

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ENTRENAMIENTO Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

Curso Académico 2018-2019

CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA DE ENTRENAMIENTO MEDIANTE LA POTENCIA EN CARRERAS POR MONTAÑA

Training load quantification by power output in mountain runners

Autor: Alberto Ríos Fernández

Tutor: José Antonio Rodríguez Marroyo

Fecha: 08-07-2019

Vº Bº TUTOR

Vº Bº AUTOR

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue cuantificar el entrenamiento de corredores por montaña durante un periodo de tiempo de mes-mes y medio utilizando diferentes metodologías, para posteriormente tratar de determinar la validez del uso de la potencia como medio de cuantificación de la carga de entrenamiento. Además, se buscaba analizar las diferencias entre el esfuerzo desarrollado en los entrenamientos y las competiciones, establecer las características de cada entrenamiento realizado en función del nivel de rendimiento y cuantificar la carga de entrenamiento en base a la FC y el RPE. No se hallaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en ninguna de las variables analizadas entre el nivel de los sujetos, a excepción del VO_{2max} y el VO_2 analizado en el umbral anaeróbico. Se obtuvieron correlaciones medias casi perfectas ($r > 0.90$) entre los métodos basados en la potencia de carrera, y correlaciones muy altas ($r = 0.70-0.90$) entre el TSS y el método basado en la sRPE y la FC. Las relaciones entre el trabajo y el resto de métodos fueron similares a las encontradas para el TSS. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten concluir que la cuantificación de la carga de entrenamiento a través de la potencia, es un método válido en corredores por montaña. Además, se observó que el uso de la potencia es sensible a las diferencias entre entrenamientos y competiciones (al igual que ocurre con el resto de variables estudiadas) y a las diferencias en el nivel de los corredores, siendo la potencia relativa y la distribución de la potencia respecto al tiempo, mayores en los corredores de mayor nivel.

Palabras clave: carreras por montaña, entrenamiento por potencia, carga de entrenamiento, cuantificación.

ABSTRACT

The objective of this work was to quantify the training of mountain runners during a month-month and a half time period using different methodologies, to later try to determine the validity of the use of power as a method of quantifying the training load. In addition, we sought to analyze the differences between the effort developed in training and competitions, establish the characteristics of each training performed based on the level of performance and quantify the training load based on HR and RPE. No significant differences were found ($p < 0.05$) in any of the variables analyzed between the subjects' level, with the exception of VO_{2max} and the VO_2 analyzed at the anaerobic threshold. We obtained almost perfect average correlations ($r > 0.90$) between the methods based on the power of race, and very high correlations ($r = 0.70-0.90$) between the TSS and the method based on the sRPE and the HR. The relationships between the work and the rest of the methods were similar to those found for the TSS. The results obtained in this work allow us to conclude that the quantification of training load through power is a valid method in mountain runners. In addition, it was observed that the use of power is sensitive to the differences between training and competitions (same as the rest of the variables analyzed) and to the differences in the level of the runners, being the relative power and the distribution of the power with respect to time, higher in higher-level runners.

Key Words: *mountain races, power training, training load, quantification.*

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Primeros antecedentes de monitorización del entrenamiento.....	5
1.2. Cuantificación de la carga interna a través de la frecuencia cardiaca.....	6
1.3. Cuantificación de la carga interna a partir de la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE)	9
1.4. Cuantificación de la carga externa a partir de los sistemas GPS.....	12
1.5. Cuantificación de la carga externa a partir de potenciómetros en ciclismo y carrera.....	14
2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS DESARROLLADAS.....	16
2.1. Objetivos	16
2.2. Competencias desarrolladas.....	16
3. METODOLOGÍA	17
3.1. Revisión bibliográfica	17
3.2. Sujetos de estudio.....	18
3.3. Diseño experimental	18
3.4. Análisis estadístico.....	20
4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	21
5. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS.....	32
6. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	32
7. VALORACIÓN PERSONAL Y REFLEXIÓN CRÍTICA	33
8. BIBLIOGRAFÍA.....	34

1. INTRODUCCIÓN

“El objetivo final de cualquier entrenador deportivo y atleta es alcanzar el mayor rendimiento posible en un tiempo específico, preferiblemente en la competición” (Borresen y Lambert, 2009), por tanto, la prescripción de un entrenamiento adecuado y ajustado a las necesidades, características y objetivos de cada atleta, resulta determinante. Para que esta prescripción del entrenamiento sea óptima, es necesario que se realice una monitorización o cuantificación de la carga del entrenamiento (Borresen y Lambert, 2009), con el objetivo de hacer un seguimiento de los logros alcanzados, mejorando así la interacción entre entrenador y atleta (Foster, Rodríguez-Marroyo, y De Koning, 2017). La capacidad de monitorizar el entrenamiento resulta determinante para periodizar y planificar el mismo (Foster, Florhaug, Franklin, Gottschall, Hrovatin, Parker, Doleshal y Dodge, 2001), además permite “evaluar las respuestas del deportista a las cargas de trabajo y determinar la relación entre el entrenamiento y el rendimiento” (Mújika, 2006, p.1). A lo largo de la historia se ha tratado de encontrar la mejor forma para cuantificar la carga del entrenamiento, proponiendo diferentes métodos, algunos de los cuales han quedado obsoletos y otros se han ido modificando y aún se utilizan hoy en día.

1.1. Primeros antecedentes de monitorización del entrenamiento

La utilización de cronómetros para medir los tiempos de vuelta en la pista, usados por los atletas finalistas olímpicos Hannes Kolehmainen and Paavo Nurmi en el siglo pasado, puede ser considerado el primer indicio de monitorización del entrenamiento en la historia (Foster et al., 2017). Posteriormente, la “invención” del método Fartlek por Gösta Holmér, en el cual se cronometraban los segmentos para realizar entrenamientos estandarizados, y el uso pionero del entrenamiento a intervalos en los años 30 por el entrenador Woldemar Gerschler y el médico Herbert Reindell (el cual sería adoptado por prácticamente la totalidad de los atletas en los años 50, ya que permitía una fácil monitorización del entrenamiento al cuantificar el tiempo de ejecución de cada intervalo, la distancia a recorrer y el intervalo de recuperación), podrían considerarse métodos más avanzados de control y monitorización del entrenamiento, los cuales darán paso a otros métodos más sofisticados, gracias en parte al gran avance tecnológico (Foster et al., 2017).

Este avance tecnológico, que tuvo su “boom” en la década de 1980, con la invención de aparatos tales como los monitores radiotelemétricos de frecuencia cardíaca (FC), los

analizadores portátiles de lactato sanguíneo o los analizadores de gases de respuesta rápida, permitieron a la comunidad científica proporcionar un mejor análisis de las respuestas fisiológicas al entrenamiento y la competición, surgiendo el concepto de “carga interna” (Foster et al., 2017). El concepto de carga interna es definido como “el estrés fisiológico y psicológico relativo impuesto” (Halson, 2014, p. 140). No obstante, debemos tener en cuenta que la carga de entrenamiento tiene dos componentes o dimensiones, el ya mencionado componente interno, y el componente externo, definido como el trabajo realizado por el atleta medido independientemente de sus características internas; es lógico por tanto que a la hora de obtener una correcta monitorización del entrenamiento tengamos ambos componentes en cuenta (Halson, 2014).

1.2. Cuantificación de la carga interna a través de la frecuencia cardíaca

La monitorización de la FC es uno de los medios más comunes para evaluar la carga interna en los atletas (Halson, 2014). Este método se basa en la relación lineal que existe entre la FC y la tasa de consumo de oxígeno durante el ejercicio en estado estable; sin embargo, el porcentaje de FC máxima a menudo se usa tanto para prescribir como para monitorizar la intensidad (Halson, 2014). Debido a la variación diaria en la FC, que puede ser de hasta el 6,5% para la FC submáxima, es importante controlar factores como la hidratación, el medio ambiente y la medicación.

Uno de los principales métodos de cuantificación de la carga a través de la FC, es el “TRIMP” o “Training Impulse” o “Impulso de entrenamiento”, desarrollado por Banister y sus colaboradores en la década de 1970. A través de éste, se reconoció que la medición de la intensidad del entrenamiento como una función del porcentaje de reserva de frecuencia cardíaca (% HRR), multiplicada por un factor no lineal (conceptualmente equivalente a la relación entre intensidad y lactato en sangre) y multiplicado por la duración, daba un número (TRIMP) representante tanto la ganancia en la condición física, como de la fatiga acumulada en una sesión de entrenamiento ([Ecuación 1](#)) (Foster et al., 2017).

