

**Trabajo Fin de Grado**



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*

Grado en ciencias de la Actividad Física y el Deporte

2022-2023

**Modificación y periodización del entrenamiento de triatletas aficionados durante 6 semanas aplicando un modelo day-to-day.**

**Autor: Enrique Fernández – Arroyo López**  
**Tutor: Manuel Moya Ramón**

## **INDICE**

<b>RESUMEN</b> .....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>2. MÉTODO</b> .....	7
<b>2.1. PARTICIPANTES</b> .....	7
<b>2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL</b> .....	7
<b>2.3. VALORACIONES</b> .....	8
<b>2.4. MEDIDA Y TRATAMIENTO DE LA VFC</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>2.5. INTERVENCIÓN</b> .....	10
<b>2.6. ANALISIS ESTADÍSTICO</b> .....	12
<b>3. RESULTADOS</b> .....	12
<b>4. DISCUSIÓN</b> .....	18
<b>5. CONCLUSIONES Y LIMITACIONES</b> .....	20
<b>6. REFERENCIAS</b> .....	21



## RESUMEN

El triatlón es una modalidad deportiva compuesta por tres disciplinas (natación, ciclismo y carrera a pie). Esta modalidad es muy exigente debido al número de horas invertidas en su preparación y el tipo de cargas de entrenamiento utilizadas. Por ello, es de vital importancia el control de la fatiga, el nivel de adaptación y el rendimiento. En la actualidad están surgiendo nuevas formas de monitorizar este proceso. Una de las más interesantes para monitorizar el binomio fatiga-adaptación son los formatos “day-today”. El uso de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (Heart Rate Variability, HRV) es uno de los parámetros incluidos en estos procesos de monitorización gracias al avance tecnológico sufrido en la última década. El uso de la HRV se fundamenta en la correcta elección del criterio del mínimo cambio detectable (Smallest Worthwhile Change, SWC), adaptable al mayor o menor nivel de los deportistas mediante el uso de criterios más o menos exigentes.

El objetivo de este trabajo es el estudio de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV), como parámetro para medir el estado de fatiga y el nivel de condición física de un grupo de triatletas, analizando la influencia sobre el rendimiento al ajustar día a día la carga de entrenamiento mediante dos formatos diferentes de aplicación del mínimo cambio detectable (SWC).

Participaron cuatro triatletas aficionados diferenciados en dos grupos (A: bajo nivel; B: medio-alto nivel), que prepararon las mismas distancias de competición (750m / 20Km / 5Km). La intervención se extendió durante seis semanas. Antes del inicio y una vez finalizada la intervención se realizaron las mismas pruebas de rendimiento por disciplinas. Durante toda la intervención se registró la HRV matinal mediante la aplicación “Elite-HRV”.

Los resultados del trabajo indican que no hay diferencias significativas en ambos grupos entre las evaluaciones pre y post, pero se producen mejoras porcentuales en ambos grupos en todas las disciplinas. Las conclusiones del estudio son positivas en cuanto a la eficacia y utilidad del uso del HRV como método para el seguimiento y análisis del rendimiento y de la fatiga del deportista, así como para controlar la carga de entrenamiento.

**Palabras clave:** Triatlón, entrenamiento, HRV, rendimiento, condición física.

## 1. INTRODUCCIÓN

El triatlón es un deporte que consta de 3 disciplinas deportivas (natación, ciclismo y carrera a pie), que se realizan en ese orden y sin interrupción entre una prueba y la siguiente. Además, encontramos las *transiciones*, que son el tiempo que el triatleta tarda en cambiar de una disciplina a la siguiente, donde la transición de natación a ciclismo se conoce como la *T1* y la de ciclismo a carrera a pie como *T2*.

Dentro de las carreras de triatlón encontramos varias modalidades de competición según la distancia a recorrer (Sprint, Olímpico, Media distancia y Larga Distancia). Entre las modalidades más destacadas encontramos: la que se realiza en los Juegos Olímpicos, (1500m de natación, 40km de ciclismo y 10km de carrera a pie) y el IronMan (3,8km de natación, 180 km de ciclismo, y 42,2 km de carrera a pie), dentro de las más conocidas y practicadas en la larga distancia.

