campo y finalizaron la media maratón), fueron 23 sujetos, todos ellos varones de  $41,66 \pm 7,46$  años, con un peso corporal de  $70,4 \pm 8,1$  kg y una estatura de  $172,5 \pm 6,3$  cm, pertenecientes al Club de Atletismo Guadalhorce, deportistas federados y con gran experiencia en actividades atléticas de fondo (campo a través, carreras populares, medias maratones y maratones).

En el estudio de fiabilidad (estudio 3) participaron 15 sujetos varones de  $34,5 \pm 1,9$  años de edad, con un peso corporal de  $67,3 \pm 10,7$  kg y una estatura de  $171 \pm 6,8$  cm

Los sujetos del cuarto estudio de campo, fueron 198 atletas (177 varones y 21 mujeres) de  $40 \pm 6,9$  y  $33,67 \pm 8$  años de edad, con un peso corporal de  $73,9 \pm 8,4$  y  $55,1 \pm 5,9$  kg y una estatura de  $175,05 \pm 6,33$  y  $162,7 \pm 4,3$  cm, para hombres y mujeres respectivamente, pertenecientes a diversos clubes mayoritariamente de la provincia de Málaga y otras provincias del estado español

Todos los sujetos participantes, firmaron un consentimiento informado en consonancia con el Comité de Ética de la Universidad de Málaga y de acuerdo a la Declaración de Helsinki para la Investigación Humana.

#### 3.2. MÉTODO

Los participantes del segundo estudio, fueron sometidos a una valoración funcional médico deportiva, con un estudio inicial de la composición corporal mediante técnicas antropométricas y de bioimpedancia eléctrica multifrecuencia de cuerpo entero y test de esfuerzo maximal con análisis de gases respiración a respiración.

Todos los sujetos fueron informados para acudir en ayunas (para el estudio de composición corporal), no debiendo haber entrenado con intensidad

en las 48 horas anteriores al día de la valoración, ni haber tomado medicación, ni sustancia alguna de tipo energético (cafeína, teína, etc.).

### **3.2.1. Valoración de la composición corporal**

En ayunas se procedió a la realización de un estudio antropométrico y de bioimpedancia eléctrica, para la valoración de la composición corporal.

La valoración antropométrica se basó en la toma de medidas: peso, talla, pliegues cutáneos de grasa, perímetros musculares y diámetros óseos, bajo los procedimientos estándar de la International Society for Advancement in Kinanthropometry (ISAK) (Norton K, Olds T, Olive S, 1996).

El material utilizado fue un calibre de pliegues cutáneos Holtain de precisión 0,2 mm (Holtain Crymych, GB), paquímetro Holtain de precisión 0,1 mm (Holtain Crymych, GB) y cinta métrica metálica inextensible Lufkin W606PM de precisión 1 mm (Cooper Tools, México).

La bioimpedancia de cuerpo entero se realizó bajo las recomendaciones de Lukaski, tras 8-10 minutos de decúbito supino en camilla no metálica y tras retirar todos los elementos metálicos del cuerpo. (Lukaski, Bolonchuk, Hall, & Siders, 1986). El bioimpedanciómetro multifrecuencia utilizado fue el MediSystem (Sanocare Human Systems, Madrid).

### **3.2.2. Test de laboratorio**

Los test de esfuerzo se realizaron en una habitación con control de temperatura y humedad (entre 22-24 grados y 50-60° de humedad). Todos los sujetos corrieron con sus zapatillas habituales de entrenamiento y/o de competición.

El test de laboratorio sirvió para determinar el máximo consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$  máx.) y la frecuencia cardiaca máxima, así como todas las variables de intercambio gaseoso.

El test realizado tuvo las siguientes características:

Tabla 3.- Fases del test progresivo de esfuerzo en banda rodante en el Laboratorio.

<b>Fase</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Km/h</b>	<b>Pendiente cinta rodante</b>
Calentamiento	10 min	5 km/h	1%
Ejercicio	1 min	Aumentos de 1 km/h	1%
Recuperación	3 min -5 min	5 km/h	1%

El test fue realizado en un ergómetro de cinta, marca Medisoft, modelo 870C (Padova, Italy), con una inclinación constante de un 1% para simular el efecto de resistencia del aire (Pugh, 1970; Foster, 2007). Los atletas fueron animados constantemente por los investigadores, hacia la consecución del máximo esfuerzo en el test.

Durante todo el test fue analizado el intercambio gaseoso con medición continua de gases, respiración a respiración (Ultima, MedGraphics, St Paul, Minnesota, USA), el cual fue calibrado previamente a cada evaluación, de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La calibración del sistema neumotacográfico fue realizada con una jeringa Hans Rudolph de 3L (Kansas City, USA). La calibración de los analizadores de gases se realizó mediante el sistema automático y mediante la utilización de los gases de las bombonas de calibración (16% O<sub>2</sub> y 4% CO<sub>2</sub>).

Los parámetros ergoespirométricos medidos fueron: VO<sub>2</sub> (mL, L), VCO<sub>2</sub> (mL, L), cociente respiratorio, VE/VO<sub>2</sub>, VE/VCO<sub>2</sub>, VE (L), PETO<sub>2</sub> (kPa), PETCO<sub>2</sub> (kPa), Vt BTPS (L) y frecuencia respiratoria (respiraciones/min). El valor de consumo máximo de oxígeno se estimó como el máximo valor alcanzado por el periodo de 30 s, inclusive con aumento de la velocidad del test. Criterios de un valor de cociente respiratorio >1,15 y un pico semejante al 100% de la frecuencia cardiaca máxima teórica predicha por la edad, también fueron considerados, pero no exclusivos. El registro continuo de la frecuencia cardiaca se realizó mediante un pulsómetro Polar integrado en el sistema TTL (Polar, Kempele, Finland)

### 3.2.3. Test de campo: Test de Cooper

Una detallada descripción del test fue explicada a todos los participantes y se requirieron una serie de datos demográficos, antropométricos básicos y de entrenamiento, recogidos mediante encuesta en el momento de firmar el consentimiento de su participación (para el cuarto estudio).

Se realizó un test de Cooper, (Cooper, 1968) que consistió en recorrer la máxima distancia de carrera en un espacio de 12 min., en una pista de atletismo homologada de 400 m. de material sintético. Tras un calentamiento de 10-15 min, consistente en carrera continua sobre la pista, algún progresivo y ejercicios de estiramientos.

Inmediatamente antes de iniciar el test, se les volvió a recordar las características para la realización del mismo y que fueron:

1. Realizar el test a un ritmo lo más elevado que se pueda en el tiempo de 12 min.
2. No intentar seguir el ritmo de ningún compañero.
3. Realizar el test a un ritmo constante.
4. No hablar.

La información obtenida tras el test de Cooper fue:

- Distancia recorrida (en m).
- Frecuencia cardiaca en el último minuto del test, así como al final del mismo (en pulsaciones por minuto).
- Percepción de esfuerzo del Test (escala 0-10).
- Variables demográficas y antropométricas básicas: Edad (años), Peso (kg), Talla (cm), IMC (se calcula:  $\text{kg}/\text{m}^2$ ), Años de entrenamiento (años), mejor tiempo en anteriores medias maratones (h:min:s).

### 3.2.4. Características de las medias maratones

En la Tabla 4 se describen características (desnivel acumulado, Localidad, Provincia, años de realización) de las diferentes medias maratones en las que se

controlaron a los atletas y que consiguientemente realizaron el test de Cooper previo a la Media Maratón

Tabla 4.- Características de las medias maratones

Desnivel acumulado (m)	Localidad	Provincia	Año		
			2012	2013	2014
400	Álora	MA	√		
0	Málaga	MA	√	√	√
150	Morón de la Frontera	SE	√		
0	San Sebastián	GUIP	√		
0	Marbella	MA	√	√	
90	Granada	GR	√		
60	Córdoba	COR	√	√	
0	Rincón de la Victoria	MA	√	√	
250	Torremolinos	MA		√	√
0	Calella de Mar	BCN		√	
150	Baza	GR		√	
300	Antequera	MA		√	
75	Vitoria	ALA		√	
80	Valdepeñas	CR			√
180	Vélez-Málaga	MA			√
75	Motril	GR		√	



Figura 3.- Mapa de España con la señal de las 16 medias maratones. Los colores distinguen el desnivel acumulado: Rojo 0-100 m., Verde: 101-200 m., Azul: 201-300 m., círculo Negro fondo azul: 301-400 m.

### 3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se presentan con el valor medio  $\pm$  desviación estándar.

El análisis de la normalidad de la muestra se realizó, con los test de Shapiro-Wilk para muestras pequeñas y el test de Kolmogorov-Smirnov para muestras mayores.

Las comparaciones de las variables normales se realizaron con un *T*-test para muestras independientes y un test de Mann-Withney para muestras sin distribución normal.

Las asociaciones bivariadas entre la variable dependiente y las independientes se han realizado mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

Las mejores variables predictoras se utilizaron para realizar un análisis de regresión múltiple “paso a paso”, teniendo en cuenta la heterocedasticidad, (Neter J, Kutner MH, Nachtsheim CJ, 1996) realizándose entre la variable dependiente (tiempo en media maratón) y las variables independientes (ergométricas, antropométricas, composición corporal, etc.) que presentaron correlaciones significativas en el análisis bivariado.

Un análisis de Bland–Altman (Bland & Altman, 1986) se utilizó para determinar los límites de concordancia absolutos entre el valor calculado predicho y el valor real de carrera de los modelos obtenidos. El análisis de regresión entre la media de valor predicho-valor real y el valor medio se ha realizado mediante el coeficiente de rango de la Tau de Kendall ( $\tau$ ) para comprobar la tendencia significativa relacionada a la magnitud de la medida.

El coeficiente de variación del rendimiento tomado como el tiempo de carrera, fue calculado por la siguiente fórmula:  $(CV\% = (\text{Desviación Estándar}/\text{Media}) \times 100$ .

Para los análisis de fiabilidad se han utilizado las diferencias medias, el coeficiente de variación ( $\sqrt{((\Sigma(\text{test1}-\text{test2})^2)/2n)}$ ), el error estándar de la media, el tamaño del efecto mediante la  $d$  de Cohen (Cohen, 1998) El tamaño del efecto ( $d$  de Cohen) de  $< 0.20$  se consideró pequeño,  $0.50$  medio y de  $0.80$  a infinito, grande. El coeficiente de correlación intraclase (CCI) que fue considerado un valor  $< 0,5$  como moderado,  $0,50-0,75$  bueno y  $> 0,75$  excelente.

En todos los análisis, un valor de  $P < 0,05$  fue considerado significativo, utilizándose el programa MedCalc para Windows, versión 17.0.4 - 64 bits (Ostende, Belgium)

#### 3.4. BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO 3.

Bland, J. M., & Altman, D. G. (1986). *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement*. *Lancet* (Vol. 1).

Cohen, J. (1998). *Behavioural sciences*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.

Cooper, K. H. (1968). A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA: The Journal of the American*

*Medical Association*, 203(3), 201–204. <http://doi.org/10.1001/jama.203.3.201>

Lukaski, H. C., Bolonchuk, W. W., Hall, C. B., & Siders, W. A. (1986). Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 60(4), 1327–1332.

Neter J, Kutner MH, Nachtsheim CJ, W. W. (1996). *Applied linear statistical models*. (McGraw-Hill, Ed.) (4 th ed). Boston.

Norton K, Olds T, Olive S, C. N. (1996). Anthropometry and sports performance. In E. Norton K, Olds T (Ed.), *Anthropometrica* (pp. 287–264). Sidney: University of South Wales Press.



# **IV – RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTUDIO 1: MODELOS FISIOLÓGICOS Y ANTROPOMÉTRICOS PARA LA PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO EN CORREDORES DE MEDIA Y LARGA DISTANCIA. REVISIÓN DE LA LITERATURA.

### Resumen

**Introducción:** Las variables fisiológicas como el consumo máximo de oxígeno, la velocidad asociada al alcanzar el máximo consumo de oxígeno, la economía de carrera y los cambios en los niveles de lactato, son considerados, entre otros, como los principales factores determinantes en el rendimiento de las carreras de media y larga duración. El objetivo de esta revisión ha sido presentar los modelos matemáticos disponibles en la literatura para estimar el rendimiento en las pruebas de 5000 m., 10000 m., media maratón y maratón.

**Métodos:** Se realizó una revisión sistemática de la literatura en PubMed, ScieLO, SportDiscus y Scopus, usando las palabras clave de búsqueda, distintas variables relacionadas con el rendimiento en corredores de media y larga distancias. Se identificaron 86 trabajos, las selecciones fueron hechas en base a criterios de inclusión y se obtuvieron los artículos completos (n=54). Los artículos fueron revisados y tabulados según la especialidad. Igualmente se han contabilizado las variables demográficas, las referentes a la fisiología del ejercicio, a los test de campo, a las variables antropométricas y todo ello también por especialidades atléticas. Esta revisión se ha realizado bajo un marco de asignación de atributos clave como *Search, Appraisal, Synthesis and Analysis (SALSA)*.

**Resultados:** Se han contabilizado un total de 54 trabajos, desde el año 1983 hasta la actualidad. Doce en la modalidad del 5000 m., trece en el 10000 m, diez en media maratón y dieciocho en maratón. Se han contabilizado hasta un total de 136 variables relacionadas al rendimiento en carreras de media y larga distancia, perteneciendo un 43,4% al ámbito de las variables derivadas de la valoración del metabolismo aeróbico, un 26,5% de variables relacionadas con la carga de

entrenamiento y 20,6% con variables antropométricas, composición corporal y componentes del somatotipo.

Conclusiones: Las variables más relacionadas en los modelos de predicción de las disciplinas de medio fondo y fondo son las derivadas de los test de Laboratorio ( $v\text{VO}_2\text{max}$ ,  $\text{VO}_2\text{max}$ ), las variables de entrenamiento (ritmo de entrenamiento, carga de entrenamiento) y variables antropométricas (masa grasa, pliegues de grasa). Existe un gran vacío en la predicción del tiempo en carreras de medio fondo y fondo, basados en los test de campo. Las evaluaciones fisiológicas de esfuerzo son casi exclusivas de las especialidades de mediofondo (5000 m y 10000 m). Las variables predictoras de la media maratón son fundamentalmente las antropométricas, pero con moderados coeficientes de determinación. Las variables que destacan en la modalidad de maratón son fundamentalmente las del ámbito del entrenamiento y en menor medida las derivadas de la evaluación fisiológica y de parámetros antropométricos.

## **Introducción**

El rendimiento, considerado como el tiempo final o tiempo de carrera, en disciplinas de larga distancia y su conocimiento, se puede considerar un aspecto importante tanto para el diseño de programas de entrenamiento como para la orientación del ritmo de carrera en competición. Sin embargo su conocimiento real es de difícil práctica y frecuente comprobación, sobre todo en carreras de larga distancia, pues implicaría realizar altas cargas de entrenamiento, lo cual en ocasiones puede implicar una mala planificación de la carrera en corredores sin experiencia. Este y otros motivos relacionados con el control del entrenamiento hacen que los modelos de predicción tengan un gran reconocimiento y utilidad por parte de los profesionales del entrenamiento de corredores. Las adaptaciones fisiológicas producidas por el entrenamiento en corredores aficionados son bastante conocidas, normalmente las realizadas en intensidades submáximas. En los atletas de alto nivel, esto solo se demuestra con entrenamientos de alta intensidad y no es recomendable trasladar los resultados y conclusiones obtenidos de los atletas amateur sobre atletas de alto nivel (1). El rendimiento en carreras de resistencia, está influenciado por una variedad de factores, tanto antropométricos como de entrenamiento. Las características morfológicas y

antropométricas tales como los pliegues de grasa, el porcentaje de grasa corporal, las circunferencias, la longitud de los miembros inferiores, peso, estatura e índice de masa corporal (IMC) parecen tener una influencia en el rendimiento, pues unas características apropiadas tienen una mejor relación entre el gasto energético y rendimiento (2,3).

Existe un cierto número de referencias bibliográficas, en relación a la predicción del rendimiento en corredores de fondo de media y larga distancia. Clásicamente destacan, el consumo de oxígeno máximo ( $VO_2\text{max}$ ), la eficiencia de carrera (EC) y el umbral anaeróbico, que son las variables que principalmente se han utilizado, para predecir el rendimiento en las carreras de media y de larga distancia (4,5), pero existe un gran vacío en el campo de la predicción del rendimiento cuando este, está basado en los test de campo.

La gran popularidad de las carreras de media y larga distancia ha sufrido en los últimos 10 años un incremento inusitado. Esto genera en los entrenadores y los atletas, un gran interés en el desarrollo de modelos predictivos del rendimiento basados en ecuaciones de regresión, con el objetivo de ayudar a una gran masa de atletas en su preparación para las competiciones de larga distancia. Todas estas predicciones se basan en la combinación de factores fisiológicos, antropométricos y de entrenamiento, obtenidos la mayoría de ellos, en los laboratorios de fisiología del ejercicio, a través de variables en relación a la carga de entrenamiento, a las variables antropométricas y fisiológicas.

Un relativo número de trabajos en corredores de gran nivel de media y larga distancia están a disposición, pero existe un vacío en relación a las carreras de media maratón. Hoy en día, en España existen en el calendario nacional, más de 300 carreras de media maratón, con un inmenso número de participantes de todas las edades y niveles de entrenamiento (6).

El objetivo de esta revisión de la literatura ha sido realizar un análisis descriptivo y pormenorizado, sobre los determinantes y la capacidad de predicción de variables antropométricas, fisiológicas (test de laboratorio), de entrenamiento o combinadas y por fin de las evaluaciones de campo (test de campo), para estimar el rendimiento en carreras de media distancia (5000 y 10000 m.) y de larga distancia (media maratón y la maratón), todo ello en diferentes

tipos de corredores (amateurs, muy entrenados, moderadamente entrenados, alto nivel y élite).

### **Material y métodos**

El presente documento es catalogado como una “revisión de la literatura”. Esta revisión se ha realizado bajo un marco de asignación de atributos clave como *Search, Appraisal, Synthesis and Analysis (SALSA)*, que significan: **Búsqueda, Valoración, Síntesis y Análisis**. (7). La búsqueda puede ser integral o no, la síntesis puede o no, incluir la calidad de la valoración, siendo la síntesis una exposición tabular de los datos y por fin, el análisis puede ser cronológico, conceptual y/o temático (7). En términos generales se presenta en esta revisión de la literatura, todo el material publicado conocido, en el cual se pueden hallar corredores de diferentes niveles: desde aficionados a atletas de élite, pero con el común denominador de que están generalmente entrenados tanto en el tiempo como por el número de sesiones semanales. Se han recogido también, todos los trabajos en los cuales se han encontrado relaciones entre parámetros antropométricos y fisiológicos con el rendimiento en las pruebas de media distancia: 5000 m. y 10000 m y larga distancia: media-maratón and maratón.

#### *Búsqueda*

Se revisaron los resúmenes de los artículos originales en inglés y castellano registrados en las bases de datos Pubmed, SciELO (Scientific Electronic Library On line), ScienceDirect y SportDiscus. Las palabras introducidas en los buscadores fueron las siguientes: “runners” “middle distance runners”, “long distance runners”, “performance”, “performance prediction”, “anthropometric”, “physiological determinants”, “performance determinants”, “5000 m”, “10000 m”, “half-marathon” and “marathon”, así como las combinaciones de todas ellas, dependiendo de la especialidad explorada.

#### *Criterios de selección:*

Los criterios de selección fueron: todos los artículos relacionados, así como libros y monografías. La primera valoración consistió en la lectura del resumen y

el texto completo de los estudios seleccionados, procediéndose a un análisis de los resultados.

*Criterios de exclusión:*

Se excluyeron los estudios de casos, conferencias, artículos repetidos y resúmenes sin información clara y suficiente.

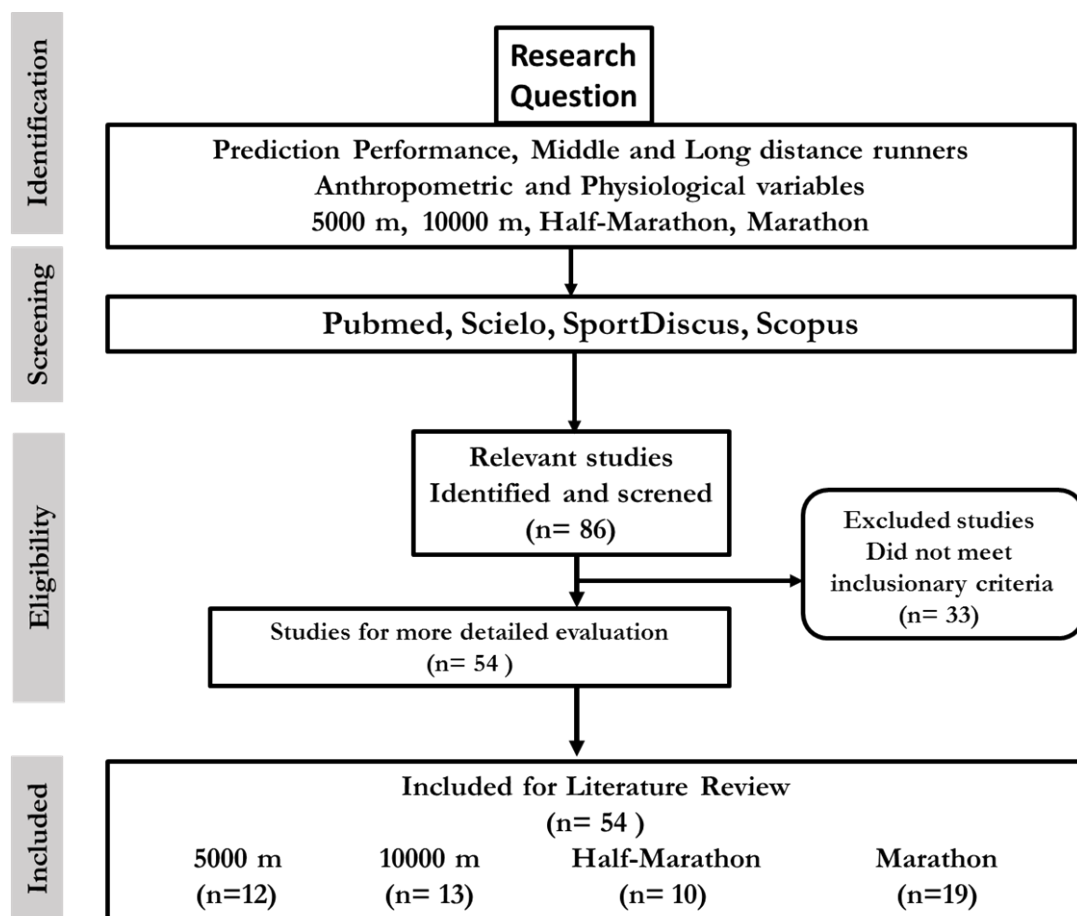


Figura 4.- Diagrama de búsqueda y proceso de selección de trabajos

## Resultados

El diagrama de flujo (Figura 4) muestra la elección final de 54 trabajos, con la identificación de 12 trabajos para la modalidad de 5000 m., 13 para los 10000 m, 10 para la media maratón y 19 para la maratón.

En la Tabla 5 se han agrupado las variables en base a conceptos bien diferenciados como son: variables demográficas, variables de laboratorio, variables de test de campo, variables de entrenamiento, variables antropométricas y otras.

