



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

**Individualización del entrenamiento
en base a la recuperación y estado de
entrenamiento en triatletas de élite.**

Alumno: Pablo Pérez Matas

Tutor académico: Alejandro Javaloyes Torres

Máster Universitario en Rendimiento Deportivo y
Salud.

Curso académico: 2023 -2024

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Índice

1. Resumen.....	1
2. Introducción.....	2
3. Método.....	10
4. Resultados.....	20
5. Discusión	20
6. Conclusiones.....	20
7. Referencias Bibliográficas.....	21



Resumen

Introducción. El desarrollo del rendimiento en triatlón requiere un equilibrio entre carga y recuperación. Las respuestas y las adaptaciones a cada carga es individual, este estudio investigó sí el entrenamiento de resistencia adaptado individualmente en función de la recuperación y el estado de entrenamiento lleva a mayores adaptaciones en comparación con un programa predefinido tradicional de volumen e intensidad. **Método.** Los cuatro triatletas ($21,75 \pm 2,25$ años) realizaron dos períodos diferenciados de carga uno predominante de volumen elevado (LIT) y otro período con alta intensidad (HIT) de 6 semanas cada uno, donde la carga se elevó, se redujo o aumentó dos veces cada semana en un 25%, en base a la variabilidad de la frecuencia cardiaca, la percepción de la fatiga a velocidad crítica y la fatiga percibida. Se realizaron tres pruebas incrementales en cada segmento, natación, ciclismo y carrera a pie, en el período previo (EV PRE-LIT), al finalizar el primer período de alto volumen (EV POST-LIT) y al finalizar el período de alta intensidad (EV POST-HIT).

Introducción.

El triatlón es un deporte multidisciplinar que al tener un abanico tan amplio de posibilidades de competición y distancias hace que los factores determinantes en el rendimiento deportivo varíen en consideración. No obstante, la distancia por excelencia, puesto que es en la que se disputan los JJOO es 1.500m a nado, 40km de bici y 10 kms de carrera a pie. Aunque no se ha de olvidar la segunda prueba olímpica, el Relevé Mixto cuyas distancias oscilan entre los 200 y 300m de natación, unos 6 y 8 kms de ciclismo y entre 1,5 y 2,5kms de carrera a pie. En la mayoría de ocasiones los triatletas que compiten en una distancia lo hacen también en la otra representando su país por requerimiento del COI. La duración de ambas competiciones, se encuentra en torno a los 20' en la prueba supersprint y las casi 2 horas en la prueba de distancia estándar (olímpica).

En el estudio de Pöller (2015), sobre una prueba supersprint, en donde se analizaron los diferentes ritmos de competición, se obtuvieron unos resultados de $1,30 \pm 0,04$ m/s, en mujeres y $1,44 \pm 0,04$ m/s en hombres, en la velocidad de nado. Una velocidad de $37,3 \pm 0,9$ km/h en mujeres, y $40,1 \pm 1,1$ km/h en hombres, en el sector de ciclismo, con potencias medias en torno a los 4w/kg. Por último, en carrera a pie, se obtuvieron velocidades de $4,91 \pm 0,17$ m/s, en mujeres y $5,60 \pm 0,23$ m/s en chicos, determinando unas velocidades objetivo de rendimiento.

A la vista de las velocidades de ejecución, se determinan los factores determinantes del rendimiento en una prueba de triatlón entendiendo que en ambas pruebas el segmento de bicicleta se realiza con drafting, algo determinante en el desarrollo, es decir, se puede realizar a rueda unos triatletas de otros, según un artículo (Cejuela et al., 2007) los principales factores determinantes son un alto porcentaje del umbral anaeróbico con respecto al $Vo_{2m\acute{a}x}$ individual, lo que permite al deportista estar el máximo tiempo en un límite cercano al máximo consumo de oxígeno sin llegar a ese 100%, definiendo el umbral anaeróbico como la carga de trabajo o

nivel de consumo máximo de oxígeno a partir del cual se comienza a instaurar un estado de acidosis metabólica y ocurren cambios asociados en el intercambio gaseoso (Wasserman y Mcilroy, 1964). Y la obtención de un determinado y alto nivel técnico de ejecución en el estilo de natación, en este caso crol, que permita adaptar el nado a las diferentes posibilidades del medio. Cuyas variables son importantes para alcanzar el máximo rendimiento deportivo en esta disciplina del triatlón.

El segmento de carrera a pie es el más decisivo en el rendimiento final de la prueba, para lograr un buen resultado final, es importante conseguir colocarnos en la parte delantera del grupo en bici antes de la transición, pero, sobre todo, tener un segmento de carrera a pie determinante para lograr el mejor resultado tras la colocación en el grupo (Bentley et al., 2007). De hecho el resultado final no viene determinado por el orden de las fases, ni por la duración de estas, la bici fue la menos influyente con $r_s = 0,039$; $p = 0,351$; siendo la que más tiempo ha ocupado con un 52,55%; la fase más influyente ha sido la fase de carrera a pie con $r_s = 0,991$; y $p = 0,000$ en un estudio sobre distancia olímpica basada en la prueba de los JJOO de Pekín en 2008 (Fernández-Revelles, A. B., et al. 2018)

Las diferencias en patrones de rendimiento se pueden dividir en dos partes con respecto a la condición física y a la antropometría constitutiva del sujeto (Dorado y García, 2014), dentro de las condiciones físicas del triatleta, se encuentra un rango alto de la frecuencia cardiaca máxima y la basal, así como otros factores, como son el $VO_{2m\acute{a}x}$, la capacidad de soporte de lactato y el umbral anaeróbico.

En los principales factores de rendimiento relacionados con la condición física para una competición de 20', como es el supersprint, empleando una estrategia de inicio rápido que tiene un mayor beneficio (Walsh, 2019), donde la natación y el ciclismo tienen una importancia superior a otras distancias (Pöller, 2015), con mayores velocidades de nado y potencias en bici

obtenidas, dividido en natación, la medición hasta la fecha ha sido más complicada que en los otros segmentos, por ello, las mediciones en piscina en estudios realizados en pruebas de natación de 300 y 400m se han observado altas concentraciones de lactato en los nadadores en una prueba de máxima intensidad en piscina (Schinitzler, C. et al 2009), junto con una variación en las fases de tirón y empuje, que unido a la diferencia en triatlón donde el paso de la primera boya es determinante, requiere de altas tolerancias lácticas para la obtención de resultados positivos.