Los triatletas tienen un promedio de bajos niveles de grasa corporal de  $10,22 \pm 2,92\%$ , y unos porcentajes de masa muscular de  $45,27 \pm 3',29\%$ . Teniendo en cuenta que el  $VO_2\text{max}$  es un predictor del rendimiento en las especialidades focalizadas en el rendimiento aeróbico, los valores promedio de estos deportistas son altos, con consumos máximo de oxígeno ( $VO_2\text{max}$ ) ubicados en valores promedio alrededor de  $74,3 \pm 4,4$  ml/kg/min SD (Millet et al., 2003; Rivas et al., 2015).

Otros aspectos que marcan el rendimiento de los/as triatletas, son el umbral anaeróbico y la economía de carrera. El umbral anaeróbico, indicado por el segundo umbral ventilatorio o el umbral metabólico de lactato, se produce aproximadamente a los 2 mmol/l, y que es casi exactamente la velocidad a la que se ganan las carreras de resistencia y se acerca a las que aparentemente proporcionan un entrenamiento aeróbico óptimo, donde tenemos que decir que el ácido láctico es un metabolito que es producido en el músculo y que contribuye al rápido desarrollo de la fatiga en el ejercicio de alta intensidad (Spurway, 1992). La economía de carrera se define como el costo de oxígeno de hacer ejercicio a una velocidad estándar predeterminada. Un triatleta más eficiente consume menos oxígeno a una velocidad estándar y, en teoría, es capaz de moverse más rápido o conservar energía para las etapas posteriores de un evento. Concretamente en la disciplina que estamos tratando, parece que la economía en el sector de la natación es un área en la que los triatletas podrían lograr grandes mejoras (Sleivert & Rowlands, 1996).

El sistema nervioso autónomo (SNA) tiene la responsabilidad principal de asegurar que se mantenga la integridad fisiológica de las células, tejidos y órganos en todo el cuerpo

(homeostasis) frente a las perturbaciones ejercidas por los ambientes externo e interno. La actividad del SNA se basa en un equilibrio entre el sistema nervioso simpático (SNS) y el sistema nervioso parasimpático (SNP). En un estado de reposo predomina la estimulación vagal (SNP), mientras que en estados de ansiedad, estrés y ejercicio físico predomina la estimulación del SNS.

El sistema cardiovascular y respiratorio no escapa de ese control autónomo, de forma que la actividad nerviosa simpática ejerce un efecto excitatorio y la actividad nerviosa parasimpática ejerce un efecto inhibitorio sobre la función cardíaca (Wehrwein et al., 2016).

El SNP se encarga de realizar una rápida disminución de la FC por impulsos eléctricos vagales de alta frecuencia. Este proceso viene dado por la liberación de acetilcolina por parte del nervio vago, donde algunos de sus efectos son la disminución de la FC y de la contractilidad cardíaca entre otras funciones. Por tanto, el SNP gestiona los cambios reflejos de la FC debidos a señales procedentes de los barorreceptores arteriales y del sistema respiratorio. El SNS aumenta la FC mediante impulsos lentos de baja frecuencia, y este proceso está basado en la liberación de adrenalina y de noradrenalina, donde entre sus efectos principales se encuentra el aumento de la frecuencia y de la contractilidad cardíaca, la vasoconstricción periférica, siendo el responsable de los cambios en la FC debidos a estrés físico y mental (Rodas et al., n.d.).

Se proponen varios métodos para cuantificar el cambio en la función del sistema nervioso autónomo (SNA) para poder indicar el estado de entrenamiento y adaptación del deportista. El SNA funciona durante y después del ejercicio físico para mantener la homeostasis, y la exposición repetida al estrés del ejercicio provoca una adaptación fisiológica, lo que reduce la perturbación homeostática en respuesta a los factores estresantes posteriores. Dado que el SNA controla la función cardiovascular a través de la modulación simpática y parasimpática, el equilibrio de la modulación parasimpática o vagal y simpática se altera después de los cambios en la carga de entrenamiento (Bellenger et al., 2016).