<p>TRIMP de Banister</p> <p>Hombres → TRIMP = duración (min) x $\Delta FC_{ratio} \times 0.86e^{1.67x}$</p> <p>Mujeres → TRIMP = duración (min) x $\Delta FC_{ratio} \times 0.86e^{1.67x}$</p> <p>$\Delta FC_{ratio} = (FC_{me} - FC_r) / (FC_{m\acute{a}x.} - FC_r)$</p>

Ecuación 1. Ecuaciones TRIMP propuestas por Banister en 1970, donde $e = 2.712$, $x = \Delta HR$ ratio, HR_{med} = frecuencia cardíaca promedio de la sesión, HR_r = frecuencia cardíaca en reposo y $FC_{m\acute{a}x}$ = frecuencia cardíaca máxima (Modificado de Borresen y Lambert, 2009).

En 1993 Edwards, S. propuso una modificación al modelo TRIMP, el “modelo de 5 zonas”, el cual se basa en el sumatorio de las puntuaciones obtenidas en diferentes ratios de frecuencia cardíaca. En este modelo se divide la intensidad del ejercicio en 5 zonas en función del porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima (50–60%, 60–70%, 70–80%, 80–90% y 90–100%) y se calcula el tiempo que el deportista pasa en cada zona, para posteriormente multiplicarlo por un factor variable en función de cada zona (50–60% = 1, 60–70% = 2, 70–80% = 3, 80–90% = 4 y 90–100% = 5); finalmente se suman las puntuaciones y se obtiene un TRIMP de la sesión de entrenamiento (**Ecuación 2**) (Borresen y Lambert, 2009).

<p>Modelo de Edwards</p> <p>$(T^0 Z1 \times 1) + (T^0 Z2 \times 2) + (T^0 Z3 \times 3) + (T^0 Z4 \times 4) + (T^0 Z5 \times 5)$</p>

Ecuación 2. Modelo propuesto por Edwards en 1993, para el cálculo de la intensidad del entrenamiento, donde Z1 = 50%-60% $FC_{m\acute{a}x}$, Z2 = 60%-70% $FC_{m\acute{a}x}$, Z3 = 70%-80% $FC_{m\acute{a}x}$, Z4 = 80%-90% $FC_{m\acute{a}x}$ y Z5 = 90%-100% $FC_{m\acute{a}x}$ (Modificado de Borresen y Lambert, 2009)

Unos años después, Lucía, Hoyos, Santalla, Earnest y Chicharro (2003) y Earnest, Jurca, Church, Chicharro, Hoyos y Lucia (2004), propusieron una variante a este modelo, el cual fue denominado “Trimp de Lucía” (Impellizzeri, Rampinini, Coutts, Sassi, y Marcora, 2004). En este modelo, se divide la intensidad del ejercicio en 3 zonas (zona 1: por debajo del umbral ventilatorio; zona 2: entre el umbral ventilatorio y el punto de compensación

respiratoria; y la zona 3: por encima del punto de compensación respiratoria), se calcula el tiempo que el deportista pasa en cada una de ellas y se multiplica por un coeficiente (k) en relación con cada zona (k = 1 para la zona 1, k = 2 para la zona 2 y k = 3 para la zona 3); finalmente se suman las puntuaciones ajustadas para obtener un valor de carga del entrenamiento (**Ecuación 3**) (Borresen y Lambert, 2009).

<p>TRIMP de Lucía</p> $(T^{\circ} Z1 \times 1) + (T^{\circ} Z2 \times 2) + (T^{\circ} Z3 \times 3)$
--

Ecuación 3. Modelo propuesto por Lucía y colaboradores en 2003, para el cálculo de la intensidad del entrenamiento, donde Z1 = <VT, Z2 = VT-RCP, Z3 = >RCP (Lucía et al., 2003)

Todos estos métodos, a pesar de seguir utilizándose hoy en día, presentan algunas limitaciones:

- Dificultad en el acceso a aparatos para la monitorización de la frecuencia cardiaca, requerimiento de un especialista para su implementación e interpretación, dificultad en la recolección e interpretación de los datos, además de un elevado coste económico (Impellizzeri et al., 2004).
- La FC presenta un porcentaje diario de variación que puede ser de hasta el 6,5% para la FC submáxima, debido a factores como la hidratación, el medio ambiente o la medicación por lo que es necesario tener en cuenta todas estas variables a la hora de cuantificar la carga de entrenamiento mediante la FC (Halson, 2014).
- El método TRIMP de Banister se basa en mediciones de la FC en estado estable, lo cual limita su utilización en ejercicios de carácter intermitente en los que se alternan periodos de alta y baja intensidad (Borresen y Lambert, 2009).
- Son métodos no válidos a la hora cuantificar la carga de entrenamiento en ejercicios no aeróbicos, como es el caso de los ejercicios de fuerza, ya que la frecuencia cardíaca aumenta de manera desproporcionada durante la ejecución de éstos, y las respuestas de frecuencia cardíaca requeridas para el cálculo del TRIMP no se obtienen (Foster et al., 2001; Borresen y Lambert, 2008; Borresen y Lambert, 2009).

- El método de 5 zonas de intensidad según la FC, descrito por Edwards, puede ofrecer una sobreestimación de la carga de entrenamiento cuando se ejecutan sesiones de alta intensidad, en comparación a cuando se ejecutan sesiones de baja intensidad, que podría producirse el efecto contrario (Foster et al., 2001; Borresen y Lambert, 2008).
- La ecuación TRIMP podría otorgar una importancia desproporcionada al ejercicio de alta intensidad para los deportistas que realizan un mayor porcentaje del tiempo total de entrenamiento en zonas de mayor frecuencia cardíaca, y subestimar (en comparación con el método de sesión-RPE) el efecto de baja intensidad en los entrenamientos con carga baja para aquellos que realizan un mayor porcentaje del tiempo total de entrenamiento en zonas de frecuencia cardíaca de baja intensidad (Borresen y Lambert, 2008).
- Para poder utilizar métodos de carácter más individualizado como el TRIMP de Lucía, es necesario identificar los umbrales ventilatorios mediante test de laboratorio, con instrumental sofisticado y personal cualificado, lo cual dificulta su utilización para la cuantificación de la carga.

1.3. Cuantificación de la carga interna a partir de la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE)

Con la intención de simplificar la cuantificación de la carga de entrenamiento, Foster y sus colaboradores, introdujeron un nuevo método, el RPEsesión (Rating Perceived Exertion o Percepción Subjetiva del Esfuerzo), para evitar usar datos de frecuencia cardíaca o tener que medir la intensidad o el tipo de ejercicio que se realiza (Borresen y Lambert, 2009). El RPEsesión es una calificación subjetiva de la dificultad general del entrenamiento a partir del esfuerzo percibido por parte del deportista, donde la carga se calcula multiplicando un valor que traduce la percepción de esfuerzo del deportista en una puntuación numérica de entre 0 y 10 (recogida mediante la escala RPE de Borg, [Tabla 1](#)), por la duración total de la misma (en minutos) ([Ecuación 4](#)) (McGuigan y Foster, 2004). Este método de cuantificación permite ser aplicado a los ejercicios de fuerza como el levantamiento de pesas, permitiendo obtener una unidad de carga de la sesión, ya sea multiplicando el RPE de la sesión, por la duración total, o bien por el número de repeticiones realizadas (McGuigan y Foster, 2004) ([Tabla 2](#)).

RPEsesión

Duración x RPEsesión

Ecuación 4. Método RPE sesión propuesto por Foster et al. (2001).

Tabla 1. Escala de Borg (0-10) original (Foster et al., 2001) y traducción.

Valor	Original	Traducción
0	Rest	Reposo
1	Very, very easy	Muy fácil
2	Easy	Fácil
3	Moderate	Moderado
4	Somewhat hard	Algo duro
5	Hard	Duro
6		
7	Very hard	Muy duro
8		
9		
10	Maximal	Máximo

Tabla 2. Ejemplo de cuantificación de la carga de una semana de entrenamiento utilizando el RPE y la duración total de la sesión o el número de repeticiones realizadas (extraído de McGuigan y Foster, 2004).

Day	Training activity	Session RPE	Duration (min or repetitions)	Load
Monday	Practice	6	120	720
	Weights	6	64	384
Tuesday	Practices	5	120	600
Wednesday	Match	7	180	1260
Thursday	Practice	3	60	180
	Run	3	40	120
Friday	Practice	5	120	600
	Weights	7	72	504
Saturday	Practice	6	120	720
Sunday	Run	2	25	50

Al igual que los métodos basados en la FC para cuantificar la carga de entrenamiento, los métodos basados en el RPE presentan algunas ventajas e inconvenientes. Las ventajas que presentan estos métodos son las siguientes:

- No requiere el conocimiento de las respuestas máximas al ejercicio (como la $FC_{máx.}$), además es fácil de usar (solo es necesario pedir al deportista que califique la intensidad global de la sesión y luego se multiplica por su duración), bastante confiable y consistente con los índices fisiológicos objetivos de la intensidad del entrenamiento (Foster et al., 2001).
- “Podría ser una medida más válida de la intensidad del entrenamiento que los métodos basados en la HR cuando se activan los sistemas metabólicos aeróbico y anaeróbico” (Borresen y Lambert, 2008, p. 26).

