

# COMPARACIÓN DE CUATRO MODELOS DE CUANTIFICACIÓN Y SU RELACIÓN CON LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA

---

MÁSTER DE ALTO RENDIMIENTO Y SALUD  
2014-2015

D. Alejandro Javaloyes Torres

CO-TUTOR:

D. José Manuel Sarabia Marín

TUTOR ACADÉMICO:

Dr. Manuel Moya Ramón

LABORATORIO DE ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO

# ÍNDICE

<b>RESUMEN/ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>MÉTODO.....</b>	<b>7</b>
PARTICIPANTES.....	7
DISEÑO EXPERIMENTAL .....	8
PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS Y REGISTROS .....	9
<i>Registro y análisis de VFC.</i> .....	9
<i>Wingate</i> .....	10
<i>Test gradual máximo.</i> .....	10
<i>3' All-Out Test.</i> .....	11
<i>Percepción subjetiva del esfuerzo y de la fatiga.</i> .....	11
CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA DE ENTRENAMIENTO.....	12
<i>TRIMP de Banister</i> .....	12
<i>RPE de la sesión</i> .....	13
<i>Training Stress Score (TSS)</i> .....	13
<i>TRIMP de Hayes &amp; Quinn</i> .....	14
ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	14
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>15</b>

## Resumen/Abstract

Los modelos de cuantificación pretenden analizar la respuesta al entrenamiento, controlar el proceso adaptativo que se produce y de esta forma hacer más efectivas las sesiones de entrenamiento así como los períodos de recuperación, especialmente en deportes con altos volúmenes, como por ejemplo el ciclismo en ruta. Existen diversos modelos, cada uno de ellos con sus ventajas y limitaciones. Por otro lado, variabilidad de la frecuencia cardíaca es un método para evaluar la respuesta del sistema nervioso autónomo de forma rápida, fiable y no invasiva, por lo que permite nuevas posibilidades en el análisis y control de la carga de entrenamiento y su relación con los valores obtenidos, ya que el ejercicio físico produce cambios en la regulación del sistema nervioso autónomo. Los objetivos del presente trabajo final de máster son, por un lado comparar un nuevo modelo de cuantificación de la carga con otros validados por la comunidad científica para ciclistas de carretera, y por otro lado discernir cuál de los modelos de cuantificación propuestos es mejor para controlar la carga de entrenamiento en ciclistas, utilizando la variabilidad de la frecuencia cardíaca para correlacionar con los cómputos de carga obtenidos, en el dominio del tiempo y de la frecuencia.

Palabras clave:

Ciclismo; VFC; cuantificación; control; fatiga

Quantification models aim to analyze the response to training, adaptive control process and make more effective training and recovery, especially in sports with high volumes of training, such as road cycling. Furthermore, heart rate variability is a validated method for assessing the response of the autonomic nervous system quickly, reliably and noninvasively. This tool enables new possibilities to control the training load as the regulation of the autonomic nervous system undergoes changes as a result of exercise, among others. The objectives of this study are, on the one hand to compare a new model of quantifying load with others validated by the scientific community; on the other hand, to discern which model is better for quantification training load in road cyclist, using the heart rate variability to correlate with the counts obtained by quantification models.

Key words:

Cycling; HRV; quantification; control; fatigue

## Introducción

La meta de cualquier entrenador o preparador físico para su deportista es conseguir que éste obtenga su máximo rendimiento en un día o período de tiempo específico, preferiblemente en competición (Borresen & Lambert, 2009). Este proceso requiere controlar todas las variables posibles e intentar predecir que consecuencia tendrán, con el fin de aumentar la precisión del entrenamiento e intentar alcanzar los objetivos con las mayores garantías posibles. Durante muchos años se han desarrollado métodos y estrategias para controlar y planificar la respuesta de estas variables que influyen en el rendimiento. Una de estas variables es la carga de entrenamiento, la cual se ha intentado cuantificar con el fin de convertirla en un valor objetivo que se pueda medir y controlar. En determinados deportes en los que los deportistas ponen su cuerpo al límite, tanto entrenando como compitiendo, cuantificar y controlar el proceso de entrenamiento es de vital importancia para optimizar el tiempo y el proceso adaptativo y no caer en procesos de fatiga crónica. Un ejemplo es el ciclismo de carretera, en el que, debido a las exigencias competitivas y de entrenamiento, es necesario un control muy preciso, que además tenga en cuenta cómo responde el organismo a los esfuerzos a los que se ve sometido.