Por tanto, la HRV puede proporcionar a los investigadores información directa sobre las contribuciones parasimpáticas y simpáticas para la modulación de la FC en reposo y posterior al ejercicio (Bellenger et al., 2016).

La Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca, HRV, por sus siglas en inglés "*Heart Rate Variability*", se define como el análisis de intervalos de R-R sucesivos del complejo QRS. La Variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) se ha sugerido como una herramienta para evaluar la fatiga, el estrés y la respuesta a la carga de entrenamiento, ya que refleja el estado del sistema nervioso autónomo (SNA) y la respuesta adaptativa a través del equilibrio simpático-vagal., reflejando el posible nivel de rendimiento en función de la fatiga inducida por cualquier estímulo estresante del día a día, incluyendo el proceso de entrenamiento (Moya-Ramon et al., 2022).

La HRV disminuye después de un período de entrenamiento regular, siendo más acusado este descenso en función del nivel de sobrecarga que tolere el deportista, dando como resultado una disminución de la actividad parasimpática y, por tanto, un aumento de la actividad simpática. Asimismo, en situaciones de normalidad durante la recuperación, con descenso de la carga aplicada o descanso, se suele volver a recuperar el equilibrio en las dos ramas del SNA, incrementándose la HRV por una reactivación sistemática de la rama parasimpática.

Con respecto a los atletas de élite, que tienen grandes volúmenes de entrenamiento y competiciones, el proceso de monitorización es muy relevante para optimizar la adaptación al entrenamiento y evitar un proceso de mala adaptación como el sobreentrenamiento no funcional (Moya-Ramon et al., 2022).

El sobreentrenamiento no funcional es la disminución del rendimiento durante un período, y que durante el período de recuperación no se consiguen efectos de supercompensación o se produce una respuesta adaptativa disminuida y una disminución del rendimiento (Bell et al., 2020).

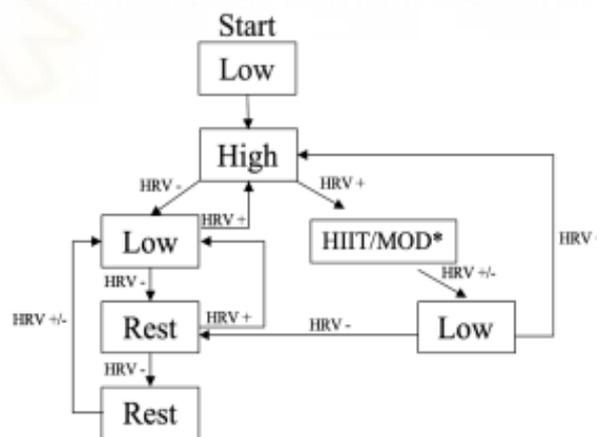
La regulación autónoma cardíaca es un determinante importante de la adaptación al entrenamiento de resistencia. Se ha demostrado que la frecuencia cardíaca de recuperación en 1 minuto ( $HRR_1$ ) mediada por el sistema vagal, está relacionada con mayores mejoras en el  $VO_2$ máx y el rendimiento después del entrenamiento de resistencia en diferentes poblaciones (Vesterinen et al., 2016).

En cuanto a la medición de la HRV, la duración ha ido reduciéndose progresivamente para favorecer la funcionalidad y su uso práctico, realizándose actualmente registros cortos (5 a 10 min) y ultracortos (<1,5 min). Este hecho se ha visto favorecido por los grandes cambios tecnológicos sufridos en los últimos 10 años, periodo en el cual han surgido muchas aplicaciones para teléfonos inteligentes que permiten un amplio acceso para su fácil registro, entre las cuales destaca *HRV4training*, que es una aplicación para smartphones, científicamente validada, que puede registrar la HRV desde una banda de pecho Bluetooth normal o utilizar la tecnología de fotopleletismografía (PPG) (Javaloyes et al., 2021).