- Permite cuantificar la carga de entrenamiento de diferentes aplicaciones atléticas realizadas por el mismo deportista o varios deportistas en la misma sesión o en sesiones diferentes, utilizando un mismo método de cuantificación (Foster et al., 2001).
- Permite calcular fácilmente la carga diaria y semanal, representarla gráficamente de manera muy visual y de forma sencilla, además de ofrecer la posibilidad calcular índices accesorios de entrenamiento, como la monotonía o el “strain”, lo que podría proporcionar un índice de la probabilidad de resultados de entrenamiento desfavorables (Foster et al., 2001).

Por otro lado, los métodos basados en el RPE presentan los siguientes inconvenientes o desventajas:

- Se ve influida por numerosos factores complejos que interactúan entre ellos y de los cuales depende la percepción personal del deportista del esfuerzo realizado (Borresen y Lambert, 2008). “Estas interacciones pueden incluir concentraciones de hormonas y sustratos, rasgos de personalidad, tasa de ventilación, niveles de neurotransmisores, condiciones ambientales y estados psicológicos” (Borresen y Lambert, 2008, p. 26).
- Borresen y Lambert, en su estudio publicado en 2008 comparando las diferencias entre los métodos objetivos y subjetivos de cuantificación de la carga, señalaron que “los atletas que pasan más tiempo haciendo ejercicios de baja intensidad, el método de RPE sesión podría sobreestimar la carga de entrenamiento, mientras que para otros atletas que participan en ejercicios de alta intensidad proporcionalmente, el método de RPE sesión subestima la carga de entrenamiento en comparación con los métodos objetivos; no obstante, señalaron que se precisaba de futuros estudios para confirmarlo.

1.4. Cuantificación de la carga externa a partir de los sistemas GPS

Dadas las limitaciones que presentan los métodos anteriormente descritos existe un conjunto de deportes, que precisamente su principal característica es tener un régimen de intensidad intermitente, la aplicación de estos métodos puede no ser totalmente efectiva siendo necesario, como es en el caso del fútbol, complementar con indicadores de carga externa para obtener una medición más precisa de la carga de entrenamiento (Castellano y Casamichana, 2015). Como resultado de los desarrollos tecnológicos y el desarrollo de los sistemas de posicionamiento global (GPS), resulta mucho más sencillo evaluar automáticamente la carga externa de varios jugadores al mismo tiempo, además de permitir proporcionar una evaluación objetiva de la carga externa durante tipos específicos de

entrenamiento de fútbol, superando así el problema tradicional de falta de control sobre el contenido de entrenamiento real (Castellano y Casamichana, 2015).

Los dispositivos GPS permiten registrar datos referentes al tiempo, posición, altitud y dirección, además de registrar la frecuencia cardíaca cuando el jugador está en posesión de una banda torácica (Castellano y Casamichana, 2014). Siendo conscientes de la gran cantidad de variables (Tabla 3) que puede aportar el uso de GPS, el uso primario y más común de estos dispositivos en el mundo del deporte, ha sido describir los desplazamientos que realizan los deportistas durante la competición, extendiéndose el uso de esta tecnología a multitud de deportes como el fútbol, el fútbol sala, el fútbol playa, el fútbol 7, el fútbol australiano, el rugby, el hockey, el cricket o el tenis, en un intento de analizar el perfil físico del deportista durante la competición, detectar la fatiga durante partidos, evaluar la capacidad física del deportista o monitorizar diferentes tareas de entrenamiento (Castellano y Casamichana, 2014), permitiendo por tanto en qué medida se replican las demandas impuestas durante la competición (Aughey, 2011).

Tabla 3. Variables de análisis de carga externa procedentes de GPS y acelerometría (Extraído de Sandúa, 2018).

Variable	Referencias	Descripción	Muestra
Distancia total (m)	Cummins et al. (2013)	<ul style="list-style-type: none"> Distancia total recorrida Influida por el nivel del futbolista, su posición en el campo y la edad 	<ul style="list-style-type: none"> Élite Semi-profesionales Élite sub-19 Élite Junior Junior
Distancia relativa ($m \cdot min^{-1}$)		<ul style="list-style-type: none"> Distancia total recorrida por minuto de competición/entrenamiento Medida de intensidad La posición en el campo influye en esta variable, además de la edad 	
Patrón de actividad por zonas de velocidad ($km \cdot h^{-1}$)		<ul style="list-style-type: none"> Distancia total recorrida en cada una de las 6 zonas de velocidad establecidas (de 0 a $36 km \cdot h^{-1}$) (Tabla 6) Cada zona está vinculada a una descripción de actividad (ej. Sprint) Amplitud de las zonas variable según autores Puede reflejarse el número de acciones (n) realizadas a una determinada intensidad e incluso la distancia recorrida en cada acción 	
Frecuencia de esfuerzos ($n \cdot min^{-1}$)	Casamichana y Castellano (2015)	<ul style="list-style-type: none"> Número de acciones por minuto realizadas a una cierta intensidad, ej.: <ul style="list-style-type: none"> Número de esfuerzos por minuto $>18 km \cdot h^{-1}$ (FHS) Número de esfuerzos por minuto $>21 km \cdot h^{-1}$ (FSS) 	<ul style="list-style-type: none"> Semi-profesionales
Velocidad Pico ($km \cdot h^{-1}$)	Buchheit, Méndez-Villanueva, Simpson y Bourdon (2010b)	<ul style="list-style-type: none"> Máxima velocidad registrada durante el partido o entrenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Junior (U-13, U-14, U-15, U-16, U-17, U-18)
Aceleraciones y deceleraciones ($m \cdot s^{-2}$)	Akenhead, French, Thompson y Hayes (2014)	<ul style="list-style-type: none"> Número de aceleraciones en cada una de las 8 zonas de aceleración/deceleración establecidas (Tabla 4) 	<ul style="list-style-type: none"> Profesional
Player Load® (PL) (UA)	Casamichana, Castellano, Calleja-González, San Román y Castagna (2013)	<ul style="list-style-type: none"> Aceleración total del centro de masas Indicador válido de respuesta al entrenamiento en fútbol que recoge información de acciones específicas no relacionadas únicamente con la carrera (entradas, saltos, choques...) (Scott et al., 2013) $PL = \sqrt{((aca_{i,t} - aca_{i,t-1})^2 + (act_{i,t} - act_{i,t-1})^2 + (acv_{i,t} - acv_{i,t-1})^2) / 100}$; <i>aca</i>, aceleración en el eje anteroposterior; <i>act</i>, aceleración en el eje transversal; <i>acv</i>, aceleración en el eje vertical; <i>i</i>, hora actual; <i>t</i>, tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> Semi-profesionales
Impactos (n)	Coutinho et al. (2015)	<ul style="list-style-type: none"> Número de impactos/colisiones jugador-jugador (ej. cargas) y jugador-suelo (ej. saltos y <i>tackles</i>) por encima de cierta intensidad (fuerza G) 	<ul style="list-style-type: none"> Élite Junior (U-15, U-17, U-19)
Secuencias de Sprints Repetidos (RSS) (n)	Suárez-Arrones et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> Número de secuencias de sprints repetidos, definidas como número de veces que se encadenan 2 sprints de duración mayor a 1 segundo separados entre sí menos de 60 segundos. 	<ul style="list-style-type: none"> Élite Europea
Effindex ($m \cdot min^{-1} / \%HR_{max}$)	Suárez-Arrones et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> Medida que relaciona carga externa ($m \cdot min^{-1}$) con carga interna ($\%HR_{max}$), expresando una relación dosis-respuesta ante un determinado estímulo (ej. Partido) 	<ul style="list-style-type: none"> Élite Europea
Ratio Trabajo:Descanso (s/n)	Suárez-Arrones et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> Variable que expresa la relación entre actividad (ej. $m \cdot min^{-1}$ a $>7 km \cdot h^{-1}$) y descanso (ej. $m \cdot min^{-1}$ a $<7 km \cdot h^{-1}$) 	<ul style="list-style-type: none"> Élite Europea

La ventaja de estos dispositivos no es solo la posibilidad de ofrecernos datos sobre las demandas físicas de los jugadores, sino que además permite a los investigadores valorar aspectos técnico tácticos del juego (Castellano y Casamichana, 2014), tales como las relaciones que se establecen entre los jugadores de un equipo con relación a los rivales, o conocer cómo se desarrolla el juego desde la perspectiva táctico-estratégica, es decir, considerando las relaciones interpersonales de los jugadores que conforman un equipo entendido este como un organismo superior o “superorganism” (Duarte, Araujo, Correia y Davids, 2012 citados en Castellano y Casamichana, 2014).