Tabla 5: Recuento parcial y total de variables de predicción del rendimiento en carreras de medio fondo y fondo

Variables	Especialidad				Total	% del Total
	5000	10000	MM	M		
Demográficas	4	1	1	1	7	5,1
Metabolismo Aeróbico	26	14	3	16	59	43,4
Entrenamiento	1	5	2	28	36	26,5
Antropometría	2	5	16	5	28	20,6
Test de campo	0	1	1	0	2	1,47
Otras	0	1	0	3	4	2,94
Subtotales/Total	33	27	23	51	136	100

MM: Media Maratón, M: Maratón

### *Variables demográficas:*

Existen un total de 7 variables demográficas, destacando la edad que interviene en todas las especialidades estudiadas. La variable género solo interviene en la especialidad de 5000 m. (8)



*Variables de la valoración del metabolismo aeróbico.*

En este apartado se han agrupado bajo dos conceptos o grupos de variables: 1.-del ámbito máximo ( $\text{VO}_2\text{max}$   $v\text{VO}_2\text{max}$ , frecuencia cardiaca máxima, lactato máximo,  $v\text{VO}_2$  test de Montreal, capacidad anaeróbica y déficit de oxígeno). 2.- del ámbito submáximo ( $\text{VO}_2$  en umbral del lactato, el umbral de lactato, velocidad en niveles de lactato de 2,5 – 3 y 4 mmol/L, economía de carrera, frecuencia cardiaca en el umbral anaeróbico individual, velocidad en la deflexión de la frecuencia cardiaca,  $\text{VO}_2$  y %  $\text{VO}_2$  en el umbral anaeróbico, velocidad en el umbral anaeróbico, nivel de lactato en el umbral anaeróbico y % del pico de velocidad en el umbral anaeróbico. Destacan de forma importante la  $v\text{VO}_2\text{máx}$  y el  $\text{VO}_2\text{máx}$ , la economía de carrera, entendida como el consumo de oxígeno a unas velocidades determinadas, el  $\text{VO}_2$  en el umbral anaeróbico y la velocidad en el nivel de 4 mmol/L de lactato. Treinta y uno de estos trabajos incluyen a los mL/kg/min entre las variables que se relacionan o son factores de predicción del rendimiento en carrera desde la media a la larga distancia. Destacan también 24 trabajos en los que se incluyen variables como km/h, m/min, m/s relacionadas a circunstancias obtenidas en VT2, velocidad en la deflexión de la frecuencia cardiaca, IAT, AT Lab, etc.

*Variables de entrenamiento:*

Se agruparon las variables relativas al entrenamiento, bajo dos conceptos: el cuantitativo (duración media de carrera, número de entrenamientos por semana, millas por semana, años de entrenamiento, km por semana, volumen de entrenamiento, millas en 8 semanas, entrenamientos en 9 semanas, años de entrenamiento) y al concepto cualitativo (ritmo de entrenamiento, record en la milla, 5 millas, 10 millas, tiempo en la media maratón y haber finalizado una maratón).

*Variables relacionadas a los test de campo:*

Destaca solamente un estudio con la determinación del umbral anaeróbico mediante la aplicación del test de Montreal (9).

*Variables antropométricas:*

Se subclasifican 3 categorías:

Medidas básicas (peso talla, índice de masa corporal, pliegues de grasa y perímetros musculares), fracciones de la composición corporal (masa grasa, masa libre de grasa y masa muscular esquelética) y finalmente los componentes del somatotipo (endomorfia, mesomorfia y ectomorfia). Otras variables que destacan por relacionarse al rendimiento son, el índice de masa corporal, el porcentaje de masa grasa y los pliegues de grasa como indicadores regionales de adiposidad relacionada al rendimiento. Quince de los 26 trabajos han sido estudiados en la especialidad de media maratón, por el grupo de Knetchle (10–19).

*Otras variables:*

Son residuales, pero destacables, la utilización de una variable bioquímica como los niveles de transferrina, un modelo a partir de la recogida de información mediante una encuesta posterior a la competición (20) y las variables de volumen de la pierna y cambios de la frecuencia cardiaca en el periodo de recuperación del test de Ruffier (21).

*Gestión y presentación de los datos*

Las tablas presentadas (Tablas 6, 7, 8 y 9), son tablas diferenciadas para cada especialidad de mediofondo (5000 m., 10000 m.) y fondo (media maratón y maratón) respectivamente y estructuradas para visualizar:

- Autor, año de publicación, sexo, número de participantes en el estudio, nivel deportivo, la variable dependiente (VD), la/las variables independientes (VI) que se relacionan al rendimiento (el coeficiente de correlación, el valor de significación  $P$ ),
- o bien si las VI conforman un modelo significativo (ecuación): el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el error estándar de estimación (EEE), los límites de concordancia del gráfico de Bland & Altman (B&A) y la ecuación predictiva.

Los trabajos presentados en las tablas son de dos tipos: unos sin ecuación de predicción, que únicamente presentan las correlaciones de variables independientes con la dependiente expresado con el coeficiente de correlación ( $r$ ) y el valor de significación ( $P$ ). Los trabajos en los que aparece una ecuación de predicción, se observa en la tabla, con el valor  $R^2$  y el EEE. En la tabla 8 y solo en esta, correspondiente a los estudios relacionados a la media maratón, se incorpora un último apartado, correspondiente a la información del sesgo entre la marca predicha y la real, con los límites de concordancia derivado de los estudios de Knetchle (10–19). Por último en los trabajos donde existe una ecuación de predicción, se presenta esta, en un cuadro de texto resaltado.

## Resultados

### *Variables y modelos relacionados a la prueba de 5000 m*

*Búsqueda:* Se combinaron las diferentes palabras clave: “*middle distance runners*”, “*performance, performance prediction*”, “*performance determinants*”, “*anthropometric and physiological determinants*”, “*5000 m*”, “*5 km*”

*Valoración:* Los sujetos de los diferentes estudios fueron generalmente, atletas moderadamente entrenados o muy entrenados, de diferentes niveles deportivos (amateur, universitarios, competitivo, élite), exceptuando el trabajo de Stratton que incluye personas no entrenadas (22). De todos los trabajos, solo algunos presentan coeficientes de determinación de la variable independiente (9,22–28). Los coeficientes de determinación van desde un valor de 0,62 a 0,98 pero ningún trabajo, informa del error de estimación. Adicionalmente el trabajo de Stratton posee un estudio de validación externa en una submuestra de sujetos (22).

*Síntesis:* Hay que destacar que en todos los estudios, las variables más utilizadas para la predicción del rendimiento, son derivadas de las valoraciones del metabolismo aeróbico y en un trabajo la variable es el porcentaje de masa grasa derivado por antropometría (28) y en otro la masa libre de grasa (29). Solo existe un estudio en el cual la velocidad en el  $VO_{2max}$  en el test de Montreal, como variable de campo, se presenta como variable predictora (9)

*Análisis:* En la tabla 6, se presentan 12 trabajos desde el año 1983 hasta el 2015 (8,9,22–31). Destacan fundamentalmente las variables de tipo fisiológico como el  $VO_2\text{máx}$  (8,23,27,31) y su velocidad asociada ( $vVO_2\text{máx}$ ). (9,22,24,28) y las determinaciones de la economía de carrera (8,29,30,32). Solo existe un trabajo en el cual se hace referencia a una variable de entrenamiento (25). De las variables antropométricas destacan la inclusión de fracciones de la composición corporal (masa grasa y masa libre de grasa). De los 12 trabajos, 8 de ellos tienen ecuación de predicción (8,22,23,25–29)

Tabla 6: (5000 m)

*Variables y modelos relacionados a la prueba de 10000 m*

*Búsqueda:* Se combinaron las diferentes palabras clave: “*middle distance runners*”, “*performance, performance prediction*”, “*anthropometric and physiological determinants*”, “*performance determinants*”, “*10000 m*”, “*10 km*”

*Valoración:* Los sujetos de los diferentes estudios fueron generalmente atletas entrenados, de diferentes niveles (amateur, competitivo, élite) exceptuando los trabajos de Brandon (33) y de Berg (34) que incluyeron personas solo medianamente entrenadas.

*Síntesis:* Se destaca que en todos los estudios, las variables más utilizadas para la predicción siguen siendo las derivadas de las valoraciones en el Laboratorio y además aumentan estas con respecto a la especialidad del 5000. Destacan como nuevas variables las provenientes de los datos de entrenamiento, como el número de entrenamientos, millas/semana, años de entrenamiento. (3). Destacar también que se empiezan a incluir variables antropométricas como pliegues de grasa (35) y dos componentes del somatotipo (34), aunque estas ecuaciones poseen un bajo  $R^2$  (0,38-0,41)

*Análisis:* En la tabla 3, se presentan 13 trabajos desde el año 1983 hasta el 2014 (3,9,23–25,28,31–44). Siguen destacando las variables de tipo fisiológico como el  $VO_2\text{máx}$  (23,31–33,38) así como su velocidad asociada ( $vVO_2\text{máx}$ ), (24,28,32). De

los 13 trabajos, 7 de ellos tienen ecuación de predicción (3,23,25,28,33,36,37). Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de las ecuaciones de Bale son altos ( $>0,75$  a  $0,86$ ) y se basan en variables, producto del entrenamiento, como el número de entrenamientos, las millas recorridas, los años de entrenamiento y un componente del somatotipo como la ectomorfia (3,38), y los trabajos de Fay con  $R^2 >0,84$ , basándose este en la velocidad asociada a variables metabólicas como el lactato a 2 y 4 mmol/L y al  $VO_2$ máx (23)

Tabla 7 (10000 m)

*Variables y modelos relacionados a la prueba de media maratón*

*Búsqueda:* Se combinaron las diferentes palabras clave: “long distance runners”, “performance, performance prediction”, “anthropometric and physiological determinants”, “performance determinants”, “half-marathon”.

*Valoración:* Los sujetos de los diferentes estudios son generalmente de nivel amateur y excepcionalmente de nivel competitivo (28).

*Síntesis:* Es importante conocer que la media maratón no es una especialidad oficial de los JJOO y Campeonatos del Mundo, aunque si existen competiciones nacionales e internacionales de esta disciplina. Por ello, el mayor número de personas que practican esta modalidad deportiva son corredores amateurs en su gran mayoría, con diferentes cargas de entrenamiento, edad y experiencia. Se han hallado múltiples relaciones entre en rendimiento y las variables antropométricas, pero con modelos de moderada potencia de predicción ( $R^2= 0,44-0,71$ ) y con amplios límites de concordancia entre la marca predicha y la marca real de carrera. Por último destaca un trabajo, por su alto coeficiente de determinación ( $R^2=0,84$ ) y relativos bajos límites de concordancia y obtenido a través de la distancia recorrida en el test de Cooper como variable predictora (45). Un simple test de campo que puede ser introducido en las rutinas de entrenamiento y puede dar una gran información.

*Análisis:* En la tabla 8, se presentan 10 trabajos desde el año 1985 hasta el 2015 (10,11,18,28,45–49). De estos 10 trabajos, ocho están realizados desde el año 2011. En este apartado es de destacar las múltiples aportaciones del grupo de Beat Knechtle. Múltiples publicaciones de estos autores, que basan sus resultados en las relaciones del rendimiento en carreras de media maratón, con las variables antropométricas como son los pliegues de grasa y valores estimados de la composición corporal, como la masa grasa, la masa muscular esquelética y con relación a la carga de entrenamiento, con la velocidad media de entrenamiento (14,15,17–19,47)

Tabla 8 (*Media Maratón*)

*Variables y modelos relacionados a la prueba de maratón*

*Búsqueda:* Se combinaron las diferentes palabras clave: “*long distance runners*”, “*performance, performance prediction*”, “*anthropometric and physiological determinants*”, “*performance determinants*” and “*marathon*”

*Valoración:* Los sujetos de los diferentes estudios son generalmente entrenados y/o altamente entrenados, de diferentes niveles (amateur, competitivo, élite) exceptuando el trabajo de Hagan que incluye personas noveles.

*Síntesis:* Los primeros trabajos en este campo, de Foster (31), Slovic (50), Davies (51), Föhrenbach (43) y Noakes (41) y fundamentalmente relacionan las variables de entrenamiento con el rendimiento deportivo. Destaca un potente modelo de predicción (52) que estima el ritmo de carrera con un coeficiente de determinación de 0,81

*Análisis:* En la tabla 9, se presentan 17 trabajos desde el año 1975 hasta el 2013 (23,26,34,38–40,42,43–56). Son destacables las variables que se relacionan a la fisiología del ejercicio y del metabolismo aeróbico (28,31,40,51) así como en gran manera, lo relacionado con la carga de entrenamiento (31,39,50)

Tabla 9 (*Maratón*)

### Discusión

La identificación de variables fisiológicas para la predicción del rendimiento, presenta al menos dos aplicaciones importantes en el área del entrenamiento deportivo. Una primera, sería la valoración de ciertas características fisiológicas determinantes relacionadas a la especialidad deportiva y en segundo lugar la relacionada al campo del entrenamiento (volumen e intensidad) en relación a la modalidad deportiva y especialmente en relación a las características metabólicas y funcionales (capacidad y potencia, aeróbica y anaeróbica).

Las variables más estudiadas para la predicción del rendimiento aeróbico en carrera, son el  $\text{VO}_2\text{max}$  y la  $v\text{VO}_2\text{max}$ . y estas dos se relacionan fundamentalmente a medias distancias como el 5000 y 10000 m. Esto es probablemente debido a que las intensidades en las que se ejecutan dichas competiciones son muy cercanas a las intensidades máximas y por ello su gran relación. El  $\text{VO}_2\text{max}$  es la variable fisiológica que representa la potencia aeróbica o dicho de otra forma la medida de la cantidad de energía máxima producida por el metabolismo aeróbico, por unidad de tiempo. La  $v\text{VO}_2\text{max}$  también representaría lo mismo que el  $\text{VO}_2\text{max}$ , pues ocurre prácticamente en el mismo momento.

En cuanto a las intensidades submáximas y variables que concurren en esas zonas, se hallan el resto de especialidades, a excepción de la media maratón. En esta especialidad de media maratón encontramos que existen muy pocos trabajos, uno de Campbell en 1985 (46) y otro de Roecker en 1998 (28). El primer autor encuentra correlaciones moderadas-bajas de algunos parámetros antropométricos básicos y con pulsaciones de carrera y semanas de entrenamiento. Roecker, encuentra altas correlaciones ( $r > 0.89$ ) con el IAT (umbral anaeróbico individual) y la velocidad de carrera a la intensidad de 4 mmol/L, siendo ambos conceptos fisiológicamente muy similares y también con la  $v\text{VO}_2\text{max}$ .(28). Ya las siguientes referencias surgen a partir de 2011 por el grupo de Knetchle que reporta muchos trabajos, relacionando el tiempo en media maratón con innumerables variables antropométricas y con coeficientes de correlación bajo-moderados (47) y con modelos de predicción con también moderados coeficientes de determinación (58)

Existen muchos estudios en la literatura que analizan la predicción del rendimiento en especialidades de tipo aeróbico, basados en los índices fisiológicos mencionados anteriormente. Sin embargo, estos estudios, utilizando modelos de regresión simple o múltiple, analizan las relaciones entre los índices fisiológicos y la capacidad de rendimiento aeróbico en una sola distancia en atletas (con frecuencia entre 1.500 y 10.000 m) (24,59,60).

Basado en estos estudios, se ha propuesto que la distancia en competición y por lo tanto la intensidad del ejercicio puede influir en las relaciones entre los índices fisiológicos y el rendimiento aeróbico. Sin embargo, no hay estudios relacionados con la capacidad de rendimiento aeróbico obtenidos por los mismos atletas en diferentes distancias con dos o más índices fisiológicos, especialmente en estudios con  $\dot{V}O_2\text{max}$  y su respectivo tiempo de agotamiento. Ello hace que no se puedan extraer las mismas conclusiones para todas las especialidades deportivas y en los diferentes niveles deportivos (amateurs, altamente entrenados, entrenados).

Las variables en relación a la cantidad y calidad del entrenamiento son casi exclusivas de los trabajos desarrollados con la especialidad de maratón y para diferentes niveles de entrenamiento.

Una aportación a este trabajo de revisión, es la idea general, de que se conozcan bien parámetros que son recogidos en el momento final del test de esfuerzo, así como los parámetros asociados a los umbrales aeróbicos y anaeróbicos, tanto desde el punto metabólico como del de intercambio de gases, puesto que en los diferentes modelos de predicción, se encuentran variables que se hallan entre el 85 y el 99% de las intensidades de esfuerzo. Son aquí, bajo nuestro punto de vista, en este rango de intensidades dónde se deberían buscar asociaciones probablemente más intensas que nos permitieran obtener modelos más potentes para la predicción de rendimiento.

Así mismo en el ámbito de las carreras de larga-ultra duración, que tanta popularidad están teniendo, aquí se deberían explorar variables relacionadas con la eficiencia de carrera, las concentraciones de lactato asociadas a bajos niveles, los porcentajes del máximo consumo de oxígeno y por fin la búsqueda de modelos que integraran los aspectos genéticos relacionados al daño muscular y a la capacidad de síntesis proteica y también desgranar y saber contabilizar de



forma más precisa la carga de entrenamiento en sus aspectos de cantidad y calidad

#### *Aplicaciones prácticas*

La predicción del tiempo de carrera en modalidades de media y larga distancia, tiene sobre todo una primera aplicación sobre corredores noveles, que no son buenos conocedores de sus ritmos de carrera, permitiéndoles dicha predicción ajustarse a ritmos constantes. El ajuste de los ritmos de carrera, pueden ser modificados, dependiendo de la fase de entrenamiento.

El conocimiento de las variables que se relacionan el rendimiento en corredores de media y larga distancia, deben ayudar a entrenadores y fisiólogos del ejercicio a entender y promover la búsqueda de nuevas variables que mejoren la predicción del rendimiento deportivo.

#### *Conclusiones*

Las evaluaciones fisiológicas de esfuerzo son casi exclusivas de las especialidades de mediofondo (5000 m y 10000 m).

Las variables predictoras de la media maratón son fundamentalmente las antropométricas, pero con moderados coeficientes de determinación.

Las variables que destacan en la modalidad de maratón son fundamentalmente las del ámbito del entrenamiento y en menor medida las derivadas de la valoración del metabolismo aeróbico y de parámetros antropométricos.

Tras la revisión se encuentra una bajísima aparición de variables que permitan la predicción del rendimiento en carreras de medio fondo y fondo

#### *Anexos:*

Tabla 6: Varias variables y modelos de regresión múltiple en relación al rendimiento en carreras de 5000 m

Tabla 7: Varias variables y modelos de regresión múltiple en relación al rendimiento en carreras de 10000 m

Tabla 8: Varias variables y modelos de regresión múltiple en relación al rendimiento en carreras de media maratón

Tabla 9: Varias variables y modelos de regresión múltiple en relación al rendimiento en carreras de maratón





Table 6.- Several variables and multiple regression models related to performance in 5000 m of different authors (continuación).

Author	Year	Sex	n	Level	Dep Variable	Independent Variable	r	P	R <sup>2</sup>	SEE		
Mendes de Souza	2014	1	10		5000 m	vVO <sub>2max</sub> Lab		0.05	0.35	nr		
		1	10		5000 m	vVO <sub>2max</sub> Montreal		0.002	0.66	nr		
Machado	2013	1	24	Recreational	5000 m	V <sub>peak-p</sub>			0.92	0.8		
				<b>5 km time trial (min) = 46.4 -1.6* V<sub>peak_p</sub></b>								
Dellagrana	2015	1	23	Moderately trained	5000 (time)	vVT (km/h)	-0.64	0.001				
						RE at 11,2 km/h (L/ min)	0.44	0.035				
						Fat-free mass (kg)	0.57	<0.005				
				<b>5 km T (min) = 25.64- 0.71 (vVT) - 3.38 (RE 11.2) + 0.21 FFM</b>							0.71	0.67

r: correlation coefficient; P: significance level; R<sup>2</sup>: coefficient of determination; SEE: standard error of estimation; vVO<sub>2max</sub>: Max velocity in VO<sub>2max</sub>; RE: running economy; VLact4: Velocity at 4mmol/L; AT: Anaerobic threshold; POD: Peak oxygen deficit; LT: lactate threshold; ARD: Average running duration; IAT: individual anaerobic ; threshold; MHR: Maximal heart rate; Max Lact: Maximal lactate; MART: Maximal anaerobic running test; vVO<sub>2max</sub>Lab:Maximal velocity at Exercise Laboratory test; vVO<sub>2max</sub> Montreal:Maximal velocity at Montreal filed test. vVT: velocity at Ventilatory threshold

Table 7.- Several variables and multiple regression models related to performance in 10000 m of different authors.

Author	Year	Sex	n	Level	Dep Variable	Independent Variable	r	P	R <sup>2</sup>	SEE
Foster	1983	1	17	Well-trained	3 Miles	VO2max	-0.94			
						Training volume				
						Intensity				
Tanaka	1984	1	21	Trained	10000 m	vVO2max			0.96	nr
					10000 m	vAT (ml/kg/min)	0.80	<0.001		
Bale	1986	1	60	Elite & Good	Time 10000 m	Workouts (WO)per week	-0.87		0.75	2.28
						Time (min) = 44.27 -1.44 WO				
						WO + Miles (MW) per week	-0.84			
						Time (min) = 46.32 -0.91 WO - 0.11 MW			0.8	2.08
						WO+MW+ Running years (RY)	-0.80			
						Time (min) = 46.45 -0.68 WO - 0.11 MW - 0.38 RY			0.83	1.92
						WO+MW+ RY + Ectomorphy	-0.40			
						Time (min) = 47.93 -0.68 WO - 0.10 MW - 0.38 RY - 0.68 Ectomorphy			0.86	1.78
Brandon	1987			Middle	10000 (m/s)	VO2 max				
						Anaerobic Capacity				
						Height				
						10000 (m/s) = 127.39 +0.64 (VO2 ml/kg/min)+0.21 Anaer Cap (kg/m/kg/2min) + 0.4 (Height cm)				
				High		VO2 max (ml/kg/min)				
						Vlact 2 mmol/L				
						10000 (m/min)=0.437 vLA 4 mmol/L (m/min) +2.082 VO2max (ml(kg/min) + 8.698				
						10000 (m/min)=0.728 vLac 4 mmol/L (m/min) +57.926				
						10000 (m/min)=0.407 vLac 2 mmol/L (m/min) +2.276 VO2max (ml(kg/min) + 12.706				

Table 7.- Several variables and multiple regression models related to performance in 10000 m of different authors (continuación)

Author	Year	Sex	n	Level	Dep Variable	Independent Variable	r	P	R <sup>2</sup>	SEE						
Morgan	1989	1	10	Well-trained	Time (min)	VO <sub>2</sub> max	-0.45	>0.05								
						vVO <sub>2</sub> max	-0.87	<0.01								
						Vel at 4 m/Mol/L	-0.82	<0.01								
Petit	1997	1	15	Trained		RE	0.64	<0.05								
						Vel Ventilatory treshold	0.95		0.96							
						V HR def (km/h)										
<b>10000 (km/h)= 1.03 (vel km/h Deflection HR)</b>																
Berg	1998	1	34	Mod trained	Time 10000 m	BMI and Mesomorphy	0.61		0.38	7.3						
						<b>10000 (min) = 4.12 BMI - 4.5 Mesomorphy - 29.1</b>										
Evans	1995	0	19	Mod trained	Time 10000 m	Endomorphy	0.64		0.41	6.5						
						<b>10000 (min) = 37 + 3.3 Endomorphy</b>										
						10000 Pace (m/min)	VO <sub>2</sub> max	0.89	0.05	0.8						
Takeshima	1995	1	51	Trained	10000 vel (m/s)	Lac Threshold	0.89	0.05	0.8							
						VO <sub>2</sub> (ml/kg FFM/min)	0.81	0.05	0.66							
						VO <sub>2</sub> in LT	0.84	0.05	0.71							
						VO <sub>2</sub> in AT	0.78		0.62	nr						
						Age										
						VO <sub>2</sub> in AT	0.81		0.67							
						Age				nr						
<b>10000 (m/s)= 4.371+0.037 (VO<sub>2</sub> in LT (ml/kg/min))-0.031 Age+0.005 Workout (min)</b>							0.82			0.335						







Table 8. - Several variables and multiple regression models related to performance in half-marathon of different authors (cont.)