Existen diversos modelos para cuantificar la carga, basados tanto en aspectos subjetivos como en objetivos (Borresen & Lambert, 2008; Borresen & Lambert, 2009; Jobson, Passfield, Atkinson, Barton, & Scarf, 2009), aunque todos con el mismo fin de controlar y mejorar el proceso de entrenamiento así como predecir las adaptaciones físicas producidas por el mismo. En primer lugar aparecen los modelos más subjetivos, como el uso de cuestionarios que el sujeto rellena con el fin de conocer su estado, estos suponen un bajo coste económico y la posibilidad de suministrar a mucha población de forma rápida (W. G. Hopkins, 1991); otros basados en la percepción que el sujeto tiene de un determinado esfuerzo (percepción subjetiva del esfuerzo; RPE) y la duración (volumen) de la sesión de entrenamiento (Sweet, Foster, McGuigan, & Brice, 2004), entre otros. Éstos tienen como principal limitación que están basados en la sensación que tienen el sujeto durante y después del entrenamiento, por lo que es dependiente del momento en el que se recoge la información, además de la

experiencia del deportista, el tipo de fibra muscular implicada o el orden en que se ejecutan los diversos tipos de ejercicios dentro de una misma sesión (Day, McGuigan, BRICE, & Foster, 2004; Sweet et al., 2004). En segundo lugar, se encuentran aquellos que tienen en cuenta factores más objetivos y mensurables para el cálculo o la cuantificación de la intensidad. El modelo de los impulsos de entrenamiento o "training impulse" (TRIMPS) (Banister, Calvert, Savage, & Bach, 1975; R. Morton, Fitz-Clarke, & Banister, 1990) , basado en la frecuencia cardíaca como indicador interno (respuesta del organismo) de la intensidad del ejercicio (Banister et al., 1975; Calvert, Banister, Savage, & Bach, 1976; R. Morton et al., 1990), es uno de los más extendidos y utilizados, debido a su precisión y facilidad de uso, ya que solo requiere registrar la frecuencia cardíaca y la duración del ejercicio. Se han realizado diversas variaciones y modificaciones, adaptadas a diferentes deportes, como por ejemplo a la natación (Mujika et al., 1996). La limitación principal de los modelos mencionados anteriormente es que no tienen en cuenta el factor densidad (recuperación) de la carga de entrenamiento. Además, las variables utilizadas como medidas de intensidad son, en algunos casos, escalas arbitrarias asignadas por los autores en función de su experiencia. En tercer lugar, existen modelos en los que el control de la intensidad del ejercicio se realiza mediante indicadores externos (estímulo al que se somete al organismo), como por ejemplo la potencia (P) que realiza un ciclista pedaleando. Un ejemplo de método de cuantificación por potencia es el Training Stress Score (TSS) (Allen & Coggan, 2010) que utiliza las variables de P y volumen para el control de la carga de entrenamiento. Estos métodos siguen teniendo limitaciones similares a los basados en frecuencia cardíaca, como la ausencia del parámetro densidad, pero sustituyen el indicador interno de la intensidad (frecuencia cardíaca) por otro externo más objetivo (potencia, velocidad, etc.). Por último los modelos triparamétricos (Hayes & Quinn, 2009; W. Hopkins, Edmond, Hamilton, Macfarlane, & Ross, 1989; R. H. Morton & Hodgson, 1996), que pretenden aumentar la precisión en la cuantificación de la carga y resolver algunas limitaciones de otros ya mencionadas. Estos implican utilizar como variable principal la potencia o velocidad crítica (W. Hopkins et al., 1989; R. H. Morton & Hodgson, 1996), basados en tres conceptos: la potencia crítica ( $P_{crit}$ ) o velocidad crítica ( $V_{crit}$ ), que es definida como la potencia o velocidad que puede ser mantenida en el tiempo sin que aparezca la fatiga (Hill, 1993; Monod & Scherrer,