1.5. Cuantificación de la carga externa a partir de potenciómetros en ciclismo y carrera

Para que los entrenadores sean más proactivos de cara a la manipulación de las dosis de entrenamientos, resulta determinante conocer la relación entre la dosis de ejercicio prescrita y el resultado o respuesta de entrenamiento esperado, lo cual se puede controlar mediante la evaluación de los cambios en la condición física y/o el rendimiento durante un período de monitoreo del entrenamiento (Sanders, Abt, Hesselink, Myers y Akubat, 2017). En el caso de los deportes individuales de carácter cíclico, como es el caso del ciclismo, entrenar y competir con un medidor de potencia (SRM, Powertap) se ha convertido en la norma de muchos ciclistas de élite, lo que hace que los datos de potencia externa (PE, W) estén fácilmente disponibles (Pinot y Grappe, 2011). “Las mediciones de PE permiten la evaluación de las zonas de entrenamiento y de intensidad de carrera del ciclista de acuerdo con sus habilidades y, por lo tanto, a su perfil de rendimiento de carrera: velocistas, escaladores y rodadores (Pinot y Grappe, 2011, p. 839). Estas zonas de intensidad basadas en la PE permiten optimizar los programas de entrenamiento (Pinot y Grappe, 2011). Según Pinot y Grappe (2011, p.839), Monod y Scherrer, ya habían determinado en la década de 1960, el “concepto de potencia crítica a partir del hecho de que el tiempo hasta el agotamiento es inversamente proporcional a la velocidad a la que se realiza el trabajo”. Por otro lado, Jones, Vanhatalo, Burnley, Morton y Poole (2010, citados en Pinot y Grappe, 2011) definieron 3 zonas de intensidad según el concepto de potencia crítica (PC): el dominio de intensidad de ejercicio severo (alta intensidad) hasta el agotamiento, para valores de tiempo entre 2 y 15 minutos (es decir, PC), el dominio de intensidad de ejercicio pesado entre el umbral de lactato (UL) y la PC y, el dominio de ejercicio de intensidad moderada por debajo del UL. La PC presenta el límite superior del dominio de ejercicio severo y el límite inferior del dominio de intensidad de ejercicio pesado. Dentro de estas 3

zonas de intensidad, Francis, Quinn, Aman y Laroche (2010, citados en Pinot y Grappe, 2011) determinaron 5 zonas de intensidad de entrenamiento: zona 1 dentro del dominio de intensidad moderada, zonas 2 - 3 dentro del dominio de intensidad pesada y zonas 4-5 dentro del dominio de intensidad severa. Sin embargo, estos estudios no ofrecieron datos sobre la curva PC-Tiempo dentro de un rango de duraciones típicamente usado por ciclistas (1s a 4 h.), por lo que Pinot y Grappe (2011) propusieron el concepto de RPP (“record power profile” o “Perfil record de potencia”, el cual corresponde a la relación entre los registros secuenciales diferenciales de PE y las duraciones de tiempo correspondientes (duraciones de carreras) durante toda una temporada de carreras. En este estudio concluyeron que el RPP está más vinculado con las diferentes zonas de intensidad de ejercicio del ciclista que con el nivel de competencia, y además puede ofrecer una especie de “tarjeta de identidad” del potencial físico del ciclista, dándonos una idea sobre su perfil de rendimiento; también es un gran reflejo de la habilidad del ciclista de acuerdo con los niveles de PE en diferentes zonas de intensidad de ejercicio y resultó ser un método innovador para el proceso de entrenamiento en bicicleta, con una optimización de las intensidades de entrenamiento para el entrenamiento basado en potencia.

En definitiva, independientemente de la metodología que se siga para interpretar los datos, el uso de potenciómetros ofrece la posibilidad de conocer las distintas zonas de entrenamiento e intensidad del ciclista, permitiendo entrenar en cada una de ellas en función de las necesidades para la competición, convirtiéndose en una herramienta más de cuantificación de la carga de entrenamiento, la cual permitirá una mayor exhaustividad y precisión en el diseño y ajuste individual de entrenamientos.

Recientemente se ha ido implantando el uso de potenciómetros en el mundo de las carreras a pie, con la intención de constituir una herramienta de medida de la carga externa de entrenamiento, ofreciendo la posibilidad de, al igual que en el ciclismo, entrenar por zonas de potencia. No obstante, aún no se han publicado estudios que demuestren la fiabilidad y validez de estos aparatos en la carrera a pie y mucho menos aún en la modalidad de carrera por montaña o “trail running”.

2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS DESARROLLADAS

2.1. Objetivos

El objetivo general de este estudio fue cuantificar el entrenamiento de corredores por montaña durante un periodo de entrenamiento utilizando diferentes metodologías.

Por otro lado, como objetivos específicos en la elaboración del presente estudio se pretendió:

- Determinar la validez del uso de la potencia como medio de cuantificación de la carga de entrenamiento en corredores por montaña.
- Cuantificar la carga de entrenamiento en base a la frecuencia cardiaca y la percepción subjetiva del esfuerzo.
- Analizar las diferencias entre el esfuerzo desarrollado en los entrenamientos y las competiciones.
- Establecer las características de los entrenamientos desarrollados por los corredores en función de su nivel de rendimiento.

2.2. Competencias desarrolladas

Las competencias que he desarrollado durante la elaboración de este trabajo son las siguientes:

- Manejar y comprender la bibliografía científica específica, tanto en inglés como en español, utilizando herramientas de búsqueda y acceso a documentación especializada.
- Desarrollar capacidad de razonamiento crítico y autocrítica, como paso fundamental para la mejora de la toma de decisiones de manera autónoma.
- Desarrollar la capacidad de adaptación y resolución de problemas, trasladando los conocimientos adquiridos a nuevos contextos, diferentes situaciones y casos prácticos.

- Desarrollar habilidades de comprensión, síntesis y redacción de texto, utilizando un vocabulario preciso y específico, y aportando referencias que den calidad y rigor científico.
- Manejar las innovaciones y herramientas tecnológicas específicas más actualizadas en el campo del entrenamiento deportivo y el análisis de la competición.
- Perfeccionar destrezas relacionadas con el manejo de recursos tecnológicos y herramientas informáticas en los procesos de comunicación, acceso y gestión de la información.
- Cuantificar cargas de entrenamiento y competición para su posterior análisis e interpretación.
- Gestionar y liderar grupos humanos manifestando empatía y habilidad en las relaciones interpersonales.
- Generar recursos y actitudes de autonomía en el aprendizaje y predisposición favorable hacia la formación permanente.

3. METODOLOGÍA

3.1. Revisión bibliográfica

Se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de la literatura científica lo más actualizada posible (2009-2018), salvo pequeñas excepciones en las que se ha recurrido a artículos más antiguos, con la intención de contextualizar el trabajo y describir los métodos de cuantificación de la carga que se han utilizado a lo largo de la historia hasta la actualidad. Para la búsqueda bibliográfica se han utilizado las bases de datos Pubmed, Dialnet y Google Scholar, introduciendo las palabras clave “quantification”, “monitoring”, “training load”, “internal training load”, “external training load”, “rate perceived exertion”, “RPE” “heart rate”, “TRIMP”, “global positioning systems”, “GPS”, “training power” y “power output”.

3.2. Sujetos de estudio

Para la elaboración del presente estudio se ha contado con 14 corredores de montaña (n=12 hombres, n=2 mujeres), con una edad de 32.0 ± 6.2 años, altura de 173.0 ± 6.6 cm, y peso de 68.6 ± 8.7 kg. Los participantes cuentan con una experiencia de entre 1 y 8 años en el entrenamiento y la competición en carreras por montaña. Cuatro de los sujetos que participaron en el estudio fueron miembros de la selección de Castilla y León de trail (3 hombres y 1 mujer). Los participantes realizaron entre 4 y 6 entrenamientos de carrera a la semana completando un volumen de entre 50 y 60 kilómetros de entrenamiento semanal. Al comienzo del estudio todos los participantes se encontraban en plenas condiciones físicas y en ausencia de lesiones. Todos los sujetos participaron de manera voluntaria y firmaron un consentimiento informado antes del comienzo del estudio.