Author	Year	Sex	n	Level	Dep Variable	Indep Variable	r	P	R2	SEE	Bias (min)	
											L to U LOA	
Friedrich	2014	0	83	Recreational	Race time	Weight	0.63	<0.0001				
						Height	0.27	0.01				
						BMI	0.57	<0.0001				
						Circumferences	0.51-0.55	<0.0001				
						Skinfolds	0.39-0.59	<0.0001				
Friedrich	2014	1	147	Popular	Race time	S Muscle mass	0.24	0.03				
						Fat mass	0.6	<0.0001				
						Weight	0.27	0.0009				
						Height	-0.17	0.04				
						BMI	0.46	<0.0001				
Knetchle	2014	1	147	Recreational	Race time (min)	Arm circumference	0.37	<0.0001				
						Skinfolds	0.29-0.43	<0.0001				
						Skeletal Muscle mass	-0.07	>0.05				
						Fat mass	0.49	<0.0001				
						Percent fat mass						
					SRT (km/h)							
					<b>Race time (min) = 142.7 + 1.158 (%FM) - 5.223 (SRT)</b>				0.42	13.3	-26 to 25.8	
Knetchle	2014	0	83	Recreational	Race time (min)	Percent fat mass						
						SRT (km/h)						
Alvero-Cruz	np	1-0	177-22	Recreational	Race time (min)	<b>Race time (min) = 168.7 + 1.077 (%FM) - 7.556 (SRT)</b>				0.68	9.8	-19 to 19.1
						Cooper test distance (m)	0.905	<0.001				
					<b>Race Time (min) = 205.6272 + 0.0356 *Cooper's test (m)</b>				0.84	1.28	-9.67 to 10.7	

r: correlation coefficient; P: significance level; R2: coefficient of determination; SEE: standard error of estimation; LOA: limits of agreement; nr: no reported; BMI: Body mass index; LAT: Individual anaerobic Threshold; vVO2max: velocity at VO2max; SRT: speed running time; np: no published

Table 9.- Several variables and multiple regression models related to performance in marathon of different authors.

Author	Year	Sex	n	Level	Dep Variable	Indep Variable	r	P	R2	SEE
Foster	1975				Time Race (min)	VO2max				
					$\text{Time (min)} = 3.45 \text{ VO2max (ml/kg/min)} + 387.3$					
Foster	1975				Time Race (min)	VO2max				
						Training more large in last 8 w				
						Pace (seconds/mile)				
					$\text{Time (min)} = 2.75 \text{ VO2max} - 0.022 \text{ (miles } 8\text{w)} - 1 \text{ (TML8w)} + 0.146 \text{ (pace)} + 319.4$					
Slovic	1977				Time Race (min)	Best record in mile (min) (BR1)				
						Best record in 5 miles (min) (BR5)				
						Best record in 10 miles (min)(BR10)				
						Miles in las 8 weeks				
						Finisher of one marathon				
						Training more large in last 8 w				
					$\text{Time (min)} = 0.45 \text{ BR1(min)} - 7.9 \text{ (Finisher)} - 0.08 \text{ (Miles } 8\text{w)} - 1.45 \text{ (TML8w(min))} + 116.5$					
Slovic	1977				Time Race (min)	Best record in 5 miles (min) (BR5)				
						Miles in last 8 weeks				
						Training more large in last 8 w				
					$\text{Time (min)} = 6.62 \text{ BR } 5 \text{ (min)} - 0.05 \text{ (Miles } 8\text{w)} - 1.45 \text{ (TML8w(min))} + 42.8$					
Slovic	1977				Time Race (min)	Best record in 10 miles (min)(BR10)				
						Miles in last 8 weeks				
						Training more large in last 8 w				
					$\text{Time (min)} = 2.98 \text{ BR } 10 \text{ (min)} - 0.04 \text{ (Miles } 8\text{w)} - 1.3 \text{ (TML8w(min))} + 46.6$					
Davis	1979				Time Race (min)	VO2max				
						%VO2 in AT				
					$\text{Time (h)} = 7.445 - 0.0338 \text{ VO2max (ml/kg/min)} - 0.0303 \text{ (%VO2)}$		0.99			

Table 9.- Several variables and multiple regression models related to performance in marathon of different authors (Cont.)

Author	Year	Sex	n	Level	Dep Variable	Indep Variable	r	P	R2	SEE
Hagan	1981	1	50	Trained	Time Race (min)	VO2max	-0.63			
						Avg km WO in last 9 weeks	-0.64			
						total km	-0.67			
						overall WO in last 9 weeks	-0.62			
					Mean pace (m/min)					
					Time (min)= $525.9 + 7.09 \text{ km (kmWO)} - 0.45 \text{ WO speed m/min} - 0.17 \text{ (km 9 weeks)}$				0.71	
					$-2.01(\text{VO2max. ml x kg}^{-1} \text{ x min}^{-1}) - 1.24 \text{ (age. yr)}$					
Foster	1983	1	25	Well-trained	26.2 miles	VO2max	-0.95			
						Training volume				
Bale	1985	0	36	Trained	Time Race (min)	workouts/week				
					Time (min)= $-4.42 \text{ WO per week} + 218.5$					
	1985	0	36	Trained	Time Race (min)	workouts/week				
					Time (min)= $-3.72 \text{ WO per week} - 7.02 \text{ (Ectomorphy)} + 242.6$	Ectomorphy				
	1985	0	36	Trained	Time Race (min)	workouts/week				
					Time (min)= $-3.32 \text{ WO per week} - 6.05 \text{ (Ectomorphy)} - 0.85 \text{ (TY)} + 240.6$	Ectomorphy				
					training years (TY)					

Table 9.- Several variables and multiple regression models related to performance in marathon of different authors (Cont.)

Author	Year	Sex	n	Level	Dep Variable	Indep Variable	r	P	R2	SEE
Hagan	1987	0	35	Combined	Time Race (min)	Mean km/day	0.77	<0.001	0.59	
						Training pace (m/min)	0.66	<0.001	0.44	
						Time Race= 449.88 - 7.61 (mean km/day) -0.63 (training pace m/min)	0.82	nr	0.68	18.4
		0	16	Experienced	Time Race (min)	BMI	0.7	ns	0.49	
					Time Race (min)	Training pace (m/min)	0.78	<0.001	0.61	
					Time Race= 214.24 + 393.07 (BMI) -0.68 (training pace m/min)		0.87	nr	0.76	12.4
		0	19	Novice	Time Race (min)	BMI	0.31	ns	0.1	
					Time Race= 369.58 - 10.1 (Mean km/day)		0.69	nr	0.48	22.2
Föhrenbach	1987	1-0	34		Time Race (min)	Mean km last 9 weeks				
						vLact 2.5 (m/s)	0.88-0.99	<0.001		
						vLact 3 (m/s)				
					vLact 4 (m/s)					
Noakes	1990	1	20		Time Race (min)	Time in Half-M				
						Lact AnT (mMol/L)				
						% peak Vel in AT (lact)	-0.88			
					Time (min)= 1.98 Time Half M +6.23 AT (mmol/L)-0.46 AT % vPeak mmol/L + 33.84					
					Time (min)= 1.94 Time Half M + 5.8 AT (mmol/L)-0.44 AT % vPeak mmol/L + 0.39 RE at 16 km/h + 16.79					
					Time (min)= 1.29 % vPeak mmol/L - 10.86 vLT (km/h)+ 241.3					
					Time (min)= -4.92 vLT (km/h) - 4.46 vPeak (km/h)+ 337.8					





Table 9.- Several variables and multiple regression models related to performance in marathon of different authors (Cont.)

Author	Year	Sex	n	Level	Dep Variable	Indep Variable	r	P	R2	SEE
Till	2016	1-0	40	Recreational	Time race (min)	treadmill time (min)			0.447	
					Time (min)= -3.85 (treadmill time) +351.57					
Salinero	2016	1	84	Amateur		% Body fat	0.42	<0.001		
						$\Delta$ Recovery Ruffier test (RT)	0.37	<0.000		
						Half-marathon performance (HMP)	0.81	<0.001		
					Time (min)= 96.1 +2.3*%Body fat + 62.9* $\Delta$ RT-0.023 *HMP		0.77		0.59	nr
						% Body fat	0.42	<0.001		
						$\Delta$ Recovery Ruffier test (RT)	0.37	<0.000		
						10 km performance (10 km P)	0.73	<0.001		
					Time (min)= 104.3 + 3.1*%Body fat + 67.3* $\Delta$ RT+0.045 * 10 km P		0.73		0.53	nr

r: correlation coefficient; P: significance level; R2: coefficient of determination; SEE: standard error of estimation; VO2max: Maximal oxygen uptake; %VO2AT: Percentage of VO2max at Anaer Threshold; Avg km W/O: average km of workouts; BMI: Body mass index; vLact 2.5: velocity in m/s at 2.5 mmol/L; vLact 3: velocity in m/s at 3 mmol/L; vLact 4: velocity in m/s at 4 mmol/L; AnT: Anaerobic Threshold; MHR: Maximal heart rate; vVO2max: velocity at VO2max; LVD: Left ventricular diameter



**Bibliografía**

1. Laursen PB, Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med.* 2002;32(1):53–73.
2. Knechtle B. Relationship of anthropometric and training characteristics with race performance in endurance and ultra-endurance athletes. *Asian Journal of Sports Medicine.* 2014. p. 73–90.
3. Bale P, Bradbury D, Colley E. Anthropometric and training variables related to 10km running performance. *Br J Sports Med.* 1986;20(4):170–3.
4. Midgley AW, McNaughton LR, Jones AM. Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Med.* 2007;37:857–80.
5. Joyner MJ. Modeling: optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *J Appl Physiol.* 1991;70(2):683–7.
6. Runedia [Internet]. 2015. Available from: <http://www.runedia.com/>
7. Grant MJ, Booth A. A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal.* 2009. p. 91–108.
8. Weyand PG, Cureton KJ, Conley DS, Sloniger MA, Liu YL. Peak oxygen deficit predicts sprint and middle-distance track performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26(9):1174–80.
9. Mendes de Souza, K; Dantas de Luca, R; Grossl TPCVAGLDB. Performance prediction of endurance runners through laboratory and track tests. *Rev Bras Cineantropometria e Desemp Desempeho Hum.* 2014;16(4):465–74.
10. Knechtle B, Barandun U, Knechtle P, Zingg MA, Rosemann T RC. Prediction of half-marathon race time in recreational female and male runners. *Springerplus.* 2014;3:248.
11. Knechtle B, Knechtle P, Barandun U, Rosemann T LR. Predictor variables for half marathon race time in recreational female runners. *Clin (Sao*



- amateur marathon runners. *J Sport Med Phys Fit.* 2016;
22. Stratton E, O'Brien BJ, Harvey J, Blitvich J, McNicol AJ, Janissen D, et al. Treadmill velocity best predicts 5000-m run performance. *Int J Sports Med.* 2009;30(1):40–5.
  23. Fay L, Londeree B, LaFontaine T, Volek M. physiological parameters related to distance running performance in female athletes. *Med Sci Sport Exerc.* 1989;21(3):319–24.
  24. Tanaka K, Matsuura Y, Matsuzaka A, Hirakoba K, Kumagai S, Sun SO, et al. A longitudinal assessment of anaerobic threshold and distance-running performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1984;16(3):278–82.
  25. Takeshima N, Tanaka K. Prediction of endurance running performance for middle-aged and older runners. *Br J Sports Med.* 1995;29(1):20–3.
  26. Kenney WL, Hodgson JL. Variables predictive of performance in elite middle-distance runners. *Br J Sports Med.* 1985;19(4):207–9.
  27. Nummela AT, Paavolainen LM, Sharwood KA, Lambert MI, Noakes TD, Rusko HK. Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2006;97(1):1–8.
  28. Roecker K, Schotte O, Niess AM, Horstmann T, Dickhuth HH. Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(10):1552–7.
  29. Dellagrana RA, Guglielmo LG, Santos BV, Hernandez SG, da Silva SG de CW. Physiological, anthropometric, strength, and muscle power characteristics correlates with running performance in young runners. *J Strength Cond Res.* 2015;29(6):1584–91.
  30. Ramsbottom R, Nute MG WC. Determinants of five kilometre running performance in active men and women. *Br J Sport Med.* 1987;21(2):9–13.
  31. Foster C. VO<sub>2</sub>max and training indices as determinants of competitive running performance. *J Sport Sci.* 1983;1(1):13–22.
  32. Morgan DW, Baldini FD, Martin PE, Kohrt WM. Ten kilometer performance and predicted velocity at VO<sub>2</sub>max among well-trained male

- runners. *Med Sci Sports Exerc.* 1989;21(1):78–83.
33. Brandon LJ. Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Med.* 1995;19(4):268–77.
  34. Berg K, Latin RW, Coffey C. Relationship of somatotype and physical characteristics to distance running performance in middle age runners. *J Sports Med Phys Fitness.* 1998;38(3):253–7.
  35. Arrese AL, Ostáriz ES. Skinfold thicknesses associated with distance running performance in highly trained runners. *J Sports Sci.* 2006;24(1):69–76.
  36. Petit MA, Nelson CM, Rhodes EC. Comparison of a mathematical model to predict 10-km performance from the Conconi test and ventilatory threshold measurements. *Can J Appl Physiol.* 1997;22(6):562–72.
  37. Berg K. Endurance training and performance in runners: Research limitations and unanswered questions. *Sports Medicine.* 2003. p. 59–73.
  38. Evans SL, Davy KP, Stevenson ET, Seals DR. Physiological determinants of 10-km performance in highly trained female runners of different ages. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985).* 1995.
  39. Bale P, Rowell S, Colley E. Anthropometric and training characteristics of female marathon runners as determinants of distance running performance. *J Sports Sci.* 1985;3:115–26.
  40. Hagan RD, Smith MG, Gettman LR. Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices. *Med Sci Sports Exerc.* 1981;13(3):185–9.
  41. Noakes TD, Myburgh KH, Schall R. Peak treadmill running velocity during the VO<sub>2</sub> max test predicts running performance. *J Sports Sci.* 1990;8(1):35–45.
  42. Legaz Arrese A, Munguía Izquierdo D, Serveto Galindo JR. Physiological measures associated with marathon running performance in high-level male and female homogeneous groups. *Int J Sports Med.* 2006;27:289–95.
  43. Föhrenbach R, Mader A, Hollmann W. Determination of endurance capacity and prediction of exercise intensities for training and competition

- in marathon runners. *Int J Sports Med.* 1987;8:11–8.
44. Tanda G, Knechtle B. Marathon performance in relation to body fat percentage and training indices in recreational male runners. *Open Access J Sport Med [Internet]*. 2013;4:141–9. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3871414&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
  45. Alvero-Cruz JR, Giráldez-García MA CE. Ecological validity and reliability of Cooper's field test to predict half-marathon time race. *Int J Sport Physiol Perform.* 2015;
  46. Campbell MJ. Predicting running speed from a simple questionnaire. *Br J Sport Med.* 1985;19(3):142–4.
  47. Friedrich M, Rüst CA, Rosemann T, Knechtle P, Barandun U, Lepers R KB. A Comparison of Anthropometric and Training Characteristics between Female and Male Half-Marathoners and the Relationship to Race Time. *Asian J Sport Med.* 2014;5(1):10–20.
  48. Iker Muñoz Pérez, Diego Moreno Pérez CCG y JE-L. Predicción del ritmo de competición en carreras de fondo desde la concentración de lactato a ritmos cercanos al de competición. In: *Entrenamiento para ambientes extremos.* Madrid: Ministerio de Defensa; 2013.
  49. Muñoz I, Moreno D, Cardona C E-LJ. Prediction of race pace in long distance running from blood lactate concentration around race pace. *J Hum Sport Exerc.* 2012;7(4):763–9.
  50. Slovic P. Empirical study of training and performance in the marathon. *Res Q.* 1977;48(4):769–77.
  51. Davies CTM, Thompson MW. Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1979;41(4):233–45.
  52. Tanda G. Prediction of marathon performance time on the basis of training indices. *J Hum Sport Exerc.* 2011;6(3):511–20.
  53. Sjodin B, Svedenhag J. Applied physiology of marathon running. *Sports Med.* 1985;2:83–99.

54. Tanaka K, Matsuura Y. Marathon performance, anaerobic threshold, and onset of blood lactate accumulation. *J Appl Physiol*. 1984;57(3):640-3.
55. Foster C DJ. Running by the numbers. *Runner's World*. 1975;14-7.
56. Hagan RD, Upton SJ, Duncan JJ GL. Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices in female distance runners. *Br J Sport Med*. 1987;21(1):3-7.
57. Mooses MMJPPMKJT. Anthropometric and physiological determinants of running performance in middle-and long-distance runners. *KINESIOLOGY*. 2013;15(2):154-62.
58. Knechtle B. Relationship of anthropometric and training characteristics with race performance in endurance and ultra-endurance athletes. *Asian Journal of Sports Medicine*. 2014. p. 73-90.
59. Billat V, Beillot J, Jan J, Rochcongar P, Carre F. Gender effect on the relationship of time limit at 100% VO<sub>2</sub>max with other bioenergetic characteristics. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28(8):1049-55.
60. Conley DL, Krahenbuhl GS. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 1980;12(5):357-60.

#### 4.2. ESTUDIO 2: EL TEST DE COOPER PROPORCIONA UNA MEJOR PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO EN MEDIA MARATÓN QUE LOS TEST DE LABORATORIO EN CORREDORES AFICIONADOS.

##### Resumen

**Introducción:** Este estudio comparó la capacidad de predicción del rendimiento en carreras de media maratón, de variables fisiológicas obtenidas en un test de laboratorio y de variables de rendimiento externo obtenidas en el test de campo de Cooper.

**Método:** Veintitrés atletas (edad:  $41,6 \pm 7,6$  años, peso:  $70,4 \pm 8,1$  kg y estatura:  $172,5 \pm 6,3$  cm) realizaron una estimación de la composición corporal y un test de laboratorio incremental máximo para evaluar la potencia aeróbica máxima y variables cardiorespiratorias y metabólicas asociadas. Con respecto al test de campo, el protocolo original de Cooper fue realizado en una pista de atletismo y las variables, distancia, percepción subjetiva de esfuerzo y frecuencia cardíaca máxima fueron registradas. En la semana posterior al test de Cooper, todos los participantes realizaron una carrera de media maratón a la máxima velocidad posible. Las asociaciones entre los test de laboratorio y campo y el tiempo final de la prueba fueron utilizadas para seleccionar las variables predictoras incluidas en el análisis regresión múltiple “paso a paso”, el cual utilizó el tiempo realizado en la media maratón como la variable dependiente y las variables de test de laboratorio o de campo como independientes, derivando una ecuación para cada test. Posteriormente, se realizó un análisis de concordancia entre los tiempos estimados y reales mediante el procedimiento de Bland-Altman, que muestran diferencias, tanto en el modelo de campo como de laboratorio.

**Resultados:** Se encontraron correlaciones significativas entre el tiempo de media maratón y la distancia en el test de Cooper ( $r = -0,93$ ;  $P < 0,001$ ), el peso corporal ( $r = 0,40$ ;  $P < 0,04$ ), la velocidad en el umbral ventilatorio 1 (VT1), ( $r = -0,72$ ;  $P < 0,0001$ ), la velocidad al alcanzar el máximo consumo de oxígeno ( $v\text{VO}_2\text{max}$ ), ( $r = -0,84$ ;  $P < 0,0001$ ), el consumo de oxígeno en el umbral ventilatorio 2 ( $\text{VO}_2\text{VT2}$ ) ( $r = -0,79$ ;  $P < 0,0001$ ) y  $\text{VO}_2\text{max}$  ( $r = -0,64$ ;  $P < 0,05$ ). La distancia recorrida en el test de Cooper, fue el mejor predictor para el tiempo en la media

maratón ( $R^2$ : 0,873.  $EEE$ : 3,78 min) y en el modelo de laboratorio el  $vVO_2\max$  y el peso corporal, presentaron un  $R^2 = 0,77$ ,  $EEE$ : 5,28 min. El análisis de concordancia mostró que no existen diferencias entre las marcas predichas con los modelos y los tiempos reales.

Conclusiones: Los datos indicaron el alto poder de predicción del rendimiento de media maratón tanto de la distancia del test de Cooper como la  $vVO_2\max$ . Sin embargo, la variable asociada al test de Cooper tuvo mejor capacidad predictiva que las variables del test de laboratorio. Finalmente, es importante puntualizar que estos datos son solo son extrapolables a corredores varones aficionados y a la media maratón específica en que se realizó la prueba, lo cual justifica la necesidad de posteriores estudios con muestras más heterogéneas y diferentes medias maratones.

Palabras clave: Test ergoespirométrico incremental máximo, test de campo, análisis de concordancia.

## Introducción

El número de corredores de media maratón ha aumentado progresivamente durante la última década; como ejemplo, en USA se ha duplicado en solo una década, alcanzado los 2 millones en 2013. Así mismo en Europa, se estiman alrededor de unos 50 millones de personas, practicantes habituales de carreras de fondo (Scheerder, J., Breedveld, K., Danchev, 2015) y en España se celebran más de 300 carreras anuales de media maratón, con un importante número de corredores ("Runedia," 2015). En consecuencia, son cada vez más los corredores aficionados que entrenan con asiduidad para conseguir terminar las carreras y mejorar sus marcas personales. Para ellos, es muy útil conocer los ritmos o velocidades idóneos de carrera para entrenar y competir. Por tanto, identificar estos valores anticipadamente es una necesidad objetiva, tanto para los deportistas como de sus entrenadores.

Las variables fisiológicas relacionadas con el rendimiento en la carrera han sido previamente descritas (Ramsbottom, Williams, Fleming, & Nute, 1989). En el caso de los corredores de larga distancia aquellas variables obtenidas en los test incrementales en el laboratorio, fundamentalmente aquellas relacionadas con/y



los valores de consumo máximo de oxígeno ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) han sido muy útiles para monitorizar las adaptaciones producidas por el entrenamiento (Legaz Arrese, Munguía Izquierdo, & Serveto Galindo, 2006) y para predecir el rendimiento en la competición. (Foster, 1983). Adicionalmente, se han propuesto otros test de laboratorio y variables asociadas a los mismos que pueden ser determinantes del rendimiento aeróbico de larga duración, así el tiempo final en carreras de fondo se ha asociado con un alto porcentaje de utilización del consumo de oxígeno respecto del máximo (Loftin et al., 2007), también con la acumulación de lactato en sangre (Hill & Lupton, 1923; Loftin et al., 2007), con el umbral del lactato (Powers, Dodd, Deason, Byrd, & Mcknight, 1983) y el umbral ventilatorio (Chapman et al., 2012; Di Michele & Merni, 2014; Friedrich et al., 2014; Powers et al., 1983) y/o la economía de carrera (velocidad alcanzada para un consumo de oxígeno dado) (Amann, Subudhi, & Foster, 2006; Bonacci, Chapman, Blanch, & Vicenzino, 2009; Daniels & Daniels, 1992; Lucia, Esteve-Lanao, et al., 2006; Maldonado, Mujika, & Padilla, 2002; Mojock, Kim, Eccles, & Panton, 2011; Santos-Concejero, Oliván, et al., 2014; Santos-Concejero, Tam, et al., 2014; Saunders et al., 2006; Saunders, Pyne, Telford, & Hawley, 2004; Støren, Helgerud, Støa, & Hoff, 2008; Tartaruga et al., 2012). Sin embargo, parece que la velocidad máxima alcanzada en los test de laboratorio es la variable mejor asociada con el rendimiento deportivo, independientemente de la duración de la prueba (Alvero-Cruz & Ronconi, 2011; Knechtle, Rüst, et al., 2011; Noakes, Myburgh, & Schall, 1990).