1965), la capacidad anaeróbica de trabajo (AWC) y la potencia máxima ( $P_{m\acute{a}x}$ ). Entre estos, se encuentra el modelo de Hayes & Quinn (Hayes & Quinn, 2009), un modelo bioenergético, basado en tres parámetros (Intensidad, Concentración y Distancia). Todos estos modelos están realizados principalmente para aplicar a deportes individuales de resistencia, como el ciclismo de carretera.

Pero, ¿cómo reacciona el cuerpo del deportista a una carga y cómo se manifiesta? ¿Se puede saber si la carga es efectiva o no? ¿Qué modelo de cuantificación es más preciso a la hora de predecir el efecto que una carga tiene sobre el deportista? Uno de los efectos que se producen como consecuencia del ejercicio físico es la fluctuación en la regulación del sistema nervioso autónomo (SNA)(Karim, Hasan, & Ali, 2011), que controla las acciones involuntarias (respiración, contracción del miocardio, sudoración, etc.), a través de sus dos ramas, simpática (tiende a aumentar la actividad, como por ejemplo aumentando la frecuencia cardíaca) y parasimpática o vagal (reduce). Por lo tanto, ante situaciones de estrés (físico, psicológico) la activación de la rama simpática aumentará, ocurrirá lo contrario con la actividad parasimpática, que se verá activada más por situaciones de menos estrés o durante el descanso (Karim et al., 2011). Estos cambios en la regulación del SNA se pueden registrar de una forma no invasiva mediante el control de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (Karim et al., 2011; Plews, Laursen, Stanley, Kilding, & Buchheit, 2013; Schmitt et al., 2013), esto es debido a que la contracción del corazón está controlada por el SNA a través del nódulo sinoauricular que es donde se genera el impulso eléctrico que desencadena el proceso contráctil del miocardio. Por lo tanto, a través del análisis de la distancia entre segmentos R-R podemos observar mayor actividad, simpática o vagal, comparándolo con medidas basales propias de cada individuo. Está ampliamente demostrado que la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) es un método que permite controlar el estado del SNA de un modo no invasivo (Karim et al., 2011; Sookan & McKune, 2012; Xhyheri, Manfrini, Mazzolini, Pizzi, & Bugiardini, 2012). Monitorizar la VFC en situaciones de reposo o post-ejercicio, permite controlar la adaptación al entrenamiento y de esta forma realizar una planificación y control diario del deportista atendiendo a su recuperación o fatiga y su asimilación o no de la carga de

entrenamiento (Karim et al., 2011; Manso, 2013; Plews, Laursen, Kilding, & Buchheit, 2012; Plews et al., 2013).

Por lo tanto, conocer si diversos tipos de cuantificación reflejan cambios en el estado del deportista y con qué precisión es un tema que la literatura científica actual ha tratado muy poco (Wallace, Slattery, & Coutts, 2014).

Los objetivos del presente trabajo son: 1. Comparar el modelo bioenergético de Hayes & Quinn en el deporte del ciclismo de carretera (Hayes & Quinn, 2009) con otros modelos de cuantificación de la carga validados científicamente. 2. Intentar averiguar qué modelo (RPE, TRIMP, TSS o el modelo bioenergético de Hayes & Quinn) se ajusta mejor para controlar las cargas de entrenamiento y su efecto en ciclistas, utilizando la VFC en el dominio del tiempo y la frecuencia como parámetros de respuesta al entrenamiento para correlacionar con los cálculos de carga obtenidos con los diferentes sistemas.

