

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ENTRENAMIENTO Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

Curso Académico 2016-2017

CUANTIFICACIÓN DE LAS CARGAS DE ENTRENAMIENTO. PROPUESTA DE MODIFICACION DEL CÁLCULO DE LA CARGA EN TRIATLETAS

*TRAINING LOAD QUANTIFICATION. PROPOSAL TO MODIFY THE TRAINING LOAD
CALCULATION IN TRIATHLETES*

Autor: Francisco Javier Rodríguez González

Tutor: José Antonio Rodríguez Marroyo

30 de Junio de 2017

Vº Bº TUTOR

Vº Bº AUTOR

RESUMEN

Objetivo: El principal objetivo de este estudio fue diseñar una propuesta de modificación del cálculo del Training Impulse Individualizado (iTRIMP) específico para triatletas.

Método: En el estudio participaron 20 triatletas. Para evaluar el rendimiento aeróbico de los sujetos se realizaron diferentes test, al inicio y después de 12 semanas de entrenamiento. Los sujetos fueron sometidos a un test incremental máximo hasta el agotamiento para determinar el VO_{2max} y los umbrales ventilatorios (RCT y VT). Además, se evaluó economía/eficiencia de los triatletas en un test submáximo. Todos los test fueron realizados sobre un tapiz rodante y un cicloergómetro. Se realizó un análisis de regresión múltiple para establecer el peso que tuvieron el tiempo de permanencia por debajo del umbral aeróbico, entre los umbrales aeróbico y anaeróbico y por encima del umbral anaeróbico sobre la carga de entrenamiento calculada en base a la RPE

Resultados: El análisis de regresión múltiple reveló que el tiempo de permanencia por encima del umbral anaeróbico tuvo el mayor ($p < 0.001$) peso en la predicción de la carga de entrenamiento calculada en base a la RPE. El coeficiente de determinación obtenido fue de $R^2 = 0.75$ ($p < 0.001$). Atendiendo a los resultados obtenidos los coeficientes propuestos para ponderar el tiempo de permanencia de los deportistas en el modelo trifásico son: $Z1 = 1$, $Z2 = 2$ y $Z3 = 3.5$. Con estos coeficientes la carga de entrenamiento total hallada en el estudio fue de 2497.0 ± 1544.2 y 2801.0 ± 1242.1 AU en los entrenamientos en bicicleta y carrera, respectivamente.

Conclusiones: La propuesta se ajusta a un modelo de cuantificación de la intensidad de las cargas de entrenamiento exponencial, debido a que el peso o la fuerza de los estímulos de entrenamiento realizados por encima del umbral anaeróbico tienen un mayor peso, que los esfuerzos realizados por debajo del umbral aeróbico y entre umbrales, en contraposición de las propuestas tradicionales, que siguieron un modelo lineal. Debido a estas ponderaciones la carga de entrenamiento calculada utilizando nuestra propuesta obtuvo unos valores mayores de carga medidas en AU.

Palabras clave: *Training Impulse Individualizado, iTRIMP, Carga de Entrenamiento, cuantificación, triatlón*

ABSTRACT

Objective: The main objective of this study was to design a proposal to modify the calculation of Individualized Training Impulse (iTRIMP) specific for triathletes.

Method: The study included 20 triathletes. To assess the aerobic performance of the subjects, different tests were performed, at the beginning and after 12 weeks of training. The subjects underwent a maximal incremental test until exhaustion to determine VO₂max and ventilatory thresholds (RCT and VT). In addition, we evaluated the economy / efficiency of triathletes in a submaximal test. All tests were performed on a treadmill and a cycle ergometer. A multiple regression analysis was performed to establish the weight that had the spent time below the aerobic threshold, between the aerobic and anaerobic thresholds and above the anaerobic threshold on the training load calculated based on the RPE.

Results: Multiple regression analysis revealed that the residence time above the anaerobic threshold had the highest ($p < 0.001$) weight in the predicted training load calculated based on the RPE. The coefficient of determination obtained was $R^2 = 0.75$ ($p < 0.001$). Taking into account the results obtained, the proposed coefficients for weighting the athletes' stay time in the three-phase model are: $Z_1 = 1$, $Z_2 = 2$ and $Z_3 = 3.5$. With these coefficients the total training load found in the study was 2497.0 ± 1544.2 and 2801.0 ± 1242.1 AU in the bicycle and career trainings, respectively.

Conclusions: The proposal is related to an exponential model of quantification of the intensity of training loads because the strength of the training stimuli performed above the anaerobic threshold has a greater weight than the efforts performed below the aerobic threshold and between thresholds, in contrast to the traditional proposals, which followed a linear model. Due to these weights the training load calculated using our proposal obtained higher values of load measured in AU

Keywords: Individualized Training Impulse, iTRIMP, Training Load, Quantification, Triathlon.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 2 |
| ABSTRACT | 3 |
| ÍNDICE | 4 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 5 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 3. JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA | 12 |
| 4. COMPETENCIAS | 14 |
| 5. OBJETIVOS | 15 |
| 6. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN | 16 |
| 6.1. Estrategias de investigación | 16 |
| 6.2. Destinatarios | 17 |
| 6.3. Diseño Experimental | 17 |
| 6.4. Acciones y medidas específicas de intervención | 18 |
| 6.4.1. Test realizados | 18 |
| 6.4.2. Análisis de las sesiones de entrenamiento | 19 |
| 6.4.5. Propuesta de cambio en el cálculo de la carga de entrenamiento | 20 |
| 6.4.6. Análisis estadístico | 21 |
| 7. RESULTADOS | 22 |
| 8. DISCUSIÓN | 27 |
| 9. APLICACIONES PRÁCTICAS | 31 |
| 10. CONCLUSIONES | 32 |
| 11. VALORACIÓN Y REFLEXIÓN CRÍTICA | 33 |
| 12. BIBLIOGRAFÍA | 34 |
| 13. ANEXOS | 40 |

1. INTRODUCCIÓN

La federación Española de Triatlón a través de su reglamento define el Triatlón como ``Deporte combinado y de resistencia, en el cual el deportista realiza tres disciplinas en tres segmentos. Estos son: natación, ciclismo y carrera a pie. El orden es el señalado anteriormente y el cronómetro no se para durante el tiempo que transcurra la competición``.(Federación Española de Triatlón, 2017)

Esta disciplina aparece por primera vez en 1975, en San Diego (EEUU), sin embargo no tiene repercusión hasta que en el año 1977 se celebra en Hawaii, ((Mallol, Cámara, Calleja-González, Yanci, & Mejuto, 2015), surgió como una apuesta entre marines estadounidenses, como consecuencia de no llegar a un acuerdo para participar en la travesía a nado ``Waikiki Rough Water Swim`` (3,8 km), la vuelta ciclista ``Around the Island Bike Race`` (180 km) o correr el ``Honolulu Maratón`` (42,195 km), por ello el Comandante John Collins decidió unir las tres pruebas en una, cuya dureza extrema llevo a catalogarla como Ironman, hombre de hierro. (Ballesteros, 1987; Cejuela-Anta, Pérez-Turpin, Rodríguez Marroyo, Cortell-Tormo, & Villa, 2007).

El triatlón moderno se practica en competición en 110 países desde 1989, avalado por una Federación Internacional de Triatlón (ITU), encargada de organizar campeonatos del mundo anuales, campeonatos continentales. El triatlón se difunde cuando pasa a formar parte del programa de los Juegos Olímpicos en Sydney 2000. (Lehenaff & Bertrand, 2001)

Desde que surgió a comienzos de los años setenta, el triatlón ha evolucionado hasta la versión del deporte que conocemos actualmente. Es un deporte que está creciendo a pasos agigantados, viéndose reflejado año tras año en el incremento de deportistas que practican esta modalidad, llegando a alcanzar según los datos recogidos del registro anual del Consejo Superior de deportes la cifra de 29.739 deportistas federados y 1.121 clubes en el año 2015 en España. (CSD, 2015)

Además de la especialidad del Triatlón (natación – ciclismo – carrera a pie), existen otros formatos de competición como el duatlón (carrera a pie – ciclismo – carrera a pie), acuatlón (correr a pie – natación - correr a pie), triatlón de invierno (carrera a pie – ciclismo – esquí de fondo) y quadriatlón (natación – ciclismo – piragüismo – carrera a pie), así como pruebas de diferentes distancias supersprint (300m – 8km – 1,5 km), sprint (750m – 20km – 5km), olímpico o estándar (1500m – 40km – 10km), media distancia o half (1,9km -90km – 21km) y larga distancia o Ironman (3,8km – 180km – 42km) de natación, ciclismo y carrera a pie, respectivamente. (Federación Española de Triatlón, 2017). Estas especialidades hacen más

llamativo y atractivo la práctica de esta modalidad multi-deporte, permitiendo su participación a cualquier tipo de población, independientemente de su nivel y objetivos.

El rendimiento deportivo, está determinado por múltiples factores. Según Morante, son siete los factores que influyen en el rendimiento del deportista: Las características del sujeto, las características volitivas, la táctica, la técnica, la condición física, las características psíquicas y las condiciones externas. (Cuba-Dorado & García-García, 2014; Morante, 1994)

Según el proceso del entrenamiento deportivo, es necesario realizar un análisis con detalle los factores de rendimiento, para posteriormente programar el entrenamiento. En relación a los factores determinantes del rendimiento en triatlón es prioritario el entrenamiento de las capacidades condicionales o físicas, es decir la resistencia, la fuerza, la velocidad y la flexibilidad. (García López & Herrero, 2003)

En concreto, es fundamental el entrenamiento de la resistencia. Los factores de rendimiento decisivos durante un triatlón son el umbral anaeróbico, la capacidad aeróbica, los depósitos de glucógeno y la oxidación de las grasas del organismo. (Chavarren & Dorado, 1996)

2. MARCO TEÓRICO

El entrenamiento deportivo es un “Proceso metodológicamente estructurado por el técnico, que consiste en la aplicación de cargas de trabajo que provocan en el deportista la ruptura de su estado mediante una fatiga controlada, la cual tras una adecuada recuperación permite una vuelta a la situación de normalidad que con el tiempo se transforma en adaptaciones que conducen a una mejora del rendimiento”. (García-Manso, Navarro, Ruiz, & Martín, 1998)

La carga de trabajo o carga de entrenamiento, es un concepto que determina la exigencia que provocan los estímulos aplicados en el entrenamiento o competición en el organismo del deportista.