A pesar de las conclusiones derivadas de los estudios previos, la mayor parte de los participantes en los mismos fueron deportistas de élite o de elevado rendimiento y por otro lado, son muy pocos los estudios que se ocupan de la especialidad en media maratón (Roecker, Schotte, Niess, Horstmann, & Dickhuth, 1998; Tanaka et al., 1984; Weyand, Cureton, Conley, Sloniger, & Liu, 1994). Entre estos estudios, aquellos que se realizaron en corredores aficionados describieron como principales predictores del rendimiento final de la prueba los siguientes: número de km recorridos por semana, número de semanas de entrenamiento para cada evento, índice de masa corporal, pulso en reposo (Campbell, 1985); umbral anaeróbico y  $v\text{VO}_2\text{max}$  (Roecker et al., 1998), variables antropométricas (Knechtle, Rüst, et al., 2011)(Knechtle B, Knechtle P, Barandun U, Rosemann T, 2011)(Friedrich M, Rüst CA, Rosemann T, Knechtle P, Barandun U, Lepers R,

2014) o el porcentaje de grasa combinado con la velocidad media de carrera durante el entrenamiento (Knechtle et al., 2014). Sin embargo, casi todos los modelos utilizados en estos estudios implican alguna valoración de laboratorio, siendo por ello poco aplicables en la mayoría de la población amateur.

La utilidad de los test de campo para la valoración del constructo fisiológico de la condición aeróbica han demostrado una gran variabilidad con respecto a los test de laboratorio (Penry, Wilcox, & Yun, 2011), aunque su validez para predecir el constructo del rendimiento final de una carrera ha sido escasamente abordado en la literatura. Así cabría destacar que existe una paradoja entre la alta fiabilidad y la baja validez ecológica de las evaluaciones de laboratorio y la baja fiabilidad y la alta validez de los métodos utilizados en el terreno (Reilly, Morris, & Whyte, 2009). Entre los test, de campo, el test de Cooper dada su sencillez de aplicación y bajo costo, ha sido tradicionalmente muy utilizado para estimar el consumo máximo de oxígeno, pero nunca se ha evaluado su capacidad para la predicción de constructos asociados con el rendimiento deportivo en corredores de larga distancia, como por ejemplo la media maratón (Grant, Corbett, Amjad, Wilson, & Aitchison, 1995). El objetivo del presente estudio fue comparar la capacidad predictiva del tiempo de carrera en media maratón entre dos ecuaciones derivadas a partir de: a) las variables obtenidas en pruebas de laboratorio; b) variables obtenidas en el test de Cooper.

## **Método**

### *Sujetos*

En el estudio de laboratorio participaron 23 atletas, varones, del Club de Atletismo Guadalhorce (Álora, Málaga) con una edad de  $41,6 \pm 7,4$  años, con experiencia en el entrenamiento ( $8,3 \pm 5,65$  años) y carreras de larga distancia. Todos los sujetos participantes fueron informados de los procedimientos antes del protocolo experimental y firmaron un consentimiento informado.

*Diseño metodológico*

Las evaluaciones de Laboratorio se realizaron en el mes de Febrero de 2011 y la carrera de media maratón se realizó a principios del mes de marzo del mismo año.

Entre 10 y 21 días previos a la media maratón se realizaron los test de laboratorio y entre siete y diez días previos a la carrera de media maratón, los atletas realizaron el test de Cooper (Figura 5). Todos los atletas se comprometieron y fueron motivados para realizar la competición al esfuerzo máximo, utilizándose la frecuencia cardiaca máxima (FC máx) de sus pulsómetros como control de calidad del esfuerzo máximo realizado durante la prueba.

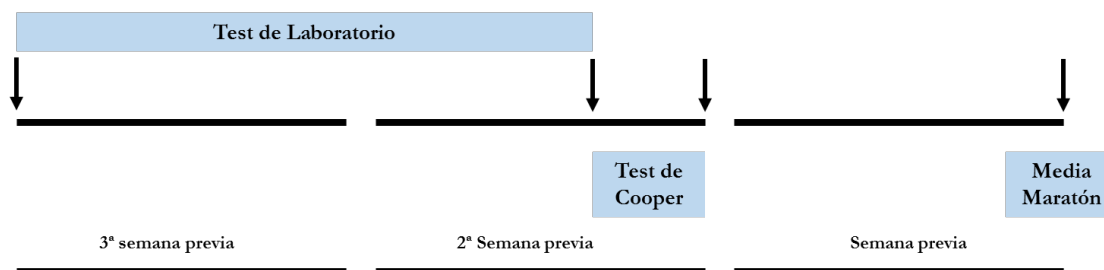


Figura 5: Cronograma de los test de Laboratorio, test de Cooper y Media Maratón.

Para la recogida de las variables independientes (variables asociadas a las diferentes evaluaciones), todos los sujetos se sometieron a una evaluación de la composición corporal mediante antropometría y a un test incremental en el laboratorio con análisis de gases espirados en el mismo día y dentro de las tres semanas previas a la carrera. Posteriormente, realizaron un test de Cooper en pista de atletismo, con un análisis de lactato en sangre capilar. Para cada una de las valoraciones tanto en el laboratorio como en el test de Cooper, realizadas en días diferentes, se recordó a los participantes que descansaran el día anterior y que al menos ingirieran una comida con una alta proporción de hidratos de carbono el día previo (arroz, pasta). Los procedimientos utilizados en este estudio fueron aprobados por el Comité de Ética de la Universidad de Málaga.

*Valoración antropométrica*

Se efectuaron todas las mediciones con 12 horas de ayuno. El peso fue tomado en una báscula electrónica Seca 813 (Hamburg, Germany) con la precisión de 0.1 kg y la talla en un estadiómetro de pared Seca 216 (Hamburg, Germany) de precisión 0.1 cm. Se midieron por triplicado los pliegues de grasa: triceps, subescapular, bíceps y cresta ilíaca, computando la media para su cálculo. Se obtuvo el porcentaje de grasa corporal con la ecuación de Durnin-Womersley (Durnin & Womersley, 1974). Todas las medidas se recogieron bajo la normativa estandarizada de la International Society for Advancement in Kinanthropometry (Marfell-Jones, Olds, Stewart, & Carter, 2006). El error técnico de medida del antropometrista fue menor del 3%.

*Test de Laboratorio*

Todos los participantes se sometieron a un ejercicio incremental máximo para determinar el  $\text{VO}_2\text{max}$ , así como diversas variables de intercambio respiratorio y metabólico (producción de  $\text{CO}_2$  ( $\text{VCO}_2$ ), Presión de  $\text{O}_2$  al final de la espiración ( $\text{PetO}_2$ ), Presión de  $\text{CO}_2$  al final de la espiración ( $\text{PetCO}_2$ ), Ventilación, Cociente respiratorio). Los gases espirados, respiración a respiración fueron analizados en un sistema de medición Ultima CPX (MedGraphics, St Paul, MN, USA). El sistema fue calibrado automáticamente antes de cada valoración, según instrucciones del fabricante. La frecuencia cardiaca se recogió por medio de un dispositivo electrocardiográfico telemétrico conectado al sistema (X-Scribe, Mortara, Milwaukee, USA). La determinación de los umbrales aeróbico ( $\text{VT}_1$ ) y anaeróbico ( $\text{VT}_2$ ), se efectuó mediante la metodología de Skinner & McLellan (1980). Los sujetos corrieron sobre una banda rodante (MS Medisoft 870C, Medisoft, Italy) con el siguiente protocolo: después de un calentamiento de 10 minutos a 5 km/h, se inició el test a 6 km/h con una pendiente constante del 1% para simular condiciones en el exterior, después del primer minuto se aumentó la velocidad un 1km/h por minuto hasta la finalización del test (Lucia, Esteve-Lanao, et al., 2006). La prueba se consideró máxima cuando:  $\text{RER} > 1,1$  o un aumento menor a 2,1 ml/kg/min en el  $\text{VO}_2$  entre dos estadios, o bien se alcanzó un rango  $\pm 10$  latidos/min de la frecuencia cardiaca máxima predicha, sin ser estos, requisitos excluyentes (Fairbairn et al., 1994). La velocidad correspondiente al

VO<sub>2</sub>max (*v*VO<sub>2</sub>max), se estableció como la mínima velocidad necesaria alcanzada al obtener el VO<sub>2</sub>max (Billat, Beillot, Jan, Rochcongar, & Carre, 1996). Todos los participantes fueron animados verbalmente por los investigadores, para alcanzar el máximo esfuerzo posible. Se calcularon a partir de los valores de frecuencia cardiaca, el porcentaje con respecto a la frecuencia cardiaca teórica (220-edad). Todos los test fueron controlados por los evaluadores.

#### *Test de Cooper*

El test de Cooper (Cooper, 1968) se realizó en un pista sintética de atletismo de 400 metros con la supervisión del equipo de investigadores. Antes de comenzar la prueba, se realizó un calentamiento de 15 minutos de carrera continua a ritmos bajos-moderados además de ejercicios calisténicos. Posteriormente, los participantes realizaron el protocolo clásico del test, que consistió en recorrer la mayor distancia posible durante 12 minutos dando vueltas alrededor del radio mínimo de la pista. Inmediatamente después de finalizar el tiempo de prueba se ajustó la distancia recorrida por medio de señales situadas en la pista de atletismo, cada 50 metros. Durante la prueba los participantes utilizaron un pulsómetro Polar modelo 610 (Polar Electro Oy, Finland). La frecuencia cardiaca a la finalización del test de Cooper fue considerada como la frecuencia cardiaca máxima alcanzada en dicho test y adicionalmente, se preguntó la percepción de esfuerzo de la prueba mediante la escala de Borg modificada (Borg, 1982).

#### *Lactato*

Al finalizar el test de Cooper y dentro del primer minuto, se obtuvo una muestra sanguínea de 0,5 µL, extraída del lóbulo de la oreja, para la medición de la concentración de lactato sanguíneo, mediante un medidor de tipo electroquímico (Lactate Pro LT-1710, Arkray, Japan). El objetivo de dicho análisis fue corroborar el nivel de lactato tras un ritmo a estado estable. El coeficiente de variación del analizador utilizado es del 3%.

### *Condiciones meteorológicas de la media maratón*

Las condiciones meteorológicas fueron de día nuboso con suelo mojado sin lluvia en el momento de la prueba y temperatura de 14 a 17C° entre las diez y las doce de la mañana y humedad relativa de 72%, con un viento menor de 14 km/h.

### *Análisis estadístico*

Los datos fueron presentados como medias y desviaciones estándar. Se analizó la normalidad mediante el test de Shapiro-Wilk. Puesto que todas las variables se distribuyeron normalmente, se realizó un análisis de asociación entre variables mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Las variables asociadas significativamente con el tiempo final de la media maratón se incluyeron en un análisis de regresión múltiple paso a paso (*stepwise*), con el objetivo de estimar los predictores del tiempo en la media maratón (variable dependiente) a partir de dos bloques de variables independientes, es decir variables del laboratorio y la del test de Cooper. Posteriormente, se realizó un análisis de concordancia entre los valores predichos con las ecuaciones, la obtenida mediante el test de Cooper y la del modelo de Laboratorio, con los valores reales de la marca en media maratón mediante la metodología de Bland-Altman (Martin Bland & Altman, 1986). La diferencia entre los valores se testó con un test-T de Student para muestras emparejadas y el sesgo mediante el coeficiente de correlación de la Tau de Kendall. El coeficiente de variación entre sujetos del rendimiento ( $CV\%=100 \times \text{Desv Est}/\text{Media}$ ) fue calculado y la diferencia media entre los test de Cooper fue de 20,46 m (IC 95%: -20,22 – 61,15) (Alvero-Cruz JR, Giráldez Garcia MA, 2016). El nivel de significación en todos los casos fue de  $P<0,05$ . El análisis estadístico se realizó utilizando el software MedCalc versión 17.0.4 para Windows (Ostende, Belgium).

## **Resultados**

Las características de los sujetos participantes se muestran en la Tabla 10. Todos ellos tuvieron una edad superior a los 30 años y sus valores de índice de

masa corporal y porcentaje de %MG (porcentaje de masa grasa) indican que no presentan exceso de adiposidad.

Tabla 10: Características antropométricas de los participantes

		<b>Media</b>	<b>DE</b>
<b>Edad</b>	años	41,66	± 7,46
<b>Peso</b>	kg	70,38	± 8,15
<b>Talla</b>	cm	172,54	± 6,35
<b>Índice masa corporal</b>	kg/m <sup>2</sup>	23,60	± 1,99
<b>Masa grasa</b>	%	15,73	± 4,68

#### *Test de Laboratorio*

En la tabla 11 se presentan los datos de las variables de laboratorio. El valor medio de frecuencia cardiaca máxima en la prueba de esfuerzo está en un porcentaje medio, por encima del valor de frecuencia cardiaca máxima teórica, lo cual unido a los valores de cociente respiratorio al final del ejercicio confirman el carácter máximo de los test de esfuerzo (Casajús, J.A.; Piedrafita, E. y Aragonés, 2009; Fairbarn et al., 1994).

Tabla 11 : Variables de Laboratorio

Variable		<b>Media</b>	<b>DE</b>
<b>VO<sub>2</sub>VT1</b>	mL/kg/min	36,48	± 5,77
<b>VO<sub>2</sub>VT2</b>	mL/kg/min	48,63	± 7,24
<b>VO<sub>2</sub>max</b>	mL/kg/min	55,73	± 8,34
<b>FCVT1</b>	ppm	140,81	± 14,60
<b>FCVT2</b>	ppm	165,28	± 15,07
<b>FCM</b>	ppm	180,63	± 14,74
<b>FCMLab/FCMTeo</b>	%	101,34	± 8,60
<b>VelVT1</b>	km/h	11,16	± 1,20
<b>VelVT2</b>	km/h	15,31	± 1,88

$vVO_2\text{max}$	km/h	18,43 ± 1,80
CRVT1		0,85 ± 0,07
CRVT2		0,99 ± 0,08
CR Max		1,15 ± 0,11

$VO_2VT1$ , Consumo de oxígeno en umbral ventilatorio 1;  $VO_2VT2$ , Consumo de oxígeno en umbral ventilatorio 2;  $FCVT1$ , Frecuencia cardiaca en umbral ventilatorio 1;  $FCVT2$ , Frecuencia cardiaca en umbral ventilatorio 2;  $FCM$ , Frecuencia cardiaca máxima;  $FCMLab/FCMTeo$ , Porcentaje de la FC de laboratorio con respecto a la FCM teórica;  $VelVT1$ , Velocidad en umbral ventilatorio 1,  $VelVT2$ , Velocidad en umbral ventilatorio 2;  $vVO_2\text{max}$ , velocidad al alcanzar en máximo consumo de oxígeno;  $CRVT1$ , Cociente respiratorio en umbral ventilatorio 1;  $CRVT2$ , Cociente respiratorio en umbral ventilatorio 2;  $CRMax$ , Cociente respiratorio máximo

#### *Test de Cooper y lactacidemia*

Los valores del Test de Cooper denotan, en general, la realización de una prueba máxima en relación a valores medios de lactato de  $8,31 \pm 2,87$  mmol/L y complementariamente al alto porcentaje de frecuencia cardiaca máxima teórica (Tabla 12)

Tabla 12.- Variables resultantes del Test de Cooper

Variable		Media	DE
<b>Distancia Cooper</b>	m	3121,48 ±	320,04
<b>FC final Cooper</b>	bpm	177,93 ±	13,56
<b>FC Cooper/FCMTeo</b>	%	94,65 ±	23,37
<b>Lactato máx Cooper</b>	mmol/L	8,31 ±	2,87

FC, Frecuencia cardiaca; Lactato Max, Lactato Máximo tras test de Cooper; FCMTeo: Frecuencia cardiaca máxima teórica (220-edad)



*Tiempo en la carrera de media maratón*

Finalmente completaron la carrera de media maratón los 23 corredores. El tiempo invertido por los corredores en la carrera de media maratón fue de  $93,28 \pm 10,28$  min, rango (73 - 117 min), (CV = 11 %), a una velocidad media de  $13,68 \pm 1,57$  km/h (CV = 11%).

*Correlaciones bivariadas*

En la Tabla 13, se pueden observar Los coeficientes de correlación entre el tiempo en media maratón y las diferentes variables. Destacan las correlaciones con la distancia recorrida en el test de Cooper, la velocidad en el umbral ventilatorio 2 y la  $vVO_{2max}$ .

Tabla 13.- Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables de estudio y el tiempo en media maratón

Variable	<i>r</i>	<i>P</i>
<b>Peso</b>	0,405	0,04
<b>Altura</b>	-0,048	0,81
<b>IMC</b>	0,58	0,0015
<b>Masa grasa</b>	0,21	0,36
<b>FCVT1</b>	-0,058	0,78
<b>FCVT2</b>	-0,215	0,3
<b>FCMax</b>	-0,025	0,9
<b><i>v</i>VT1</b>	-0,361	0,07
<b><i>v</i>VT2</b>	-0,723	<0,0001
<b><i>v</i>VO<sub>2</sub>max</b>	-0,849	<0,0001
<b>VO<sub>2</sub>VT1</b>	-0,292	0,15
<b>VO<sub>2</sub>VT2</b>	-0,79	<0,0001
<b>VO<sub>2</sub>max</b>	-0,645	0,0005
<b>Distancia Cooper</b>	-0,932	<0,0001

IMC: Índice de masa corporal; FC: Frecuencia cardiaca; *v*: Velocidad; VT1 y 2: umbral ventilatorio 1 y 2; *v*VO<sub>2</sub>max, velocidad en el VO<sub>2</sub>max; *r*= coeficiente de correlación; *P*: Nivel de significación; VO<sub>2</sub>max; Consumo máximo de oxígeno.

*Análisis de regresión múltiple*

En la Tabla 14 se muestran los dos modelos de predicción de la marca en media maratón. En el primer modelo destaca la variable de la distancia recorrida en el test de Cooper y en el modelo derivado de la valoración de laboratorio es la velocidad máxima alcanzada en el test junto con el peso corporal.

*Análisis de concordancia*

Las diferencias entre el valor predicho (Modelo Cooper's test) y la marca en media maratón no muestran diferencias significativas ( $dif = -0,08 \pm 3,8$  min,  $P=0,91$ ), ni sesgo (Kendall's Tau,  $r = -0,18$ ;  $P=0,40$ ), con unos límites de

Tabla 14. Modelos de regresión múltiple derivados del test de campo y laboratorio

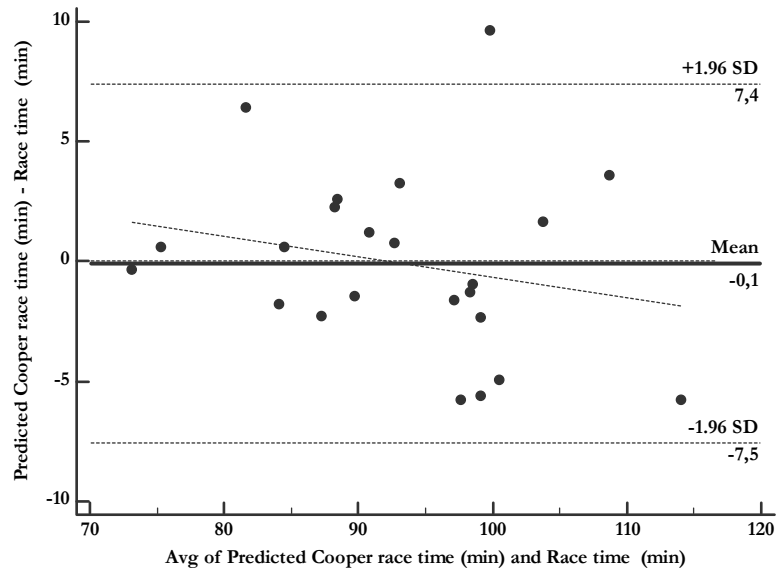
Modelo	Variable Dep	Variable Indep.	Coefficiente	$R^2$	$R^2_{aj}$	CCM	EEE	t	P	VIF
Test de campo	Tiempo de carrera (min)			0,873	0,866	0,9345	3,78			
		Constante	201,26							
		Cooper	-0,03433				-11	<0,0001	1	
Laboratorio	Tiempo de carrera (min)			0,7695	0,75	0,877	5,28			
		Constante	156,7117							
		$vVO_2$ Max	-4,7194				-7,9	<0,0001	1,5	
		Peso	0,3435				2,25	0,0339	1,05	

$R^2$ , Coeficiente de determinación; aj, ajustado; CCM, coeficiente de correlación múltiple; EEE, error estándar de estimación; VIF, factor de inflación de la varianza; Cooper (en metros),  $vVO_2$ max (en km/h), Peso (en kg)

concordancia de -7,5 a 7,4 min (Figura 6A). Los valores de modelo test de laboratorio, tampoco muestra diferencias significativas con el valor de la marca

real (diff:  $-0,17 \pm 5,03$ ;  $P=0,83$ ) con unos límites de concordancia de  $-9,7$  a  $10,0$  min (Figura 6B).

A



B

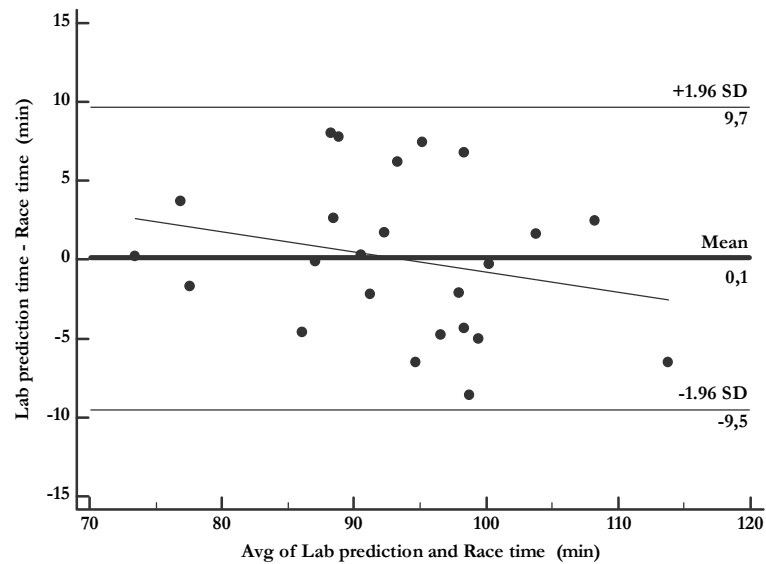


Figura 6.- A: Gráfico de Bland Altman comparando la ecuación de predicción de Cooper y el tiempo real (Kendall's Tau =-0,067, P=0,63, 95% CI: -0,423 to 0,240); B: Gráfico de Bland Altman comparando la ecuación de predicción del Laboratorio Cooper y el tiempo real (Kendall's Tau =-0,130, P=0,36, 95% CI: -0,386 to 0,174).

Entre el modelo Cooper y modelo Laboratorio no se encuentran diferencias significativas ( $\text{dif} = 0,03 \pm 3,81$ ,  $t = 0,054$ ;  $P = 0,96$ )

#### *Análisis de los residuos*

En los gráficos 8 y 9 se representan los valores de los pronósticos frente a los residuos del test de Cooper y del test de laboratorio, mostrando ambos gráficos una dispersión de tipo aleatorio, lo cual es un indicador del buen ajuste del modelo de regresión de ambas ecuaciones.