## Método

### Participantes

Participaron en el estudio de forma voluntaria 9 hombres, ciclistas de carretera bien entrenados con una experiencia previa mayor de 5 años (Tabla 1). El estudio fue aprobado por el comité ético de la Universidad Miguel Hernández de Elche y los participantes firmaron un consentimiento informado de participación en el estudio.

	Promedio	DT
Edad (años)	33.52	11.3
VO <sub>2</sub> máx (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	59.3	5.69
PAM* (w·kg <sup>-1</sup> )	4.19	0.48
Peso (Kg)	77.19	5.23
Altura (cm)	179.04	5.16
% Graso	11.26	3.71

\*PAM (Potencia aeróbica máxima)

Tabla 1. Características de los participantes

## Diseño experimental

Previo al comienzo del registro de las sesiones de entrenamiento, se realizaron dos semanas de familiarización con los protocolos de registro de datos y manejo del instrumental a fin de evitar fallos y errores en los registros. Durante la segunda semana de familiarización, se registró la frecuencia cardíaca matutina en reposo (Sookan & McKune, 2012) para determinar los valores basales de la VFC. La semana previa al registro, se realizaron los test para determinar el rendimiento de los sujetos y obtener los datos necesarios para la utilización de los 3 métodos de cuantificación. Se realizaron 3 test y se llevaron a cabo en dos días no consecutivos: 1) un test Wingate (Bar-Or, 1987) y un test gradual máximo (Pettitt, Clark, Ebner, Sedgeman, & Murray, 2013), con un descanso entre ambos de al menos 15 minutos (Anni Vanhatalo & Jones, 2009); 2) un 3' All-out test (A. Vanhatalo, Doust, & Burnley, 2007). Durante estas 2 semanas no se realizó entrenamientos de alta intensidad y el día previo a los test los participantes no debían realizar ejercicio físico.

SEMANAS PREVIAS AL REGISTRO			REGISTRO DE DATOS
SEMANA PREVIA 1	SEMANA PREVIA 2	SEMANA PREVIA 3	SEMANAS 1-8
FAMILIARIZACIÓN PROTOCOLO VFC	REGISTRO VFC BASAL	TEST WINGATE & INCREMENTAL	VFC
FAMILIARIZACIÓN REGISTRO CARGA	REGISTRO CARGA BASAL	TEST 3' ALL-OUT	CARGA DE ENTRENAMIENTO
	FAMILIARIZACIÓN ESCALA CR-10		CR-10
			REST-Q SPORT *

\* Una vez por semana.

*Ilustración 1. Fases del diseño*

Los sujetos entrenaron con normalidad durante 8 semanas en las que se registró durante las sesiones de entrenamiento la duración de la misma, la frecuencia cardíaca media, potencia desarrollada y RPE mediante la escala de Borg CR-10 al finalizar la sesión (Borg, 1998). Todos los días durante las 8 semanas de entrenamiento, se registró la frecuencia cardíaca al despertar (para controlar la VFC), RPE de la fatiga percibida y una vez por semana rellenaban la versión española del cuestionario de Recuperación-Estrés para Atletas, conocido como RESTQ-Sport

(González-Boto, Márquez, Salguero, & Tuero, 2009; Kallus, 1995). Tras la obtención de estos datos se aplicaron los diferentes modelos de cuantificación de la carga de entrenamiento.

## Procedimiento de pruebas y registros

### *Registro y análisis de VFC.*

Para el registro de la FC se utilizó el monitor de frecuencia cardíaca Polar Team 2 (Polar Team System, Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia) configurado para el registro R-R. El protocolo de medición fue de 15 minutos en sedestación, controlando la respiración entre 12 y 15 respiraciones por minuto mediante un metrónomo (Sookan & McKune, 2012). Se les indicó a los sujetos que debían realizar la medición nada más levantarse, tras ir al baño, y que no podían realizar ningún tipo de actividad durante el registro. Este protocolo se realizó todos los días de las 8 semanas así como la semana basal y las semanas de familiarización y test.