Los estímulos se pueden clasificar en tres tipos según el nivel en el que influyen: carga externa o física, que hace referencia magnitud o cantidad de entrenamiento (Volumen, intensidad, densidad); en cargas internas o funcionales, referenciando a las repercusiones de los estímulos en el organismo del deportista (Frecuencia cardiaca, Concentración de lactato, Consumo de Oxígeno...); y carga psicológica, que es la percepción subjetiva que tiene el deportista de la carga, todos estos términos son necesarios para poder llevar a cabo una cuantificación total del trabajo de entrenamiento. (Sylta, Tønnessen, & Seiler, 2014).

Un componente de la carga de entrenamiento relevante es la magnitud de la carga externa o cantidad de entrenamiento físico, puede clasificarse en función de si los componentes de la carga son cuantitativos, es decir, que hacen referencia a una cantidad que se pueden medir como el volumen, la frecuencia de entrenamientos, la duración... o si son cualitativos, es decir, hacen referencia a la calidad del rendimiento en relación con un máximo como la frecuencia cardiaca, las lactacidemias, la velocidad de desplazamiento...(Martin, Carl, & Lehnertz, 2007)

Autores como (Borresen & Lambert, 2009) indican que para optimizar el entrenamiento y el rendimiento del deportista es necesario conocer lo que el deportista está haciendo, por lo tanto, proponen una clasificación de métodos para cuantificar la carga de entrenamiento.

Los diarios y cuestionarios obtienen datos recordados de los deportistas, son utilizados para evaluar y examinar la actividad física y el ejercicio en poblaciones grandes durante periodos de tiempo pasados. Es popular porque su administración es fácil y rentable y no impide el entrenamiento, sin embargo su desventaja es que las respuestas de los deportistas son subjetivas. Por lo tanto aunque los diarios y cuestionarios pueden ayudar a monitorizar los

cambios en la actividad física, los intentos de cuantificar las dosis de ejercicio en los datos recogidos con los siguen siendo inadecuados. (Hopkins, 1991)

Las mediciones de parámetros fisiológicos como la frecuencia cardíaca, el consumo de oxígeno, concentración de lactato en sangre, percepción del esfuerzo y potencia son usados comúnmente, aunque proporcionan más información pueden existir diferencias considerables inter e intra-individuales en la manera en que los deportistas responde a varios tipos de actividades.

La monitorización de la frecuencia cardíaca se basa en el principio de que existe una relación lineal entre la frecuencia cardíaca y la carga de trabajo o actividad física, se ha convertido en un método para medir la intensidad del ejercicio. (Achten & Jeukendrup, 2003)

El consumo de oxígeno es la cantidad de oxígeno que el organismo puede extraer, transportar y utilizar, se acepta generalmente que la tasa de trabajo de reposo y estado estacionario es lineal. El consumo de oxígeno ha sido validado en actividades de intensidad estable, pero no en actividades de intensidad intermitente y supramaximales. (Robinson, 1991)

La medición de la concentración de lactato sanguíneo, se ha hecho más fácil con el desarrollo de instrumentos de medición portátiles y requiriendo la recolección de una sola gota de sangre de un pinchazo. Sin embargo, no es práctico medir el lactato con frecuencia durante cada sesión de entrenamiento para prescribir o cuantificar la intensidad. Se ha prestado especial atención a la determinación del umbral de lactato, que se define como la intensidad del ejercicio a un nivel fijo o máximo de lactato sanguíneo en estado estacionario. Se ha propuesto como una medida de la aptitud de la resistencia, pero también un medio con el cual para estandarizar la intensidad del entrenamiento. Además existen muchos factores intra e interindividuales que afectan la forma que se acumula el lactato independientemente de la intensidad del ejercicio, por lo tanto limita la monitorización y prescripción del entrenamiento. (Jacobs, 1986)

La percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) se basa en monitorizar el entrenamiento de los deportistas independientemente del estrés fisiológico que sus cuerpos experimentan durante el ejercicio, y así poder ajustar su intensidad de entrenamiento usando sus propias percepciones de esfuerzo. (Robinson, 1991)

La potencia crítica representa una estimación de la potencia máxima que puede mantenerse en estado estable fisiológico sin fatiga. La identificación de tal marcador sería útil para la

prescripción de entrenamiento o la evaluación de la respuesta de entrenamiento. Sin embargo, si el poder crítico tiene un significado fisiológico, entonces se necesitaría una respuesta fisiológica en estado estacionario durante el ejercicio a potencia crítica. (Dekerle, Baron, Dupont, & Vanvelcenaher, 2003)

La observación directa suele ser llevada a cabo por un entrenador durante la sesión de entrenamiento y puede registrar componentes de entrenamiento como el modo de ejercicio, la duración y la intensidad absoluta y relativa. La observación directa también puede incluir medidas subjetivas. Por lo tanto, el grado en que el entrenamiento puede cuantificarse sobre la base de observaciones directas también puede ser limitado, debido a que requiere la presencia de un observador en cada sesión de entrenamiento así como la cantidad de datos capaces de ser recolectados para monitorizar el entrenamiento de manera adecuada puede ser inadecuada. (Hopkins, 1991)

Con el fin de controlar el entrenamiento y rendimiento del deportista, los estímulos de entrenamiento deben de ser cuantificados. La categorización o cuantificación del entrenamiento consiste en la asignación de un valor o factor numérico a distintas categorías del entrenamiento. Estas categorías son conocidas como zonas de intensidad o zonas de entrenamiento y se basan en medidas físicas, fisiológicas y psicológicas. A cada categoría se le asigna un coeficiente arbitrario, para ponderar las actividades en función de su intensidad se asigna un valor superior a sesiones con intensidad mayor. (Navarro, Oca, & Rivas, 2010)

Los índices de estrés hacen referencia a los métodos que tienen como objetivo cuantificar una sesión de entrenamiento en un única unidad ``dosis`` de esfuerzo físico. (Lambert & Borresen, 2010)

El primer método existente, que trata de cuantificar cargas de entrenamiento es el propuesto por Banister (1980) denominado impulso de entrenamiento o Training Impulse (TRIMP) en el que se establece una relación directa entre la duración y la intensidad del ejercicio desarrollado. (Banister & Calvert, 1980)

El método TRIMP es una medida integrada de carga de entrenamiento que permite tener en cuenta los efectos de la intensidad y el volumen sobre los sistemas biológicos y fisiológicos de los atletas. (Banister, 1991)

Un TRIMP se calcula utilizando la duración del entrenamiento, mientras que la intensidad del esfuerzo se obtiene a través de una fórmula donde se utilizan los parámetros fisiológicos de

la frecuencia cardíaca máxima, la frecuencia cardíaca en reposo y la frecuencia cardíaca promediados durante la sesión de ejercicio.

En respuesta al TRIMP propuesto por Banister (1980) han surgido diferentes modelos:

Modelos basados en obtener la intensidad del entrenamiento a partir de la frecuencia cardíaca

El modelo más común es el propuesto por Lucia et al (1999), desarrollaron el denominado modelo trifásico de distribución de la intensidad (Anexo 1), en el que propusieron tres zonas de entrenamiento en función de la frecuencia cardíaca a la que aparecían los umbrales ventilatorios en los deportistas, dependiendo de la intensidad del esfuerzo. Una primera zona (Z1) correspondiente al ejercicio de baja intensidad y rendimiento por debajo del primer umbral ventilatorio (VT), una segunda zona (Z2), correspondiente al ejercicio de intensidad moderada y rendimiento entre el primer umbral ventilatorio (VT) y el umbral de compensación respiratorio (RCT), y una tercera zona (Z3), correspondiente al ejercicio de intensidad alta y rendimiento por encima del umbral de compensación respiratoria (RCT). (Esteve-Lanao, Foster, Seiler, & Lucia, 2007; Lucia, Hoyos, & Carvajal, 1999; Minghui Luo, 2015).

Por lo tanto el TRIMP establecido por Lucía et al (1999) consiste en el producto de la duración del ejercicio multiplicado por un coeficiente dependiente de la zona de intensidad que se ha realizado el trabajo (Coeficiente 1 al trabajo desarrollado en Z1, coeficiente 2 al trabajo desarrollado en Z2 y coeficiente 3 al trabajo desarrollado en Z3), el único requisito para poder utilizar este modelo la monitorización y registro continuo de la frecuencia cardíaca. (Cejuela-Anta & Esteve-Lanao, 2011; Lucia et al., 1999).

El modelo TRIMP propuesto por Edward (1993) consiste en sumar la puntuación de la zona de frecuencia cardíaca, es una modificación para el cálculo de impulsos de entrenamiento que facilita la cuantificación del entrenamiento a intervalos (Anexo 2). Se calcula la duración acumulada en minutos en cada una de las cinco zonas de frecuencia cardíaca (es decir, 50-60%, 60-70%, 70-80%, 80-90% y 90-100% de la frecuencia cardíaca máxima) y luego multiplicado por un factor multiplicador para cada zona (50-60% = 1, 60-70% = 2, 70-80% = 3, 80-90% = 4 y 90-100% = 5). Los resultados se suman a continuación. (Edwards, 1993).

Modelos basados en obtener la intensidad del entrenamiento a partir de la percepción subjetiva del esfuerzo. El TRIMP propuesto por (Foster et al., 2001), que utiliza la percepción subjetiva de esfuerzo (RPE) como indicador importante del grado e

individualidad del esfuerzo físico, usando la escala de Borg (Anexo 3) como marcador (Borg, Hassmén, & Lagerström, 1987). Es un modelo sencillo, útil y fiable, también es denominado RPE sesión.

La carga de la sesión se calcula multiplicando el RPE de sesión por la duración de la sesión del ejercicio aeróbico en minutos, es decir el producto de la duración del ejercicio por el coeficiente otorgado en dicha escala. (Mallol et al., 2015). En un intento por simplificar la cuantificación de carga de entrenamiento, utilizando RPE obtenida 30 minutos después de la finalización del ejercicio o sesión, en lugar de usar datos de frecuencia cardiaca o tener que medir la intensidad o el tipo de ejercicio que se está realizando.

Un modelo específico para el triatlón, aunque complejo respecto a su aplicación, es el propuesto por (Cejuela-Anta & Esteve-Lanao, 2011), trata de integrar la complejidad de las tres disciplinas deportivas y las transiciones. Este modelo asume que además de las tres disciplinas es necesario tener en cuenta tanto la carga objetiva como subjetiva. Los valores de carga objetivos son definidos como "Equivalentes de la carga objetivo" o "ECOs", son obtenidos de multiplicar el tiempo en minutos de actividad por el valor de puntuación que se designa a cada disciplina e intensidad se definen como Todos los valores se expresan en relación a la carrera, adquiriendo esta una puntuación '1', en consecuencia, la carga de natación es multiplicada por 0.75 y la carga de ciclismo por 0.5. La justificación de estas proporciones está basada en la complejidad técnica de la modalidad, el dolor o daño muscular que producen, la densidad de trabajo y el coste energético. Un aspecto importante que mide es la realización de disciplinas diferentes de forma consecutiva, es decir las transiciones, añadiendo +0.1 y +0.15 después de un entrenamiento de ciclismo y de carrera respectivamente.