3.3. Diseño experimental

Antes de comenzar el periodo de cuantificación de los entrenamientos todos los sujetos realizaron una prueba de esfuerzo máxima y otra submáxima para determinar su nivel de rendimiento y establecer las zonas de entrenamiento en base a la frecuencia cardiaca a la que se determinaron los umbrales ventilatorios. Las pruebas se realizaron en dos días diferentes y con un periodo de recuperación entre ambas de al menos 48 h. La prueba de esfuerzo máxima consistió en un test continuo y progresivo hasta el agotamiento sobre un tapiz rodante (h/p/cosmos Pulsar, h/p/cosmos sports & medical gmbh, Nussdorf, Germany). Durante la ejecución de la prueba, los sujetos portaron un potenciómetro de carrera Stryd (Stryd Powermeter; Stryd, Inc., Boulder, CO, USA) previamente emparejado y sincronizado con su reloj y móvil. El test comenzó a una velocidad de 6 km/h aumentando 1 km/h cada 1 min hasta que el deportista no pudo mantener la velocidad fijada. Durante toda la prueba se monitorizó la frecuencia cardiaca (Polar Vantage NV, Polar Electro Oy, Finland), velocidad y se analizaron los gases respiración a respiración (Medisoft Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Belgium). Se determinaron los parámetros máximos alcanzados durante la prueba: consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), potencia máxima y frecuencia cardiaca máxima (FC_{max}). También se hallaron los umbrales ventilatorios (Davis, 1985) y fueron expresados en consumo de oxígeno (VO_2), velocidad, frecuencia cardiaca (FC) y percepción subjetiva del esfuerzo (RPE).

En la segunda sesión de valoración los sujetos realizaron un test submáximo para determinar la economía de carrera en llano y en pendiente. Tras un calentamiento estándar de 5 min a 8 km/h y tras un periodo de aproximadamente 5 min de recuperación, que los sujetos aprovecharon para realizar estiramientos, corrieron a 13 km/h con 1% de pendiente durante 4 min. Posteriormente los sujetos recuperaron de manera pasiva sobre el tapiz durante otros 4 min para finalizar el test corriendo otros 4 min a 8 km/h con una pendiente del 15%. Durante toda la prueba se monitorizaron los gases respiración a respiración, la FC cada 5 segundos y RPE al finalizar cada minuto de las fases de esfuerzo.

Tras la realización de las pruebas de valoración los sujetos se llevaron a casa un potenciómetro stryd para cuantificar sus entrenamientos durante un mes-mes y medio. Durante todos los entrenamientos se registraron las siguientes variables: tiempo en movimiento, distancia, desnivel positivo y negativo, frecuencia cardiaca, potencia y RPE post entrenamiento (entre los 10-30 min después de acabar los entrenamientos). Además, se pidió a los sujetos que anotaran la fecha del entrenamiento y señalaran si se trataba de un entrenamiento o de una competición para facilitar el análisis y clasificación posterior. Durante este periodo se pidió a los sujetos que ejecutaran dos test para el cálculo de la potencia crítica; ambos consistieron en ejecutar en terreno llano, un esfuerzo a la máxima intensidad posible sostenible durante un tiempo determinado (3 y 10 minutos). La potencia crítica se usó para determinar el umbral funcional de potencia de acuerdo a lo establecido por Allen y Coggan (2010).

Tras el periodo de registro de los entrenamientos los se volcaron los datos a un ordenador y se analizaron a través de un software específico (Golden Cheetah v3.4). Los entrenamientos fueron analizados en base a la FC, para lo cual además de analizar la FC media de los entrenamientos se establecieron tres zonas de intensidad en función de la FC a la que se determinaron los umbrales ventilatorios (Lucía et al., 2003). Se establecieron 3 zonas de intensidad, una zona por debajo del umbral ventilatorio o aeróbico (Z1), otra entre el umbral ventilatorio y el umbral de compensación respiratorio o anaeróbico (Z2), la última zona se estableció por encima del umbral de compensación respiratoria (Z3). La carga de entrenamiento se cuantifico atendiendo a la metodología establecida por Banister, Calvert, Savage, y Bach (1975) y Lucía et al. (2003). Además, los entrenamientos fueron analizados en base a la RPE recogida al finalizar las sesiones de entrenamiento (sRPE) atendiendo a la metodología descrita por Foster et al. (2001). Por último, también se analizaron los entrenamientos teniendo en cuenta la potencia de carrera estimada con el stryd. Para ello la metodología previamente descrita y utilizada en ciclismo (Allen y Coggan, 2010) se adoptó en este estudio. Además de la potencia media de los entrenamientos se calculó la carga (TSS) en función del umbral funcional de potencia determinado (Allen y Coggan, 2010). Esta

carga se calculó utilizando la potencia de carrera normalizada como previamente se ha establecido (Allen y Coggan, 2010). Además, la TSS se determinó sustituyendo la potencia normalizada por la potencia media del entrenamiento (TSS-2). Por último, también se calculó el trabajo (KJ) realizado en los entrenamientos como indicador de carga del entrenamiento. Teniendo en cuenta todos los entrenamientos y carreras en las que participaron los sujetos se estableció el mejor registro de potencia en 5, 10 y 30 segundos, 1, 3, 5, 30, 60 y 90 min.

3.4. Análisis estadístico

Los resultados se expresan como media \pm desviación estándar (*SD*). Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de los datos. Las variables que mostraron una distribución no normal fueron transformadas logarítmicamente para su análisis. La correlación entre los diferentes métodos utilizados para calcular la carga de entrenamiento y competición se realizó usando el coeficiente de correlación de Pearson (*r*). Las correlaciones fueron clasificadas como casi perfectas, $r > 0.90$; muy altas, 0.70-0.90; altas, 0.50-0.70; moderadas, 0.30-0.50; pequeñas, 0.10-0.30; y triviales, < 0.10 . Los resultados obtenidos en los entrenamientos y en las competiciones fueron comparados utilizando una *t* de Student para datos apareados. La comparación de los entrenamientos de los corredores de la selección de Castilla y León y amateurs se realizó empleando una prueba *t* para datos independientes. Por último, los mejores valores de potencia obtenidos en función de la duración del esfuerzo se analizaron según el nivel de los corredores por medio de la prueba de Mann-Whitney. Esta misma prueba fue utilizada para comparar los resultados de las pruebas de esfuerzo entre los corredores de la selección y amateurs. Valores de $p < 0.05$ fueron considerados estadísticamente significativos. El software estadístico SPSS+ v.24.0 fue usado para este análisis.

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En las [Tablas 4 y 5](#) se muestran los resultados de las pruebas de esfuerzo realizadas antes de comenzar el estudio. Únicamente se hallaron diferencias ($p < 0.05$) entre el nivel de los sujetos en el VO_{2max} y el VO_2 analizado en el umbral anaeróbico ([Tabla 4](#)). En las pruebas submáximas realizadas en llano y en pendiente se obtuvieron similares economías de carrera entre niveles, sin embargo, el porcentaje que supuso el costo energético respecto al VO_{2max} fue menor ($p < 0.05$) en los corredores de mayor nivel. Así mismo, la relación VO_{2max} : economía de carrera en ambas condiciones fue más favorable ($p < 0.05$) en los corredores de la selección de Castilla y León.

Tabla 4. Resultados (media \pm SD) obtenidos en la prueba de esfuerzo realizada antes de comenzar el estudio.

	Media	Selección Cyl	Amateurs
VO_{2max} (ml/kg/min)	60.2 \pm 8.2	67.8 \pm 7.4	57.2 \pm 6.0*
Velocidad_{max} (km/h)	18.3 \pm 1.6	19.4 \pm 2.0	17.9 \pm 1.3
FC_{max} (ppm)	184 \pm 7	179 \pm 7	186 \pm 7
Potencia_{max} (W)	357.9 \pm 45.3	353.3 \pm 68.8	359.8 \pm 34.8
Potencia_{max} (W/kg)	5.2 \pm 0.5	5.7 \pm 0.8	5.1 \pm 0.3
VO_{2RCT} (ml/kg/min)	48.9 \pm 7.0	54.5 \pm 4.8	46.7 \pm 6.4*
%VO_{2max}	81.4 \pm 6.4	80.7 \pm 5.3	81.7 \pm 7.6
Velocidad_{RCT} (km/h)	14.7 \pm 1.6	15.8 \pm 1.9	14.3 \pm 1.3
%Velocidad_{max}	80.2 \pm 4.2	81.0 \pm 3.1	79.9 \pm 4.5
FC_{RCT} (ppm)	169 \pm 8	163 \pm 10	171 \pm 7
%FC_{max}	91.7 \pm 2.6	90.9 \pm 2.7	92.0 \pm 2.7
Potencia_{RCT} (W)	292.4 \pm 38.3	291.3 \pm 55.0	292.9 \pm 30.8
Potencia_{RCT} (W/kg)	4.3 \pm 0.5	4.7 \pm 0.6	4.1 \pm 0.3
%Potencia_{max}	81.8 \pm 4.3	82.5 \pm 3.3	81.5 \pm 4.7
RPE_{RCT}	5.8 \pm 1.3	6.0 \pm 1.4	5.7 \pm 1.4
VO_{2VT} (ml/kg/min)	36.9 \pm 3.9	38.8 \pm 4.2	36.2 \pm 3.7
%VO_{2max}	61.7 \pm 4.2	57.3 \pm 3.4	63.4 \pm 3.5
Velocidad_{VT} (km/h)	10.9 \pm 1.3	11.5 \pm 1.7	10.6 \pm 1.1
%Velocidad_{max}	59.1 \pm 3.7	59.0 \pm 4.2	59.2 \pm 3.5
FC_{VT} (ppm)	148 \pm 11	139 \pm 14	152 \pm 7
%FC_{max}	80.6 \pm 4.0	77.7 \pm 5.2	81.7 \pm 2.9
Potencia_{VT} (W)	222.9 \pm 32.7	221.3 \pm 45.4	223.5 \pm 27.9
Potencia_{VT} (W/kg)	3.3 \pm 0.4	3.6 \pm 0.5	3.2 \pm 0.3
%Potencia_{max}	62.2 \pm 3.9	62.6 \pm 5.2	62.1 \pm 3.3
RPE_{VT}	3.4 \pm 0.7	3.3 \pm 0.9	3.5 \pm 0.7

RCT, umbral de compensación respiratoria (umbral anaeróbico); RPE, percepción subjetiva del esfuerzo; VT, umbral ventilatorio (umbral aeróbico); *, diferencia significativa (p<0.05).