En la actualidad, han surgido alternativas en la programación del entrenamiento diferentes a las clásicas fases de carga y descarga o la organización en bloques predefinidos. Entre estas alternativas, destaca la posibilidad de tomar decisiones diarias sobre la dirección del entrenamiento de los deportistas, en función del establecimiento de valores basales y umbrales de contraste (denominados mínimos cambios detectables) de valores fisiológicos o psicológicos. Este tipo de modelos han sido denominados “day-to-day”. Uno de esos modelos se fundamenta en utilizar como variable directora la HRV. Esta variable ha sido sugerida como una alternativa

eficaz para prescribir la carga de entrenamiento. La HRV permite la detección del estado de fatiga y evalúa la adaptación al entrenamiento (Moya-Ramon et al., 2022). Algunos autores sugieren la importancia de ajustar el estímulo del entrenamiento de resistencia de alta intensidad en el día a día, en el que las mediciones de HRV pueden proporcionar una herramienta práctica (Kiviniemi et al., 2007). Dentro de los parámetros más utilizados para registrar la HRV en su rama parasimpática, dentro del dominio temporal, encontramos la RMSSD (raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre intervalos RR adyacentes) (Bellenger et al., 2016). Con los valores normalizados de RMSSD (LnRMSSD) durante un período basal (sin actividad física de alta exigencia) calculamos el SWC (Small Worthwhile Change) o mínimo cambio detectable en español, que es el cambio más pequeño detectable determinado individualmente, cuyo uso contrastado con los valores de RMSSD nos permite interpretar individualmente esos valores y realizar la prescripción de entrenamiento adaptada (Plews et al., 2012). El cálculo del SWC se realiza mediante la siguiente operación: el promedio de la serie temporal de RMSSD  $\pm 0,5 \times SD$  (desviación estándar) (Javaloyes et al., 2018)

Este hecho, permite a los entrenadores organizar mejor la intensidad de los esfuerzos (alta, moderada o baja intensidad) y el descanso, utilizando algoritmos de toma de decisiones “ad hoc” (Figura 1).



*\*HIIT/MOD sessions were alternated each week.*

**Figura 1.** ((Javaloyes et al., 2018)

En la Figura 1, se explica que cuando el valor diario normalizado de RMSSD (LnRMSSD) incorporado a la media móvil de 7 días permanece dentro de SWC (HRV+), se prescribieron sesiones de entrenamiento de alta intensidad o moderadas. Mientras que si ese valor caía fuera de SWC (HRV-), se prescribía baja intensidad o descanso (Javaloyes et al., 2018).

Desde nuestro conocimiento, a día de hoy no, se ha profundizado sobre la influencia del uso de diferentes magnitudes de SD en el cálculo del SWD y su efecto sobre el rendimiento.

El objetivo principal de este trabajo es observar y analizar los cambios en el rendimiento y la fatiga en triatletas de ámbito popular (preparación y participación en duatlones y triatlones de ámbito autonómico y/o provincial), a través de la medición y uso de la HRV en diferentes modelos “day-to-day”, en los cuales se modificó el *Smallest Worthwhile Change* (SWC) en un programa de entrenamiento de 6 semanas de duración.

## 2. MÉTODO

### 2.1. PARTICIPANTES

En este estudio participaron de forma voluntaria cuatro triatletas varones de nivel amateur con  $4,3 \pm 2,2$  años de experiencia en el triatlón (edad  $38 \pm 15,6$  años; altura  $180 \pm 8$  cm y masa corporal  $73,7 \pm 12,8$  kg). Antes del comienzo, se informó del objetivo del estudio y se pasó un consentimiento informado sobre los posibles riesgos de la prueba de esfuerzo máxima, con el objetivo de descartar posibles riesgos que impidieran la participación en el estudio. Este estudio fue aprobado por la Oficina de Investigación Responsable con el número de código (COIR) TFG.GAF.MMR.EF-AL.221220.