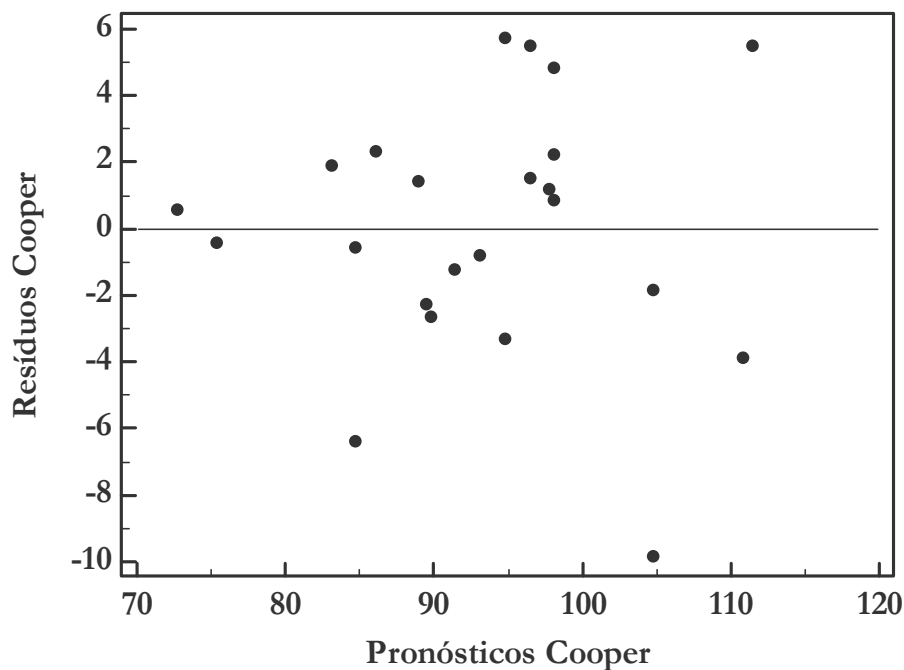


Figura 7.- Gráfico de pronósticos y residuos tipificados del test de Cooper. Ecuación:

$$y = -6,40821E-013 + 6,9434E-015 x$$

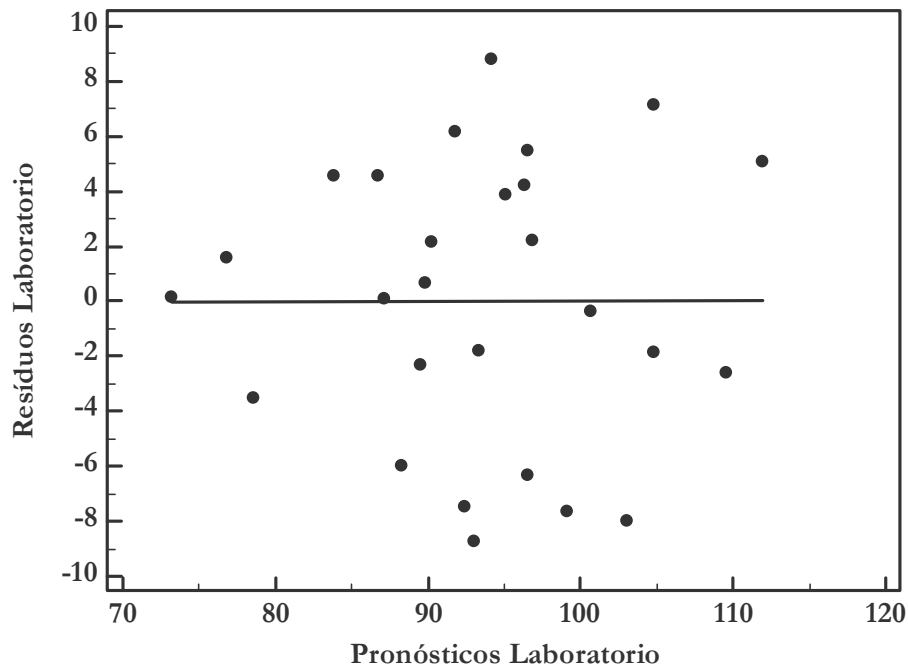


Figura 8.- Gráfico de pronósticos y residuos tipificados del test de Laboratorio.

$$\text{Ecuación: } y = -6,40821\text{E-}013 + 6,9434\text{E-}015 x$$

#### *Otros modelos significativos*

En la tabla 15 se describen diferentes modelos también significativos para la predicción de la marca en media maratón pero con menores coeficientes de determinación.

Tabla 15 .- Modelos significativos con ejemplos de modelos con exclusión de variables

Variables incluidas	$R^2$	Variables no incluidas en el modelo	VIF
Endo	0,163		1
Meso	0,184		1
Ecto	0,276		1
Ecto + Endo	0,276	Endo	1
Ecto + Endo + Meso	0,276	Endo + Meso	1
%MG	0,447		
%MG + MMEA	-	%MG + MMEA	
%MG + %AEC	-	%MG + %AEC	
%MG + IMC	0,447	IMC	
$\Sigma$ 3 Pl	-	$\Sigma$ 3 Pl	1
$\Sigma$ 4 Pl	0,186		1
$\Sigma$ 6 Pl	0,251		1
$\Sigma$ 8 Pl	0,206		1
IMC	0,290		1
$vVO_2\max$	0,720		
$vVO_2\max$ + IMC	0,720	IMC	
$vVO_2\max$ + Peso	0,769		1,157
$vVO_2\max$ + Peso + Ecto	0,769	Ecto	1,157
$vVO_2\max$ + $VO_2\max$	0,789		1,89
Cooper + $VO_2\max$	0,869	$VO_2\max$	1
$vVO_2\max$ + $VO_2\max$ + CRmax	0,801	CRmax	1,9
$vVO_2\max$ + $vVT1$	0,621	$vVT1$	1
$vVO_2\max$ + $vVT2$	0,622	$vVT2$	1
$vVO_2\max$ + $VO_2VT2$ + $VO_2VT1$	0,749	$VO_2VT1$	1,42
$vVT2$ + $VO_2VT2$ + CRVT2	0,522	$VO_2VT2$ + CRVT2	1
$vVT2$ + Peso	0,522	Peso	1
$vVT2$ + MLG kg	0,307		1

$R^2$ , Coeficiente de determinación; VIF, factor de inflación de la varianza; Endo, Endomorfia, Meso, Mesomorfia; Ecto, Ectomorfia; MG, Masa Grasa; MMEA, Masa Muscular Esquelética apendicular; AEC, Agua extracelular; ACT, Agua corporal total; IMC, Índice de masa corporal; Ind Imp, Índice de Impedancia; Pl, pliegue; 3, Tri + Sbesc + SuprEsp; 4, Tri + Sbesc + SuprEsp + Abd; 6, Tri + Sbesc + SuprEsp + Abd + Muslo + Pierna; 8, Tri + Sbesc + SuprEsp + Abd + Muslo + Pierna + Bic + Icrest;  $VO_{2max}$ , consumo máximo de oxígeno;  $vVO_{2max}$ , velocidad en el  $VO_{2max}$ ;  $CR_{max}$ , Cociente respiratorio máximo,  $vVT1$ , velocidad en el umbral ventilatorio 1;  $vVT2$ , velocidad en el umbral ventilatorio 2;  $VO_{2VT1}$ , Consumo máximo de oxígeno en el umbral ventilatorio 1;  $VO_{2VT2}$ , Consumo máximo de oxígeno en el umbral ventilatorio 2;  $CRVT2$ , Cociente respiratorio en el umbral ventilatorio 2; MLG, Masa Libre de Grasa.

## Discusión

Según nuestro conocimiento, este trabajo es el único en el que se evalúa y se compara la capacidad de predicción del tiempo de carrera en media maratón, por medio de un test de esfuerzo en el laboratorio y un test de campo.

En este trabajo se han identificado variables relacionadas con el tiempo realizado en la carrera de media maratón, tanto desde la valoración en el laboratorio, como del test de Cooper. Comparado con la literatura existen diversas referencias, de diversos factores que se muestran como determinantes del rendimiento en corredores de media y larga distancia, como son, las variables antropométricas (Arrese & Ostáriz, 2006; Friedrich et al., 2014; Knechtle, Knechtle, Barandun, Rosemann, & Lepers, 2011; Knechtle et al., 2014; Knechtle, Rüst, et al., 2011; Maldonado et al., 2002), de variables relacionadas a la carga de entrenamiento (Balsalobre-Fernández, Tejero-González, & del Campo-Vecino, 2014; Knechtle, Knechtle, et al., 2011; Manzi, Iellamo, Impellizzeri, D'Ottavio, & Castagna, 2009; Ramsbottom et al., 1989), así como de variables fisiológicas (Alvero-Cruz & Ronconi, 2011; Bertuzzi et al., 2012; Billat et al., 1996; Bonacci et al., 2009; Hill & Lupton, 1923; Manzi et al., 2009; Powers et al., 1983; Rabadán et al., 2011; Reilly et al., 2009; Roecker et al., 1998; Støa, Støren, Enoksen, & Ingjer,

2010; Wilber & Pitsiladis, 2012) y que presentan asociaciones con el rendimiento en media maratón.

Nuestros resultados revelan que tanto las variables de laboratorio como las del test de Cooper, permiten la obtención de modelos significativos para la predicción de la marca en media maratón y asimismo, que el modelo de regresión a partir de la distancia recorrida en el test de Cooper posee un mejor valor predictivo. De acuerdo a los datos obtenidos en este estudio, el modelo a partir de la distancia recorrida en el test de Cooper, explicaría un 87,3% de la varianza total del tiempo de carrera en la media maratón, en corredores aficionados. El modelo de laboratorio que combina la variable  $v\text{VO}_2\text{max}$  y el peso corporal explicaría un 76,95% de la varianza total.

Las variables incluidas en nuestros modelos encuentran similitudes parciales con otros estudios publicados en la literatura. Con respecto a las variables antropométricas, los pliegues de los miembros inferiores, pliegue anterior del muslo y de la pierna se asocian con el rendimiento en corredores de 1500 y de 10.000 m. (Arrese & Ostáriz, 2006).

Rüst y colaboradores, (Rüst, et al., 2011) encontraron relación entre la marca en media maratón, en corredores amateurs, con el IMC y la velocidad media de los entrenamientos. El modelo predictivo de este autor, solo explica un 44% de la marca deportiva. Esto puede estar explicado por los amplios límites de concordancia en la predicción de la marca deportiva ( $\pm 25$  min) y la gran heterogeneidad de la muestra de estudio. En nuestro estudio la única variable antropométrica predictora de la marca es el peso corporal y solamente en el modelo de laboratorio

Las variables de carga de entrenamiento han sido tradicionalmente relacionadas con el rendimiento en media maratón, por ejemplo la velocidad media del entrenamiento y la experiencia previa, (Knechtle, Rüst, et al., 2011), el kilometraje semanal, las horas de entrenamiento semanal, tiempo diario de entrenamiento y velocidad media de entrenamiento. (Friedrich M, Rüst CA, Rosemann T, Knechtle P, Barandun U, Lepers R, 2014). En este último estudio se encontraron asociaciones con la velocidad media de entrenamiento ( $r = -0,77$  y  $r = -0,58$ , para mujeres y hombres respectivamente), siendo predictores el %MG y la velocidad media de entrenamiento. A pesar de estas evidencias previas,



ninguna variable de entrenamiento se mostró significativa en nuestros modelos, lo cual debe indicar la fuerte dependencia del entrenamiento sobre la variabilidad del resultado en los test.

#### *Test de Laboratorio*

Las variables que conforman el modelo de predicción del laboratorio explican un 77% de la varianza. Al  $vVO_2\text{max}$  le correspondería en torno a un 72% y al peso corporal un 5%. Aspectos similares son los presentados por Knechtle et al., (Knechtle, Rüst, et al., 2011) que en una reciente investigación, encuentran modelos predictivos del tiempo de carrera en media maratón, basándose en el peso corporal y la velocidad media de entrenamiento, como variables predictoras, pero explicando solamente un 44% del tiempo de carrera. Los resultados de la presente investigación encuentran ecuaciones mucho más precisas, con un coeficiente de determinación de 0,873 para la ecuación derivada del test de Cooper y de 0,77 para la derivada con el peso corporal y la  $vVO_2\text{max}$ .

Este mismo grupo de investigadores (Knechtle et al., 2014), intentó mejorar la predicción, con nuevas ecuaciones, introduciendo en los modelos otras variables independientes, como el porcentaje de masa grasa, obteniendo solamente un  $R^2$  de 0,42 para los hombres y de 0,68 para las mujeres, considerando estos coeficientes aun bajos en comparación con los de nuestro estudio. Estos autores echan en falta, la posibilidad de medir el  $VO_2\text{max}$  y la velocidad máxima alcanzada en el test ergométrico. Este autor también analiza la precisión del modelo de predicción, mediante los límites de concordancia (LC) entre el valor real y predicho con la ecuación generada. Los LC de este estudio, son muy amplios, entre -25,6 a 24 min y con la existencia de un error proporcional a medida que aumenta el tiempo de carrera. En nuestro estudio, los LC para la ecuación derivada de la distancia recorrida en el test de Cooper son de -7,4 a 7,5 min y sin presencia de error proporcional ( $P < 0,05$ ).

Por otro lado los test de laboratorio nos permiten la obtención de múltiples variables, todas ellas bien controladas y generalmente muy reproducibles. El consumo máximo de oxígeno es un factor, que normalmente es obtenido en el laboratorio y un buen predictor del rendimiento de los corredores de larga

distancia (Davies et al., 1979; Hagan et al., 1981) pero en nuestros modelos de predicción, esta variable no ha sido significativa para ningún modelo.

Otro factor que frecuentemente se ha relacionado con el rendimiento en corredores es la velocidad máxima alcanzada ( $v\text{VO}_2\text{max}$ ) en la prueba de esfuerzo incremental en el laboratorio (Roecker et al., 1998). Este factor también es encontrado en el presente estudio como variable predictora del modelo de laboratorio. El hecho de que se encuentre esta característica, sería probablemente debido a que la intensidad de carrera en media maratón esta cerca del consumo máximo de oxígeno o de la velocidad aeróbica máxima. El tiempo de carrera en media maratón no siempre es explicado por el valor absoluto de  $\text{VO}_2\text{max}$ . y frecuentemente, es mejor explicado, por la utilización fraccional del  $\text{VO}_2\text{max}$ , correspondiente a una velocidad de carrera, normalmente de carácter submáximo y por tanto a un valor de  $\text{VO}_2$  submáximo, sin haber sido analizados estos valores submáximos en este estudio.

Por otro lado, Williams (Williams & Nute, 1983) estudió las demandas fisiológicas de corredores de media maratón encontrando similitudes de los valores fisiológicos de este estudio, en cuanto a los tiempos de carrera y los valores de  $\text{VO}_2\text{max}$  de los atletas. En este estudio se evaluaron 4 corredores y las variables que se relacionaron al rendimiento fueron el  $\text{VO}_2\text{max}$  y la velocidad estimada a una concentración de 4 mmol/L de lactato, aunque luego comprobaron que los valores medios de lactato fueron de  $5,65 \pm 1,42$  mmol/L, lo cual confirmaría valores cercanos a la potencia aeróbica máxima.

Otros trabajos como el de Rabadán y colaboradores (Rabadán et al., 2011) analizan en el laboratorio los factores fisiológicos determinantes de corredores de media y larga distancia, encontrando que el  $\text{VO}_2\text{max}$ , el  $\text{VO}_2\text{VT}_2$  y la  $v\text{VT}_2$  son variables que caracterizan a estos atletas. La fortaleza de variables como el  $\text{VT}_2$ , es que son parámetros muy reproducibles y por ello muy útiles en la predicción y evaluación de los cambios basados en el entrenamiento, pueden ayudar a diferenciar el rendimiento de los atletas de media y larga distancia. En el presente estudio no se ha encontrado que estos valores fueran predictores del rendimiento.

*Aplicaciones prácticas*

El número de corredores de larga distancia ha crecido mucho en los últimos años. Entrenadores e investigadores de las Ciencias del Deporte, están muy interesados en una precisa prescripción del entrenamiento y de sus intensidades. Este estudio permite conocer el ritmo de competición, ya que una estimación del tiempo final de carrera, puede ayudar con mayor precisión a la determinación de los distintos ritmos de entrenamiento pudiendo ser evaluados con la frecuencia que sea necesaria dentro dicho proceso. Así mismo ayuda a orientar el ritmo de la prueba de media maratón en corredores amateurs. La principal aplicación reside en el hecho de que una simple prueba de terreno puede sustituir y ofrecer información mas precisa, para la estimación final del rendimiento externo de carrera con independencia de sus determinantes fisiológicos otorgándole sin duda una gran ventaja por la simplicidad del procedimiento y el bajo coste económico y temporal.

*Conclusiones*

El presente estudio describió la capacidad predictiva del tiempo en la prueba de media maratón, mediante variables obtenidas en el test de Cooper o en evaluaciones de laboratorio, siendo mas elevada en la primera.

Con independencia de la mejor potencia predictiva desde el punto de vista estadístico del test de Cooper con respecto al test de laboratorio, la principal fortaleza del primero reside en que no necesita disponer de una tecnología de laboratorio y además puede ser introducida dentro de la rutina de entrenamiento diario y ofrece una predicción relativamente válida del tiempo de carrera.

*Agradecimientos*

A todos los atletas participantes, a la Junta Directiva del Club Atletismo Guadalhorce de Álora (Málaga, España) y en especial al gran atleta y entrenador Juan Vázquez Sánchez por su inmenso interés y ayuda.

**Bibliografía**

- Alvero-Cruz JR, Giráldez Garcia MA, C. E. (2016). Reliability and Accuracy of Cooper's Test in Male Long Distance Runners. *Rev And Med Deporte*. (in press) 10.1016/j.ramd.2016.03.001
- Alvero-Cruz, J., & Ronconi, M. (2011). Prediction of Sprint Duathlon Performance. In R. Cejuela & S. Migliorini (Eds.), *I World Conference of Science in Triathlon* (pp. 157–160).
- Amann, M., Subudhi, A. W., & Foster, C. (2006). Predictive validity of ventilatory and lactate thresholds for cycling time trial performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(1), 27–34.
- Arrese, A. L., & Ostáriz, E. S. (2006). Skinfold thicknesses associated with distance running performance in highly trained runners. *Journal of Sports Sciences*, 24, 69–76. <http://doi.org/10.1080/02640410500127751>
- Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C. M., & del Campo-Vecino, J. (2014). Relationships between training load, salivary cortisol responses and performance during season training in middle and long distance runners. *PloS One*, 9(8), e106066.
- Bertuzzi, R., Bueno, S., Pasqua, L. A., Acquesta, F. M., Batista, M. B., Roschel, H., ... Ugrinowitsch, C. (2012). Bioenergetics and neuromuscular determinants of the time to exhaustion at velocity corresponding to VO<sub>2</sub>max in recreational long-distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 26(8), 2096–102.
- Billat, V., Beillot, J., Jan, J., Rochcongar, P., & Carre, F. (1996). Gender effect on the relationship of time limit at 100% VO<sub>2</sub>max with other bioenergetic characteristics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(8), 1049–55.
- Bonacci, J., Chapman, A., Blanch, P., & Vicenzino, B. (2009). Neuromuscular adaptations to training, injury and passive interventions: implications for running economy. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(11), 903–21.
- Borg, G. a. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <http://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>
- Bragada, J. A., Santos, P. J., Maia, J. A., Colaço, P. J., Lopes, V. P., & Barbosa, T. M.

- (2010). Longitudinal study in 3,000 m male runners: Relationship between performance and selected physiological parameters. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 439–444.
- Campbell, M. J. (1985). Predicting running speed from a simple questionnaire. *British Journal of Sports Medicine*, 19(3), 142–144. <http://doi.org/10.1136/bjism.19.3.142>
- Casajús, J.A.; Piedrafita, E. y Aragonés, M. . (2009). Criterios de maximalidad en pruebas de esfuerzo, 9(35), 217–231.
- Chapman, R. F., Laymon, A. S., Wilhite, D. P., McKenzie, J. M., Tanner, D. A., & Stager, J. M. (2012). Ground contact time as an indicator of metabolic cost in elite distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(5), 917–25.
- Cooper, K. H. (1968). A Means of Assessing Maximal Oxygen Intake. *JAMA*, 203(3), 201.
- Daniels, J., & Daniels, N. (1992). Running economy of elite male and elite female runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(4), 483–9.
- Di Michele, R., & Merni, F. (2014). The concurrent effects of strike pattern and ground-contact time on running economy. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 17(4), 414–8.
- Durnin, J. V., & Womersley, J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *The British Journal of Nutrition*, 32(1), 77–97.
- Fairbairn, M. S., Blackie, S. P., McElvaney, N. G., Wiggs, B. R., Pare, P. D., & Pardy, R. L. (1994). Prediction of heart rate and oxygen uptake during incremental and maximal exercise in healthy adults. *Chest*, 105(5), 1365–1369. <http://doi.org/10.1378/chest.105.5.1365>
- Foster, C. (1983). VO<sub>2</sub>max and training indices as determinants of competitive running performance. *J Sports Sci*, 1(1), 13–22.
- Friedrich M, Rüst CA, Rosemann T, Knechtle P, Barandun U, Lepers R, K. B. (2014). A Comparison of Anthropometric and Training Characteristics between Female and Male Half-Marathoners and the Relationship to Race

- Time. *Asian J Sports Med.*, 5(1), 10–20.
- Friedrich, M., Rüst, C. A., Rosemann, T., Knechtle, P., Barandun, U., Lepers, R., & Knechtle, B. (2014). A Comparison of Anthropometric and Training Characteristics between Female and Male Half-Marathoners and the Relationship to Race Time. *Asian Journal of Sports Medicine*, 5(1), 10–20.
- Grant, S., Corbett, K., Amjad, A. M., Wilson, J., & Aitchison, T. (1995). A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*, 29(3), 147–152. <http://doi.org/10.1136/bjism.29.3.147>
- Hill, A. V., & Lupton, H. (1923). Muscular Exercise, Lactic Acid, and the Supply and Utilization of Oxygen. *QJM, os-16*(62), 135–171.
- Knechtle B, Knechtle P, Barandun U, Rosemann T, L. R. (2011). Predictor variables for half marathon race time in recreational female runners. *Clinics (Sao Paulo)*, 66(2), 287–291.
- Knechtle, B., Barandun, U., Knechtle, P., Zingg, M. A., Rosemann, T., & Rüst, C. A. (2014). Prediction of half-marathon race time in recreational female and male runners. *SpringerPlus*, 3, 248. <http://doi.org/10.1186/2193-1801-3-248>
- Knechtle, B., Knechtle, P., Barandun, U., Rosemann, T., & Lepers, R. (2011). Predictor variables for half marathon race time in recreational female runners. *Clinics (São Paulo, Brazil)*, 66(2), 287–91.
- Knechtle, B., Rüst, Knechtle, Barandun, Lepers, R., & Rosemann, T. (2011). Predictor variables for a half marathon race time in recreational male runners. *Open Access Journal of Sports Medicine*. <http://doi.org/10.2147/OAJSM.S23027>
- Legaz Arrese, A., Munguía Izquierdo, D., & Serveto Galindo, J. R. (2006). Physiological measures associated with marathon running performance in high-level male and female homogeneous groups. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 289–295. <http://doi.org/10.1055/s-2005-865628>
- Loftin, M., Sothorn, M., Koss, C., Tuuri, G., Vanvrancken, C., Kontos, A., & Bonis, M. (2007). Energy expenditure and influence of physiologic factors during marathon running. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 21(4), 1188–1191. <http://doi.org/10.1519/R-22666.1>

- Lucia, A., Esteve-lanao, J., Oliván, J., Gómez-Gallego, F., San Juan, A. F., Santiago, C., Foster, C. (2006). Physiological characteristics of the best Eritrean runners – exceptional running economy. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31, 530–540. <http://doi.org/10.1139/H06-029>
- Lucia, A., Esteve-Lanao, J., Oliván, J., Gómez-Gallego, F., San Juan, A. F., Santiago, C., ... Foster, C. (2006). Physiological characteristics of the best Eritrean runners-exceptional running economy. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme*, 31(5), 530–540. <http://doi.org/10.1139/h06-029>
- Maldonado, S., Mujika, I., & Padilla, S. (2002). Influence of body mass and height on the energy cost of running in highly trained middle- and long-distance runners. *International Journal of Sports Medicine*, 23(4), 268–272. <http://doi.org/10.1055/s-2002-29083>
- Manzi, V., Iellamo, F., Impellizzeri, F., D'Ottavio, S., & Castagna, C. (2009). Relation between individualized training impulses and performance in distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(11), 2090–6.
- Marfell-Jones, M., Olds, T., Stewart, A., & Carter, L. (2006). *International Standards for Anthropometric Assessment*. Potchefstroom (South Africa): International Society for Advancement in Kinanthropometry (ISAK).
- Martin Bland, J., & Altman, D. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, 327(8476), 307–310.
- Mojock, C. D., Kim, J.-S., Eccles, D. W., & Panton, L. B. (2011). The effects of static stretching on running economy and endurance performance in female distance runners during treadmill running. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 25(8), 2170–6.
- Noakes, T. D. (2000). Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10(3), 123–45.
- Noakes, T. D., Myburgh, K. H., & Schall, R. (1990). Peak treadmill running velocity during the VO<sub>2</sub> max test predicts running performance. *Journal of*

- Sports Sciences*, 8(1), 35–45. <http://doi.org/10.1080/02640419008732129>
- Penry, J. T., Wilcox, A. R., & Yun, J. (2011). Validity and reliability analysis of Cooper's 12-minute run and the multistage shuttle run in healthy adults. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 25(3), 597–605. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cc2423>
- Powers, S. K., Dodd, S., Deason, R., Byrd, R., & Mcknight, T. (1983). Ventilatory Threshold, Running Economy and Distance Running Performance of Trained Athletes. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54(2), 179–182. <http://doi.org/10.1080/02701367.1983.10605291>
- Rabadán, M., Díaz, V., Calderón, F. J., Benito, P. J., Peinado, A. B., & Maffulli, N. (2011). Physiological determinants of speciality of elite middle- and long-distance runners. *Journal of Sports Sciences*, 29(9), 975–982. <http://doi.org/10.1080/02640414.2011.571271>
- Ramsbottom, R., Williams, C., Fleming, N., & Nute, M. L. (1989). Training induced physiological and metabolic changes associated with improvements in running performance. *British Journal of Sports Medicine*, 23(3), 171–6.
- Reilly, T., Morris, T., & Whyte, G. (2009). The specificity of training prescription and physiological assessment: a review. *Journal of Sports Sciences*, 27(6), 575–89.
- Roecker, K., Schotte, O., Niess, A. M., Horstmann, T., & Dickhuth, H. H. (1998). Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(10), 1552–1557. <http://doi.org/10.1097/00005768-199810000-00014>
- Runedia. (2015). Retrieved from <http://www.runedia.com/>
- Santos-Concejero, J., Oliván, J., Maté-Muñoz, J. L., Muniesa, C., Montil, M., Tucker, R., & Lucia, A. (2014). Gait Cycle Characteristics and Running Economy in Elite Eritrean and European Runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.
- Santos-Concejero, J., Tam, N., Granados, C., Irazusta, J., Bidaurreazaga-Letona, I., Zabala-Lili, J., & Gil, S. M. (2014). Stride angle as a novel indicator of running economy in well-trained runners. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 28(7), 1889–95.



- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*.
- Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Peltola, E. M., Cunningham, R. B., Gore, C. J., & Hawley, J. A. (2006). Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 20(4), 947–54.
- Scheerder, J., Breedveld, K., Danchev, A. (Eds. . (2015). *Running across Europe*. Palgrave Macmillan UK.
- Skinner, J. S., McLellan, T. M., & McLellan, T. H. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51(1), 234–48.
- Støa, E. M., Støren, Ø., Enoksen, E., & Ingjer, F. (2010). Percent utilization of VO<sub>2</sub> max at 5-km competition velocity does not determine time performance at 5 km among elite distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 24(5), 1340–5. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cc5f7b>
- Støren, O., Helgerud, J., Støa, E. M., & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(6), 1087–92.
- Stratton, E., O'Brien, B. J., Harvey, J., Blitvich, J., McNicol, A. J., Janissen, D., ... Knez, W. (2009). Treadmill Velocity Best Predicts 5000-m Run Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 30(1), 40–45.
- Tanaka, K., Matsuura, Y., Matsuzaka, A., Hirakoba, K., Kumagai, S., Sun, S. O., & Asano, K. (1984). A longitudinal assessment of anaerobic threshold and distance-running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(3), 278–282.
- Tartaruga, M. P., Brisswalter, J., Peyré-Tartaruga, L. A., Ávila, A. O. V., Alberton, C. L., Coertjens, M., ... Kruel, L. F. M. (2012). The Relationship Between Running Economy and Biomechanical Variables in Distance Runners. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. <http://doi.org/10.5641/027013612802573012>

- Tolfrey, K., Hansen, S. A., Dutton, K., McKee, T., & Jones, A. M. (2009). Physiological correlates of 2-mile run performance as determined using a novel on-demand treadmill. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquée, Nutrition et Métabolisme*, 34(4), 763–72.
- Weyand, P. G., Cureton, K. J., Conley, D. S., Sloniger, M. A., & Liu, Y. L. (1994). Peak oxygen deficit predicts sprint and middle-distance track performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(9), 1174–1180.
- Wilber, R. L., & Pitsiladis, Y. P. (2012). Kenyan and Ethiopian distance runners: what makes them so good? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(2), 92–102.
- Williams, C., & Nute, M. L. (1983). Some physiological demands of a half-marathon race on recreational runners. *British Journal of Sports Medicine*, 17(3), 152–61. Retrieved from <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1859178&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>

#### 4.3. ESTUDIO 3: RELIABILITY AND ACCURACY OF COOPER'S TEST IN MALE LONG DISTANCE RUNNERS

##### **Abstract**

**Purpose:** Endurance capacity can be assessed by field test such as Cooper's test however reliability and accuracy are rarely reported in the literature. It was our aims describe reliability and accuracy of Cooper's test in long distance runners.

**Method:** Fifteen male long distance runners performed twice all-out Cooper's test in a 400 meters track. Total distance covered, maximum heart rate (HR) and rate of perceived exertion were recorded. Bias correction factor (Cb) was used to describe accuracy and the main dimensions of reliability were calculated by intraclass coefficient correlation (ICC), effect size (ES) and agreement analysis.

**Results:** Accuracy for total distance and HR were relatively high (Cb = 0.994 and 0.956). Coefficient of variation for covered distance was as small as 1.7% (52.2 meters) and ICC of 0.99, additionally neither proportional nor systematical bias were detected in the agreement analysis. **Conclusions:** All together our results may confirm a good accuracy and reliability of Cooper's test in amateur long distance runners. Also, improvements or impairment lower than 52.2 meters must not be associated with exercise training or detraining, since they are below the values of intra-subject reliability.

**Keywords:** Amateur athletes, field endurance test, bias correction factor, technical error of measurement, agreement analysis, intraclass correlation coefficient, effect size.

##### **Resumen**

**Propósito:** La capacidad de resistencia puede ser evaluada por una prueba de campo como el test de Cooper, sin embargo la fiabilidad y la precisión son raramente divulgadas en la literatura. El objetivo es describir la fiabilidad y la exactitud de la prueba de Cooper en corredores de larga distancia.

**Método:** Quince varones fondistas realizan 2 pruebas del test Cooper en una pista de 400 metros. La distancia total recorrida, la frecuencia cardíaca máxima (FCM) y el nivel de esfuerzo percibido fueron recogidos. El factor de corrección de sesgo fue utilizado para describir la exactitud y las dimensiones de la confiabilidad y se calcularon mediante el coeficiente de correlación intraclase (CCI), el tamaño del efecto (ES) y un análisis de concordancia.

**Resultados:** La precisión de la distancia recorrida total y de la frecuencia cardíaca fue muy alta ( $C_b = 0.994$  y  $0.956$  respectivamente). El coeficiente de variación para la distancia recorrida fue del 1,7% (52,2 metros) con un coeficiente de correlación intraclase de 0,99, además no hubo sesgo proporcional ni sistemático.

**Conclusiones:** Nuestros resultados pueden confirmar una buena exactitud y fiabilidad del test de Cooper en corredores de larga distancia aficionados. Los cambios o diferencias inferiores a 52,2 metros, no deben ser asociados con el ejercicio de entrenamiento o desentrenamiento, puesto que están por debajo de los valores de la confiabilidad intra-sujeto.

**Palabras clave:** Atletas Amateurs, Test de campo, factor de corrección de sesgo, error técnico de medición, análisis de concordancia, coeficiente de correlación intraclase, tamaño del efecto.

## **Introduction**

Maximum oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ), lactate thresholds and running economy have been widely used to assess endurance and aerobic capacity in middle and long distance runners, and all related to athletic performance (1). However, these variables are time consuming and expensive in field settings still; indirect tests can be utilized to substitute these latter assessments. The utility of a test depends on its validity, accuracy and reliability (reproducibility). Validity can be assumed if a test represents accurately those features of the phenomena, which are aimed to describe, explain or theories (2).

Regarding accuracy, this is the degree of a test to measure the true value. Finally, reliability informs about reproducibility of a test and a procedure of repeated measures is used in order to calculate repeatability; so we can consider

reliability as the degree to which an assessment tool produces stable and consistent results (also known as test-retest reliability). Both low reliability and accuracy may limit applicability and utility of field performance tests.

However, utility of field tests has commonly relied on construct validity, usually associated with the capacity of the test to estimate or be associated with laboratorial variables or clinical tests (3). In this sense, one of the most studied physiological constructs is  $VO_{2max}$ , which determines the maximum aerobic capacity and should be related with endurance and long-term performance (4). Thus, several field tests have been created in order to obtain a valid and reliable estimation of  $VO_{2max}$ . One of the first tests developed to estimate  $VO_{2max}$  was Cooper's test, which is a simple time limit single-stage test, where athletes need to cover as many meters as possible during a 12-minute all-out test (5). The  $VO_{2max}$  estimated from Cooper and a multistage shuttle run tests has been strongly correlated in young healthy adults, which may confer a good concurrent at least for this population. The same study showed a good reliability ( $\Phi$ : 0.96) and acceptable systematic error of 4.3% 1 for maximal oxygen uptake prediction (6). However, the Cooper's test accuracy has not been still reported to date. Also, there are a lack of data of reliability and accuracy data in athletes.

Since, there is a lack of knowledge about the reproducibility (test-retest reliability) characteristics of field tests to estimate endurance capacity such as Cooper's test in long distance runners. It was our aim to analyze, the reliability and accuracy of Cooper's test on amateur long distance runners over two repeated measures (test retest).

## **Methods**

### *Subjects*

Fifteen adult male amateur athletes ( $34.5 \pm 1.9$  years, and  $3.7 \pm 4.6$  years of training) volunteered to participate in the study. All athletes were informed of the study characteristics, procedures and risks; afterwards a signed informed consent was obtained from those who decided to be enrolled. The Ethical Review Institutional Board (IRB) at the University of Málaga approved the research protocol.

*Design*

Test-retest approach was used by repeating Cooper's test twice in a period of forty eight hours. Reliability analysis was carried out in all variables obtained from the Cooper test such as distance, heart rate (HR) at the end of the test and the rate of perceived exertion (RPE).

*Methodology*

Two Cooper's tests split by 48 hours were carried out in a synthetic track of 400 meters, and under similar meteorological conditions. Every day athletes followed thoroughly the same protocol: Firstly, a 15-minute running warm-up was performed at between 50 to 70% of the theoretical maximal HR (220-Age). Then, the original Cooper's test was executed; briefly, athletes were asked to run all-out during 12-min along the inner lane of the track, immediately afterwards a member or research team recorded distance in meters by placing a mark exactly in the point where every athlete stood still. Also, the HR at the end of test was recorded by using a HR monitor Polar RS300X (Polar Electro, Finland), as well as the RPE using the 0-10 Borg scale was individually asked to each participant (7).

*Statistical analysis*

The accuracy of total distance in Cooper's test, maximal HR and RPE were calculated by bias correction factor (Cb) from concordance correlation coefficient analysis. Absolute reliability was reported as the mean differences, coefficient of variation (CV,  $\sqrt{(\Sigma(\text{test1}-\text{test2})^2)/2N}$ ), the standard error of the mean (SEM) and the effect size (ES) using the *d* coefficient of Cohen. For this study an ICC < 0.50 was considered fair; from 0.50 to 0.75 was considered good and >0.75 excellent. Also, Cohen's *d* ES of 0.20 were considered small, 0.50 medium, and 0.80 large. The relative reliability was studied using the intraclass correlation coefficient (ICC) and relative CV (%CV,  $(CV/\text{mean} \cdot 100)$ ). An agreement analysis was conducted to confirm systematic and proportional bias by using Bland and Altman plots (8) and Kendall's Tau correlation coefficients.

## Results

Statistical analyses of the anthropometric and training characteristics of the sample are reported in Table 16. In this sample, inter-subject variability for total distance covered was 10.9 to 11.8 % for the distances of 1st and 2nd test respectively, which reflected the dispersion of the results around the mean of the population. The accuracy of Cooper's test was relatively high for distance (Cb= 0.994) and HR (Cb= 0.956) but low for RPE (Cb= 0.478).

Table 16.- Anthropometric and training variables of the sample

Variable		Mean	SD
<b>Weight</b>	kg	67.3	± 10.7
<b>Height</b>	cm	171.0	± 6.8
<b>Age</b>	years	34.5	± 1.9
<b>Body mass index</b>	kg/m <sup>2</sup>	22.9	± 1.5
<b>Training time</b>	years	3.66	± 4.6
<b>Km/week</b>	km	44.8	± 9.8

### *Test-retest reliability*

None significant differences were found between test 1 and 2 either for total distance or HR. Additionally, our ICC results from test-retest data indicated Cooper's test had a very good reliability for covered distance and HR (table 1). Regarding RPE, we observed a good ICC, although a significant difference were found between RPE in the first and second test ( $P < 0.001$ , Table 17).

Table 17.- Relative and absolute reliability of Cooper's test variables

Reliability	Distance 1 (m)	Distance 2 (m)	HR 1 (bpm)	HR2 (bpm)	RPE1	RPE2
<b>Mean ± SD</b>	3026 ± 330	3047 ± 359	182 ± 7.3	183 ± 5.7	8.7 ± 0.6	9.5 ± 0.5
<b>Mean diff (95%CI)</b>	20.46 (-20.22 - 61.15)		1.13 (-0.66 - 2.93)		0.8 (0.48 - 1.11)*	
<b>ICC (95%CI)</b>	0.99 (0.96-0.99)		0.93 (0.80-0.98)		0.68 (0.05-0.89)	
<b>CV (CV %)</b>	52.2 (1.7%)		2.4 (1.3%)		0.7 (7.5%)	
<b>SEM</b>	18.97		0.8387		0.1447	
<b>Cohen's d</b>	0.059		0.173		1.405	

Data in the table are from two repeated all-out Cooper's test. 1 and 2 subscripts indicate first and second Cooper's test respectively. HR, maximal heart rate during the last minute of the test; SD, standard deviation; Mean diff, mean difference between first and second test; IC, interval of confidence; ICC, intraclass correlation coefficient; CV, coefficient of variation (CV (original units) =  $\sqrt{\Sigma(\text{test1}-\text{test2})^2/n}$  ; % cv = cv/mean · 100); SEM, standard error of the mean; RPE: rate of perceived exertion (scale from 0 to 10). \*  $P < 0.001$ , for paired sample T-test.

Agreement analysis from the Bland-Altman plots did not showed systematic error for both distance (difference= -20.5 m,  $P > 0.05$ ) or maximal HR (difference= -1.1 bpm,  $P > 0.05$ ), neither proportional bias as confirmed by rank correlation coefficient between differences and mean of measurements (Panel 1).



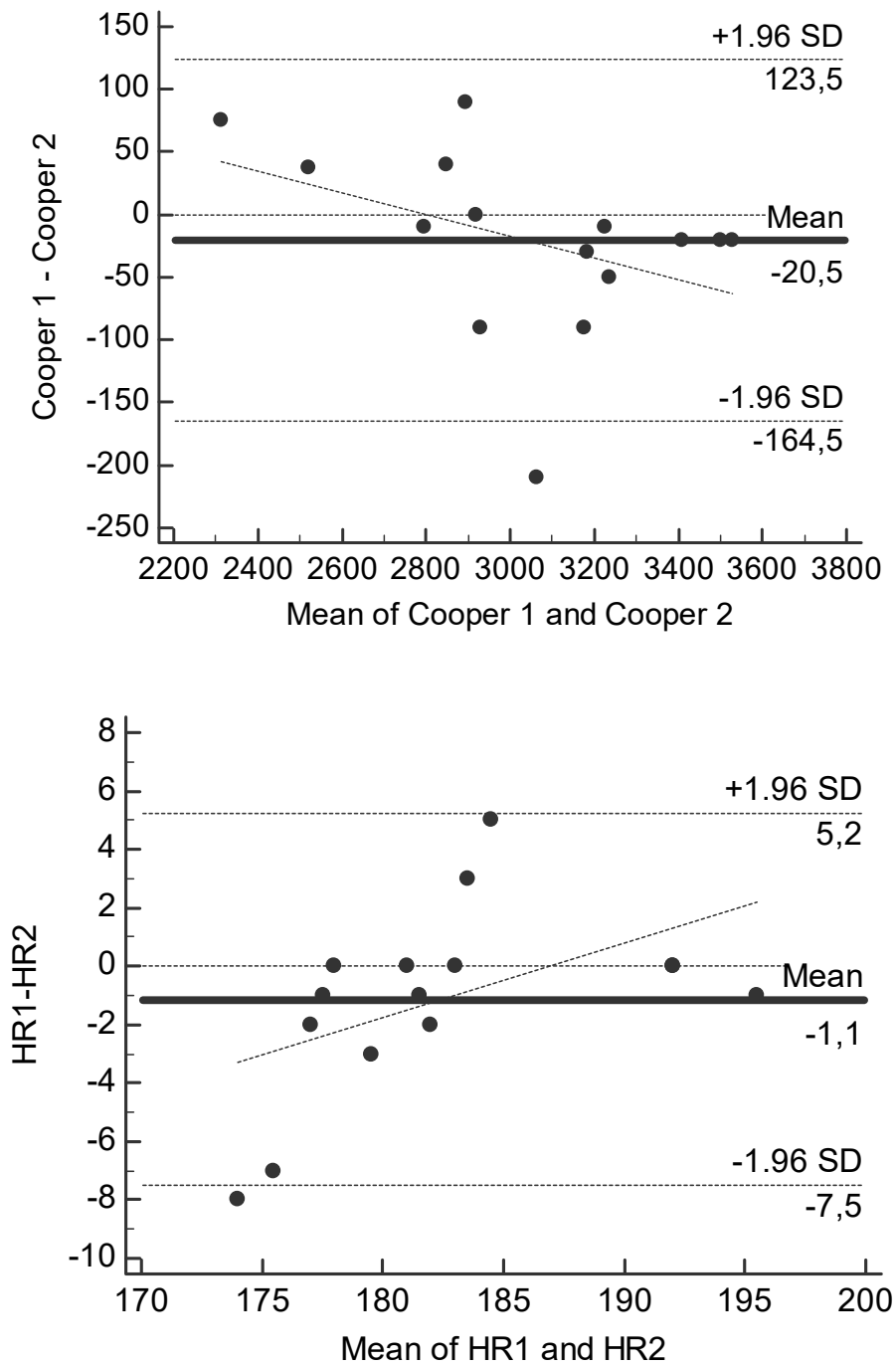


Figure 9.- Scatter plots are agreement analysis by Bland-Altman plots between the difference and the mean of the Cooper's test variables. Upper figure

represents total distance and lower figure is maximal heart rate at the end of the test. Horizontal solid lines represent zero difference; horizontal dots lines indicate mean of differences; horizontal dashed lines are limits of agreement ( $\pm 1.96$  standard deviations). Trend line indicates proportional error explored by Tau's Kendall correlation coefficient (all  $P > 0.05$ ).

## Discussion

The aim of this study was to perform a preliminary reliability and accuracy of the Cooper's test in amateur long-distance runners. Our data support a good reliability as suggested previously by other authors, who studied the reliability of Cooper's test in non-athletic samples (5,6). In spite of small differences between the two trials, CV of Cooper's test remained still around 52.2 meters, although in relative units was as low as 1.7%. This moderately high CV could be explained by the great heterogeneity of the athletic performance of the sample (range: 2350 to 3520 m -trial 1 and 2275 to 3540 m - trial 2), so the same absolute distance may represent similar percentages for high and low extremes in performance. However, far to be a limitation this may offer better generalization of our results since they included a larger range of performances and may highlight the bias of reliability data from a previous study where a more homogenous sample than ours was analyzed (6). Moreover, the ES of the differences was as low as 0.059 and the non-significant difference on covered distances between trials may indicate the good repeatability of this test.

### *Practical Applications*

Firstly, these results may be helpful for coaches and scientists when prescribing training load, reporting VO<sub>2</sub>max changes or predicting performance in order to interpret the variability of their outcomes. On the other hand, researchers could use these data in order to calculate sample size. This study is not lack of limitations, and our results could be biased by the intensity of test, so it can be argued that the athletes did not exercise at maximum or same effort in both trials. By using HR, the intensity of aerobic exercise test may be easily confirmed. In this study, all participants reached theoretical maximal HR values

as predicted from age, which may suggest both trials were performed all-1 out. In relation with heart rate reliability, it was also observed a CV among 4 and 3.1%, a low effect size of the difference (0.17), as well as very low absolute reliability for the maximal HR (1.13 bpm), all together these results suggest trial 1 and 2 were similar in intensity.

Additionally, RPE is a recognized marker of intensity and homeostatic disturbance during exercise and it is usually monitored during exercise tests to complement other dimensions of intensity (9). Garcin analyzed the reliability of the HR and RPE in progressive and constant intensity exercises, concluding that these variables are reliable and replicable in these exercises (10). Nevertheless, our results did not confirm this latter evidence and RPE had a low reliability as confirmed by the very large ES found (1.4). A plausible reason for this disagreement may related with the poor experience of athletes in using this variable.

### **Conclusion**

In conclusion our results showed that the Cooper's test is highly reliable when repeated after 48 hours as confirmed by HR and distance data. This study provided support for the Cooper's test as an accurate and reliable test to assess performance in a sample of amateur long-distance runners. Nonetheless, it must be necessary more studies in order to validate performance-related constructs with Cooper's test to confirm its utility as training tool in field settings.

### **Conflict of interest**

The authors declare to have no conflict of interest.

### **Acknowledgements**

We gratefully acknowledge the participants who dedicated their time to collaborate in this study especially to coaches Juan Vázquez Sánchez and Daniel Pérez Martínez.

## References

1. Midgley AW, McNaughton LR, Jones AM. Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Med.* 2007;37:857–80.
2. Hammersley M. Some of notes on the terms of “validity” and “reliability.” *Br Educ Res J.* 1987;13(1):73–81.
3. Dellagrana RA, Guglielmo LG, Santos BV, Hernandez SG, da Silva SG de CW. Physiological, anthropometric, strength, and muscle power characteristics correlates with running performance in young runners. *J Strength Cond Res.* 2015;29(6):1584–91.
4. Kilding AE, Fysh M, Winter EM. Relationships between pulmonary oxygen uptake kinetics and other measures of aerobic fitness in middle-and long distance runners. *Eur J Appl Physiol.* 2007;100(1):105–14.
5. Cooper KH. A mean of assessing maximal oxygen intake: correlation between field and treadmill testing. *J Am Hear Assoc.* 1968;203:135–8.
6. Penry JT, Wilcox AR, Yun J. Validity and reliability analysis of Cooper’s 12- minute run and the multistage shuttle run in healthy adults. *J Strength Cond.* 2011;25(3):597–605.
7. Borg GA V. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sport Exerc.* 1982; 14(5):377–81.
8. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986.
9. Eston R. Use of ratings of perceived exertion in sports. *Int J Sports Physiol Perform.* 2012;7(2):175–82.
10. Garcin M, Wolff M BT. Reliability of rating scales of perceived exertion and heart rate during progressive and maximal constant load exercises till exhaustion in physical education students. *Int J Sport Med.* 2003; 24(4):285–90.

#### 4.4. ESTUDIO 4: VALIDEZ DEL TEST DE COOPER PARA LA PREDICCIÓN DEL TIEMPO EN CARRERAS DE MEDIA MARATÓN: DESARROLLO DE UNA ECUACIÓN PREDICTIVA.

##### Resumen

**Introducción.** Las carreras de media maratón tienen una gran popularidad y concentran a un gran número de atletas amateur en todo el mundo, que necesitan de información objetiva para poder gestionar su esfuerzo durante la carrera. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar y validar una ecuación basada en datos obtenidos del test de Cooper, para la predicción del tiempo de carrera en media maratón, en corredores amateurs, con diferentes niveles de rendimiento y de ambos sexos.