Dentro de la distancia supersprint, el rendimiento en ciclismo y en carrera a pie se determina fisiológicamente por un alto consumo máximo de oxígeno absoluto y relativo puesto que la carrera a pie para unos 5-6' se corre al 100% de la Velocidad Máxima Aeróbica (Duffield, et al, 2005), además en el sector de ciclismo, al ser una prueba con drafting tiene una variedad mayor de factores de rendimiento, las observaciones de triatletas australianos de élite que compiten en el mundial de Relevos Mixtos indican un nivel similar de esfuerzos de alta intensidad durante el ciclismo que en distancia olímpica, los triatletas masculina registraron 11 y 12 picos de producción de potencia por encima de 650w durante los 10,5 minutos de duración del ciclismo, en categoría femenina se registraron 17 y 8 picos de potencia superior a los 400w durante los 11,5 minutos de duración del ciclismo, lo que requiere triatletas completos capaces de manejar diferentes situaciones de carrera que requieren respuestas fisiológicas particulares. (Sharma, A.P.; Périard, J.D. 2020).

En distancia standard, cercana a las 2 horas, la capacidad aeróbica, es clave, entendida como el esfuerzo de una intensidad determinada que se puede mantener de manera casi exclusiva por procesos metabólicos aeróbicos, como factor fundamental para mantener un alto rendimiento (Chavaren, Dorado, López, 1996; Hausswirth y Brisswalter, 2008). En el sector de natación, cuyo rendimiento se alcanza en valores máximos de la velocidad aeróbica, es fundamental el trabajo del consumo máximo de oxígeno y la alta tolerancia láctica. En el sector

de ciclismo, la potencia media corresponde al $77 \pm 6\%$ de la PAM (Potencia aeróbica máxima), pero con picos de potencia que determinan el resultado, teniendo en cuenta la capacidad neuromuscular y el umbral ventilatorio (VT2). En el sector de carrera a pie, el umbral de lactato, así como la economía y eficacia de carrera. (Gonzalez-Haro, C. et al., 2005)

Una vez conocidos los factores determinantes, se analizan los modelos de periodización en unidades de entrenamiento, modelos tradicionales y modelos contemporáneos que puedan ayudar a mejorar esos factores (Bompa et. al 2015) dividiendo la temporada en cuatro períodos (pretemporada, general, específico y competitivo) realizando una adaptación del modelo ATR (acumulación, transformación y realización), caracterizado por una distribución no lineal que se ajusta a un calendario competitivo de triatlón superior a los seis meses (González-Ravé R.M. et. al 2014).

En el deporte de resistencia, la fatiga es un resultado de las altas cargas de entrenamiento, que se producen en modalidades como el atletismo, el ciclismo o el triatlón, por lo que la monitorización de esas cargas puede ser particularmente importante (Halsen, 2014).

Para el control de la carga ante la necesidad de los entrenadores para el conocimiento de la fatiga que genera una carga determinada se han desarrollado muchos métodos de cuantificación de la carga, unos de carga externa y otros de carga interna, que son los de interés en este estudio, hasta ahora una de las principales formas de estudio de la carga interna hasta la última década ha sido con una escala de valoración de la percepción subjetiva (RPE), que permite al deportista conocer su percepción de esfuerzo con respecto a lo solicitado por el entrenador.

En la búsqueda de métodos más desarrollados en la carga interna se han desarrollado diferentes índices de cuantificación de esa carga uniendo variables como la RPE y la FC, (Borresen y Lambert, 2008), donde se establecen las relaciones entre un método de carga

interna (RPE) y dos métodos de carga externa (TRIMP y FC sumada (SHRZ)) obteniendo mayores correlaciones con cargas de entrenamiento medias y una desviación mayor cuando se entrena a intensidad muy elevadas o muy bajas.

Esta inquietud ha buscado cada vez más una utilización de métodos del entrenamiento basados en el conocimiento de la carga interna y es el conocido como HRV (Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca) la que obtiene datos más fiables en la medición objetiva de la carga interna sin ser una medida subjetiva con deportistas de resistencia en sus cargas de entrenamiento, viendo la adaptación al entrenamiento que implica el seguimiento individual de cada deportista.

Mediante la variación del estado del sistema nervioso autónomo cardíaco, evaluado con la VFC, se puede comprobar generalmente en la medición de éste en reposo la adaptación de un individuo al proceso de entrenamiento. Se considera que las respuestas de VFC son individuales y dependen del nivel de forma física y del historial de entrenamiento (Plews, DJ, Laursen, P. et al, 2013) por ello, se sugiere que se deben realizar seguimientos longitudinales en el tiempo para entender el intervalo HRV entre ondas R de cada deportista.

Los índices de intervalos RR se denominan temporadas, utilizando la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado (RMSSD) y también se utiliza la medición de la desviación estándar de los intervalos RR (SD1) (Ortigosa et al., 2017).

La medida útil del VFC en reposo en registros cortos, cinco minutos, en posición supina al despertar por la mañana, utilizando un valor temporada RMSSD (Buchheit, 2014). Esta toma no es práctica para los deportistas, por lo que se utilizan períodos ultracortos, sesenta segundos validado para la toma RMSSghD (Nussinovitch et al., 2011; Esco & Flatt, 2014), que reúne ventajas como la accesibilidad fácil y rápida, un tiempo de grabación menor y menores alteraciones por motivo de la sensibilidad a la respiración (Saboul, Pialoux, & Hautier, 2013).

Por todo lo anterior, es el motivo por el que se utiliza el logaritmo natural de RMSSD (Ln RMSSD) ya que ésta es la “medida más confiable y aplicable en la practica para la monitorización diaria” (Plews, D.J., Laursen, P., et al 2013).

Según Torres-Ortiz, J.F. 2021, “*la evaluación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca es indicador de los mecanismos de adaptación autónoma cardiovascular del corazón en los deportistas de resistencia*”. Esto puede ayudar a que la VFC se pueda utilizar como marcador del estado de salud y ayude a diagnosticar estados de estrés en deportistas de alto rendimiento (Ortíz, L. C., et al. 2008)

Existen numerosos estudios (Bentley *et al.* 2020; Olivera-Silva *et al.* 2018; Molina *et al.* 2013) realizados en deportistas de resistencia, sobre todo en ciclistas, en un estudio (Rosales-Soto *et al.* 2016) se concluyó que los cambios después de un proceso de entrenamiento aumentaron significativamente la respuesta del balance autonómico del cociente entre baja y alta frecuencia, además de una disminución significativa de la potencia de la banda de alta frecuencia durante la recuperación, implicando un aumento de la actividad parasimpática. Lo que permitiría ayudar al control y diseño de programas de entrenamiento de forma individualizada, siendo una herramienta económica y no invasiva.