### 2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

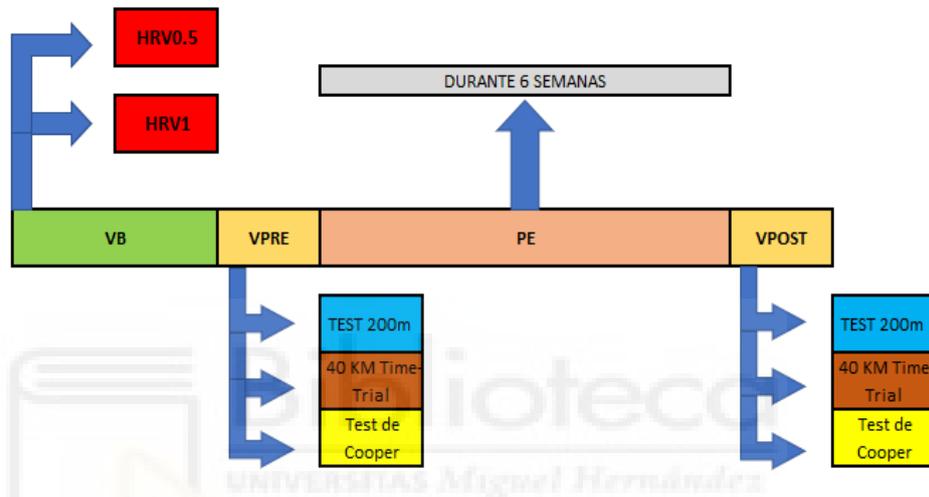
Este estudio se realizó con un diseño cuasiexperimental con dos grupos de intervención. El protocolo del estudio se dividió en dos periodos o fases: periodo basal (PB) y período de entrenamiento (PE). Los deportistas fueron evaluados en tres momentos: durante el PB (Valoración basal, VB), antes de iniciar el PE (valoración pre entrenamiento, VPRE) y al finalizar el PE (valoración post entrenamiento, VPOST), como se puede observar en la Figura 2.

Previo a la valoración basal, se distribuyó a los cuatro sujetos en dos grupos en función de su nivel deportivo y rendimiento previos (ritmos y marcas). Dos de ellos fueron ubicados en el grupo de mayor rendimiento, en el cual se utilizó para monitorizar el entrenamiento y tomar decisiones, acotando el SWC a la siguiente fórmula:  $HRV \pm 0,5 * SD$  (a partir de ahora  $HRV_{0.5}$ ); mientras los dos restantes se ubicaron en el grupo de menor rendimiento, en el cual se utilizó para monitorizar el entrenamiento y tomar decisiones, acotando el SWC a la siguiente fórmula:  $HRV \pm 1 * SD$  (a partir de ahora  $HRV_1$ ). Durante la VB, se obtuvo la media móvil de 7 días de la HRV ( $LnRMSSD_{7day-roll-avg}$ ) de todos ellos. Los días previos al inicio del PE, durante el PB se realizaron la VPRE durante dos días, agrupando natación y carrera a pie en un mismo día y el ciclismo al día siguiente. En cuanto a los horarios y momentos de las mediciones y evaluaciones, el test de carrera a pie se hará entre las 9:00-11:00 AM y el test de natación el mismo día, pero

por la tarde, entre las 17:00-19:00 PM y, por último, al día siguiente se realizará el test de ciclismo entre las 11:00-13:00 AM.

Después de la VPRE, se realizaron 6 semanas de período de entrenamiento (PE) individualizados a cada deportista guiado por la HRV diaria obtenida y ajustando la SWC por grupos.

Tras las 6 semanas de PE, se realizaron las VPOST, donde utilizaremos los mismos test que en VPRE, además de realizarlas en los mismos momentos del día y en el mismo orden.



**Figura 2.** Diseño experimental. VB, valoración basal; VPRE, valoración pre entrenamiento; PE, periodo de entrenamiento; VPOST, valoración post entrenamiento; HRV<sub>1</sub>, grupo de entrenamiento guiado por la HRV diaria con  $\pm 1$  SD; HRV<sub>0,5</sub>, grupo de entrenamiento guiado por la HRV diaria con  $\pm 0,5$  SD.