Los valores de carga subjetivos denominados "Equivalentes de carga subjetiva" o "ECS", consiste en aplicar una escala de 0 a 5, estos valores provendrán de marcadores biológicos.

3. JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA

Según los principios del entrenamiento, un aspecto clave es la individualización del entrenamiento, esto quiere decir, que todos los deportistas no tienen la misma capacidad potencial. Por lo tanto la capacidad individual de trabajo se determina mediante factores biológicos y psicológicos individuales y debe tenerse en cuenta a la hora de especificar el tipo de trabajo y la carga de entrenamiento. (Bompa, 2014)

En consecuencia, ha surgido el modelo propuesto por Vincenzo Manzi, Iellamo, Impellizzeri, Ottavio, y Castagna (2009) basado en un Training Impulse Individualizado (iTRIMP).

El método individual TRIMP (iTRIMP), consiste en la utilización de la relación entre la frecuencia cardiaca y la concentración de lactato sanguíneo del individuo para calcular un factor exponencial para la ponderación de la intensidad del ejercicio.

Por lo tanto, el iTRIMP es calculado mediante la ponderación de la intensidad del ejercicio de acuerdo a la relación de lactato de sangre de un individuo y frecuencia cardiaca para ponderar cada frecuencia en lugar de crear zonas. Un iTRIMP acumulado puede obtenerse sumando el valor iTRIMP para cada punto de datos de la frecuencia cardiaca. El factor de ponderación individual (y_i) es calculado individualmente para cada participante con el mejor método de ajuste utilizando modelos exponenciales. (Sanders, Abt, Hesselink, Myers, & Akubat, 2017; Sanders, Myers, & Akubat, 2017)

El uso de iTRIMP reduce los problemas asociados con las zonas arbitrarias y las ponderaciones genéricas y se ha demostrado que se relacionan mejor que los modelos previos TRIMP a los cambios en la velocidad de 2 mmol L⁻¹ en jugadores profesionales de fútbol juvenil. Sin embargo, los autores reconocen la pericia técnica y científica, así como los recursos necesarios para este tipo de monitorización individualizada de la carga interna (Halson, 2014)

Se ha sugerido el método iTRIMP para superar el problema de cuantificar las cargas de entrenamiento estableciendo una relación lineal de la intensidad de esfuerzo y asignando unos marcadores o ponderaciones fijas proporcionales a la carga de entrenamiento. Por lo tanto, el método iTRIMP aplica una respuesta exponencial individual de la relación entre la concentración de lactato en sangre y el aumento fraccionario de la frecuencia cardiaca durante el ejercicio, muestra una relación de mejoras en el rendimiento con los métodos individualizados. (Borges, Bullock, & Duff, 2014)

El Training Impulse individual fue desarrollado con la finalidad de mejorar la sensibilidad de TRIMP en la cuantificación de respuestas individuales a una carga de entrenamiento dada. Autores como Stagno, Thatcher, & Van Someren (2007) han introducido una versión modificada del método por Banister proporcionando valores TRIMP para zonas de frecuencia cardíaca seleccionadas

Las cinco zonas de ritmo cardíaco fueron seleccionadas a partir de la gráfica de lactato frente a la elevación fraccionada. Las zonas 2 y 4 son ancladas en la frecuencia cardíaca para LT1 y LT2 respectivamente, es decir, son frecuencias cardíacas correspondientes a los dos puntos de ruptura en una curva típica de respuesta de lactato sanguíneo a la intensidad creciente del ejercicio (Usaj y Starc, 1996). Posteriormente, ajustan una anchura de zona del 7% de elevación fraccional y se marcan las zonas 1, 3 y 5 alrededor de las zonas 2 y 4. Además, se verificaron todos los perfiles individuales para asegurar que los dos puntos de rotura de lactato en sangre estaban dentro de las zonas 2 Y 4. A partir de la ecuación obtenida, se calcularon los factores de ponderación para cada una de las zonas de ritmo cardíaco.

Según Manzi, Iellamo, Impellizzeri, & D'Ottavio (2009) citado por Sanders, et al. (2017) para que una medida de carga de entrenamiento sea válida y tenga aplicación práctica, el método utilizado debe estar relacionado con un resultado de importancia. En la mayoría de los deportes éstos son aptitud, fatiga o funcionamiento. Por lo tanto, la medida de carga de entrenamiento elegida debe ser seleccionada en función de su capacidad de informar una relación dosis-respuesta entre la carga de entrenamiento y el resultado de interés.

Para tener un impacto en el rendimiento, los entrenadores deben tener una idea de la naturaleza de la relación entre la dosis de ejercicio prescrita y el resultado esperado del entrenamiento o la respuesta. Esta información permite que los entrenadores sean más proactivos al manipular la dosis de entrenamiento en lugar de reaccionar a una respuesta. (Sanders, Abt, et al., 2017)

Además, los estudios que evalúan esta relación dosis-respuesta son valiosos debido a que una mejor comprensión de la relación dosis-respuesta entre la carga de entrenamiento en comparación con el rendimiento, aptitud física y / o fatiga, tiene mejores prestaciones prácticas aplicadas.

4. COMPETENCIAS

Las principales competencias específicas del Máster de Entrenamiento y Rendimiento Deportivo, adquiridas durante el proceso de desarrollo del trabajo, relacionadas con los objetivos del trabajo, se corresponden con los contenidos de los Módulos II y III de contenidos, denominados Entrenamiento Deportivo y Análisis del Rendimiento, respectivamente:

Módulo II – Novedades en entrenamiento deportivo

- 1403CE03. Aplicar los nuevos métodos y últimas tendencias en el entrenamiento deportivo en diferentes disciplinas y niveles de rendimiento.
- 1403CE04. Manejar diversos recursos e innovaciones tecnológicas de uso específico en el entrenamiento actual, reconociendo sus utilidades y posibilidades de aplicación.

Módulo III - Cuantificación y control de las cargas de entrenamiento.

- 1403CE05. Aplicar los diferentes métodos de cuantificación y control de la carga en diversos contextos de entrenamiento y competición.
- 1403CE06. Manejar las nuevas tecnologías y herramientas específicas para el registro y cuantificación de las cargas de preparación del deportista.

Módulo III - Valoración de las capacidades físicas en deportistas de rendimiento.

- 1403CE17. Aplicar procedimientos de evaluación de la condición física apropiados según el tipo de deporte, sus factores de rendimiento, el momento competitivo, el sexo, la edad o el nivel competitivo.
- 1403CE18. Interpretar los resultados de los test, así como de los informes resultantes de la valoración de la condición física, para su utilización en la programación del entrenamiento deportivo.

5. OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio ha sido elaborar una propuesta metodológica con la finalidad de cuantificar la carga de entrenamiento en triatletas, durante entrenamientos de ciclismo y carrera a pie, comparando el peso o fuerza que provocan los estímulos que en el organismo según la zona de intensidad que se realiza el esfuerzo, atendiendo al modelo trifásico de la intensidad, y proponiendo unos coeficientes individualizados y específicos para este grupo de deportistas.

Como objetivos secundarios que se han planteado para este trabajo:

- Estudiar, analizar y comparar diferentes propuestas metodológicas de cuantificación de cargas de entrenamiento en deportes individuales de resistencia.
- Establecer diferencias entre el Training Impulse tradicional (TRIMP), propuesto por Bannister y el Training Impulse Individualizado (iTRIMP), propuesto en este trabajo.
- Analizar y cuantificar las cargas de entrenamiento de los triatletas.
- Determinar la evolución del rendimiento aeróbico de los triatletas.
- Observar relaciones e interacciones tanto positivas como negativas entre la carga de entrenamiento propuesta en base al modelo tradicional, en función del trabajo realizado en las distintas zonas de intensidad y parámetros de la cualidad aeróbica.

6. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

6.1. Estrategias de investigación

La elección de la temática del estudio fue escogida siguiendo la línea de investigación de control y cuantificación de las cargas de entrenamiento propuesta por el tutor, y en función de los intereses y gustos personales del autor se ha determinado el objeto de trabajo, se optó por la elaboración de una propuesta de Training Impulse Individualizado para triatletas, comparando y estudiando las diferencias entre el Trimp tradicional propuesto por Bannister y el Trimp individualizado específico para triatletas obtenido con los datos registrados durante el estudio.

Para crear una base sólida de conocimiento teórico específica de la temática, se ha realizado una exhaustiva y profunda revisión bibliográfica. El objetivo elaborar un marco teórico consistente, que sustente una justificación teórica del trabajo, donde se ha determinado. Los documentos que han sido examinados han seguido los siguientes criterios de búsqueda: Las bases de datos utilizadas han sido Pubmed, EBSCOhost, ResearchGate, SportDiscuss y Google Scholar, así como las palabras clave han sido TRIMP, training impulse, Individualized TRIMP, training load, workload, triathlon,

En relación al diseño experimental, la muestra o universo de estudio ha sido determinada siguiendo los criterios de nivel de rendimiento deportivo, experiencia deportiva, grado de participación y asistencia a las pruebas o test de valoración de la condición física, así como cumplir con el registro puntual diario de una hoja de control de las sesiones de entrenamiento y la monitorización semanalmente esporádica de la frecuencia cardiaca.

La recogida de datos se ha realizado en dos fases. La primera fase se ha basado en la realización de pruebas de esfuerzo en el laboratorio al principio y al final del estudio para valorar los cambios en el rendimiento aeróbico de los deportistas. La segunda fase ha constado del registro continuo durante los tres meses de desarrollo del estudio de variables como la modalidad de entrenamiento, duración de la sesión y RPE mediante una hoja de control del entrenamiento propuesta por el investigador y la frecuencia cardiaca utilizando pulsómetros. Posteriormente se han analizado los datos utilizando el software SPSS.

Finalmente se han expuesto los resultados y se han elaborado las conclusiones del trabajo.