Sin embargo, aunque los resultados observados por estudios previos guiados por HRV, se ha observado que un solo marcador no ha podido establecer los aspectos críticos para una mejora en la recuperación del deportista, el HRV, refleja aspectos como la reparación del tejido muscular o la repleción del glucógeno muscular no tienen porque estar alineados con la reactivación parasimpática (Stanley *et al.* 2013).

Incluso en estudios la recuperación neuromuscular y la perceptiva ha diferido del patrón HRV (Flatt A.A. *et al.*, 2019; Nuutila O.P., Kyröläinen H., *et al* 2021; Thamm a., *et al* 2019), donde se puede argumentar que la adaptación al entrenamiento y la VFC pueden no estar tan

directamente asociadas como se ha asumido (Nuuttila O.P., Nummela A., et al 2021). Principalmente, después de un proceso de entrenamiento intenso (Le Meur Y. et al. 2013) y la posible influencia de la expansión del volumen plasmático (Stanley et al. 2013). Por tanto, los métodos de monitorización que permitan obtener información sobre la fatiga percibida y la tensión musculoesquelética pueden ayudar a obtener una imagen global del estado de recuperación.

A día de hoy, apenas unos pocos estudios han considerado múltiples variables en el esquema de decisión de entrenamiento mediante un análisis del esfuerzo percibido, la capacidad de alcanzar una frecuencia cardíaca objetivo y una recuperación de la frecuencia cardíaca, junto con la obtención del HRV (Capostagno, B. et al. 2014). Y otro estudio, en corredores recreativos (Olli-Pekka N. et al 2022) donde se comprobó si el entrenamiento de resistencia ajustado individualmente basado en la recuperación y el estado de entrenamiento conduciría a mayores adaptaciones en comparación con un programa predefinido. A pesar de que resulta positivo la combinación de marcadores objetivos y subjetivos para proporcionar una calidad de la monitorización que se realiza por parte del entrenador, existe una falta de investigación sobre como implementar dicho enfoque en un deporte tan complejo como el triatlón.

Tan sólo se han realizado estudios con triatletas para conocer las respuestas de la variabilidad entre diferentes deportistas como triatletas y ciclistas, donde se obtuvo un mayor consumo máximo de oxígeno y frecuencias cardíacas en reposo en los primeros (Arslan y Aras, 2016) u otro estudio con triatletas y ciclistas, donde se observaban los índices de modulación parasimpática 30 segundos después de la actividad física vigorosa (Bentley et al., 2020), pero todavía no se han realizado estudios concluyentes.

Esto abre un amplio abanico de conocimiento y de trabajo en triatlón, por ello este trabajo pretende desarrollar un campo de visión donde se conozca la fatiga que va ocasionando cada carga individualizada, dentro de la complejidad del multideporte, permitiendo reajustar

en caso necesario la planificación acordada previamente entre el entrenador y los triatletas, ocasionando una reestructuración de las cargas.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo final de máster pretende ahondar en la importancia de la preparación de un grupo de rendimiento de triatletas basada en el uso del conocimiento para la monitorización y control de las cargas de entrenamiento, realizando un análisis diario de la variabilidad de la frecuencia cardiaca y la percepción interna de la fatiga. Sabiendo que un aumento de los valores de la VFC demuestra una adaptación positiva al entrenamiento durante el proceso de monitorización (Sotelo, et al. 2018).



Método

Participantes. En el presente estudio de caso participaron 4 hombres, con una edad de $21,75 \pm 2,25$ años con un nivel de experiencia de 8 ± 10 años de práctica deportiva con nivel altamente entrenados. El tamaño de la muestra fue determinado en base al Grupo de Rendimiento del Club Triatlón Albacete Ingeteam, equipo que compite en la máxima división Nacional.

Todos los participantes cumplieron con la toma de datos de los entrenamientos, mediante el sistema de GPS, además de recoger cada mañana sus datos de HRV, evaluar la percepción subjetiva de fatiga mediante una escala en una velocidad de crítica, también se midió la percepción del dolor al levantarse en una escala de 0 a 7. Todo el entrenamiento salvo los test se realizó en sus lugares habituales de entrenamiento.

Las características en cuanto a peso, edad, altura y años de experiencia se refleja en la tabla 2 que se muestra a continuación.

Tabla 1. Características de los Sujetos de Estudio.

Características Sujetos de Estudio					
<i>Sujeto</i>		<i>Edad</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Peso (Kgs)</i>	<i>Años Experiencia</i>
S1		23	1,89	73	5
S2		19	1,8	70	4
S3		21	1,84	78	5
S4		24	1,86	73	18
Resumen	Promedio	21,75	1,85	73,50	8
	±	2,25	0,05	3,50	10,00

Diseño experimental. El diseño experimental con sólo 4 participantes no permitió la creación de un grupo control y de un grupo de intervención. Sólo hubo un grupo intervención quienes conocieron desde el primero momento que estaban siendo objeto de la intervención.

Tabla 2 Periodización y distribución del entrenamiento durante las semanas 1 a 15.