El análisis posterior de los datos de FC para el cálculo de la VFC se realizó con el software Kubios HRV (Universidad de Finlandia Oriental, Kuopio/Finlandia) (Niskanen, Tarvainen, Ranta-Aho, & Karjalainen, 2004). En cada registro se tomaron 15 minutos, de los cuales los 5 minutos iniciales y finales se desecharon quedando para el mismo los 5 minutos centrales. Se le aplicó un nivel de corrección medio. Se registraron valores en el dominio del tiempo y la frecuencia (tabla 2).

	Variable	Descripción
Dominio-Tiempo	Mean RR	Media del intervalo R-R
	SDNN	Desviación estándar de los intervalos R-R
	rMSSD	Raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos R-R consecutivos
	pNN50	Intervalos R-R consecutivos que discrepan más de 50 milisegundos entre sí
Dominio-Frecuencia	VLF	Frecuencias muy bajas (0.00-0.04 Hz)
	LF	Frecuencias bajas (0,04-0,15 Hz)
	HF	Frecuencias altas (0,15-0,40 Hz)
	LF/HF	Ratio

*Tabla 2. Variables registradas para el análisis de la VFC.*

### *Wingate*

Todos los test se llevaron a cabo utilizando un cicloergómetro Monark 839-E (Monark Exercise, Vansbro, Suecia). La configuración del cicloergómetro se realizó de acuerdo a las medidas de la bicicleta que utilizaban los sujetos, además utilizando sus propios pedales. La misma configuración fue repetida para todos los test.

El test wingate (Bar-Or, 1987) se utilizó para obtener la potencia pico o máxima desarrollada (P<sub>máx</sub>). El protocolo consta de 30 segundos a la máxima intensidad que el sujeto pueda desarrollar, desde una posición de sentado. La resistencia se establece añadiendo una fuerza de 0.075 kg por kg de peso corporal.

### *Test gradual máximo.*

Se realizó un protocolo en escalón consistente en incrementos de 25W cada dos minutos desde una potencia inicial de 100W (Pettitt et al., 2013). A los participantes se les indicó que mantuvieran su cadencia preferida (90 rpm, N = 4; 92 rpm, N = 1; 95 rpm, N = 5). El test finalizaba cuando su cadencia de pedaleo caía 10 rpm por debajo de la cadencia preferida al menos 10 segundos a pesar del fuerte estímulo verbal. La medición de intercambio de gases durante el test se realizó

mediante un analizador MasterScreen CPX, (Jaeger Leibniztrasse 7, 97204 Hoechberg, Alemania). El dispositivo fue calibrado antes de cada sesión. Se obtuvo el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2m\acute{a}x}$ ) como pico de  $VO_2$  registrado en la prueba. Los datos fueron promedios cada 15 segundos y se estimó el punto de intercambio de gases o “*gas exchange threshold*” (GET) mediante la observación de los equivalentes de  $O_2$  y  $CO_2$  (Caiozzo et al., 1982).

### *3' All-Out Test.*

Con este test se determinaron los valores de  $P_{crit}$  y AWC. En primer lugar se realizó un calentamiento de 5 min a 100W seguido de un período de 5 minutos de descanso. El test comenzó con 3 min sin carga a la cadencia preferida del sujeto, seguido de un esfuerzo de 3 min al máximo desde una posición de sentado. Se les indicó a los sujetos que incrementaran su cadencia a 110 rpm durante los últimos 10 s del período sin carga con el fin de facilitar el inicio del test. La resistencia durante los 3 min de máxima intensidad se configuró con una resistencia equivalente al punto intermedio entre el  $VO_{2m\acute{a}x}$  y el GET (i.e.,  $GET + 50\% \Delta$ , siendo  $\Delta$  la magnitud del intervalo entre GET y  $VO_{2m\acute{a}x}$ ) y ajustado a su cadencia preferida (factor lineal =  $Potencia / Cadencia$  al cuadrado) (A. Vanhatalo et al., 2007). Se suministró fuerte estímulo verbal durante el test. Para la obtención de la  $P_{crit}$  se promedió la potencia obtenida durante los últimos 30 segundos y la AWC se calculó como la integral de la curva potencia-tiempo por encima de la  $P_{crit}$  (A. Vanhatalo et al., 2007).