6.2. Destinatarios

En el estudio participaron 20 sujetos, todos ellos triatletas, considerados condicionalmente bien entrenados, con una edad media de (22.6 ± 5.3) años y una experiencia media en esta disciplina multideportiva de 3.6 ± 1 años. La frecuencia de asistencia de los sujetos a los entrenamientos fue de 6.2 ± 3.0 sesiones por semana. Las sesiones de entrenamiento semanales dedicadas a la natación, ciclismo y carrera fueron de 2.3 ± 1.5 , 1.5 ± 1.0 , 2.4 ± 1.2 , respectivamente, aunque solo fueron analizados los entrenamientos de las modalidades de ciclismo y de carrera a pie. Los sujetos compitieron principalmente a nivel regional y autonómico. Todos los deportistas, para ser aceptados en dicho estudio, debieron de cumplir ciertos requisitos como criterio de inclusión, entre estos criterios destacamos la obligatoriedad de realizar todas las pruebas de valoración propuestas, es decir, tanto las pruebas iniciales como finales y rellenar una planilla de control del entrenamiento, así como registrar y monitorizar la frecuencia cardiaca en las sesiones de entrenamiento con un pulsómetro, durante el periodo de tiempo que duró el estudio. Todos los sujetos fueron informados de los objetivos y procedimientos del estudio, participando de manera voluntaria y dando su consentimiento informado antes del inicio del estudio.

6.3. Diseño Experimental

La metodología del trabajo ha estado basada en estudios previos de Pardo (2014) y Rodríguez González (2016). El estudio fue dividido en tres fases. En la primera fase todos los sujetos fueron sometidos a diferentes test para evaluar el nivel de rendimiento en ciclismo y carrera. Los sujetos realizaron una evaluación inicial (inicio de noviembre) y una evaluación final (mitad del mes de febrero) tras 12 semanas de entrenamiento de pretemporada. Estas evaluaciones estuvieron compuestas por un test progresivo máximo realizado en la piscina, sobre un cicloergómetro y un tapiz rodante. Además, se realizaron como parte del calentamiento, antes de la prueba máxima en el cicloergómetro y tapiz rodante un test submáximo para evaluar la economía de pedaleo y carrera. En la segunda parte del estudio, durante las 12 semanas de pretemporada de los triatletas se monitorizó la carga de trabajo y la intensidad de los entrenamientos realizados por los sujetos en base a la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) y frecuencia cardiaca (FC). Finalmente se calcularon los Training Impulse individualizados para todos los sujetos en base a los resultados obtenidos de las pruebas de esfuerzo y el control y monitorización de las sesiones de entrenamiento.

6.4. Acciones y medidas específicas de intervención

6.4.1. Test realizados

Los triatletas realizaron un test progresivo y máximo sobre el tapiz y el cicloergómetro (Anexo 4) para determinar su VO_{2max} y sus umbrales ventilatorios, lo cual permitió analizar posteriormente las demandas de los entrenamientos en base a la FC. Además, fueron sometidos a un test submáximo para valorar su economía de carrera y pedaleo. Todos los test fueron realizados en la misma sesión de valoración con una recuperación de 30 min entre ellos. El orden de las pruebas (ciclismo, carrera) fue aleatorizada y se respetó el mismo orden en la valoración final. El test submáximo de ciclismo y carrera se realizó después de un calentamiento estandarizado (8 min a 75W o 8 $km \cdot h^{-1}$ en el test de bicicleta y carrera, respectivamente)..

El test incremental (Anexo 5) sobre el tapiz rodante (h/p/cosmos Pulsar, h/p/cosmos sports & medical gmbh, Nussdorf, Germany) se inició a una velocidad de 6 $km \cdot h^{-1}$ y se aumentó en 1 $km \cdot h^{-1}$ cada 1 min hasta que los triatletas no pudieron mantener la velocidad fijada. Durante toda la prueba se mantuvo una inclinación del tapiz constante del 1%. El test incremental de ciclismo se realizó sobre un cicloergómetro Lode Excalibur (Lode Medical Technology, Groningen, The Netherlands). El test empezó a 75 W y la carga de trabajo aumentó en 25 W cada minuto hasta que el triatleta no pudo mantener una cadencia de pedaleo de 70 rpm. La FC (Polar Vantage NV, Polar Electro Oy, Finland) y los gases respirados (Medisoft Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Belgium) fueron medidos a lo largo de los test. Los umbrales ventilatorios fueron identificados de acuerdo a los siguientes criterios (Davis, 1985) incremento del equivalente ventilatorio del oxígeno ($VE \cdot VO_2^{-1}$) y la presión end-tidal del oxígeno sin un incremento concomitante del equivalente ventilatorio del dióxido de carbono ($VE \cdot VCO_2^{-1}$) para el umbral ventilatorio (VT), y un incremento del $VE \cdot VO_2^{-1}$ y $VE \cdot VCO_2^{-1}$ junto con la disminución de la presión end-tidal del dióxido de carbono para el umbral de compensación respiratoria (RCT).

La prueba de economía de carrera consistió en correr a 13 $km \cdot h^{-1}$ (~70% del VO_{2max}) durante 4 min. La inclinación del tapiz en todas las pruebas fue del 1% para simular así el gasto energético debido a la resistencia del viento (Jones & Doust, 1996). El intercambio de gases (Medisoft Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Belgium) y la FC (Polar Team, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) fueron registradas continuamente. Para el análisis de datos únicamente se tuvo en cuenta el promedio de los 2 últimos minutos de la prueba. La economía de carrera se expresó en $ml \cdot kg^{-1} \cdot km^{-1}$ y se calculó el ratio entre el VO_{2max} y la economía de carrera propuesto por (Støren, Helgerud, & Hoff, 2011).

El test de economía de pedaleo se realizó a una potencia de 215 W (~70% del VO_{2max}) y su duración fue de 4 min. Los triatletas eligieron su cadencia de pedaleo preferida y se requirió que la mantuvieran durante toda la prueba y en los 2 test realizados en el estudio. De igual modo, y para evitar el impacto del costo metabólico por la modificación de la postura de los sujetos durante el test, estos usaron la misma postura (posición erguida con manos sobre las manetas del cicloergómetro) (Heil et al., 1997). La FC (Polar Team, Polar Electro Oy, Kempele, Finland), potencia (Lode Excalibur, Lode Medical Technology, Groningen, The Netherlands), VO_2 y $VCO_2 \cdot VO_2^{-1}$ (Medisoft Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Belgium) fueron monitorizados durante toda la prueba, y promediados en los 2 últimos minutos. La eficiencia gruesa fue calculada siguiendo la metodología propuesta por (Coyle, Sidossis, & Horowitz, 1992). La economía de pedaleo fue calculada como el ratio entre el trabajo desarrollado y los litros de O_2 consumidos y fue expresada en $kJ \cdot l^{-1}$ (Moseley, Achten, & Martin, 2004).

6.4.2. Análisis de las sesiones de entrenamiento

Durante las 12 semanas que duró el estudio se analizó el esfuerzo realizado por los sujetos en todos los entrenamientos realizados en base a la FC y la RPE. La FC de todos los entrenamientos de carrera y ciclismo fue grabada cada 5 s (Polar Team II, Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Posteriormente, usando un software específico (Polar Pro Trainer, Polar Electro Oy, Finland), los datos fueron descargados a un ordenador para determinar la intensidad del esfuerzo a través de la FC analizada. Tres zonas de intensidad de esfuerzo fueron establecidas en función de los valores de FC correspondientes al VT y RCT (Lucia et al., 1999; J. A. Rodríguez-Marroyo, Villa, García-López, & Foster, 2012; J. Rodríguez-Marroyo, García-López, Juaneau, & Villa, 2009): zona 1 (Z1) por debajo del VT (zona de baja intensidad), zona 2 (Z2) entre el VT y RCT (zona de moderada intensidad) y zona 3 (Z3) por encima del RCT (zona de alta intensidad). Estas zonas fueron utilizadas para calcular la carga de entrenamiento multiplicando el tiempo de permanencia en Z1, Z2, y Z3 por las constantes 1, 2, y 3, respectivamente (J. A. Rodríguez-Marroyo et al., 2012; J. Rodríguez-Marroyo et al., 2009). Además, la percepción subjetiva del esfuerzo fue obtenida usando la escala de Borg (Borg et al., 1987) aproximadamente 30 minutos después del final de todas las sesiones de entrenamiento (i.e., natación, carrera y ciclismo) (Foster et al., 2001). Se calculó la carga de entrenamiento en función de esta variable multiplicando las puntuaciones de la RPE por la duración de los entrenamientos en minutos (Foster et al., 2001; J. A. Rodríguez-Marroyo et al., 2012). Los días que los sujetos no entrenaron se consideraron con una carga de entrenamiento 0.

6.4.5. Propuesta de cambio en el cálculo de la carga de entrenamiento

Tradicionalmente el cálculo de la carga de trabajo se ha realizado teniendo en cuenta la frecuencia cardíaca. Así, originalmente utilizando la FC de reserva y viendo cuál es su relación con el acúmulo de lactato en una prueba incremental se propuso una metodología para el cálculo de la carga de entrenamiento. La relación entre la FC y el lactato obtenida en el laboratorio tenía como objetivo ponderar la intensidad del esfuerzo de los entrenamientos por un coeficiente. El objetivo final de la determinación de este coeficiente fue evitar dar una importancia desproporcionada a la actividad de larga duración a bajos niveles de intensidad en comparación con la realización de actividades intensas pero de corta duración. El coeficiente determinado se basó en el aumento exponencial de los niveles de lactato sanguíneo con la elevación fraccionaria del ejercicio por encima de la frecuencia cardíaca en reposo. Sin embargo, el método propuesto por Banister puede resultar complejo y ha sido criticado su uso en aquellos deportes donde la intensidad del esfuerzo es más variables, ya que se basa en la FC media de los entrenamientos. Para paliar estas deficiencias, se ha propuesto el cálculo de la carga en función del esfuerzo realizado por los deportistas en diferentes zonas de intensidad. A cada una de estas zonas se les ha asignado un valor de carga y el tiempo que los sujetos permanecen en cada una de ellas multiplicado por el factor de carga permiten calcular la carga de entrenamiento realizada. Ésta es calculada sumando todos los resultados de las zonas establecidas. Tradicionalmente en los deportes de equipo se ha usado el modelo de 5 zonas de intensidad establecidas en función del porcentaje de la FC máxima de los sujetos. En deportes de resistencia se ha usado un modelo trifásico, debido a la menor variabilidad del esfuerzo realizado por los deportistas en este tipo de eventos, en función de la FC a la que se identifican los umbrales aeróbico y anaeróbico. El peso que se le ha dado a cada una de estas zonas para el cálculo de la carga ha sido arbitrario. Además, el incremento del coeficiente multiplicador del tiempo de esfuerzo en cada una de las zonas ha sido lineal, dándose la misma importancia a cada una de las zonas. Por ello, y basándonos en el modelo de tres zonas usado en los deportes de resistencia nosotros hemos intentado corregir el peso que se le ha dado a cada una de las zonas a la hora de calcular la carga de trabajo. Para ello, y basándonos en métodos de regresión múltiple hemos analizado el entrenamiento realizado por triatletas durante un periodo amplio de tiempo y hemos determinado el peso que tiene cada una de las zonas de intensidad analizadas en la carga del entrenamiento calculada en base a la percepción subjetiva del esfuerzo. Lo cual nos ha permitido identificar los nuevos coeficientes por los que hay que ponderar las zonas de entrenamiento.