**Método.** Participaron en el estudio, 198 corredores populares (177 varones y 21 mujeres) de  $40 \pm 6,8$  años y  $33,7 \pm 8$  años, respectivamente. Todos los corredores completaron un test de Cooper entre 7-10 días previos a una carrera de media maratón. Se realizó un estudio de regresión múltiple paso a paso para estimar los predictores del tiempo final de carrera y se estudió la validez de la ecuación frente al criterio (tiempo oficial) en sus dos niveles: validez de predicción y concurrente.

**Resultados.** Los resultados de correlación simple mostraron que el test de Cooper fue un constructo válido para estimar el tiempo de media maratón ( $r=-0,9056$ ; IC95%:  $-0,927$  a  $-0,877$ ;  $P<0,0001$ ). Además, la ecuación generada (Tiempo final (min) =  $205,6272 - 0,0356 * \text{distancia Cooper (metros)}$ ) tuvo una validez de predicción elevada ( $R^2=0,82$ ; EEE= 5,19 min y PRESS= 0,816; EEE PRESS=5,21) y un sesgo sistemático bajo (diferencia media entre el valor estimado mediante la ecuación y el criterio de  $0,48 \pm 5,2$  min (IC 95%:  $-0,24 - 1,21$ );  $P=0,188$ ). Finalmente, el coeficiente de correlación de concordancia entre el tiempo real y el estimado ( $0,9038$ ) y el análisis de sesgo proporcional (Tau de Kendall =  $-0,0799$ ; IC95%:  $-0,184$  a  $0,00453$ ;  $P=0,09$ ) confirmaron una validez concurrente muy aceptable del tiempo estimado.

**Conclusiones.** La ecuación derivada con un test de Cooper, de fácil aplicación, consiguió una alta validez de predicción y concurrente en la

estimación del tiempo en media maratón en corredores populares de ambos sexos y diferentes rendimientos, lo que confirma una buena validez de criterio y un buen grado de aplicabilidad.

Palabras clave: Test de Cooper, Predicción del rendimiento, Media maratón, validez de constructo, validez de criterio, validez concurrente.

### Abstract

**Introduction:** Half-marathon races have a great popularity and concentrated a large number of amateur athletes all around the world, whom usually need advice to set running pace during long distance races. The objective of the present study was to develop an equation to estimate half marathon time from Cooper's tests data and verify its validity.

**Methods:** One hundred ninety-eight recreational runners (177 men and 21 women,  $40 \pm 6.8$  years and  $33.7 \pm 8$  years for males and females respectively) participated in this study. All runners completed a test of Cooper 7-10 days prior to half-marathon races. A stepwise multiple regression study was performed to select main predictors of half-marathon time. We studied criterion (time race) in two levels of analysis: predictive validity and concurrent validity.

**Results:** Simple correlation analysis showed that Cooper's test was a good construct to estimate half-marathon time ( $r = -0.9056$ ;  $CI_{95\%} : -0.927$  a  $-0.877$ ;  $P < 0.0001$ ). Also, the equation developed (Final time (min) =  $205.6272 - 0.0356 * \text{distance Cooper (meters)}$ ) had a high predictive validity ( $R^2 = 0.82$ ;  $EEE = 5.19$  min y  $PRESS = 0.816$ ;  $EEE PRESS = 5.21$ ) and low systematic bias (mean differences between the predicted value and the criterion of  $0.48 \pm 5.2$  min ( $95\% CI : -0.24 - 1.21$ ),  $P = 0.188$ ). Finally, the concordance coefficient of correlation ( $0.9038$ ) and proportional bias analysis (Kendall's Tau =  $-0.0799$ ;  $95\% CI : -0.184$  a  $0.00453$ ;  $P = 0.09$ ) confirmed a good concurrent validity of the estimated time.

**Conclusion:** In this study, we derived an equation from Cooper's test data, which is to manage, has high predictive and concurrent validity and low bias. Altogether, these features may guarantee a high degree of applicability for predicting half marathon time in both male and female amateur runners.

Key words: Cooper test, Prediction performance, Half-marathon, Criterion related- validity

### **Introducción**

La mayoría de los laboratorios de fisiología del ejercicio de todo el mundo realizan pruebas de evaluación de la resistencia aeróbica en atletas como parte del control del entrenamiento o bien dentro de proyectos de investigación. Por su estrecha relación con el rendimiento deportivo (Midgley, McNaughton, & Jones, 2007), normalmente son tres las variables que se evalúan rutinariamente: el consumo máximo de oxígeno, el umbral de lactato y la economía de carrera. Sin embargo, para la mayoría de los atletas aficionados la obtención y valoración de estas variables son costosas y de difícil acceso.

Los test de campo son procedimientos que se utilizan en el ámbito deportivo para cuantificar programas de entrenamiento y para controlar las adaptaciones producidas en las distintas fases de la temporada. Los entrenadores han encontrado pruebas de campo útiles para la identificación de talentos, la medición de las capacidades funcionales y la evaluación del estado fisiológico (V. Billat, Demarle, Paiva, & Koralsztein, 2002; Heugas, Nummela, Amorim, & Billat, 2007; Nummela, Hämmäläinen, & Rusko, 2007). Recientemente se ha estudiado la precisión del test de Cooper en corredores de larga distancia, como variable que posteriormente puede predecir el tiempo realizado en carreras de media maratón (Alvero Cruz JR, Giráldez Garcia MA, 2016).

Existen trabajos que abordan la validez de los procedimientos de laboratorio en relación con el rendimiento deportivo ( Billat, Demarle, Slawinski, Paiva, & Koralsztein, 2001; Dellagrana RA, Guglielmo LG, Santos, Hernandez, da Silva, 2015; Legaz, Munguía, & Serveto, 2006), , sin embargo, existe un gran vacío en relación con los test de campo y la validación de estas pruebas para la predicción del rendimiento deportivo.

El objetivo del presente trabajo ha sido analizar la validez del test de Cooper para estimar el tiempo final de carrera en pruebas de media maratón en atletas amateurs. Por ello nuestro estudio tuvo dos objetivos complementarios: primero, estudiar los constructos relacionados con el test de Cooper y variables morfológicas para estimar el tiempo final de la media maratón (validez de

constructo); segundo, desarrollar una ecuación para la predicción del tiempo de carrera en media maratón y estudiar su validez de predicción y concurrente (validez de criterio, el criterio fue la marca oficial obtenida).

## **Métodos**

### *Participantes*

En el estudio se incluyeron 198 corredores de larga distancia (177 hombres y 21 mujeres) que participaron en 22 carreras diferentes de media maratón (con la distancia oficial de 21.097 metros certificada por la Real Federación Española de Atletismo). Se fue recabando información acerca de la participación de los diferentes atletas, en las carreras de media maratón y se les propuso la realización de un test de Cooper entre los 7 y 10 días previos a cada una de las carreras.

Se les explicaron los procedimientos y las condiciones de realización de la prueba y tras ello, los participantes firmaron el consentimiento informado. Se les advirtió, que en ninguno de los casos se les comunicaría la predicción del tiempo estimado de carrera y por tanto del ritmo de la misma, para evitar el posible sesgo de la información sobre la marca final. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Málaga.

### *Test de Cooper:*

El test de Cooper fue realizado en pistas de atletismo de 400 m sintéticas de tartán, homologadas y balizadas con conos cada 25 metros. Se consignó la distancia recorrida en metros en los doce minutos de duración del test de Cooper, la frecuencia cardiaca en pulsaciones por minuto mediante cardifrecuencímetros y la percepción subjetiva de esfuerzo, mediante la escala visual de 0-10 al finalizar dicho test (Borg, 1982). El mismo día del test, y mediante encuestas, se recogieron los siguientes datos: edad, sexo, talla, peso, tiempo de entrenamiento (años) y kilometraje semanal. La frecuencia cardiaca máxima predicha ( $FCM_{Pred}$ ) se calculó en base a la ecuación:  $220 - \text{edad (años)}$  y el índice de masa corporal (IMC) según la ecuación:  $\text{kg/m}^2$ .



*Media maratón*

Para cada participante se recogieron la marca oficial realizada en la carrera de media maratón en horas, minutos y segundos y que se transformó a un valor decimal y la frecuencia cardiaca media (FCMedia) aportada por cada atleta tras el análisis del registro de su cardiofrecuencímetro y se calculó el valor porcentual relativo a la  $FCM_{Pred}$

*Análisis estadístico*

Las variables fueron expresadas como medias y sus desviaciones estándar. Inicialmente se comprobó la normalidad de las variables mediante el test de Kolmogorov-Smirnov. Las diferencias entre sexos (muestras independientes), fueron comprobadas mediante el test T para muestras independientes o el test de Mann-Whitney cuando las variables no mostraron distribución normal. El primer paso para explorar la validez del test de Cooper para predecir el tiempo de la carrera de media maratón se realizó mediante análisis de asociación entre variables mediante los coeficientes de correlación de Pearson para variables con distribución normal o Spearman en el caso contrario. Posteriormente se realizaron análisis de diferentes niveles de validez.

La validación de constructo se realizó mediante un estudio de regresión múltiple paso a paso considerando como la variable dependiente el tiempo oficial de carrera y como variables independientes (constructos), la distancia recorrida del test de Cooper (en metros), el sexo, la FCM y el valor del esfuerzo percibido. Posteriormente, estas variables independientes se utilizaron para crear una ecuación de predicción del tiempo de carrera en media maratón (variable independiente), la cual fue posteriormente validada (validación de criterio).

La validación de criterio del tiempo estimado con la nueva ecuación se realizó en dos niveles: predicción y concurrente. El procedimiento de validación de predicción de la nueva ecuación se realizó mediante el método PRESS (Predicted REsidual Sum of Squares) (Tarpey, 2000),:

$$PRESS = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y(x_i) - \hat{y}(x_i, \text{utilizando el modelo ajustado y retirando el caso } i))^2$$

Posteriormente, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el error estándar de estimación (SEE) de la ecuación de regresión fueron comparados con los de la validación PRESS ( $R^2_{\text{PRESS}} = 1 - [\text{PRESS}/\text{suma de los cuadrados}]$  y  $\text{SEE}_{\text{PRESS}} = \sqrt{\text{PRESS}/n}$ ).

La validación concurrente entre el tiempo real y el estimado con la ecuación basada en variables del test de Cooper se efectuó mediante el análisis del coeficiente de correlación de concordancia ( $\rho_c$ ), expresado en sus componentes del factor de corrección del sesgo ( $C_b$ ) y precisión ( $r$  de Pearson), (Lin, 1989), representados gráficamente en un diagrama de dispersión simétrico con el objetivo de comparar la dispersión de los puntos con el ajuste de la recta y de esta última con la recta de correlación ideal (línea de 45 grados) entre ambas variables (tiempo real vs. tiempo estimado).

Para finalizar el análisis de validación de criterio, se realizó un análisis de concordancia con el procedimiento Bland-Altman (Bland & Altman, 1986) para confirmar el error sistemático (diferencias entre el valor calculado con la ecuación y el valor final de la prueba) y proporcional (asociación entre las diferencias y los valores medios); para el primer error, se observaron los límites de concordancia, analizaron las diferencias entre medidas mediante el test de la T de Student para datos emparejados y adicionalmente se calculó el tamaño del efecto de la diferencia entre medidas con recurso al coeficiente  $d$  de Cohen ( $d = \frac{\mu_1 - \mu_2}{SD_{\text{pooled}}}$ ) (este no es un procedimiento del análisis Bland-Altman pero añade información con respecto a la magnitud del sesgo); finalmente, el error proporcional se estudió con el coeficiente de correlación de la tau de Kendall.

Los procedimientos estadísticos fueron realizados con el programa MedCalc versión 17.0.4 para Windows y con SPSS 20.0 aceptando el nivel de significación, para todos los casos en  $P < 0,05$ .

## Resultados

Todos nuestros corredores entraron en el rango de tiempo entre 1h 10' y 2h 21'. Después de analizar todas las clasificaciones de las 22 carreras, en las páginas web oficiales, se contabilizaron un total de 41363 corredores de ambos

sexos que completaron el recorrido (Tabla 18). De todos ellos 37 corredores realizaron un tiempo inferior a 1h 10', 40385 corredores lo hicieron entre 1h 10' y 2h 21' y el resto, 941 corredores, por encima de 2h 21'.

Tabla 18. Recuento de corredores segmentados por el tiempo oficial de carrera

	Corredores	Tiempo de Carrera					
		< 1h 10'	%	1h 10' - 2h 21'	%	> 2h 21'	%
Estudio	198	0	0	198	100	0	0
22 Medias Maratones *	41363	37	0,09	40385	97,63	941	2,27

\* Información obtenida de las páginas web.

Un resumen de las características demográficas básicas y de los resultados tanto de la prueba de la media maratón, como de los test de Cooper, puede observarse en la Tabla 19. Los 198 corredores (21 mujeres y 177 hombres) completaron la media maratón, con un tiempo medio de 109,65 minutos para las mujeres (coeficiente de variación (CV) del 10,3%) y de 100,8 minutos (CV del 11,9%) para los hombres, presentando entre ambos grupos, diferencias significativas ( $P=0,0017$ ). Existen también diferencias significativas entre mujeres y hombres en las variables, edad, peso, talla e IMC (Tabla 19).

Tabla 19. Características de la muestra y variables de la media maratón y del test de Cooper

Variables		Mujeres			Hombres			P *
		n	Media	DE	n	Media	DE	
<b>Edad</b>	años	21	33,67	± 7,99	165	39,98	± 6,86	<0,001
<b>Peso</b>	kg	21	55,10	± 5,91	144	73,89	± 8,40	<0,0001
<b>Talla</b>	cm	21	162,67	± 4,27	122	175,05	± 6,33	<0,0001
<b>IMC</b>	kg/m <sup>2</sup>	21	20,78	± 1,52	122	24,27	± 2,36	<0,0001
<b>Entrenamiento</b>	años	17	4,21	± 3,57	94	3,97	± 4,90	0,24
<b>Media Maratón</b>								
<b>Tiempo de carrera</b>	min	21	109,65	± 11,30	177	100,80	± 11,99	0,0017
<b>RPE</b>		15	8,53	± 0,77 <sup>ns</sup>	69	8,67	± 0,61 <sup>ns</sup>	0,79
<b>FCMedia</b>	ppm	9	176,33	± 9,94	86	169,80	± 12,45	0,14
<b>FCMedia/FCM<sub>Pred</sub></b>	%	9	94,27	± 4,78 <sup>ns</sup>	86	94,41	± 6,97 <sup>**</sup>	0,69
<b>Test de Cooper</b>								
<b>Distancia</b>	m	21	2698,38	± 300,03	177	2943,81	± 309,09	0,0008
<b>RPE</b>		20	8,45	± 0,90	96	8,83	± 0,70	0,09
<b>FCMax</b>	ppm	15	177,40	± 11,83	103	174,66	± 11,02	0,41
<b>FCM/FCM<sub>Pred</sub></b>	%	15	95,93	± 5,57	103	96,62	± 6,55	0,73

\* Mann-Whitney test para muestras independientes (entre sexos); IMC, índice de masa corporal; RPE, percepción subjetiva de esfuerzo; FCMedia, frecuencia cardiaca media; FCMedia/FCM<sub>Pred</sub>, %FCMedia/FCM<sub>Pred</sub>; FCM, frecuencia cardiaca máxima alcanzada en el test de Cooper; FCMMax/FCM<sub>Pred</sub>, FCM relacionada a la FCM<sub>Pred</sub> (%); ns, sin diferencias con test de Cooper. \*\* Diferencias entre variables de media maratón con las del test de Cooper,  $P < 0,05$

#### *Diferencias entre sexos*

El tiempo final de la prueba fue significativamente diferente entre hombres y mujeres ( $P = 0,0017$ ), sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en las variables, percepción subjetiva de esfuerzo (RPE), frecuencia cardiaca media (FCMedia) y %FCM<sub>Pred</sub> entre hombres y mujeres en la prueba de

media maratón (todas,  $P > 0,05$ ). En ambos grupos, el %FCM<sub>Pred</sub> fue superior al 94%, (Tabla 19).

La distancia recorrida en el test de Cooper, fue mayor en los hombres que las mujeres ( $P=0,0008$ ), pero sin encontrarse diferencias en la RPE, la FCM y el ratio FCM/FCM<sub>Pred</sub> entre hombres y mujeres en el test de Cooper (todas,  $P > 0,05$ ), (Tabla 2). Entre el test de Cooper y la media maratón, se encuentran diferencias solo en hombres entre la frecuencia cardiaca ( $P < 0,007$ ) y el %FCM<sub>Pred</sub> ( $P < 0,027$ ), sin encontrarse diferencias en la RPE ( $P < 0,09$ ). Sin embargo en las mujeres no se encuentran diferencias significativas entre variables del test de Cooper y de la media maratón ( $P > 0,05$ ).

*Asociaciones entre tiempo en media maratón, las características de los corredores, las variables del test de Cooper y las variables de entrenamiento (validez de constructo)*

Se encontraron correlaciones significativas, de tipo baja-moderadas entre los metros recorridos en el test de Cooper, con los años de entrenamiento ( $r = 0,50$ ;  $P < 0,0001$ ), el IMC ( $r = -0,21$ ;  $P = 0,0089$ ) y una correlación inversa muy alta con el tiempo real de carrera ( $r = -0,906$ ;  $P < 0,0001$ ; Figura 10).

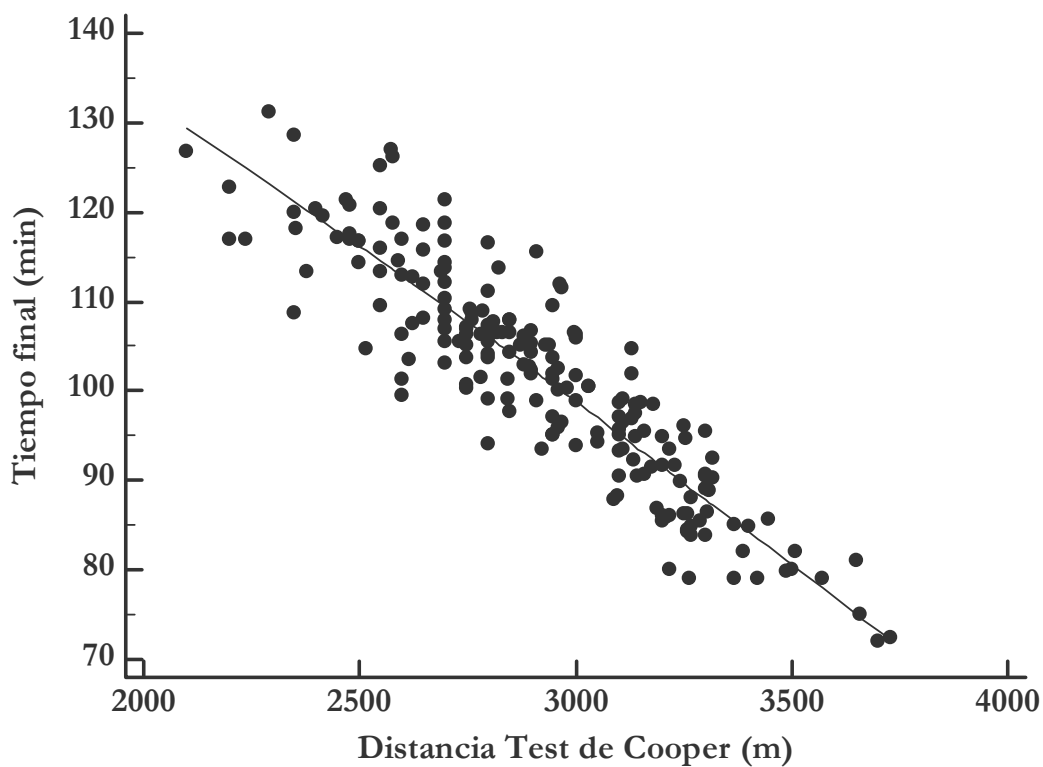


Figura 10. Relación entre la distancia recorrida en test Cooper y el tiempo final en la media maratón (n=198);  $r=-0,9056$ ; IC95%  $-0,927$  a  $-0,877$ ;  $P<0,0001$ .

#### *Análisis de regresión múltiple (validez de constructo)*

El análisis de regresión múltiple mostró que el constructo con mayor capacidad predictiva del tiempo final de media maratón fue la distancia recorrida en el test de Cooper, esta última explicó un 84,3% de la varianza del tiempo final de carrera ( $R^2= 0,843$ ;  $EEE= 1,28$  min; tabla 20).

Tabla 20. Modelo de regresión múltiple del test de Cooper (n=198)

Variable Dependiente	Variable Independiente	Coefficiente	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajust.	CCM	EEE	t	P	VIF
Tiempo de carrera (min)	Constante	205,6272	0,843	0,842	0,918	1,287			
	Cooper (m)	-0,0356					-32,4	<0,0001	1

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación; R<sup>2</sup> ajust: R<sup>2</sup> ajustado; CCM: Coeficiente de correlación múltiple; EEE: Error estándar de estimación; t: estadístico t; P: valor P; VIF: Factor de inflación de la varianza.

La ecuación final con mejor ajuste fue la que incluyó solamente la distancia recorrida en el test de Cooper:

$$\text{Tiempo final (min)} = 205,6 - 0,0356 * \text{Distancia test de Cooper (metros)}$$

#### *Validación de Criterio*

El análisis de validación del criterio (tiempo real en media maratón) mostró una validez relativamente elevada en ambos niveles. El valor de PRESS fue relativamente bajo (5382) en relación a la varianza total (29326), lo que se pudo confirmar con los valores de R<sup>2</sup> absoluto (0.820) y R<sup>2</sup>ajustado (0.819), muy próximos al valor de R<sup>2</sup>PRESS (0.816); esta misma tendencia se confirmó para los errores estándar de estimación que fueron semejantes (EEE = 5.19 min y EEE<sub>PRESS</sub>= 5.21 min).

La validación concurrente entre el tiempo medido y el estimado con la nueva ecuación mostró valores muy elevados el coeficiente de correlación de concordancia ( $\rho_c$ ) y en el factor de corrección del sesgo (C<sub>b</sub>), (Figura 11). Sin embargo, la pendiente de la relación fue 0,863, con una intercepción de 14,5 minutos, que difieren de los mismos valores de la recta perfecta de 45 grados (F=22,7; P<0,001). Estos resultados indicaron una sobreestimación cercana a los 9 minutos, aunque esta se dio principalmente en tiempos inferiores a los 80 minutos y superiores a los 120 minutos, que están fuera de los rangos de tiempos utilizados para validar la ecuación (Figura 11).