### *Percepción subjetiva del esfuerzo y de la fatiga.*

La percepción subjetiva tanto del esfuerzo realizado como de la fatiga de los participantes fue anotada por los sujetos en tres momentos temporales diferentes. En primer lugar, anotaban la RPE inmediatamente tras el registro matutino de la frecuencia cardíaca mediante la escala de Borg (1998).

En segundo lugar, tras el entrenamiento, transcurridos 30 minutos aproximadamente desde la finalización de la sesión, mediante la escala de Borg (1998).

Por último, una vez por semana se les suministró la versión española del cuestionario RESTQ-Sport para evaluar la recuperación y estrés de los participantes. Éste fue suministrado siempre en el mismo rango horario para cada participante. Este cuestionario revela el nivel actual de estrés-recuperación y ofrece una idea aproximada del agente estresor que influye sobre el sujeto, ya que contempla variables que hacen referencia a fuentes estresoras y regenerativas intrínsecas y extrínsecas a la práctica deportiva (González-Boto et al., 2009). Este cuestionario contempla cuatro dimensiones: 1. Estrés No Específico al Deporte. 2. Recuperación No Específica al Deporte. 3. Estrés Específico al Deporte. 4. Recuperación Específica al Deporte.

## Cuantificación de la carga de entrenamiento

### *TRIMP de Banister.*

Propuesto por Banister et al. (1975), el modelo de los impulsos de entrenamiento o TRIMP por sus siglas en inglés está basado en la respuesta de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio. Su cálculo (Ecuación 1) utiliza las variables de volumen (duración de la sesión), frecuencia cardíaca máxima ( $FC_{máx}$ ), frecuencia cardíaca en reposo ( $FC_{rep}$ ) y promedio de Frecuencia cardíaca durante la sesión ( $FC_{ex}$ ), además de un factor de corrección (Y) diferente para cada sexo ( $0,46e^{1.92x}$  para hombres;  $0.86e^{1.67x}$  para mujeres; donde  $e = 2.712$  y  $x = \Delta FC$ ). Para el cálculo de  $\Delta FC$  (ecuación 2) son necesarias las variables referentes a frecuencia cardíaca descritas anteriormente ( $FC_{máx}$ ,  $FC_{rep}$  y  $FC_{ex}$ ).

$$TRIMP = volumen (min) \times \Delta FC \times Y$$

(Ecuación 1)

$$\Delta FC = \frac{FC_{ex} - FC_{rep}}{FC_{máx} - FC_{rep}}$$

(Ecuación 2)

### *RPE de la sesión*

El modelo de cuantificación basado en la RPE (Foster, Daines, Hector, Snyder, & Welsh, 1996; Sweet et al., 2004) consiste en multiplicar la duración total de la sesión (en minutos) por la RPE obtenida durante el conjunto global de la sesión mediante la escala CR-10 (Borg, 1998), anotada 30 minutos tras la finalización de la misma. Es sencillo y económico, ya que no requiere instrumental.