6.4.6. Análisis estadístico

Los resultados se expresan como media \pm desviación estándar (SD). Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de la muestra. Los resultados obtenidos en los test iniciales y finales fueron comparados usando una prueba t de Student para muestras relacionadas. Las relaciones entre variables fueron determinadas usando el coeficiente de correlación de Pearson (r). La magnitud de las correlaciones fue evaluada atendiendo al siguiente criterio: <0.3 , pequeña; $0.3-0.5$, moderada y >0.5 , grande. Valores de $p < 0.05$ fueron considerados como estadísticamente significativos. Se realizó un análisis de regresión múltiple paso a paso para establecer el peso que tuvieron el tiempo de permanencia por debajo del umbral aeróbico, entre los umbrales aeróbico y anaeróbico y por encima del umbral anaeróbico sobre la carga de entrenamiento calculada en base a la RPE. El mismo análisis fue realizado para determinar que variables predijeron los cambios en el rendimiento de los triatletas. El software estadístico SPSS+ v.19.0 fue usado para este análisis

7. RESULTADOS

Durante el periodo de estudio los triatletas realizaron un volumen total de entrenamiento en bicicleta de 1834.8 ± 1273.3 min. Obtuvieron una RPE media de 5.4 ± 1.2 , y un tiempo de permanencia en Z1, Z2 y Z3 de 1259.2 ± 1244.5 , 514.3 ± 569.2 y 59.8 ± 104.1 min respectivamente. Similares valores fueron obtenidos cuando se analizó el entrenamiento realizado corriendo. El volumen total de carrera fue de 1404.2 ± 594.0 min y el de permanencia en Z1, Z2 y Z3 fue de 409.0 ± 272.5 , 716.8 ± 413.1 y 273.9 ± 274.4 min, respectivamente. En estos entrenamientos la RPE media obtenida fue de 5.8 ± 1.5 .

El análisis de regresión múltiple reveló que el tiempo de permanencia por encima del umbral anaeróbico tuvo el mayor ($p < 0.001$) peso en la predicción de la carga de entrenamiento calculada en base a la RPE (Tabla 1). El coeficiente de determinación obtenido fue de $R^2 = 0.75$ ($p < 0.001$). Atendiendo a los resultados obtenidos los coeficientes propuestos para ponderar el tiempo de permanencia de los deportistas en el modelo trifásico son: Z1 = 1, Z2 = 2 y Z3 = 3.5. Con estos coeficientes la carga de entrenamiento total hallada en el estudio fue de 2497.0 ± 1544.2 y 2801.0 ± 1242.1 AU en los entrenamientos en bicicleta y carrera, respectivamente. Estos valores fueron significativamente ($p < 0.001$) mayores a los obtenidos cuando se usaron los coeficientes propuestos en la literatura (i.e., Z1=1, Z2=2 y Z3=3), 2467.1 ± 1541.5 y 2664.1 ± 1156.2 AU en bici y carrera, respectivamente.

Tabla 1. Coeficientes beta analizados en el estudio de regresión múltiple.

| | Coeficientes no estandarizados | | T | p-valor |
|--------------|--------------------------------|--------|--------|---------|
| | B | SEE | | |
| constante | -57.639 | 17.133 | -3.364 | 0.001 |
| Tiempo en Z1 | 4.131 | 0.211 | 19.566 | <0.001 |
| Tiempo en Z2 | 7.647 | 0.345 | 22.149 | <0.001 |
| Tiempo en Z3 | 14.332 | 1.119 | 12.812 | <0.001 |

Z1, tiempo de permanencia por debajo del umbral aeróbico, Z2, tiempo de permanencia entre los umbrales aeróbico y anaeróbico; Z3, tiempo de permanencia por encima del umbral anaeróbico; SEE, error estándar de la estimación.

Los resultados obtenidos en las pruebas de esfuerzo máximas realizadas en el tapiz rodante y en el cicloergómetro se muestran en la Tabla 2 y 3, respectivamente. Sólo se hallaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la velocidad máxima y en el RCT entre el inicio y el final del periodo de estudio (Tabla 2). Así mismo, en la prueba de bici además de incrementar significativamente la potencia máxima y en el RCT se mejoraron los valores hallados en el VT (Tabla 3).

Tabla 2. Resultados (media \pm SD) de las pruebas realizadas en el tapiz rodante.

| | Test 1 | Test 2 |
|--|----------------|-----------------|
| Velocidad _{max} (km·h ⁻¹) | 19.1 \pm 1.1 | 19.8 \pm 1.2* |
| VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 61.5 \pm 8.0 | 63.3 \pm 8.7 |
| FC _{max} (ppm) | 191 \pm 10 | 190 \pm 9 |
| Velocidad _{RCT} (km·h ⁻¹) | 14.9 \pm 1.2 | 15.4 \pm 1.4* |
| VO _{2RCT} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 49.7 \pm 7.7 | 51.3 \pm 9.1 |
| % VO _{2max} | 80.6 \pm 5.1 | 81.0 \pm 6.8 |
| FC _{RCT} (ppm) | 172 \pm 10 | 170 \pm 9 |
| RPE _{RCT} | 5.5 \pm 1.1 | 5.7 \pm 1.2 |
| Velocidad _{VT} (km·h ⁻¹) | 11.2 \pm 1.2 | 11.5 \pm 1.0 |
| VO _{2VT} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 37.5 \pm 5.1 | 38.5 \pm 5.8 |
| % VO _{2max} | 61.1 \pm 6.3 | 60.9 \pm 4.8 |
| FC _{RVT} (ppm) | 147 \pm 11 | 146 \pm 10 |
| RPE _{VT} | 2.9 \pm 0.8 | 3.0 \pm 0.6 |

RCT, umbral de compensación respiratoria; VT, umbral ventilatorio; RPE, percepción subjetiva del esfuerzo. *, diferencias significativas entre tests ($p < 0.05$).

Tabla 3. Evolución de los resultados (media \pm SD) obtenidos en el test de esfuerzo realizado en el cicloergómetro.

| | Test 1 | Test 2 |
|---|------------------|-------------------|
| Potencia _{max} (W) | 363.4 \pm 38.1 | 380.6 \pm 32.7* |
| Potencia _{max} (W·kg ⁻¹) | 5.5 \pm 0.7 | 5.7 \pm 0.6* |
| VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 57.3 \pm 5.3 | 59.8 \pm 8.2 |
| FC _{max} (ppm) | 183 \pm 13 | 183 \pm 11 |
| Potencia _{RCT} (W) | 277.5 \pm 32.3 | 291.3 \pm 29.6* |
| Potencia _{RCT} (W·kg ⁻¹) | 4.2 \pm 0.5 | 4.4 \pm 0.6* |
| VO _{2 RCT} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 46.1 \pm 4.6 | 48.9 \pm 7.8* |
| % VO _{2max} | 80.6 \pm 5.4 | 81.8 \pm 5.8 |
| FC _{RCT} (ppm) | 166 \pm 15 | 164 \pm 11 |
| RPE _{RCT} | 6.1 \pm 1.1 | 5.7 \pm 1.0 |
| Potencia _{VT} (W) | 178.7 \pm 18.6 | 195.0 \pm 25.1* |
| Potencia _{RCT} (W·kg ⁻¹) | 2.7 \pm 0.4 | 3.0 \pm 0.5* |
| VO _{2VT} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 34.1 \pm 3.4 | 37.5 \pm 6.4* |
| % VO _{2max} | 59.7 \pm 4.9 | 62.8 \pm 6.1* |
| FC _{VT} (ppm) | 142 \pm 17 | 142 \pm 14 |
| RPE _{VT} | 3.0 \pm 0.7 | 3.0 \pm 0.5 |

RCT, umbral de compensación respiratoria; VT, umbral ventilatorio; RPE, percepción subjetiva del esfuerzo. *, diferencias significativas entre tests (p<0.05).

No se encontraron diferencias significativas en los parámetros analizados en el test de economía de carrera (Tabla 4) y pedaleo (Tabla 5). Únicamente se obtuvo una menor ($p < 0.05$) FC en el test de ciclismo realizado tras la pretemporada (Tabla 5).

Tabla 4. Resultados (media \pm SD) obtenidos en el test submáximo de carrera.

| | Test 1 | Test 2 |
|---|-------------------|-------------------|
| VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 44.2 \pm 4.8 | 43.4 \pm 4.8 |
| FC (ppm) | 156 \pm 13 | 152 \pm 10 |
| Economía (ml·kg ⁻¹ ·km ⁻¹) | 203.5 \pm 21.9 | 200.5 \pm 22.3 |
| VO _{2max} ·economía ⁻¹ | 0.303 \pm 0.272 | 0.316 \pm 0.270 |
| RPE | 2.8 \pm 1.1 | 2.5 \pm 0.8 |

RPE, percepción subjetiva del esfuerzo.

Tabla 5. Resultados (media \pm SD) obtenidos en el test submáximo de ciclismo.

| | Test 1 | Test 2 |
|---|----------------|----------------|
| VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 39.8 \pm 4.3 | 41.1 \pm 5.4 |
| FC (ppm) | 149 \pm 18 | 143 \pm 15* |
| Eficiencia Gruesa (%) | 23.5 \pm 1.8 | 23.0 \pm 1.7 |
| Economía (kJ·l ⁻¹) | 4.9 \pm 0.4 | 4.8 \pm 0.4 |
| RPE | 3.4 \pm 0.9 | 3.1 \pm 0.8 |

RPE, percepción subjetiva del esfuerzo. *, diferencias significativas entre tests ($p < 0.05$).

Tomando los datos de las pruebas realizadas en bicicleta y en el tapiz rodante, el porcentaje de mejora en el VO_{2max} y en el rendimiento máximo de los triatletas se correlacionó negativamente con el tiempo de permanencia por encima del umbral anaeróbico ($r = -0.54$ y -0.50 , para el VO_{2max} y rendimiento máximo). De igual manera, la mejora en el rendimiento máximo se correlacionó con la carga de entrenamiento calculada en base a la FC, usando la metodología tradicional ($r = -0.35$, $p < 0.05$) y la propuesta en este estudio ($r = -0.38$, $p < 0.05$). El 29.6% y el 25.2% de la varianza en el porcentaje de cambio del VO_{2max} y el rendimiento máximo la explicó el tiempo de permanencia por encima del umbral anaeróbico. El tiempo de permanencia por encima del umbral anaeróbico se correlacionó con el porcentaje de cambio de la potencia en el umbral anaeróbico ($r = 0.57$, $p < 0.05$). El 32.3% de la varianza del porcentaje de mejora la explicó el tiempo en Z3 ($p < 0.05$).