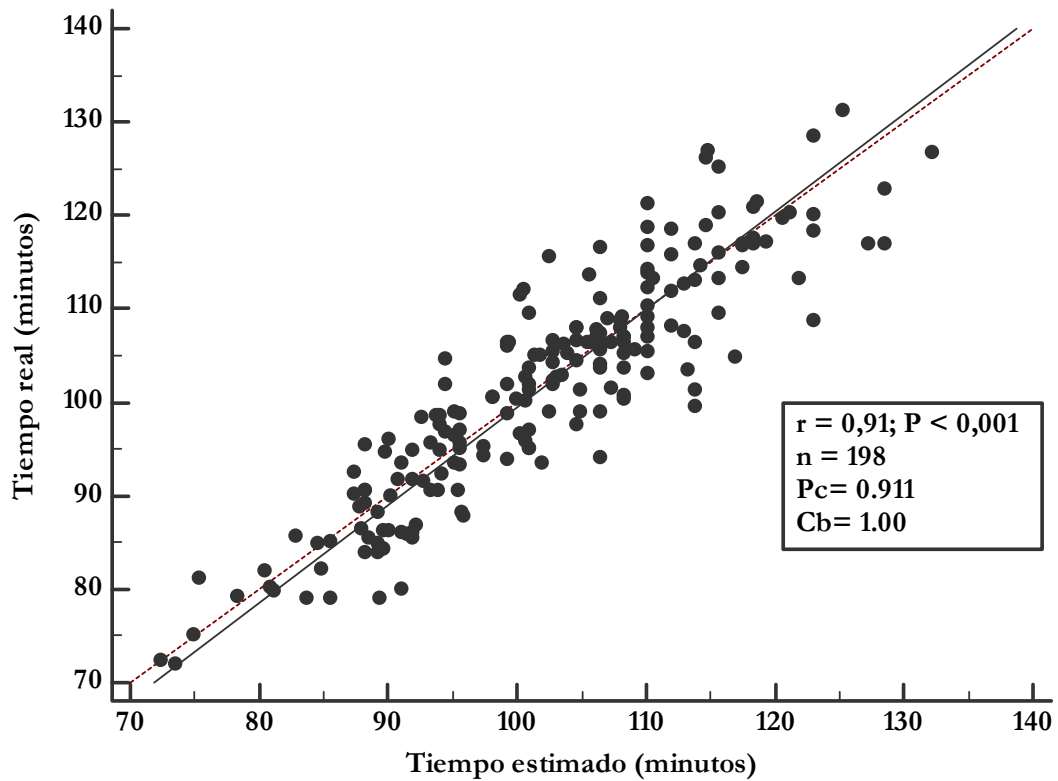


Figura 11. Diagrama de dispersión y comparación con la pendiente perfecta entre tiempo real y estimado en media maratón (177 Hombres y 21 Mujeres). La línea punteada es la línea de identidad (45 grados); la línea oscura representa la regresión entre los valores estimados y el tiempo final ( $r = 0,90$ ; IC 95%: 0,8770 a 0,9279,  $P < 0,0001$ ).  $\rho_c$  = coeficiente de correlación de concordancia Cb= Factor de corrección del sesgo.

El último análisis para la validación de criterio fue el análisis de concordancia. En el análisis gráfico de Bland & Altman (figura 12) se muestran las diferencias entre el valor calculado mediante la ecuación de predicción menos el tiempo real frente al promedio de ambos valores, encontrando intervalos de concordancia cercanos a los 10 minutos (figura 3); no se confirmó error sistemático, pues la diferencia entre medias no fue significativa (diferencia=  $0,48 \pm 5,2$  min ; IC 95% -0,24 a 1,21;  $P = 0,188$ ); tampoco se observó error proporcional



(Tau de Kendall =  $-0,0799$ ,  $P > 0,05$ ). Adicionalmente el tamaño del efecto de la diferencia entre tiempo real y estimado fue pequeño ( $d=0.15$ ).

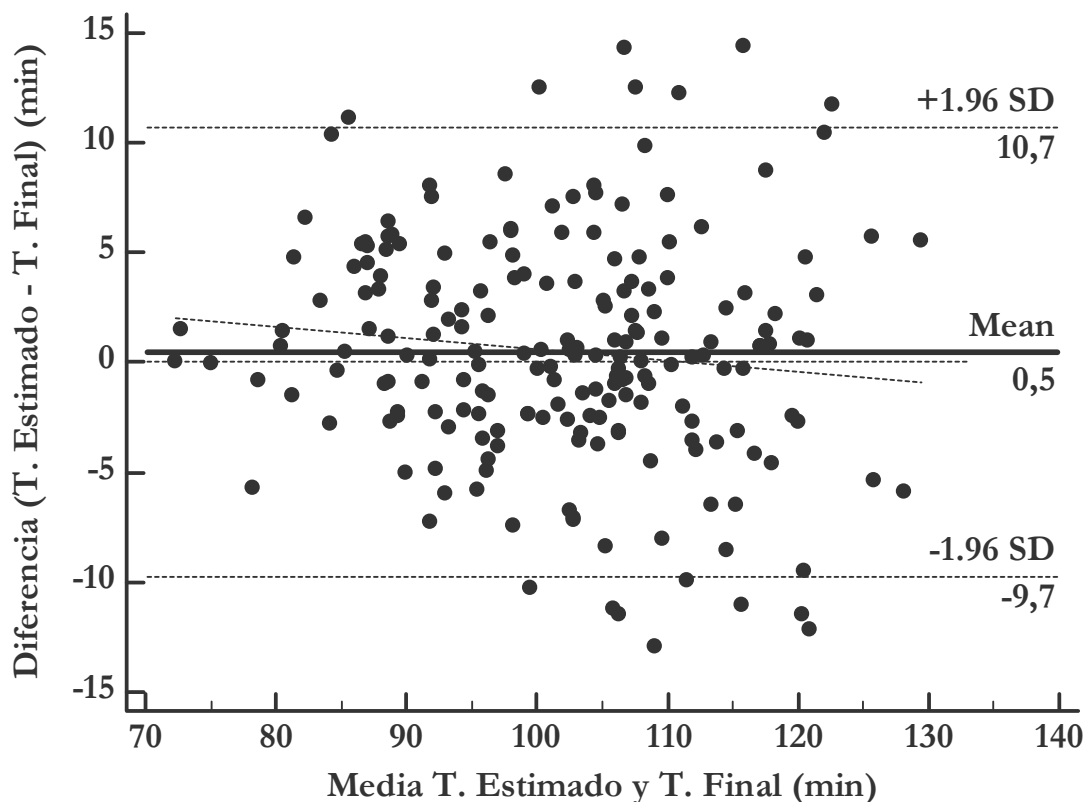


Figura 12. Análisis de concordancia. Gráfico de Bland & Altman entre la marca estimada y el tiempo real. La línea central gruesa representa la diferencia media entre métodos (error sistemático). La línea de puntos redondos es la referencia de cero. La línea de guión-punto es la línea de regresión (Tau de Kendall =  $-0,0799$ ; IC 95%  $-0,184$  a  $0,00453$ ;  $P=0,09$ ). Las líneas guión superior e inferior representan los intervalos de los límites de concordancia.

## Discusión

El objetivo de este trabajo fue investigar la validez de la ecuación generada a partir de una variable (distancia recorrida) obtenida mediante el test de Cooper, utilizada para predecir el tiempo de carrera en media maratón y comparar esa

predicción en relación al tiempo real (validez frente al criterio). La ecuación obtenida fue: Tiempo final (min) = 205,6 – 0,0356 \* Distancia test de Cooper (metros).

Las principales novedades de este estudio fueron la sencillez de la ecuación generada y la facilidad de recogida de los datos necesarios (un test de campo de 12 minutos). Adicionalmente, el análisis de tiempos realizado a partir del total de participantes en las 22 medias maratones incluidas en nuestro estudio y su comparación con las marcas realizadas por los 198 corredores incluidos en la muestra final, nos permite inferir que la ecuación derivada en este estudio, tiene una aplicación teórica sobre el 97,63% del total de corredores.

El estudio de la validez de constructo determinó una alta correlación entre la distancia recorrida en el test de Cooper y el tiempo oficial en la carrera de media maratón, además de un coeficiente de determinación elevado. La ecuación derivada de este estudio obtenida a partir de los 198 corredores de ambos sexos, presentó un  $R^2=0,843$  y un SEE de 1,28 minutos, confirmándose que la distancia recorrida durante el test de Cooper estuvo fuertemente asociada con el rendimiento en la prueba. No podemos contrastar nuestros resultados con otros, pues es la primera vez que se utilizan variables relacionadas con el test de Cooper para estimar el rendimiento final en media maratón. Sin embargo, en otros trabajos de predicción de tiempo en media maratón (Knechtle, Barandun, Knechtle, Zingg, Rosemann, 2014; Knechtle et al., 2011), se observó que variables de rendimiento externo asociadas con el entrenamiento, como por ejemplo el ritmo de carrera (Knechtle, Barandun, Knechtle, Zingg, Rosemann, 2014), la velocidad equivalente a un valor de 4 mmol/L de lactato (Roecker, Schotte, Niess, Horstmann, & Dickhuth, 1998) y el nivel de lactato correspondiente a una velocidad de 14 km/h (Muñoz I, Moreno D, Cardona C, 2012) estaban asociadas significativamente con el rendimiento de dicha prueba. Esto debe confirmar nuestras hipótesis de partida y el condicionamiento deductivo, que sugiere que un mayor rendimiento en el entrenamiento debe estar asociado con mejores marcas en las pruebas. A pesar de esta deducción, los registros de los ritmos de entrenamiento pueden estar sujetos a mayor error (Friedenreich et al., 2006; Helmerhorst, Brage, Warren, Besson, & Ekelund, 2012; Saw, Main, & Gatin, 2014; Timperio, Salmon, Rosenberg, & Bull, 2004; Torgén et al., 1997) que los resultados

de un test realizado bajo un protocolo cerrado (Currell & Jeukendrup, 2008; Schabert, Hopkins, & Hawley, 1998) y esta debe ser una de las razones por las cuales nuestros coeficientes de determinación fueron más elevados que los de estudios previos (Campbell, 1985; Friedrich M, Rüst CA, Rosemann T, Knechtle P, Barandun U, Lepers R, 2014; Knechtle B, Barandun U, Knechtle P, Zingg MA, Rosemann T, 2014; Knechtle B, Knechtle P, Barandun U, Rosemann T, 2011; Muñoz I, Moreno D, Cardona C, 2012; Roecker et al., 1998) (Campbell, 1985). Considerando que el test de campo puede estar determinado tanto por el propio rendimiento en el entrenamiento como por la propia capacidad congénita del sujeto, para reducir la variabilidad en la predicción debería incluirse información.

Uno de los requisitos fundamentales para la utilización de un test de campo en la predicción del rendimiento deportivo es que sea preciso y fiable. En el caso de este estudio se ha podido corroborar que el test de Cooper fue un test con alta precisión y (Alvero-Cruz JR, Giráldez Garcia MA, 2016), lo cual nos permite confiar en que la variabilidad de los resultados no es debida al error de medición del test.

Este estudio presenta una ecuación que predice el tiempo en la carrera de media maratón con una aceptable validez, además de una alta aplicabilidad en el contexto del entrenamiento de los corredores de media y larga distancia.

En el proceso del desarrollo de la ecuación, se manejaron más variables que finalmente no se mostraron como predictoras significativas, entre ellas, el desnivel acumulado de las carrera de media maratón, la FCMedia, ni su valor porcentual con respecto a la FCM, entre otros. En nuestro conocimiento, solamente existen dos estudios semejantes en la literatura que desarrollan ecuaciones de predicción del rendimiento en carreras de media maratón (Knechtle B, Barandun U, Knechtle P, Zingg MA, Rosemann T, 2014; Knechtle et al., 2011). En ellos se analizaron 84 corredores y 83 corredoras amateurs de media maratón, con tiempos de carrera muy similares a los valores medios de nuestro estudio (103,9 min y 125,7 min para hombres y mujeres, respectivamente). Sin embargo, sus regresiones múltiples se basaron, principalmente, en parámetros antropométricos (índice de masa corporal, pliegues de grasa y porcentaje de grasa corporal) y del entrenamiento (velocidad media de los entrenamientos). Sus resultados fueron más discretos que los nuestros (coeficientes de determinación

de 0,45-0,68), lo cual junto con los datos de validación de predicción proporcionados por los residuos del método PRESS nos garantizan un cierto grado de confianza en nuestras estimaciones; no obstante, es necesario decir que una validación externa con una muestra independiente y diferentes evaluadores confirmaría definitivamente la validación de nuestro modelo basado en el test de Cooper.

Una limitación importante de nuestro estudio es el desequilibrio entre el número de hombres y mujeres que participaron en él. En la búsqueda de un modelo de predicción diferenciado para cada género, este no fue una variable predictora, por lo cual, la ecuación hallada sería realmente válida para ambos sexos. Aunque existen diferencias en las variables básicas como la edad, el peso, la talla e IMC entre sexos, estas variables no se muestran significativas en los modelos y no otorgan una mayor potencia en la predicción del rendimiento en la carrera de media maratón. En los estudios del grupo de Knechtle y colaboradores (Knechtle B, Barandun U, Knechtle P, Zingg MA, Rosemann T, 2014) se desarrollaron dos modelos independientes, uno para cada sexo. El modelo de las mujeres obtuvo un  $R^2$  más elevado que el de los hombres de (0,68 vs. 0,44/0,45), con variables predictoras como el porcentaje de grasa y la velocidad media de entrenamiento para mujeres y el IMC o pliegues de grasa subcutánea y la velocidad media de carrera de las sesiones de entrenamiento para hombres (Knechtle B, Barandun U, Knechtle P, Zingg MA, Rosemann T, 2014; Knechtle et al., 2011). Mientras el grupo de mujeres del estudio de Knechtle estuvo formado por 83 mujeres, el nuestro solo incluyó a 21, por posible que esta variable no hubiera entrado en nuestra ecuación debido un error tipo II asociado al escaso tamaño de la muestra. Este resultado también podría explicarse porque la variabilidad introducida por el sexo ya estuviese incorporada en el propio test de Cooper, pues las mujeres presentaron un rendimiento menor tanto en el test como en la media maratón. Para superar esta limitación sería necesario incluir un rango similar de rendimiento en la prueba y en el test para ambos sexos.

Con respecto al análisis de validación concurrente, nuestros resultados son novedosos, pues raramente se muestran datos de análisis de correlación de concordancia que permitan informar de la precisión y el sesgo de la estimación en todo el rango de datos observados. Nuestros datos de  $\rho_c$  y  $C_b$  fueron

relativamente satisfactorios, sin embargo, la comparación de la pendiente entre valores estimados y reales con la ideal de 45 grados, reveló una sobreestimación superior a los 9 minutos, si bien es cierto que esta sobreestimación afectó solo al 2% de la población estudiada, concretamente, a los tiempos inferiores a 80 minutos y superiores a 120, situados fuera del rango de tiempo utilizado para validar la ecuación.

Finalmente, la evaluación de la validez de criterio con el método Bland-Altman demostró la inexistencia de error sistemático y proporcional. Los resultados obtenidos en nuestro estudio con el test de Cooper mostraron mejores valores de concordancia que aquellos obtenidos en los estudios de Knechtle (Knechtle B, Barandun U, Knechtle P, Zingg MA, Rosemann T, 2014):  $\pm 25,1$  min vs  $-9,7$  a  $10,7$  min en nuestro caso). Además, en sus estudios no se indica si encontraron sesgo proporcional mediante coeficiente de correlación de la Tau de Kendall. Estas dos limitaciones (amplios LC y un posible error proporcional) pueden estar relacionadas con la naturaleza de las variables incluidas en el modelo de predicción y con el peso de cada variable en todo el rango de valores de la variable dependiente. Por ejemplo, la utilización del IMC en la ecuación de predicción del rendimiento de una modalidad que requiere el transporte del peso corporal podría haber introducido un sesgo en la estimación del rendimiento en la prueba, pues la importancia del peso en sujetos con IMC más altos podría ser mayor que en sujetos más ligeros y probablemente requiere la necesidad de crear exponentes alométricos (Young S, 2009). En nuestro caso, la variable independiente obtenida a través del test de Cooper está condicionada por numerosas variables (el índice de masa corporal, el pico máximo de consumo de oxígeno y parámetros de función pulmonar, entre otros) (Calders P, Deforche B, Verschelde S, Bouckaert J, Chevalier F, Bassle E, Tanghe A, De Bode P, 2008) y es probable que sea este el motivo por el cual no existen otras variables que entren en el modelo final de predicción. Además, esto último debe ayudar a neutralizar el sesgo proporcional de variables individuales, pues cada una de ellas debe tener un peso diferente a lo largo del espectro de tiempos finales, el cual también debe estar contenido en el resultado final del test de Cooper.

### *Aplicación práctica*

La posibilidad de predecir la marca deportiva es de gran interés para los entrenadores y atletas. El test de Cooper es un ejercicio de fácil inclusión en el proceso de entrenamiento que, junto a la simplicidad de nuestro modelo, permitirá obtener estimaciones precisas y orientativas del rendimiento en la carrera de media maratón, conocer la marca final, orientar el ritmo de carrera (especialmente en deportistas noveles) y evitar de este modo la fatiga prematura, el abandono de la prueba y, en definitiva, una experiencia desagradable.

### **Conclusiones**

Nuestro trabajo permitió confirmar en una amplia muestra de atletas aficionados, de ambos sexos y de diferentes niveles de rendimiento, la validez del test de Cooper para predecir el tiempo de carrera en media maratón. La sencillez de ejecución del test y la simplicidad del modelo matemático generado garantizan su aplicabilidad.

Sin embargo, nuestra ecuación no está exenta de limitaciones, por lo que sería necesario un estudio de validación externa con una muestra más amplia de mujeres y la inclusión de otras variables (demográficas o de historia deportiva) para reducir parte del error del modelo.

### **Agradecimientos**

A todos los atletas y entrenadores que se han preocupado por difundir y aplicar la información del test, especialmente a Juan Vázquez Sánchez, Daniel Pérez Martínez, Juan Sarria y Agustín Molina García, grandísimos atletas y entrenadores.

### **Bibliografía**

- Alvero Cruz JR, Giráldez Garcia MA, Carnero EA. (accepted). Reliability and accuracy of Cooper's test in male long distance runners. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*. <http://doi.org/10.1016/j.ramd.2016.03.001>
- Billat, V., Demarle, A., Paiva, M., & Koralsztein, J. P. (2002). Effect of training on

- the physiological factors of performance in elite marathon runners (males and females). *International Journal of Sports Medicine*, 23(5), 336–341. <http://doi.org/10.1055/s-2002-33265>
- Billat, V. L., Demarle, A., Slawinski, J., Paiva, M., & Koralsztein, J. P. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. / Caracteristiques physiques et d ' entraînement de marathonniens de haut-niveau. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(12), 2089–2097. Retrieved from <http://articles.sirc.ca/search.cfm?id=S-799497>
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1986). *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement*. *Lancet* (Vol. 1).
- Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medecine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377–381.
- Calders P, Deforche B, Verschelde S, Bouckaert J, Chevalier F, Bassle E, Tanghe A, De Bode P, F. H. (2008). Predictors of 6-minute walk test and 12-minute walk/run test in obese children and adolescents. *Eur J Pediatr*, 167, 563–568.
- Campbell, M. J. (1985). Predicting running speed from a simple questionnaire. *British Journal of Sports Medicine*, 19(3), 142–144. <http://doi.org/10.1136/bjism.19.3.142>
- Currell, K., & Jeukendrup, A. E. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 38(4), 297–316. <http://doi.org/10.2165/00007256-200838040-00003>
- Dellagrana RA, Guglielmo LG, Santos BV, Hernandez SG, da Silva SG, de C. W. (2015). Physiological, anthropometric, strength, and muscle power characteristics correlates with running performance in young runners. *J Strength Cond Res*, 29(6), 1584–91.
- Friedenreich, C. M., Courneya, K. S., Neilson, H. K., Matthews, C. E., Willis, G., Irwin, M., Ballard-Barbash, R. (2006). Reliability and validity of the past year total physical activity questionnaire. *American Journal of Epidemiology*, 163(10), 959–970. <http://doi.org/10.1093/aje/kwj112>
- Friedrich M, Rüst CA, Rosemann T, Knechtle P, Barandun U, Lepers R, K. B. (2014). A Comparison of Anthropometric and Training Characteristics

- between Female and Male Half-Marathoners and the Relationship to Race Time. *Asian J Sports Med.*, 5(1), 10–20.
- Helmerhorst, H. J. F., Brage, S., Warren, J., Besson, H., & Ekelund, U. (2012). A systematic review of reliability and objective criterion-related validity of physical activity questionnaires. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 9(1), 103. <http://doi.org/10.1186/1479-5868-9-103>
- Heugas, A. M., Nummela, A., Amorim, M. A., & Billat, V. (2007). Multidimensional analysis of metabolism contributions involved in running track tests. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(5), 280–287. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.07.013>
- Knechtle B, Barandun U, Knechtle P, Zingg MA, Rosemann T, R. C. (2014). Prediction of half-marathon race time in recreational female and male runners. *SpringerPlus*, 3, 248.
- Knechtle B, Knechtle P, Barandun U, Rosemann T, L. R. (2011). Predictor variables for half marathon race time in recreational female runners. *Clinics (Sao Paulo)*, 66(2), 287–291.
- Knechtle, B., Rüst, Knechtle, Barandun, Lepers, R., & Rosemann, T. (2011). Predictor variables for a half marathon race time in recreational male runners. *Open Access Journal of Sports Medicine*. <http://doi.org/10.2147/OAJSM.S23027>
- Legaz Arrese, A., Munguía Izquierdo, D., & Serveto Galindo, J. R. (2006). Physiological measures associated with marathon running performance in high-level male and female homogeneous groups. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 289–295. <http://doi.org/10.1055/s-2005-865628>
- Lin, L. I. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 45(1), 255–268. <http://doi.org/10.2307/2532051>
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., & Jones, A. M. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(10), 857–880.



- Muñoz I, Moreno D, Cardona C, E.-L. J. (2012). Prediction of race pace in long distance running from blood lactate concentration around race pace. *J Hum Sport Exerc*, 7(4), 763–769.
- Nummela, A., Hämmäläinen, I., & Rusko, H. (2007). Comparison of maximal anaerobic running tests on a treadmill and track. *Journal of Sports Sciences*, 25(1), 87–96. <http://doi.org/10.1080/02640410500497717>
- Roecker, K., Schotte, O., Niess, A. M., Horstmann, T., & Dickhuth, H. H. (1998). Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(10), 1552–1557. <http://doi.org/10.1097/00005768-199810000-00014>
- Saw, A. E., Main, L. C., & Gastin, P. B. (2014). Monitoring athletes through self-report: Factors influencing implementation. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(1), 137–146. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000499>
- Schabort, E. J., Hopkins, W. G., & Hawley, J. A. (1998). Reproducibility of self-paced treadmill performance of trained endurance runners. *International Journal of Sports Medicine*, 19(1), 48–51. <http://doi.org/10.1055/s-2007-971879>
- Tarpey, T. (2000). A Note on the Prediction Sum of Squares Statistic for Restricted Least Squares. *American Statistician*, 54(2), 116–118. <http://doi.org/10.1080/00031305.2000.10474522>
- Timperio, A., Salmon, J., Rosenberg, M., & Bull, F. C. (2004). Do logbooks influence recall of physical activity in validation studies? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(7), 1181–1186. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000132268.74992.D8>
- Torgén, M., Alfredsson, L., Köster, M., Wiktorin, C., Smith, K. F., & Kilbom, Å. (1997). Reproducibility of a questionnaire for assessment of present and past physical activities. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 70(2), 107–118. <http://doi.org/10.1007/s004200050194>
- Young S, E. S. (2009). Allometry of skeletal muscle fine structure allows maintenance of aerobic capacity during ontogenetic growth. *J Exp Biol.*, 212(21), 3564–75. <http://doi.org/10.1242/jeb.029512>.



## **V – CONCLUSIONES**



## V. CONCLUSIONES

- ✓ **Primera:** Existe un gran vacío en la literatura científica, en relación a la predicción del tiempo en carreras de medio fondo y fondo, basados en los test de campo.
- ✓ **Segunda:** Las variables más predictoras de las disciplinas de medio fondo y fondo son las derivadas de los test de Laboratorio ( $v\text{VO}_2\text{max}$ ,  $\text{VO}_2\text{max}$ ), las variables de entrenamiento (ritmo de entrenamiento, carga de entrenamiento) y variables antropométricas (masa grasa, pliegues de grasa).
- ✓ **Tercera:** Se obtiene un modelo predictivo algo más potente con el Test de Cooper que con el Test de Laboratorio, para la predicción del tiempo en media maratón.
- ✓ **Cuarta:** El test de Cooper presenta una alta fiabilidad en la predicción del tiempo en media maratón.
- ✓ **Quinta:** El test de Cooper presenta una gran validez relacionada a la marca real en media maratón.
- ✓ **Sexta:** El test de Cooper se muestra como un buen instrumento y preciso para la de estimación del ritmo de carrera en media maratón, en un amplio grupo de corredores de ambos sexos.
- ✓ **Séptima:** La facilidad de ejecución de un test de Cooper hace que este, sea una herramienta de gran aplicación en la rutina diaria de entrenamiento.