Semanas	Tipo	Prueba	HIT	VT2	Intensidad moderada	Baja intensidad (VT1 o <VT1).
1	EV PRE	LAC NAT + GXT CIC + GXT CARR.				
2	LIT		1 sesión: Duatlón 60min >VT2			11 sesiones (5 Nat de 70min, 3 Cic de 90 a 120min, 3 Carr. de 32 a 52 min) por debajo o a ritmo de VT1
3	LIT		1 Sesión Cic 108 min con 12 x 1min/3min >VT2			14 sesiones (5 Nat de 80min, 4 Cic de 60 a 180min, 5 Carr. de 30 a 65 min) por debajo de VT1
4	LIT		2 sesiones (Carr de 45 min con 14') >VT2	2 sesiones (1 Nat de 30min con 10min VT2; 1 Cic de 90min con 20min) en VT2.		10 sesiones (6 Nat de 60min a 75min, 2 Cic de 60 a 150min, 2 Carr. de 40 a 48 min) por debajo de VT1
5	LIT		2 sesiones (1 Cic de 80 min con 10 x 50seg/2'10"; 1 Carr de 52 min con 4 x 200m/40 seg + 5 x 800m/1min20) >VT2.	4 sesiones: (1 Cic de 60 min con 2 x 8 min/10 min; 3 Carr de 27 a 45 min con 3 x 5min/1min, 5 x 4min/3min, 3 x 1min/3 min) en VT2.		11 sesiones (5 Nat de 75min a 85min, 3 Cic de 60 a 150min, 3 Carr. de 30 a 40 min) por debajo de VT1
6	LIT		2 sesiones (1 Cic de 30 min con 12-16 min; 1 Carr de 22 min con 12min) >VT2.		4 sesiones (2 Cic de 120 a 150 min con 4 x 20min/5 min, 45 min: 2 Carr de 50min con 3 x 8min/2min y 18 min) entre VT1 y VT2.	10 sesiones (6 Nat de 80 a 90min, 1 Cic de 165min, 3 Carr de 45 a 59min) por debajo de VT1
7	LIT		3 sesiones (1 Cic de 30 min con 16 min; 3 Carr de 25 a 30 min con 12-18min) >VT2.	1 sesión Cic de 120 min con 24min en VT2.	1 sesión 130 min con 25min entre VT1 y VT2.	16 sesiones (8 Nat de 60 a 80min, 3 Cic de 120 a 140min, 3 Carr de 40 a 60min) por debajo de VT1
8	EV POST-LIT	LAC NAT + GXT CIC + GXT CARR				
9	HIT		8 sesiones (2 Nat de 70 a 80min con 45min; 3 Cic de 30 a 76 min con 28 min; 2 Carr de 45 a 47 min con 12min) >VT2.			10 sesiones (4 Nat de 65 a 80min, 3 Cic de 45 a 90min, 3 Carr de 26 a 41min) por debajo de VT1
10	HIT		10 sesiones (4 Nat de 70 a 80min con 90min totales >VT2; 3 Cic de 60 a 110 min con 26 min totales >VT2; 3 Carr de 10 a 52 min con 52min totales >VT2).			16 sesiones (8 Nat de 60 a 80min, 3 Cic de 120 a 140min, 3 Carr de 40 a 60min) por debajo de VT1

Tabla 2 (Continuación). Periodización y distribución del entrenamiento durante las semanas 1 a 15.

Semanas	Tipo	Prueba	HIT	VT2	Intensidad moderada	Baja intensidad (VT1 o <VT1).
11	HIT		8 sesiones (2 Nat de 75 a 80min con 10min totales >VT2; 3 Cic de 40 a 90 min con 26 min totales >VT2; 3 Carr de 15 a 40 min con 29min totales >VT2).		1 sesión 70min con 12min entre VT1 y VT2.	6 sesiones (3 Nat de 65 a 80min, 2 Cic de 60 a 120min, 2 Carr de 44 a 52min) por debajo de VT1
12	HIT		4 sesiones (2 Nat de 80min con 60min totales >VT2; 1 Cic de 70 min con 5 min totales >VT2; Carr de 45 min con 9 min totales >VT2).		3 sesiones (2 Nat de 65 a 75min con 50min entre VT1 y VT2; Cic de 60 min con 40 min entre VT1 y VT2.	6 sesiones (1 Nat de 65 min, 2 Cic de 60 a 90min, 3 Carr de 38 a 50min) por debajo de VT1
13	HIT		9 sesiones (4 Nat de 70 a 85min con 45min totales >VT2; 2 Cic de 70 a 80min con 35 min totales >VT2; 3 Carr de 25 a 42 min con 37 min totales >VT2).	1 sesión Cic de 150 min con 80min en VT2.		3 sesiones (1 Nat de 40 min, 2 Carr de 45 a 50min) por debajo de VT1
14	HIT		7 sesiones (2 Nat de 65 a 70min con 15min totales >VT2; 2 Cic de 60min con 45 min totales >VT2; 4 Carr de 45 a 60min con 40min totales >VT2).	2 sesiones (1 Nat de 30min con 10 min en VT2; Cic de 90 min con 20min en VT2).		3 sesiones (2 Nat de 65 a 70 min, 1 Carr de 28min) por debajo de VT1
15	EV POST-HIT	LAC NAT + GXT CIC + GXT CARR				

Abreviaturas: EV PRE, semana de evaluación previa; EW POST-LIT, semana de evaluación entre LIT y HIT; EW POST-HIT, semana de evaluación final; GXT: prueba de ejercicio graduada; LAC NAT: prueba de umbral de lactato en natación; LIT, entrenamiento prioridad volumen alta; HIT, entrenamiento prioridad intensidad; VT1: primer umbral ventilatorio; VT2: segundo umbral ventilatorio.

Los triatletas participantes realizaron una media de 18 sesiones semanales, divididas en 6 sesiones de natación, 4 sesiones de ciclismo, 5 de carrera a pie y 3 de trabajo de fuerza. Los 4 triatletas tuvieron una adherencia al menos del 90% en el cumplimiento de lo planificado a pesar de sus segundas actividades laborales o estudiantiles, como se aprecia en la tabla 2.

Además, en el diseño del estudio se procuró tener siempre en cuenta una serie de pautas similares dentro de las rutinas diarias de los deportistas para no alterar la obtención de las muestras, siempre que ha sido posible (+ 90%) se ha realizado el primer entrenamiento en natación para tener una toma estable de los valores de esfuerzo percibido en una escala siempre en la misma intensidad correspondiente a la velocidad crítica.

Se dividió el proceso de entrenamiento en dos partes una primera de alto volumen (LIT) en comparación a lo que ellos están acostumbrados cuya duración fue de 6 microciclos y un segundo período de 6 microciclos donde lo predominante fue la alta intensidad (HIT) con un trabajo elevado de ritmo de competición. Al principio, en el cambio de período y al final se realizaron las valoraciones que permitieron la obtención de los datos necesarios para la evaluación del proceso como se describe en la Figura 1.