8. DISCUSIÓN

La principal aportación de este estudio ha sido la propuesta de un modelo de cuantificación de las cargas de entrenamiento basado en un Training Impulse Individualizado (iTRIMP), basado en la percepción subjetiva del esfuerzo y específico para los sujetos del estudio, es decir, para triatletas.

En la literatura, siguiendo la misma línea que nuestro estudio, se han propuesto modelos para la cuantificación de las cargas entrenamiento utilizando una metodología iTRIMP, entre ellos destacamos los estudios de Vincenzo Manzi et al. (2009) donde calcularon un TRIMP individualizado para validar una herramienta que obtuvo mejoras en la aptitud o condición física y en el rendimiento de corredores recreacionales de larga distancia. En el estudio de Sanders, Abt, et al. (2017) evaluaron las relaciones dosis-respuesta entre diferentes medidas de carga en la aptitud aeróbica y en el rendimiento de entrenamiento y competiciones en ciclistas bien entrenados. Además publicaciones como la de Stagno et al. (2007) difieren de nuestro estudio debido a que proponen un TRIMP modificado para deportes colectivos como respuesta a los problemas surgidos para cuantificar esfuerzos cortos e intensos.

Esta propuesta se ha caracterizado por determinar un modelo de cuantificación de las cargas de entrenamiento exponencial, utilizando el modelo trifásico de la intensidad de entrenamiento propuesto por Lucia et al. (1999), y atendiendo a una modificación respecto al Training Impulse tradicional propuesto por Banister (1980), que estaba basado en modelo de evolución de la intensidad del esfuerzo lineal.

En nuestro estudio, se ha utilizado la metodología propuesta por Lucia et al. (1999) para determinar la intensidad del esfuerzo, donde el tiempo de permanencia por encima del umbral anaeróbico tuvo el mayor peso en la predicción de la carga de entrenamiento, estos datos estuvieron directamente relacionados con los obtenidos en el estudio de Vincenzo Manzi et al. (2009) y Sanders, Abt, et al. (2017). En contraposición con el TRIMP tradicional propuesto por (Banister & Calvert, 1980), donde el tiempo de permanencia en cada una de las tres zonas de intensidad, es decir, por debajo del umbral aeróbico, entre umbrales aeróbico-anaeróbico, así como por encima del umbral anaeróbico que sufren un incremento directamente proporcional, por lo que el peso asociado a cada zona en función de la intensidad del esfuerzo para la predicción de la carga de entrenamiento es lineal.

La metodología para obtener carga de entrenamiento fue calculada en base a RPE, hasta ahora ningún estudio había estado basado en una medida subjetiva, todos los estudios previos han estado basados en el cálculo del factor de ponderación utilizando una respuesta fisiológica individual. Han sido varios los métodos basados en la frecuencia cardiaca que se han propuesto en un intento de cuantificar la carga de entrenamiento individual. Recientemente, Lucia et al. (1999) propuso evaluar las respuestas individuales a la carga de entrenamiento usando el tiempo gastado en tres diferentes zonas de la frecuencia cardiaca y determinando según el umbral ventilatorio y puntos de compensación respiratoria, sin embargo otros enfoques más recientes como el publicado por Vincenzo Manzi et al. (2009) difieren de los trabajos previos que utilizaron la sesión de entrenamiento valores promedio de frecuencia cardiaca y permitió que más valores de la frecuencia cardiaca debía ser considerados en el cálculo de TRIMP. Para ello, la carga de entrenamiento interna era detectada usando características fisiológicas individuales, es decir, la frecuencia cardiaca y los perfiles de lactato sanguíneo, en lugar de los valores promedio de ejercicio

Borges et al. (2014), en su modelo propuesto para kayakistas, promulga que es difícil encontrar un medio por el cual una sola medida pueda cuantificar efectivamente la carga de entrenamiento. El método propuesto por Bannister (1991) sólo tiene en cuenta la frecuencia cardiaca media para el intervalo o el entrenamiento total, y por lo tanto no refleja la importancia del ejercicio de corta duración y de alta intensidad. Como intento de respuesta, Foster et al. (2001) abordaron este problema utilizando zonas de frecuencia cardíaca; sin embargo, la ponderación seleccionada para cada zona aumentó de manera lineal, lo que no refleja las respuestas fisiológicas al ejercicio por encima del umbral anaeróbico.

Autores como Sanders, Abt, et al. (2017) donde estudian en profundidad los métodos objetivos y subjetivos para cuantificar las cargas de entrenamiento en ciclistas plantean la posibilidad de la limitación del TRIMP de Banister, debido que utiliza la frecuencia cardiaca media de la sesión de entrenamiento o competición, que puede no ser aplicable a la naturaleza del ciclismo de carretera, donde hay momentos específicos donde la intensidad del ejercicio puede ser muy alta o muy baja dependiendo del terreno, los factores tácticos y las condiciones climáticas. Además, el TRIMP de Banister, utiliza una ecuación genérica para la respuesta del lactato sanguíneo al ejercicio que no integra características fisiológicas individuales. Por lo tanto, consideran, que la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) puede explicar las relaciones dosis-respuesta más débiles en comparación con otros métodos de carga de entrenamiento, por ejemplo, métodos TRIMP basados en frecuencia cardiaca.

Sin embargo, estudios como los de Halson (2014) y Rodríguez-Marroyo et al. (2012) y en la misma línea que nuestro estudio, proponen que en situaciones donde el patrón de la frecuencia cardiaca puede verse afectado por la interacción compleja de muchos factores como por ejemplo, concentraciones hormonales, rasgos de personalidad, condiciones ambientales, así como por la fatiga, la combinación de la percepción subjetiva del esfuerzo junto con métodos de carga de entrenamiento basados en la frecuencia cardiaca puede ser útil para proporcionar información sobre el estado de fatiga de los ciclistas. En relación Sanders, Myers, et al. (2017) sostienen que la distribución de la intensidad del entrenamiento cuantificada usando una escala de RPE proporcionó diferencias moderadas a muy grandes en comparación con las distribuciones de intensidad cuantificadas usando métodos basados en el tiempo pasado en zonas predefinidas de frecuencia cardiaca y potencia.

Atendiendo a los resultados obtenidos los coeficientes propuestos para ponderar el tiempo de permanencia de los deportistas en el modelo trifásico son: $Z1 = 1$, $Z2 = 2$ y $Z3 = 3.5$. Con estos coeficientes la carga de entrenamiento total hallada en el estudio fue de 2497.0 ± 1544.2 y 2801.0 ± 1242.1 AU en los entrenamientos en bicicleta y carrera, respectivamente. Estos valores fueron significativamente mayores a los obtenidos cuando se usaron los coeficientes propuestos en la literatura (i.e., $Z1=1$, $Z2=2$ y $Z3=3$), 2467.1 ± 1541.5 y 2664.1 ± 1156.2 AU en bici y carrera, respectivamente.

Estudios como el de Esteve-Lanao et al. (2007) corredores de resistencia entrenados de nivel sub-élite, experimentaron mejoras en las variables de rendimiento cuando realizaron una cantidad de entrenamiento semanal comprendida en el rango del TRIMP de Banister comprendido entre 360-495 AU. De estos estudios, se debe lograr un TRIMP aparentemente semanal superior a 360 UA para obtener mejoras en el rendimiento de la resistencia. Sin embargo, el método utilizado en un estudio, en el que se han utilizado modelos lineales para explicar la diferencia individual en la aptitud aeróbica y las adaptaciones de la carga de entrenamiento, no se relacionó con mejoras en el rendimiento, mientras que encontraron una fuerte relación entre TRIMP individual y el rendimiento. Este concepto se enfatiza aún más por los resultados de la comparación entre el iTRIMP y TRIMP de Banister.

Del mismo modo, en nuestro estudio, la mejora en el rendimiento máximo se correlacionó con la carga de entrenamiento calculada en base a la FC, usando la metodología tradicional ($r = -0.35$, $p < 0.05$) y la propuesta en este estudio ($r = -0.38$, $p < 0.05$). El 29.6% y

el 25.2% de la varianza en el porcentaje de cambio del VO_{2max} y el rendimiento máximo la explicó el tiempo de permanencia por encima del umbral anaeróbico. El tiempo de permanencia por encima del umbral anaeróbico se correlacionó con el porcentaje de cambio de la potencia en el umbral anaeróbico ($r= 0.57$, $p<0.05$). El 32.3% de la varianza del porcentaje de mejora la explicó el tiempo en Z3 ($p<0.05$).

Según el estudio de Manzi et al. (2009), el iTRIMP es una herramienta válida para mejorar la aptitud física (velocidad a 2 y 4 mmol/L) y el rendimiento (prueba de 5000m), en consonancia con los datos recogidos en las pruebas de esfuerzo realizadas donde se obtuvieron diferencias significativas en la velocidad máxima y en umbral anaeróbico en la carrera a pie. Así mismo, en la prueba de bici además de incrementar significativamente la potencia máxima y en la potencia en el umbral anaeróbico.

En nuestro estudio, se concluyen que en bicicleta y en el tapiz rodante, el porcentaje de mejora en el VO_{2max} y en el rendimiento máximo de los triatletas se correlacionó negativamente con el tiempo de permanencia por encima del umbral anaeróbico ($r= -0.54$ y -0.50 , para el VO_{2max} y rendimiento máximo).

Finalmente, Halson (2014), indica que a pesar de las crecientes cantidades de investigación y la popularidad del monitorización de carga en programas de alto rendimiento, no es evidente una única herramienta definitiva que sea precisa y confiable. De hecho, la naturaleza de la supervisión es probable que sea muy diferente dependiendo del deporte y, a menudo, más de una herramienta de monitoreo es utilizada. Esta es probablemente la consecuencia de la adaptación fisiológica individual y las respuestas al ejercicio, así como la especificidad requerida para ser relevante para diferentes deportes. Sin embargo, la evidencia reciente sugiere que muchos atletas, entrenadores y personal de apoyo están adoptando un enfoque cada vez más científico para el monitorizar la carga.

De acuerdo con el autor anterior, Lambert y Borresen, (2010) mantienen que pesar de años de investigación, no se ha identificado ningún marcador fisiológico que pueda cuantificar las respuestas de fitness y fatiga al ejercicio o predecir el rendimiento con precisión. La correlación entre el entrenamiento y los cambios observados en estas variables fisiológicas es altamente personal y depende de muchos factores que influyen en la tolerancia de un individuo a una carga de ejercicio. Por lo tanto, se debe hacer más hincapié en la medición de los marcadores que reflejan la capacidad global de un individuo para responder o adaptarse al rendimiento, en lugar de una medida absoluta de los cambios en las variables fisiológicas en respuesta al ejercicio.