### *Training Stress Score (TSS)*

Originalmente propuesto para el ciclismo (Allen & Coggan, 2010) y que se ha trasladado a otros deportes, como a la carrera (Wallace et al., 2014). La principal variable que utiliza es la potencia. Para su cálculo (ecuación 3) es necesario la duración de la sesión (S), la  $P_{crit}$  del ciclista, la potencia normalizada (PN) de la sesión (obtenida de la potencia media desarrollada y que se calcula mediante un algoritmo para hacer más representativo el valor respecto al esfuerzo realizado por el ciclista) y la intensidad relativa (IR) a la  $P_{crit}$  (ecuación 4).

$$TSS = \frac{(S \times PN \times IR)}{P_{crit} \times 3600} \times 100$$

(Ecuación 3)

$$IR = \frac{PN}{P_{crit}}$$

(Ecuación 4)

La fórmula original sustituye la  $P_{crit}$  por el umbral funcional de potencia (UFP). El motivo de la sustitución es que está demostrado que los conceptos se encuentran en el mismo punto metabólico (Green, 1995).

### *TRIMP de Hayes & Quinn*

El modelo bioenergético propuesto por Hayes and Quinn (2009) tiene como variable principal la velocidad crítica ( $V_{crit}$ ) o la  $P_{crit}$  extraída de un modelo triparamétrico (W. Hopkins et al., 1989; R. H. Morton & Hodgson, 1996). Este modelo tiene en cuenta tanto la estructura de la sesión (series x repetición) y la intensidad y duración de cada repetición y periodo de descanso. Para su cálculo hay que registrar datos de la sesión como el tipo (sesión continua, interválica, etc.), la intensidad de la misma o el tipo de recuperación durante los descansos entre repeticiones (si la hubiera). La fórmula (ecuación 3) para el cálculo del TRIMP (W) tiene como principales variables la intensidad (I), la concentración de la sesión (C) y la distancia realizada (D), todas ellas con su desarrollo matemático específico.

$$W = I \times C \times D$$

(Ecuación 5)

El valor distancia se sustituyó por el de duración de la sesión a fin de poder utilizarlo en ciclistas de carretera, ya que debido a la orografía tan variable del terreno en esta disciplina deportiva este valor podría resultar en un cálculo erróneo.

### **Análisis estadístico**

Las medias de los diferentes modelos de cuantificación de la carga fueron analizadas utilizando la prueba estadística ANOVA de un factor de medidas repetidas. Para la relación de los datos de carga obtenidos por los diferentes modelos y la VFC se realizó una correlación bivariada. El análisis se realizó con el software Statical Package for The Social Sciences (v.22.0 SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

## Bibliografía

- Allen, H., & Coggan, A. (2010). *Training and racing with a power meter*: VeloPress.
- Banister, E., Calvert, T., Savage, M., & Bach, T. (1975). A systems model of training for athletic performance. *Aust J Sports Med*, 7(5), 61.
- Bar-Or, O. (1987). The Wingate anaerobic test an update on methodology, reliability and validity. *Sports Medicine*, 4(6), 381-394.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*: Human kinetics.
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Quantifying training load: a comparison of subjective and objective methods. *International journal of sports physiology and performance*, 3(1), 16.
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779-795.
- Caiozzo, V. J., Davis, J. A., Ellis, J. F., Azus, J. L., Vandagriff, R., Prietto, C., & McMaster, W. (1982). A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *Journal of Applied Physiology*, 53(5), 1184-1189.
- Calvert, T. W., Banister, E. W., Savage, M. V., & Bach, T. (1976). A systems model of the effects of training on physical performance. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*(2), 94-102.
- Day, M. L., McGuigan, M. R., BRICE, G., & Foster, C. (2004). Monitoring exercise intensity during resistance training using the session RPE scale. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(2), 353-358.
- Foster, C., Daines, E., Hector, L., Snyder, A. C., & Welsh, R. (1996). Athletic performance in relation to training load. *Wisconsin medical journal*, 95(6), 370-374.
- González-Boto, R., Márquez, S., Salguero, A., & Tuero, C. (2009). *Validez concurrente de la versión española del cuestionario de recuperación-estrés para deportistas (Restq-Sport)*. Paper presented at the Revista de psicología del deporte.
- Green, S. (1995). Measurement of anaerobic work capacities in humans. *Sports Medicine*, 19(1), 32-42.
- Hayes, P. R., & Quinn, M. D. (2009). A mathematical model for quantifying training. *European journal of applied physiology*, 106(6), 839-847.
- Hill, D. W. (1993). The critical power concept. *Sports Medicine*, 16(4), 237-254.
- Hopkins, W., Edmond, I., Hamilton, B., Macfarlane, D., & Ross, B. (1989). Relation between power and endurance for treadmill running of short duration. *Ergonomics*, 32(12), 1565-1571.
- Hopkins, W. G. (1991). Quantification of training in competitive sports. *Sports Medicine*, 12(3), 161-183.
- Jobson, S. A., Passfield, L., Atkinson, G., Barton, G., & Scarf, P. (2009). The analysis and utilization of cycling training data. *Sports Medicine*, 39(10), 833-844.
- Kallus, K. (1995). The recovery-stress questionnaire. *Frankfurt, Germany: Swets & Zetlinger*.
- Karim, N., Hasan, J. A., & Ali, S. S. (2011). Heart rate variability—a review. *J. Basic Appl. Sci*, 7, 71-77.
- Manso, J. M. G. (2013). Aplicación de la variabilidad de la frecuencia cardiaca al control del entrenamiento deportivo: análisis en modo frecuencia. *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*(153), 43-51.
- Monod, H., & Scherrer, J. (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, 8(3), 329-338.
- Morton, R., Fitz-Clarke, J., & Banister, E. (1990). Modeling human performance in running. *Journal of Applied Physiology*, 69(3), 1171-1177.