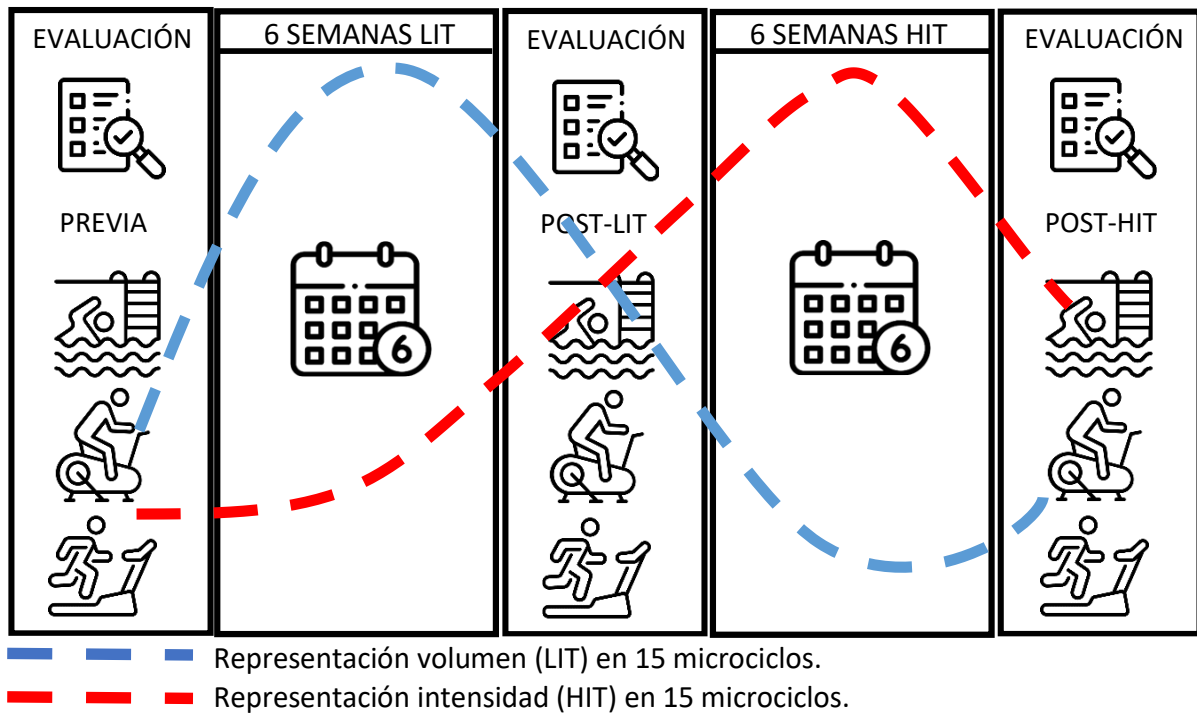


Figura 1. Diseño experimental. Con tres microciclos de evaluación, PRE, evaluación semana antes de LIT; POST-LIT, evaluación semana después del período de volumen alto y POST-HIT, evaluación semana después del período de intensidad alta.

Procedimiento. No hubo período preparatorio, puesto que los participantes ya se encontraban familiarizados tanto con las zonas de intensidad delimitadas como con los modos de entrenamiento, se utilizó la aplicación de a HRv4Training porque las mediciones eran fiables y dispone de estudios de validación (Plews, D.J. et al. 2017), a pesar del coste.

Durante el proceso de entrenamiento se realizan medidas diarias por la mañana en posición de sentado con el dedo índice derecho y utilizando la cámara, se tomaban con el teléfono móvil, medida bajo fotoplestimografía y gracias a la APP HRV4Training, obteniendo una evolución diaria de las medidas de rMSSD. Además, se realizaba el cruce de datos mediante una prueba control diaria donde se realizaba un 200m de nado a velocidad crítica, en todos y cada uno de los entrenamientos de natación que realizaban, al finalizar el calentamiento, una vez terminado el 200m en una escala de valoración del 0 al 5, transmitían su percepción subjetiva de fatiga de ese 200m al mismo ritmo que en las ocasiones anteriores. La velocidad de ese 200m se ajustaba al comenzar cada proceso de LIT y HIT. Por último, al

levantarse cada mañana, señalaban en una escala de 0 al 7, establecían la fatiga percibida con respecto a los días anteriores, siendo un 7 estar muy cansado y un 0 estar completamente fresco para la actividad de ese día. (Schäfer Olstad DS. et al. 2019).

Las variables que afectan a la carga de entrenamiento y a los rangos deseables de entrenamientos se determinó con mediante el cálculo de HRV con una media móvil de 4 semanas $\pm 0,5 * SD$, lo que significó que los valores tanto por encima como por debajo de ese rango se consideraron negativos y obligaban al ajuste de las cargas (Vesterinen et. al., 2016) utilizando un nivel de fatiga esperado para ser sensible al proceso de entrenamiento (Le Meur et. al., 2013)

En cuanto al dolor muscular observado, hay un aumento de éste en períodos de entrenamiento intensificado (Bellenguer C.R. et. al 2016, Nuuttila O.P., Nummela A. et. al 2022 y Schäfer Olstad DS et al., 2019), los valores altos se relacionan con el sobreentrenamiento (Hooper SL., et al., 1995), donde sugieren que valores superiores a 5 en un período de tiempo determinado se asocian con una cronicidad del estado de fatiga.

Se realizan 2 revisiones semanales, lunes y jueves, como representa la figura 2, del microciclo planificado observando los patrones de comportamiento obtenidos en base a las anotaciones realizadas por los deportistas, se tuvo que ajustar la tabla porque no todos los días de la semana nadaban, sobre todo en el período de alta intensidad (HIT), tanto el dato de variabilidad (HRV) como ambos datos de RPE, eran rellenados por el deportista cada día y volcando los datos a la tabla de excel, mediante la utilización de la fórmula $LnRMSSD$ calculado como la media $\pm 0.5 * DS$ (Vesterinen V. et al. 2016).