9. APLICACIONES PRÁCTICAS

La cuantificación de la carga de entrenamiento está adoptando un enfoque cada vez más científico, es por ello que muchos deportistas, entrenadores y personal de apoyo lo utilizan tanto para diseñar como para monitorizar y controlar los programas de entrenamiento.

Una monitorización y control de las cargas de entrenamiento adecuadas permite ayudar a determinar si los deportistas se están adaptando a un programa de entrenamiento, así como minimizar el riesgo de desarrollar sobrecarga no funcional, lesión o enfermedad.

Los deportistas de élite, están expuestos a altas cargas de entrenamiento y estrés competitivo, es necesario manejar los riesgos asociados con los posibles resultados negativos, mantener una salud física y psicológica óptima y el bienestar del deportista.

Por lo tanto, una mejor comprensión de las relaciones dosis-respuesta entre la carga de entrenamiento y el rendimiento físico es un parámetro muy valioso para los entrenadores y los profesionales, debido a que nos puede aportar información importante de los efectos del entrenamiento en los deportistas. Es decir, que para tener un impacto en el rendimiento debemos estar seguros de la naturaleza de la relación entre la dosis de ejercicio prescrita y el resultado esperado del entrenamiento o la respuesta.

Debido a la masificación de práctica deportiva, es necesario un método de cuantificación del entrenamiento como el iTRIMP, que podría ser considerado como un método accesible a cualquier población, validado para actividades deportivas muy populares como la carrera a pie y ciclismo, y de bajo coste, estando al alcance económico de cualquier deportista y entrenador, con el objetivo de registrar las respuestas individuales que provoca la carga de entrenamiento y, en consecuencia, para optimizar los progresos de entrenamiento, mejorando en el rendimiento y evitando un posible estado de exceso o sobreentrenamiento.

Un aspecto clave del iTRIMP es la individualización de las cargas de entrenamiento, que están adaptadas personalmente a las características de cada individuo. Por lo tanto la capacidad individual de trabajo se determina mediante factores biológicos y psicológicos individuales y debe tenerse en cuenta a la hora de especificar el tipo y la carga de trabajo.

La información más útil y de aplicación práctica del iTRIMP se deriva de las relaciones dosis-respuesta presentadas entre la carga y condición o aptitud física, donde se puede sugerir, que para mantener mejoras en el rendimiento es necesario acumular una cantidad carga en un periodo concreto de trabajo, y medida en Unidades Arbitrarias (AU) iTRIMP.

10. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se obtuvieron en este estudio han sido las siguientes:

- La propuesta metodológica de cuantificación de las cargas de entrenamiento utilizando el Training Impulse individualizado (iTRIMP) determinó que para obtener las cargas de entrenamiento específica en triatletas, para las sesiones de entrenamiento de carrera a pie y ciclismo, el peso o la fuerza de los estímulos de entrenamiento realizados por encima del umbral anaeróbico tienen un mayor peso, que los esfuerzos realizados por debajo del umbral aeróbico y entre umbrales.
- El modelo iTRIMP se ajusta mejor para la cuantificación de las cargas de entrenamiento que otras metodologías tradicionales, esto es debido a que el iTRIMP sigue un modelo de cuantificación de la intensidad del entrenamiento exponencial, otorgando más importancia a las actividades realizadas por encima del umbral anaeróbico y, en contraposición de los modelos tradicionales que otorgan una ponderación a la intensidad del esfuerzo directamente proporcional.
- El cálculo del peso de la intensidad del entrenamiento según la zona de intensidad de trabajo y utilizando el modelo trifásico de la intensidad propuesto por (Lucia et al., 1999) determinó para el TRIMP tradicional de Banister los coeficientes en Z1, Z2 y Z3 de 1, 2 y 3 respectivamente, mientras que en nuestra propuesta otorgó unos coeficientes en Z1, Z2 y Z3 de 1, 2 y 3,5 respectivamente. Debido a estas ponderaciones la carga de entrenamiento calculada utilizando nuestra propuesta obtuvo unos valores mayores de carga medidas en AU.
- El análisis del rendimiento de los triatletas, comparando las pruebas de esfuerzo en cicloergómetro y tapiz rodante, iniciales y finales, determinó que la mejora en rendimiento máximo y VO2 máximo de los triatletas negativamente con el tiempo de permanencia por encima del umbral anaeróbico. De igual manera, la mejora en el rendimiento máximo se correlacionó con la carga de entrenamiento calculada en base a la FC, usando la metodología tradicional y la propuesta en este estudio.

11. VALORACIÓN Y REFLEXIÓN CRÍTICA

El triatlón es complejo, es un deporte combinado, que está compuesto por la consecución de tres disciplinas completamente diferentes como son la natación, el ciclismo y la carrera a pie, y que por lo tanto las características del esfuerzo en cada segmento no son iguales, ni entre disciplinas del propio deporte, ni entre otras modalidades deportivas. Por lo tanto, surge la necesidad de encontrar nuevas metodologías de entrenamiento específicas para el triatlón.

Como deportista experimentado, entrenador nacional de triatlón, y apasionado de este deporte, siempre he tenido el objetivo de mejorar como deportista y de aprender como entrenador con el fin de busca la excelencia deportiva. Debido a este afán de superación siempre he considerado que un aspecto clave es la formación continua y renovación periódica de los conocimientos adquiridos de cualquier rama del ámbito del rendimiento deportivo, desde la planificación y metodología del entrenamiento, hasta la biomecánica o nutrición, pasando por la cuantificación y control de las cargas de entrenamiento, así como la valoración de las capacidades físicas. Todos ellos conjuntamente van a contribuir de forma multidisciplinar en obtener el máximo rendimiento deportivo de los deportistas, donde el mínimo detalle va a influir en el resultado final y por lo que es preciso tener controlado..

La oportunidad de continuar con la misma línea de investigación propuesta en mi trabajo de fin de grado, me ha permitido especializarme y consolidar conceptos, conocimientos, aplicar métodos, procedimientos y técnicas en el ámbito de la cuantificación y control de las cargas de entrenamiento, desde mi punto de vista, un campo muy importante en el proceso de entrenamiento debido a que se estudia de primera mano los efectos que producen el volumen y la intensidad de los entrenamientos en el rendimiento de los deportistas.

Finalmente, considero muy gratificante, el hecho de poder realizar una aportación al conocimiento de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, en el campo del Entrenamiento y Rendimiento Deportivo, describiendo una propuesta para cuantificar las cargas de entrenamiento de forma específica para triatletas. Esto es debido a que es una propuesta que desarrolla un modelo útil y práctico, porque es completamente sencillo y fácil de aplicar en el día a día del proceso de entrenamiento de los deportistas y entrenadores.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Achten, J., & Jeukendrup, A. (2003). Heart rate monitoring. *Sports Medicine*. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.2165/00007256-200333070-00004>
- Ballesteros, J. (1987). *El libro del triatlón*. Madrid, España: Arthax S.L
- Banister, E. (1991). Modeling elite athletic performance. *Physiological Testing of Elite Athletes*, 403–424. Retrieved from [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Banister+EW.+Modeling+elite+athletic+performance.+In%3A+Green+H%2C+McDougal+J%2C+Wenger+H%2C+editors.+Physiological+Testing+of+Elite+Athletes.+Champaign+\(IL\)%3A+Human+Kinetics%3B+1991.+pp.+403-4244&btnG=&l](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Banister+EW.+Modeling+elite+athletic+performance.+In%3A+Green+H%2C+McDougal+J%2C+Wenger+H%2C+editors.+Physiological+Testing+of+Elite+Athletes.+Champaign+(IL)%3A+Human+Kinetics%3B+1991.+pp.+403-4244&btnG=&l)
- Banister, E., & Calvert, T. (1980). Planning for future performance: implications for long term training. *Canadian Journal of Applied Sport*. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6778623>
- Bompa, T. (2014). *Periodización del entrenamiento deportivo*. Badalona: Paidotribo. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8WKzVpH7HaQC&oi=fnd&pg=PT6&dq=periodización+del+entrenamiento+deportivo&ots=vliDhyblvs&sig=qBkKj8s53q3vqyNbZo1A-Vifzts>
- Borg, G., Hassmén, P., & Lagerström, M. (1987). Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *European Journal of Applied*. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00424810>
- Borges, T., Bullock, N., & Duff, C. (2014). Methods for quantifying training in sprint kayak. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(2), 474–482. Retrieved from http://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/2014/02000/Methods_for_Quantifying_Training_in_Sprint_Kayak.21.aspx
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2009). The Quantification of Training Load , the training Response and the Effect on Performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779–95. <https://doi.org/10.2165/11317780-000000000-00000>
- Cejuela-Anta, R., & Esteve-Lanao, J. (2011). Training load quantification in triathlon. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6(2), 218–232. <https://doi.org/10.4100/jhse.2011.62.03>

- Cejuela-Anta, R., Pérez-Turpin, J. A., Rodríguez Marroyo, J. A., Cortell-Tormo, J. M., & Villa, J. G. (2007). Analysis of performance factors in sprint distance triathlon. *Journal of Human Sport & Exercise*, 11(1), 1–25. <https://doi.org/10.4100/jhse.2007.22.01>
- Chavarren, J., & Dorado, C. (1996). Triatlón: Factores condicionantes del rendimiento y del entrenamiento. *Rendimiento Deportivo*.
- Coyle, E., Sidossis, L., & Horowitz, J. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 24(7), 782–788. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Labros_Sidossis/publication/21653284_Cycling_efficiency_is_related_to_the_percentage_of_type_I_muscle_fibers/links/09e4150a400191e5db000000.pdf
- CSD. (2015). Licencias federativas y clubes 2015, 446(1). Retrieved from <http://www.csd.gob.es/csd/estaticos/asoc-fed/LicenciasyClubes2015.pdf>
- Cuba-Dorado, A., & García-García, O. (2014). Revisión: Los Factores de Rendimiento en Triatlón como Base para la Detección de Talentos. *Revista Española De Educación Física Y Deportes*, 407, 49–60.
- Davis, J. (1985). Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(1), 6–21. Retrieved from <http://europepmc.org/abstract/med/3884961>
- Dekerle, J., Baron, B., Dupont, L., & Vanvelcenaher, J. (2003). Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *European Journal of Applied Physiology*. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/s00421-002-0786-y>
- Edwards, S. (1993). *The Heart Rate Monitor Guidebook to Heart Zones Training*. Sacramento: Fleet Feet Press. Retrieved from <https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=The+Heart+Rate+Monitor+Guidebook+to+Heart+Zone+Training+Sally+Edwards&btnG=&lr=>
- Esteve-Lanao, J., Foster, C., Seiler, S., & Lucia, A. (2007). Impact of Training Intensity Distribution on Performance in Endurance Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 943–949. <https://doi.org/10.1519/R-19725.1>
- Federación Española de Triatlón. (2017). Reglamento de Competiciones, 64. Retrieved from