- Morton, R. H., & Hodgson, D. J. (1996). The relationship between power output and endurance: a brief review. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 73(6), 491-502.
- Mujika, I., Busso, T., Lacoste, L., Barale, F., Geysant, A., & Chatard, J.-C. (1996). Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc*, 28(2), 251-258.
- Niskanen, J.-P., Tarvainen, M. P., Ranta-Aho, P. O., & Karjalainen, P. A. (2004). Software for advanced HRV analysis. *Computer methods and programs in biomedicine*, 76(1), 73-81.
- Pettitt, R. W., Clark, I. E., Ebner, S. M., Sedgeman, D. T., & Murray, S. R. (2013). Gas Exchange Threshold and V [Combining Dot Above] O<sub>2</sub>max Testing for Athletes: An Update. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(2), 549-555.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *European journal of applied physiology*, 112(11), 3729-3741.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773-781.
- Schmitt, L., Regnard, J., Desmarests, M., Mauny, F., Mourot, L., Fouillot, J. P., . . . Millet, G. (2013). Fatigue shifts and scatters heart rate variability in elite endurance athletes. *PLoS ONE*, 8(8), e71588. doi: 10.1371/journal.pone.0071588
- Sookan, T., & McKune, A. J. (2012). Heart rate variability in physically active individuals: reliability and gender characteristics: cardiovascular topics. *Cardiovascular journal of Africa*, 23(2), 67-72.
- Sweet, T. W., Foster, C., McGuigan, M. R., & 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.
- Vanhatalo, A., Doust, J. H., & Burnley, M. (2007). Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. *Med Sci Sports Exerc*, 39(3), 548-555. doi: 10.1249/mss.0b013e31802dd3e6
- Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2009). Influence of prior sprint exercise on the parameters of the 'all-out critical power test' in men. *Experimental physiology*, 94(2), 255-263.
- Wallace, L., Slattery, K., & Coutts, A. J. (2014). A comparison of methods for quantifying training load: relationships between modelled and actual training responses. *European journal of applied physiology*, 114(1), 11-20.
- Xhyheri, B., Manfrini, O., Mazzolini, M., Pizzi, C., & Bugiardini, R. (2012). Heart rate variability today. *Prog Cardiovasc Dis*, 55(3), 321-331. doi: 10.1016/j.pcad.2012.09.001