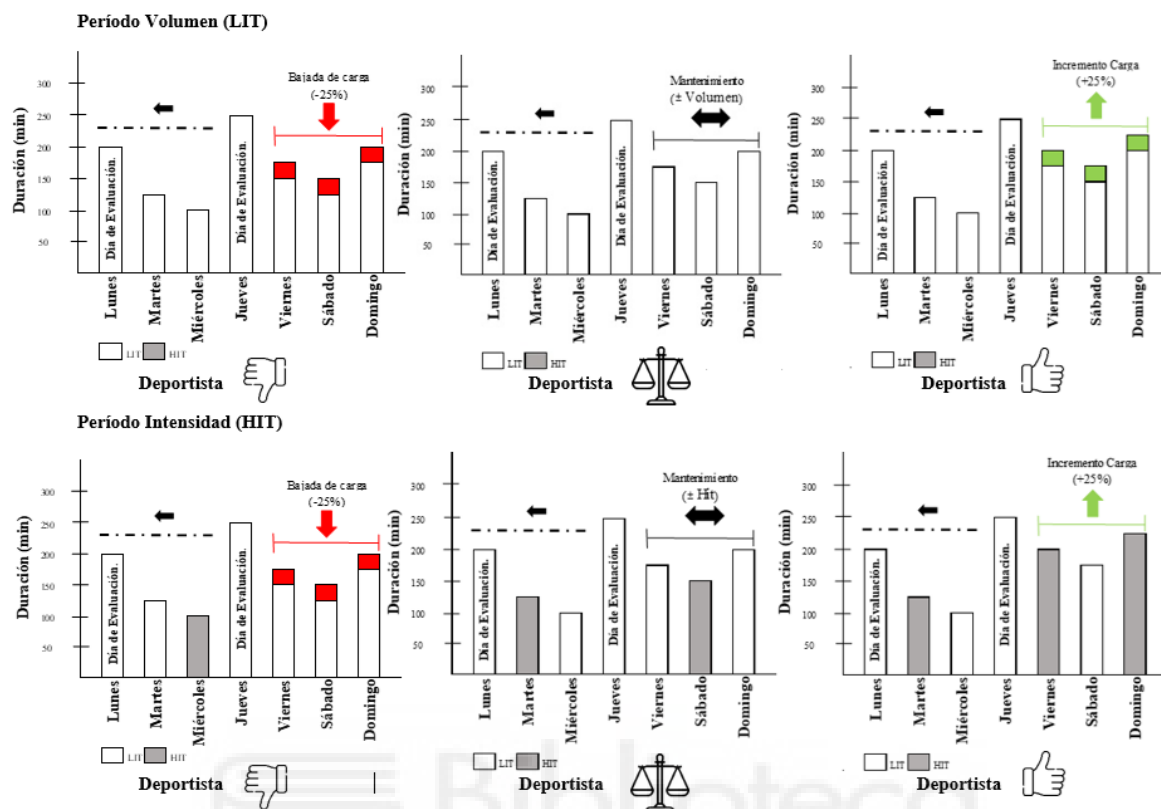


Figura 2. Ajuste de la cargas en cada microciclo, en caso de que el deportista se encuentre bien aumentamos la carga un 25%, en caso de que se encuentre con algún parámetro no correcto mantenemos las cargas y en caso de tener mal los parámetros, se realiza una reducción de la carga, ya sea en período de volumen o de intensidad.

Se obtienen los valores para el ajuste o no de las cargas con forme a lo estipulado en otros estudios de un 25% (Nuutila, O. P. 2022), de descenso del volumen del total de las sesiones planificadas en el período (LIT) y un 25% de descenso de la intensidad en le período (HIT), la revisión realizada el lunes se aplicaba sobre la planificación programada para los días martes, miércoles y jueves, mientras que la revisión realizada el jueves se aplicaba para los días viernes, sábado y domingo, tal y como se describe en la Figura 2.

Valoraciones. Se realizaron tres pruebas, en cada una de las tres mediciones, la primera siempre se intentó que fuera la de natación (o en un día separado a los demás) mientras que las

otras dos sesiones por disponibilidad se realizaron de forma continua primero la prueba de ciclismo y unas horas después (3-4 horas) se realiza la prueba de carrera a pie.

Antes de comenzar las valoraciones en laboratorio se realizó una bioimpedancia eléctrica para conocer los valores básicos del triatleta como la altura, el peso, el porcentaje de grasa medido mediante impedancia eléctrica.

Natación. Se realizó un test de lactato incremental, donde los nadadores de forma individual realizaron su prueba independientemente de los 4 compañeros, con un calentamiento similar al de las sesiones de entrenamiento anteriores a esa prueba.

Se tomó el test progresivo de 7 x 200m diseñado por Pyne, Maw & Goldsmith (2000) se realiza en piscina de 25m donde los deportistas comienzan a un ritmo determinado que sea asequible (cercano a VT1) y deben ir aumentando la intensidad de cada una de las series en intervalos de 5 en 5 segundos, no es una prueba maximal por lo que no es necesario llevar al límite al deportista, cada uno de los 200m tuvieron una recuperación progresiva, ya que cada salida fue cada 5'00" por tanto, conforme más rápido nadó el triatleta más tiempo de recuperación obtuvo. Este test permite determinar umbrales y zonas de entrenamiento a partir de las curvas de velocidad, lactato y frecuencia cardiaca obtenida. Las pruebas donde se determina el umbral de lactato o máximo estado de lactato estable (MLSS) es una alternativa válida para el cálculo de los umbrales ventilatorios (VT1 y VT2) (Pallarés J.G. et al 2016), lo que permite bajo un criterio de confianza realizar esta prueba en un medio más complejo como es el agua para el cálculo directo de los umbrales ventilatorios.

Ciclismo. La realización de las pruebas de ciclismo se llevó a cabo en el laboratorio, con su propia bicicleta lo que permite al triatleta obtener un mayor rendimiento y un rodillo Wahoo KICKR Power Trainer (Wahoo Fitness, Atlanta, GA) (Zadow, E.K. et al. 2016). El

rodillo se calibró durante el calentamiento de 10 minutos de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

El triatleta pudo escoger su propia cadencia ciclista durante la prueba y fue analizado mediante MasterScreen CPX (analizador de gases), el deportista comenzaba en una intensidad baja menor a 100 vatios y cada 1' aumentaba la carga unos 25 vatios, con el objetivo de ir viendo como va evolucionando su organismo hasta llegar al límite, la prueba se daba por finalizada cuando el ciclista caía en más de 10 pedaladas por minuto por debajo de su cadencia elegida y en un período de más de 10 segundos (Javaloyes A. et al. 2019) ya que en esta ocasión se trata de una prueba incremental hasta que el triatleta no puede continuar cumpliendo con un escalón determinado, calculando los umbrales ventilatorios (VT1 y VT2) y el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2m\acute{a}x}$), que se calculó como el promedio más alto de VO_2 durante 30 segundos. Mientras que para la determinación de los umbrales ventilatorios se utilizaron los promedios de O_2 y CO_2 durante 15 segundos (Pettitt R.W. et al. 2013).

Se obtuvieron otros datos secundarios como la potencia máxima, la potencia en los umbrales tanto en VT1 (WVT1) como la potencia en VT2 (WVT2).