Tabla 5. Resultados (media±SD) de la prueba submáxima realizada en llano (1% pendiente & 13 km/h) y en pendiente (15% de pendiente & 8 km/h).

	Media	Selección CyL	Amateurs
13 km/h & 1% pendiente			
Economía (ml/kg/km)	210.1 ± 16.0	203.8 ± 3.8	212.2 ± 18.2
%VO_{2max}	77.8 ± 9.6	67.7 ± 9.2	81.2 ± 7.4*
VO_{2max}/economía (km/h)	17.0 ± 2.3	19.4 ± 2.7	16.1 ± 1.6*
8 km/h & 15% pendiente			
Economía (ml/kg/km)	396.3 ± 30.8	384.6 ± 6.1	400.2 ± 35.1
%VO_{2max}	90.1 ± 9.9	78.4 ± 8.5	94.1 ± 6.8*
VO_{2max}/economía (km/h)	9.0 ± 1.1	10.3 ± 1.1	8.5 ± 0.6*

*, diferencia significativa (p<0.05).

Tabla 6. Características medias de los entrenamientos y competiciones analizadas en el estudio.

	Media ± SD
Distancia (m)	12412.0 ± 7429.5
Desnivel positivo (m)	569.9 ± 597.4
Desnivel negativo (m)	570.5 ± 579.9
Desnivel total acumulado (m)	1140.4 ± 1174.6
Tiempo (min)	82.8 ± 62.7
FC media (ppm)	150 ± 15
% FC_{max} (min)	82.4 ± 7.8
Z1 (%)	35.7 ± 29.2
Z2 (%)	44.2 ± 24.7
Z3 (%)	20.2 ± 25.0
Z1 (min)	30.4 ± 38.0
Z2 (min)	35.9 ± 37.8
Z3 (min)	16.0 ± 29.8
Potencia media (W)	212.3 ± 62.8
Potencia media (W/kg)	3.1 ± 0.8
sRPE	5.8 ± 2.2
TSS (UA)	99.6 ± 123.8
TSS-2 (UA)	81.3 ± 59.2
Trabajo (KJ)	975.0 ± 661.4
TL-Lucía (UA)	150.3 ± 129.0
TL-Banister (UA)	134.1 ± 111.1
TL-sRPE (UA)	506.0 ± 506.4

Z1, zona de intensidad por debajo del umbral aeróbico; Z2, zona de intensidad entre el umbral aeróbico y anaeróbico; Z3, zona de intensidad por encima del umbral anaeróbico; TSS, carga de entrenamiento calculada en base a la potencia normalizada; TSS-2, carga de entrenamiento calculada en base a la potencia media; TL, carga de entrenamiento; UA, unidad arbitraria.

Las características medias de los entrenamientos y competiciones analizadas en este trabajo se muestran en la [Tabla 6](#). Las correlaciones individuales halladas entre el TSS y los demás métodos utilizados para cuantificar la carga se muestran en la [Tabla 7](#). Las correlaciones medias obtenidas entre los métodos basados en la potencia de carrera fueron casi perfectas, mientras que las halladas entre el TSS y el método basado en la sRPE y la frecuencia cardíaca se clasificaron como muy altas. Las relaciones entre el trabajo y el resto de métodos fueron similares a las encontradas para el TSS ([Tabla 8](#)).

Tabla 7. Correlaciones individuales entre el TSS y el resto de métodos utilizados para calcular la carga de entrenamiento.

	Trabajo	TSS-2	sRPE	Lucía	Banister
S1	0.98	0.96	0.92	0.93	0.93
S2	0.99	0.99	0.84	0.98	0.98
S3	0.95	0.90	0.85	0.64	0.60
S4	0.97	0.99	0.72	0.78	0.84
S5	0.79	0.83	0.29	0.65	0.83
S6	0.96	0.85	0.89	0.86	0.80
S7	0.97	0.91	0.85	0.91	0.87
S8	0.89	0.72	0.82	0.82	0.83
S9	0.84	0.97	0.91	0.86	0.85
S10	0.96	0.85	0.93	0.98	0.98
S11	0.89	0.77	0.64	0.86	0.84
S12	0.97	0.96	0.85	0.74	0.72
Media ± SD	0.93 ± 0.02	0.89 ± 0.03	0.78 ± 0.04	0.83 ± 0.03	0.84 ± 0.03
IC 95%	0.89 – 0.97	0.84 – 0.95	0.67 – 0.89	0.76 – 0.91	0.77 – 0.91

TSS, training stress score (carga de entrenamiento calculada en base a la potencia normalizada); TSS-2, carga de entrenamiento calculada en base a la potencia media. Todas las correlaciones tuvieron una $p < 0.05$.

Tabla 8. Correlaciones individuales entre el trabajo realizado en los entrenamientos y los métodos utilizados para calcular la carga de entrenamiento.

	TSS-2	sRPE	Lucía	Banister
S1	0.91	0.96	0.97	0.96
S2	0.99	0.84	0.98	0.98
S3	0.94	0.86	0.72	0.67
S4	0.90	0.72	0.78	0.84
S5	0.66	0.56	0.90	0.90
S6	0.86	0.89	0.87	0.86
S7	0.94	0.81	0.88	0.85
S8	0.81	0.82	0.82	0.83
S9	0.84	0.79	0.82	0.93
S10	0.86	0.88	0.97	0.93
S11	0.81	0.78	0.85	0.78
S12	0.92	0.86	0.80	0.78
Media ± SD	0.87 ± 0.02	0.81 ± 0.03	0.86 ± 0.02	0.86 ± 0.03
IC 95%	0.81 – 0.92	0.75 – 0.88	0.81 – 0.91	0.80 – 0.91

TSS-2, carga de entrenamiento calculada en base a la potencia media. Todas las correlaciones tuvieron una $p < 0.01$.

Los volúmenes e intensidades de entrenamiento analizadas en las competiciones fueron significativamente mayores ($p < 0.01$) a las obtenidas en los entrenamientos (Tabla 9, Figura 1). Lo cual conllevó que las cargas de trabajo obtenidas con los diferentes métodos fueran mayores ($p < 0.001$) en las competiciones. Estas se caracterizaron por tener un mayor desnivel acumulado (Tabla 9). Los entrenamientos realizados por los corredores de mayor nivel tuvieron las mismas características (i.e., desniveles) y el mismo volumen que el de los corredores amateurs (Tabla 10). La única diferencia encontrada entre los corredores fue que los de mayor nivel focalizaron más en sus entrenamientos en la zona de alta intensidad (Tabla 10; Figura 2). Además, la potencia media relativa mantenida por estos corredores fue significativamente mayor ($p < 0.001$) a la mantenida por los corredores amateurs (Tabla 7). Por último, los mejores valores de potencia en función del tiempo (Figura 3) analizados en los corredores de mayor nivel fueron mayores ($p < 0.05$). Estos resultados hay que

contemplanlos con cautela ya que pudieran estar condicionados por la baja potencia estadística (4 sujetos integrantes de la selección de Castilla y León frente a 10 sujetos amateurs) y a que hubo 5 corredores amateurs que no compitieron durante el tiempo que duró el estudio.

Tabla 9. Comparativa entre el volumen, intensidad y carga analizada en los entrenamientos y competiciones en 9 de los sujetos que participaron en el estudio.