<http://www.triatlo.org/lafederacio/normativa/>

- Foster, C., Florhaug, J. a, Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. a, Parker, S., ... Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109–115. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2001\)015<0109:ANATME>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2001)015<0109:ANATME>2.0.CO;2)
- García-Manso, J., Navarro, M., Ruiz, J., & Martín, R. (1998). Bases teóricas del entrenamiento deportivo: Principios y aplicaciones. Capítulo 1: Definición del concepto de entrenamiento. *Gymnos. Madrid*. Retrieved from https://scholar.google.es/scholar?q=garcia+manso+1998+entrenamiento&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5
- García López, D., & Herrero, A. J. (2003). El triatlón: un acercamiento a sus orígenes y a los factores que determinan su rendimiento. *Lecturas: Educación Física Y Deportes, ISSN-E 1514-3465, Nº. 66, 2003, (66), 14*. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=752323>
- Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 44, 139–147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
- Hopkins, W. (1991). Quantification of training in competitive sports. *Sports Medicine*. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.2165/00007256-199112030-00003>
- Jacobs, I. (1986). Blood lactate. *Sports Medicine*. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.2165/00007256-198603010-00003>
- Jones, A., & Doust, J. (1996). A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences*, 14(4), 321–327. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02640419608727717>
- Lambert, M. I., & Borresen, J. (2010). Measuring Training Load in Sports Methods Used To Quantify Training Load. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 406–411. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.3.406>
- Lehenaff, D., & Bertrand, D. (2001). El triatlón. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=li3LwgR3NcsC&oi=fnd&pg=PA15&dq=el+libro+del+triatlon&ots=kvJTxBzbd&sig=bc1w7XO5Bq79LuqvqijHi4CrHC8>
- Lucia, A., Hoyos, J., & Carvajal, A. (1999). Heart rate response to professional road cycling:

- the Tour de France. *International Journal of*. Retrieved from <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-2007-971112>
- Mallol, M., Cámara, J., Calleja-González, J., Yanci, J., & Mejuto, G. (2015). El Triatlón y el control de la carga mediante la percepción del esfuerzo. *Archivos de Medicina Del Deporte*, 32(3), 164–168. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84938359131&partnerID=tZOtx3y1>
- Manzi, V., Iellamo, F., Impellizzeri, F., Ottavio, S. D., & Castagna, C. (2009). Relation between Individualized Training Impulses and Performance in Distance Runners. *American College of Sports Medicine*, 41(11), 2090–2096. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a6a959>
- Martin, D., Carl, K., & Lehnertz, K. (2007). Manual de metodología del entrenamiento deportivo. Retrieved from [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=_ehXzkJzpQIC&oi=fnd&pg=PT14&dq=Martin,+D.%3B+Carl,+K.%3B+Lehnertz,+K.+\(2001\).+Manual+de+metodología+del+entrenamiento+deportivo.+Paidotribo,+Barcelona.&ots=1LLk9xmnB9&sig=UnkmErvTUbJRsQGjJes1CoEmRA](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=_ehXzkJzpQIC&oi=fnd&pg=PT14&dq=Martin,+D.%3B+Carl,+K.%3B+Lehnertz,+K.+(2001).+Manual+de+metodología+del+entrenamiento+deportivo.+Paidotribo,+Barcelona.&ots=1LLk9xmnB9&sig=UnkmErvTUbJRsQGjJes1CoEmRA)
- Minghui Luo, Y. T. (2015). Application of Trimp in Training Monitoring of Competitive Sports. *The Open Cybernetics & Systemics Journal*, 9, 2463–2466. Retrieved from <http://resolver.ebscohost.com/openurl?sid=EBSCO%3Aedsc&genre=article&issn=1874110X&ISBN=&volume=9&issue=&date=20150101&spage=2463&pages=2463+-+2466&title=Open+Cybernetics+and+Systemics+Journal&atitle=Application+of+Trimp+in+training+monitoring+of+compet>
- Morante, J. C. (1994). La técnica como medio en el proceso de entrenamiento. *Red: Revista de Entrenamiento Deportivo*. 8(4), 23-27. Retrieved from https://scholar.google.es/scholar?q=Morante%2C+J.+C.+%281995%29.+La+técnica+como+medio+en+el+proceso+de+entrenamiento.+Red%3A+revista+de+entrenamiento+deportivo%2C+8%284%29%2C+23-27.&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5
- Moseley, L., Achten, J., & Martin, J. (2004). No differences in cycling efficiency between world-class and recreational cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 25(5), 347–379. Retrieved from <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/html/10.1055/s-2004-815848>

- Navarro, F., Oca, A., & Rivas, A. (2010). Planificación del entrenamiento y su control. España: Cultiva Libros. Retrieved from https://scholar.google.es/scholar?q=planificacion+del+entrenamiento+y+su+control+navarro+y+oca&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5
- Pardo, J. (2014). *Efecto de la carga de entrenamiento en el rendimiento ergométrico de triatletas aficionados*. Universidad de León.
- Robinson, D. (1991). Training intensity of elite male distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(9), 1078–1082. <https://doi.org/10.1249/00005768-199109000-00013>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., Villa, G., García-López, J., & Foster, C. (2012). Comparison of Heart Rate and Session Rating of Perceived Exertion Methods of Defining Exercise Load in Cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(8), 2249–2257. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a4233>
- Rodríguez-Marroyo, J., García-López, J., Juaneau, C. ., & Villa, J. . (2009). Workload demands in professional multi-stage cycling races of varying duration. *British Journal of Sports Medicine*, 43(3), 180–185. Retrieved from <http://bjsm.bmj.com/content/43/3/180.short>
- Rodríguez González, F. J. (2016). *Effect of exercise intensity distribution on performance in well-trained triathletes*. Universidad de Leon.
- Sanders, D., Abt, G., Hesselink, M., Myers, T., & Akubat, I. (2017). Methods of monitoring training load and their relationships to changes in fitness and performance in Competitive Road Cyclicist. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 1–23. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Dajo_Sanders/publication/311666174_Methods_of_Monitoring_Training_Load_and_Their_Relationships_to_Changes_in_Fitness_and_Performance_in_Competitive_Road_Cyclists/links/5852dd4c08ae95fd8e1d74c3/Methods-of-Monitoring-Tra
- Sanders, D., Myers, T., & Akubat, I. (2017). Training intensity distribution in road cyclists: objective versus subjective. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, (1), 10. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Dajo_Sanders/publication/313770225_Training_Intensity_Distribution_in_Road_Cyclists_Objective_Versus_Subjective_Measures/links/58

a573f5aca27206d9866c22/Training-Intensity-Distribution-in-Road-Cyclists-Objective-Versus-

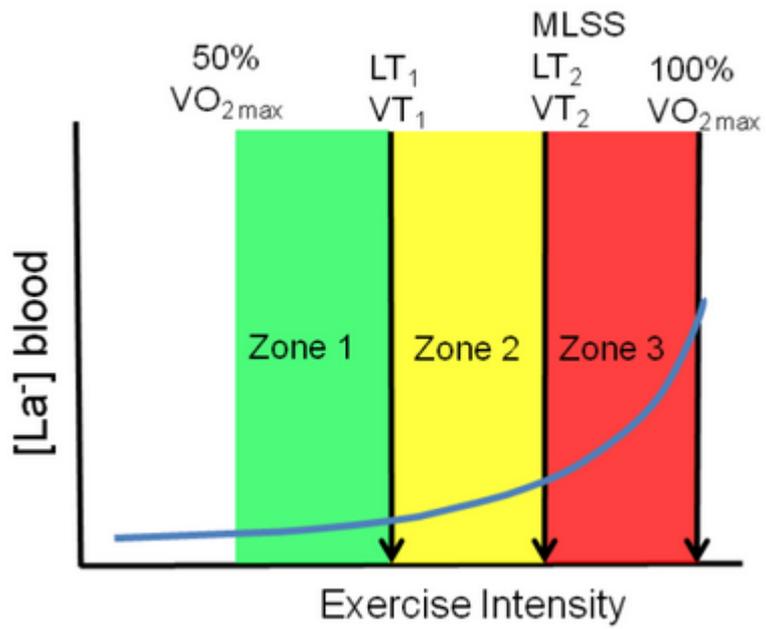
Stagno, K., Thatcher, R., & Van Someren, K. (2007). A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *Journal of Sports*, 25(6), 629–634. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02640410600811817>

Støren, Ø., Helgerud, J., & Hoff, J. (2011). Running stride peak forces inversely determine running economy in elite runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(1), 117–123. Retrieved from http://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/2011/01000/Running_Stride_Peak_Forces_Inversely_Determine.17.aspx

Sylta, Ø., Tønnessen, E., & Seiler, S. (2014). From heart-rate data to training quantification: A comparison of 3 methods of training-intensity analysis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(1), 100–107. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2013-0298>

13. ANEXOS

ANEXO 1: Modelo trifásico de la distribución de la intensidad del entrenamiento



ANEXO 2: Summated Heart Rate Zones propuesto por Edwards

| Weight Factor | %HRmax |
|----------------------|---------------|
| 1 | 51-61 |
| 2 | 61-71 |
| 3 | 71-81 |
| 4 | 81-91 |
| 5 | 91-100 |

Anexo 3: Escala de esfuerzo percibido de Borg

| Escala de Borg Original | |
|-------------------------|----------------|
| 1 | |
| 6 | |
| 7 | Muy, muy suave |
| 8 | |
| 9 | Muy suave |
| 10 | |
| 11 | Bastante Suave |
| 12 | |
| 13 | Algo Duro |
| 14 | |
| 15 | Duro |
| 16 | |
| 17 | Muy Duro |
| 18 | |
| 19 | Muy, muy duro |
| 20 | |

| Escala de Borg Modificada | |
|---------------------------|----------------|
| 0 | Muy, muy suave |
| 1 | Muy suave |
| 2 | Muy Suave |
| 3 | Suave |
| 4 | Moderado |
| 5 | Algo Duro |
| 6 | Duro |
| 7 | |
| 8 | Muy Duro |
| 9 | |
| 10 | Muy, Muy Duro |

ANEXO 4. Pruebas de esfuerzo sobre cicloergómetro y tapiz rodante.



ANEXO 5. Comportamiento de las variables ergoespirométricas analizadas durante los test incrementales máximos realizados.