Carrera a pie. La última prueba realizada de carrera a pie se llevó a cabo también en el laboratorio, en un tapiz rodante marca Technogym MyRun y el mismo analizador de gases que en el segmento de ciclismo donde los triatletas comienzan andando a una intensidad baja de 8km/h y aumenta un 1km/h cada minuto, hasta llegar a los 20km/h donde el tapiz rodante lo que realiza es un aumento de la pendiente de 1% de pendiente para simular la intensidad de los siguientes km/h, también se obtuvieron los umbrales ventilatorios, el aeróbico (VT1) y el anaeróbico (VT2), así como, el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2m\acute{a}x}$), que se definió como el más alto durante 60 segundos como promedio, mientras que la velocidad máxima de funcionamiento ($v_{M\acute{a}x}$) se definió como la velocidad más alta en la última etapa completada,

en caso de no ser completada la última etapa se toma el valor de la última etapa completada $(\text{km/h}) + \text{tiempo (s) de la etapa inacabada} - 30\text{s}) / (180 - 30\text{s}) * 1\text{km/h}$ (Versteinen V. et al. 2016)

Análisis descriptivo variables rendimiento medidas. Se hizo un análisis individual de cada uno de los triatletas, con la obtención del cálculo de porcentajes de carga que permitía el ajuste de las zonas de intensidad y las sesiones a realizar, en base al estado de fatiga del deportista.



Resultados

Discusión

Conclusiones



Referencias Bibliográficas.

Arslan, E., & Aras, D. (2016). Comparison of body composition, heart rate variability, aerobic and anaerobic performance between competitive cyclists and triathletes. *J. of Phys Th Sci*, 28(4), 1325-1329.

Bellenger, C.R., Karavirta, L., Thomson, R.L., Robertson, E.Y., Davison, K., Buckley, J.D. Contextualizing parasympathetic hyperactivity in functionally overreached athletes with perceptions of training tolerance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;11(7):685–92.

Bentley, D. J., Libicz, S., Jouglu, A., Coste, O., Manetta, J., Chamari, K., & Millet, G. P. (2007). The effects of exercise intensity or drafting during swimming on subsequent cycling performance in triathletes. *J of Sci and Med in Sport*, 10(4), 234-243.

Bentley, R. F., Vecchiarelli, E., Banks, L., Gonçalves, P. E., Thomas, S. G., & Goodman, J. M. (2020). Heart rate variability and recovery following maximal exercise in endurance athletes and physically active individuals. *App. Phys, Nut, and Met*, 45(10), 1138-1144.

Bompa, T., & Buzzichelli, C. (2015). *Per train for sp, 3e*. Human kinetics.

Borresen, J., Lambert, M. I (2008). Quantifying training load: A comparison of subjective and objective methods. *Int Jour of Sp Phys & Perf*, 3(1), 16-30

Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome?. *Front in phys*, 5, 73.

Capostagno B, Lambert MI, Lamberts RP. Standardized versus customized high-intensity training: effects on cycling performance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9(2):292–301.

Cejuela, R., Pérez Turpin, J. A., Villa Vicente, J. G., Cortell-Tormo, J. M., & Rodríguez Marroyo, J. A. (2007). Análisis de los factores de rendimiento en triatlón distancia sprint. *J of hum sp and exer*, Vol. 2, no. 2 (July 2007).

Chavaren Cabrero, J., Dorado García, C. y López Calbet, J.A. (1996). Triatlón: factores condicionantes del rendimiento y del entrenamiento. *Rev de Ent Dep*. 10 (2), 29-37.

Dorado, A. C., & García, O. G. (2014). Los factores de rendimiento en triatlón como base para la detección de talentos. *Revi Esp de Ed Fís y Dep*, (407), 49-60.

Duffield, R., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Energy system contribution to 1500- and 3000-metre track running. *J of Sp Sci*, 23(10), 993-1002. doi:10.1080/02640410400021963

Düking P, Holmberg HC, Kunz P, Leppich R, Sperlich B. Intra-individual physiological response of recreational runners to different training mesocycles: a randomized cross-over study. *Eur J Appl Physiol*. 2020 Dec;120(12):2705-2713. doi: 10.1007/s00421-020-04477-4.

Esco, M. R., & Flatt, A. A. (2014). Ultra-short-term heart rate variability indexes at rest and post-exercise in athletes: evaluating the agreement with accepted recommendations. *J of sp sci & med*, 13(3), 535.

Fernández-Revelles, A. B., Ubago-Jiménez, J. L., Padial-Ruz, R., Castro-Sánchez, M., Viciano-Garófano, V., & Puertas-Molero, P. (2018). Correlación en triatlón masculino entre fases y resultado inal en los JJOO de Pekin 2008. *SPORT TK-Rev EuAm de Cienc Dep*, 7(2), 31–38. ht

Flatt AA, Globensky L, Bass E, Sapp BL, Riemann BL. Heart rate variability, neuromuscular and perceptual recovery following resistance training. *Sports (Basel)*. 2019;7(10):225

González-Ravé, J. M., Pablos-Abella, C., & Navarro-Valdivieso, F. J. (2014). Entrenamiento deportivo. Teoría y práctica. Editorial Médica Panamericana [tps://doi.org/10.6018/sportk.342891](https://doi.org/10.6018/sportk.342891)

González-Haro, C., González-De-Suso, J. M., Valle, J., Díaz-Beitia, G., Padullés, J. M., & Drobic, F. (2005). Descripción de la adaptación metabólica y cardiorrespiratoria de triatletas de distancia olímpica durante los sectores de natación y ciclismo. *Ap. Med de l'Esport*, 39(146), 5-14.

Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sp med*, 44(Suppl 2), 139-147.

Hauswirth, C., Vallier, J. M., Lehenaff, D., Brisswalter, J., Smith, D., Millet, G. y Dreano, P. (2001). Effect of two drafting modalities in cycling on running performance. *Med Sci Sports Exerc*, 33(3), 485-492.

Hooper SL, Mackinnon LT, Howard A, Gordon RD, Bachmann AW. Markers for monitoring overtraining and recovery. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27(1):106–12.

Javaloyes A, Sarabia JM, Lamberts RP, Moya-Ramón M. Prescripción de entrenamiento guiado por la variabilidad de la frecuencia cardíaca en ciclismo. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019; 14(1):23–32.

Le Meur Y, Pichon A, Schaal K, et al. Evidence of parasympathetic hyperactivity in functionally overreached athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(11):2061–71.

Millet G.P., Candau R.B., Barbier B., Busso T., Rouillon J.D., Chatard J.C. (2002). Modelling the transfers of training effects on performance in elite triathletes. *Int. J. Sports Med*.23:55–63.