	Entrenamiento	Competición
Distancia (m)	11061.4 ± 5313.9	25417.6 ± 11488.7*
Desnivel positivo (m)	475.2 ± 471.7	1481.6 ± 869.5*
Desnivel negativo (m)	479.2 ± 467.9	1450.4 ± 793.6*
Desnivel total acumulado (m)	954.3 ± 938.9	2932.0 ± 1647.7*
Tiempo (min)	74.4 ± 54.8	163.9 ± 75.9*
FC media (ppm)	150 ± 15	159 ± 13*
% FC_{max} (min)	81.7 ± 7.7	88.9 ± 5.5*
Z1 (min)	31.5 ± 38.4	19.6 ± 33.4*
Z2 (min)	32.2 ± 32.4	74.0 ± 61.9*
Z3 (min)	10.5 ± 14.0	72.1 ± 68.2*
Potencia media (W)	211.4 ± 63.7	222.9 ± 52.2
Potencia media (W/kg)	3.0 ± 0.8	3.3 ± 0.7*
sRPE	5.5 ± 2.1	8.6 ± 0.6*
TSS	92.2 ± 124.2	182.5 ± 84.8*
TSS-2	73.7 ± 51.9	162.7 ± 74.3*
Trabajo (KJ)	889.2 ± 565.2	1935.6 ± 885.7*
TL-Lucía (UA)	127.4 ± 91.3	384.0 ± 206.6*
TL-Banister (UA)	113.5 ± 91.3	343.3 ± 174.4*
TL-sRPE (UA)	410.0 ± 352.8	1634.7 ± 664.3*

Z1, zona de intensidad por debajo del umbral aeróbico; Z2, zona de intensidad entre el umbral aeróbico y anaeróbico; Z3, zona de intensidad por encima del umbral anaeróbico; TSS, carga de entrenamiento calculada en base a la potencia normalizada; TSS-2, carga de entrenamiento calculada en base a la potencia media; TL, carga de entrenamiento; UA, unidad arbitraria; *, diferencia significativa ($p < 0.01$).

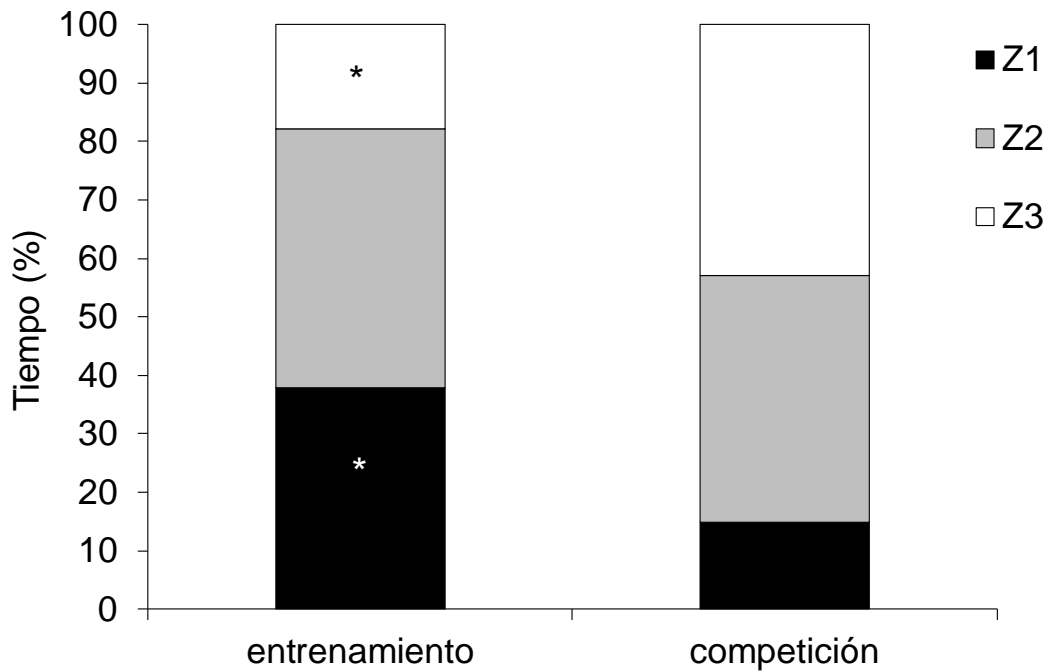


Figura 1. Distribución de la intensidad en los entrenamientos y en la competición en 9 de los sujetos que participaron en carreras durante el tiempo que duró el estudio. Z1, zona de intensidad por debajo del umbral aeróbico; Z2, zona de intensidad entre el umbral aeróbico y anaeróbico; Z3, zona de intensidad por encima del umbral anaeróbico; *, diferencia significativa ($p < 0.05$).

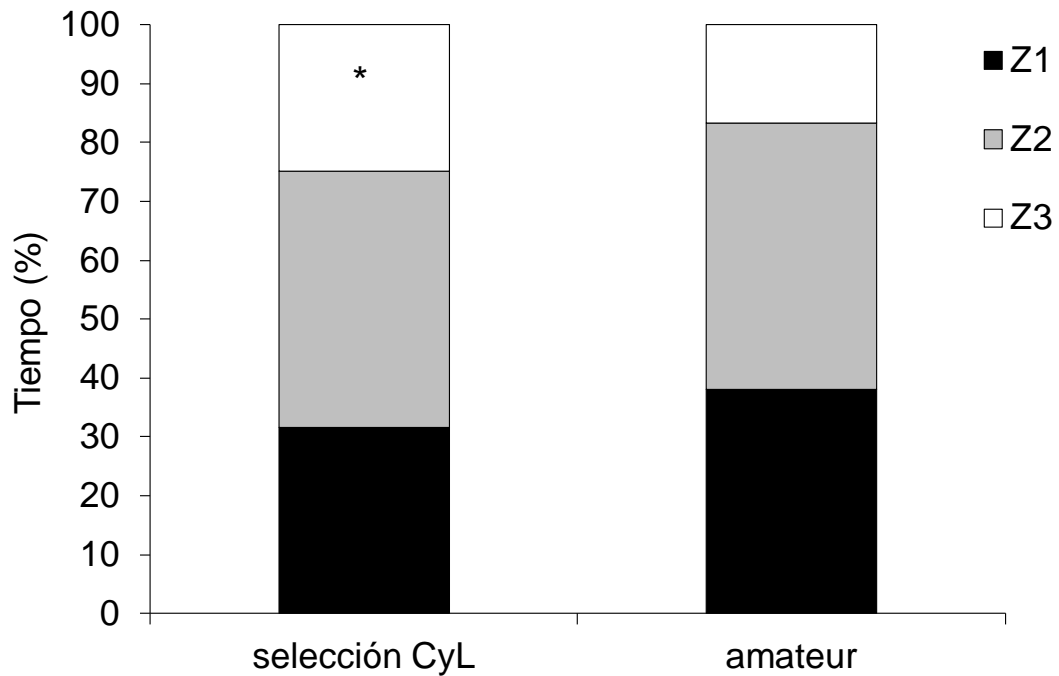


Figura 2. Distribución de la intensidad en los entrenamientos de los corredores de la selección de Castilla y León y amateurs. Z1, zona de intensidad por debajo del umbral aeróbico; Z2, zona de intensidad entre el umbral aeróbico y anaeróbico; Z3, zona de intensidad por encima del umbral anaeróbico; *, diferencia significativa ($p < 0.05$).

Tabla 10. Características de los entrenamientos analizados en los corredores integrantes de la selección de Castilla y León y los corredores amateur.

	Selección CyL	Amateurs
Distancia (m)	11617.8 ± 6057.2	10927.5 ± 5024.6
Desnivel positivo (m)	543.9 ± 533.8	442.7 ± 459.6
Desnivel negativo (m)	541.1 ± 529.0	448.3 ± 458.1
Desnivel total acumulado (m)	1085.0 ± 1062.6	891.0 ± 916.7
Tiempo (min)	70.3 ± 69.6	75.9 ± 51.8
FC media (ppm)	146 ± 12	154 ± 14*
% FC_{max} (min)	81.9 ± 6.8	82.5 ± 7.8
Z1 (min)	25.5 ± 39.6	33.0 ± 38.9
Z2 (min)	30.6 ± 33.8	33.2 ± 33.2
Z3 (min)	15.0 ± 18.4	9.7 ± 11.8*
Potencia media (W)	240.4 ± 48.0	222.7 ± 59.3
Potencia media (W/kg)	3.8 ± 0.7	3.0 ± 0.7*
sRPE	5.5 ± 2.2	5.5 ± 2.1
TSS	91.0 ± 93.9	93.4 ± 146.4
TSS-2	76.4 ± 44.6	75.0 ± 56.2
Trabajo (KJ)	988.4 ± 606.1	933.7 ± 583.0
TL-Lucía (UA)	131.7 ± 118.6	128.5 ± 81.0
TL-Banister (UA)	104.8 ± 75.0	121.2 ± 80.6
TL-sRPE (UA)	392.1 ± 443.3	409.2 ± 323.9

Z1, zona de intensidad por debajo del umbral aeróbico; Z2, zona de intensidad entre el umbral aeróbico y anaeróbico; Z3, zona de intensidad por encima del umbral anaeróbico; TSS, carga de entrenamiento calculada en base a la potencia normalizada; TSS-2, carga de entrenamiento calculada en base a la potencia media; TL, carga de entrenamiento; UA, unidad arbitraria; *, diferencia significativa ($p < 0.01$).

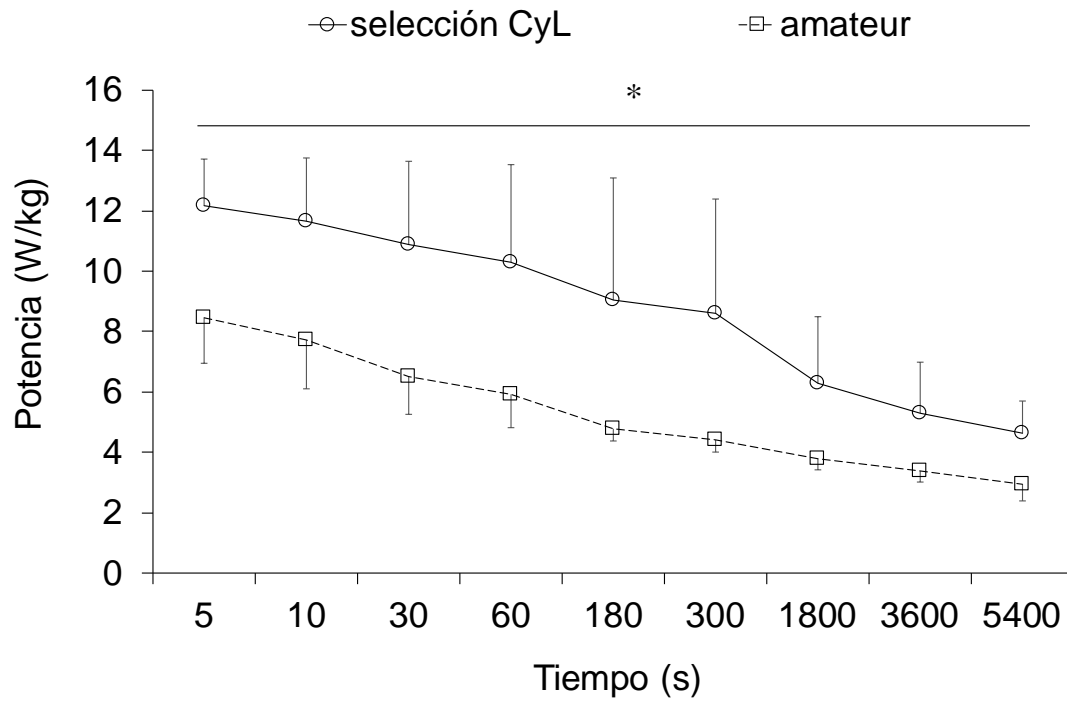


Figura 3. Mejores valores de potencia en función de la duración del esfuerzo en los corredores de la selección de Castilla y León y amateurs. *, diferencia significativa ($p < 0.05$).

5. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS

Tras la realización de este estudio y el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, se han extraído las siguientes conclusiones:

- La cuantificación de la carga de entrenamiento a través de la potencia, es un método válido en corredores de montaña.
- El uso de potencia es sensible a las diferencias entre entrenamientos y competiciones, al igual que ocurre con el resto de variables estudiadas.
- La potencia es sensible a los cambios de nivel de los corredores, siendo la potencia relativa y la distribución de la potencia respecto al tiempo, mayores en los corredores de mayor nivel, a diferencia del resto de variables analizadas, en las que las diferencias entre ambos niveles de corredores son apenas existentes, a excepción del tiempo de entrenamiento en Z3, que también es mayor en los corredores de más nivel. Esto quiere decir que los corredores de mayor nivel entrenan similar a los corredores de menor nivel, pero entrenan a una intensidad más alta.

Teniendo en cuenta estos resultados, el uso de la potencia como medio de cuantificación de la carga en corredores de montaña es válido para su uso, siendo por tanto útil el uso de potenciómetros de carrera en corredores de montaña.

6. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

La cuantificación de la carga de entrenamiento a través de la potencia ha resultado ser un método totalmente válido, abriendo un campo de investigación en el que, hasta el momento, no hay estudios o trabajos realizados.

Posibles futuras investigaciones pueden analizar las diferencias entre los valores de potencia obtenidos en carrera en llano o carrera con desnivel, observando y analizando el comportamiento de la potencia en situaciones de carrera con desnivel positivo y negativo frente a situaciones de carrera en llano. También resultaría interesante comparar los valores de potencia entre corredores de distinto nivel en una misma prueba o analizar las diferencias entre los mejores valores de potencia en función de la duración del esfuerzo. En definitiva,

tratándose de un campo novedoso de investigación existe un gran abanico de posibilidades de estudio el cual esperamos que comience a abrirse más y más a través del presente estudio.

7. VALORACIÓN PERSONAL Y REFLEXIÓN CRÍTICA

La elaboración de este trabajo ha sido para mí toda una experiencia y aprendizaje muy gratificante a la par que enriquecedora, siendo el broche final de mi paso por el master de entrenamiento y rendimiento deportivo de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de León. La ejecución de este trabajo me ha permitido experimentar la complejidad y dificultad que tiene realizar un estudio experimental con sujetos, haciéndome ver las adversidades que pueden presentarse y a su vez, posibles soluciones para afrontarlas. Además, gracias a este trabajo he podido contactar con otros profesionales que me han aportado nuevos conocimientos, además de mi tutor José Antonio Rodríguez Marroyo a quien estoy altamente agradecido por su labor de enseñanza y por la confianza depositada en mí para elaborar un estudio sin antecedentes de referencia y en el que se partía de cero para su puesta en marcha. Finalmente decir que este trabajo ha provocado en mí un alto interés por esta línea de trabajo del uso de la potencia como medio de cuantificación de la carga en carreras por montaña, lo cual me resulta altamente gratificante ya que se trata del deporte que practico y conocer más sobre él es todo un verdadero lujo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, H., y Coggan, A. (2010). *Training and Racing with a Power Meter*. VeloPress.
- Aughey, R. J. (2011). Applications of GPS technologies to field sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 295-310.
- Banister, E. W., Calvert, T. W., Savage, M. V., y Bach, T. (1975). A systems model of training for athletic performance. *Aust J Sports Med*, 7(3), 57-61.
- Borresen, J., y Lambert, M. I. (2008). Quantifying Training Load: A Comparison of Subjective and Objective Methods. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3, 16-30.
- Borresen, J., y Lambert, M. I. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports medicine*, 39(9), 779-795.
- Castellano, J., y Casamichana, D. (2014). Deporte con dispositivos de posicionamiento global (GPS): Aplicaciones y limitaciones. *Revista de Psicología del Deporte*, 23(2).
- Castellano, J., y Casamichana, D. (2015). The relationship between intensity indicators in small-sided soccer games. *Journal of Human Kinetics*, 46(1), 119-128.
- Davis, J. A. (1985). Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Medicine and Science in sports and Exercise*, 17(1), 6-21.
- Earnest, C. P., Jurca, R., Church, T., Chicharro, J. L., Hoyos, J., y Lucia, A. (2004). Relation between physical exertion and heart rate variability characteristics in professional cyclists during the Tour of Spain. *British journal of sports medicine*, 38(5), 568-575.
- Edwards, S. *The heart rate monitor book*. Sacramento (CA): Fleet Feet Press, 1993 58.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P. y Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(1), 109-115.
- Foster, C., Rodriguez-Marroyo, J. A., y De Koning, J. J. (2017). Monitoring training loads: the past, the present, and the future. *International journal of sports physiology and performance*, 12(Suppl 2), S2-2.

- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44(2), 139-147.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A. L. D. O., y Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(6), 1042-1047.
- Lucía, A., Hoyos, J., Santalla, A., Earnest, C., y Chicharro, J. L. (2003). Tour de France versus Vuelta a España: which is harder?. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(5), 872-878.
- McGuigan, M. R., y Foster, C. (2004). A New Approach to Monitoring Resistance Training. *Strength & Conditioning Journal*, 26(6), 42-47.
- Mújika, I. (2006). Métodos de cuantificación de las cargas de entrenamiento y competición. *Kronos: Revista Universitaria de la Actividad física y el Deporte*, (10), 45-54.
- Pinot, J., y Grappe, F. (2011). The Record Power Profile to Assess Performance in Elite Cyclists. *Int J Sports Med*, 32, 839-844.
- Sanders, D., Abt, G., Hesselink, M. K., Myers, T., y Akubat, I. (2017). Methods of monitoring training load and their relationships to changes in fitness and performance in competitive road cyclists. *International journal of sports physiology and performance*, 12(5), 668-675.
- Sandúa Escribano, M. (2018). Validación de la TOM-Scale como herramienta para programar la carga de entrenamiento en jóvenes futbolistas; TOM-Scale validation for quantifying young soccer players training load.
- Sweet, T. W., Foster, C., McGuigan, M. R., y Brice, G. (2004). Quantitation of resistance training using the session rating of perceived exertion method. *The journal of strength & conditioning research*, 18(4), 796-802.