Molina, G. E., Porto, L. G. G., Fontana, K. E., & Junqueira, L. F. (2013). Unaltered R–R interval variability and bradycardia in cyclists as compared with non-athletes. *Clin Aut Res*, 23, 141-148.

Nussinovitch, U., Elishkevitz, K. P., Kaminer, K., Nussinovitch, M., Segev, S., Volovitz, B., & Nussinovitch, N. (2011). The efficiency of 10-second resting heart rate for the evaluation of short-term heart rate variability indices. *Pac and clin elecphys*, 34(11), 1498-1502.

Nuutila OP, Kyröläinen H, Häkkinen K, Nummela A. Acute physiological responses to four running sessions performed at different intensity zones. *Int J Sports Med.* 2021;42(6):513–22

Nuutila, O. P., Nummela, A., Korhonen, E., Häkkinen, K., & Kyröläinen, H. (2022). Individualized endurance training based on recovery and training Status in recreational runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 54(10). Ortiz, J. F. T. (2021). La variabilidad de la frecuencia cardíaca y su evaluación en deportes de resistencia, una mirada bibliográfica. *Rev Dig: Act Fis y Dep*, 7(1), 8.

Nuutila OP, Nummela A, Kyröläinen H, Laukkanen J, Häkkinen K. Physiological, perceptual, and performance responses to the 2-wk block of high- versus low-intensity endurance training. *Med Sci Sports Exerc.* 2022;54(5):851–60.

Nuutila, O. P., Seipäjärvi, S., Kyröläinen, H., & Nummela, A. (2022). Reliability and sensitivity of nocturnal heart rate and heart-rate variability in monitoring individual responses to training load. *Int J of Sp Physy and Perf*, 17(8), 1296-1303.

Oliveira-Silva, I., Silva, V. A., Cunha, R. M., & Foster, C. (2018). Autonomic changes induced by pre-competitive stress in cyclists in relation to physical fitness and anxiety. *Plos one*, 13(12), e0209834.

Ortigosa-Márquez, J. M., Reigal, R. E., Portell, M., Morales-Sánchez, V., & Hernández-Mendo, A. (2017). Observación automatizada: La variabilidad de la frecuencia cardíaca y su relación con las variables psicológicas determinantes del rendimiento en nadadores jóvenes. *Annals of Psyc*, 33(3), 436-441.

Ortís, L. C., Font, G. R., Mariné, M. O., Romero, E. P., Bassets, M. P., & Herreros, M. V. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardíaca como indicador de salud en el deporte: validación con un cuestionario de calidad de vida (SF-12). *Ap. Med de l'Esp*, 43(158), 62-69.

Pallarés, J. G., Morán-Navarro, R., Ortega, J. F., Fernández-Elías, V. E., & Morá-Rodríguez, R. (2016). Validity and reliability of ventilatory and blood lactate thresholds in well-trained cyclists. *PloS one*, 11(9), e0163389.

Pettitt RW, Clark IE, Ebner SM, Sedgeman DT, Murray SR. Gas exchange threshold and VO2max testing for athletes: an update. *JStrength Cond Res.* 2013;27(2):549–555. PubMed ID: 22531615 doi:10.1519/JSC.0b013e31825770d7

Plews, D. J., Scott, B., Altini, M., Wood, M., Kilding, A. E., & Laursen, P. B. (2017). Comparison of heart-rate-variability recording with smartphone photoplethysmography, polar H7 chest strap, and electrocardiography. *Int j of sp phys and perf*, 12(10), 1324-1328.

Plews, D.J., Laursen, P.B., Stanley, J. et al. Training Adaptation and Heart Rate Variability in Elite Endurance Athletes: Opening the Door to Effective Monitoring. *Sports Med* 43, 773–781 (2013). <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>

Pöller, S. (2015). Success Factors in the 2014 Triathlon Mixed Relay World Championships. <https://www.researchgate.net/publication/279269240>

Pyne D., Maw G. and Goldsmith W. (2000), Protocols for the Physiological Assessment of Swimmers. In: Gore C (ed) "Physiological Tests for Elite Athletes", Published for the *Aust Sprt Comm Hum Kin Pub*, pp. 372-382

Saboul, D., Pialoux, V., & Hautier, C. (2013). The impact of breathing on HRV measurements: Implications for the longitudinal follow-up of athletes. *Eur j of sp sci*, 13(5), 534-542.

Schäfer Olstad DS, Borgen-Johansen M, Garthe I, Paulsen G. Re-sponsiveness of time and cost-efficient monitoring measures on tri-athlon training a call for individualized training monitoring. *J AthlEnhanc*. 2019;8(5):1–6.

Schnitzler, C., Seifert, L., & Chollet, D. Variabilidad en los Parámetros Coordinativos al Ritmo de una Prueba de Crol de 400.

Sharma, AP; Périard, JD Requerimientos fisiológicos de las diferentes distancias del triatlón. En *Med del Tri*; Migliorini, S., Ed.; Springer: Berlín/Heidelberg, Alemania, 2020; págs. 5-18. ISBN 978-3-030-22357-1.

Sleivert G.G., Wenger H.A. P (1993). *Physiological predictors of short-course triathlon performance*. *Med. Sci. Sports Exerc*.25:871–6.

Sotelo, M., Barrera, L., Ramos, D., González, V. y López, M. (2018). Importancia de las cualidades docentes y metodología de enseñanza de los profesores según los estudiantes. En R. Pizá, J. Angulo, M. Cabrera y B. Orduño. *Prod y ap innov del conoc*. (pp. 59-71). México: ITSON.

Stanley J, Peake JM, Buchheit M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription. *Sports Med*. 2013;43(12):1259–77.

Thamm A, Freitag N, Figueiredo P, et al. Can heart rate variability determine recovery following distinct strength loadings? A randomized cross-over trial. *Int J Environ Res Public Health*.2019; 16(22):4353

Vesterinen V, Nummela A, Heikura I, et al. Individual endurance training prescription with heart rate variability. *Med Sci Sports Exerc* 48:1347–1354, 2016.

Wasserman, K., & McIlroy, M. B. (1964). Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *The Amer j of card*, 14(6), 844-852.

Zadow EK, Kitic CM, Wu SS, Smith ST, Fell JW. Validity of power settings of the Wahoo KICKR Power Trainer. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;11(8):1115–1117. PubMed ID: 26915606 doi:10.1123/ijsp.2015-0733