### 2.3. VALORACIONES

#### 2.3.1. Valoración basal:

Los triatletas se midieron la HRV, a través banda de pecho “Garmin HRM-Dual” (Kansas, EE. UU.) usando la aplicación EliteHRV (“Elite HRV: Wellness & Fitness”, North Carolina, USA). Se realizaron los registros desde la primera semana, todas las mañanas al despertarse, después de ir al baño si era necesario, acostados en supino, respirando de forma tranquila, sin realizar otra actividad y en una habitación con poca o baja luminosidad para que el registro fuera óptimo. Se configuró la aplicación para realizar el registro durante 1 minuto (Esco & Flatt, 2014). Se eligió la variable RMSSD como índice vagal, debido a que presentan una mayor fiabilidad frente a otras variables (Plews et al., 2012). Los datos de RMSSD se pasaron al logaritmo natural (LnRMSSD) para su normalización y evitar la variabilidad intraindividual. Posteriormente, se realizó una media móvil de 7 días (LnRMSSD<sub>7day-roll-avg</sub>), junto al cálculo de los límites superior e inferior, para

establecer la zona de mínimo cambio detectable (SWC), utilizando diferentes valores de SD por grupos ( $\pm 0,5 \times SD$ ,  $\pm 1 \times SD$ ).

### 2.3.2. Valoraciones pre y post

Todas las pruebas y test las realizaron todos los participantes simultáneamente en la misma instalación y mismo horario, el test de carrera a pie se hará entre las 9:00-11:00 AM y el test de natación el mismo día, pero por la tarde, entre las 17:00-19:00 PM, y, por último, al día siguiente se realizará el test de ciclismo entre las 11:00-13:00 AM, tanto en VPRE y VPOST, para mantener las condiciones lo más constantes posibles. Para la realización de las valoraciones se tuvieron en cuenta ciertas consideraciones, instando a los participantes a no realizar ejercicio intenso durante al menos 48 horas antes de las pruebas, el día previo a las pruebas era de descanso activo o reposo, y se debía haber realizado la ingestión de alimentos con periodo de tiempo de al menos 2 horas. El horario de realización de las pruebas se debía mantener más o menos estable para eliminar la influencia de los ritmos circadianos.

#### Sector de natación.

Se realizó un test de 200m ALL-OUT (Almási et al., 2021) donde se registró el tiempo en realizar la prueba mediante cronómetro "Kalenji Cronómetro Onstart 500" (Villeneuve-d'Ascq, Francia). El protocolo de la prueba consistió, en un primer momento, en un calentamiento de 25 min de estilo variado con intensidades variadas. Al finalizar el calentamiento los participantes descansaron durante 10 minutos (pasivos), tras los cuales se ejecutaron los 200m a máxima velocidad. Cada participante nadaba en una calle diferente. Al finalizar los 200m se registraba el tiempo conseguido en recorrer la distancia.

#### Sector de ciclismo.

Test de 40 KM Time-Trial coog (Coogan & Allen, 2006). Se realizaron 30 min de calentamiento a intensidad baja-moderada ( $<70\%$  FCmax) y que el participante elegía. Tras la realización de este, todos los participantes realizaron los 40km time-trial a la vez en el mismo circuito por carretera abierta al tráfico con un desnivel de +70 metros. Todos los participantes tuvieron acceso continuo a su velocidad y FC. La prueba fue controlada registrando el tiempo en realizar los 40km mediante reloj-GPS "Garmin vívoactive 4S" (Kansas, EE. UU.), registrando la FC mediante banda de pecho "Garmin HRM-Dual" (Kansas, EE. UU.), y velocidad media mediante reloj-GPS "Garmin vívoactive 4S" (Kansas, EE. UU.).

Para aquellos que tuvieran potenciómetro, utilizamos los Vatios relativos a la masa corporal, los absolutos y los normalizados ( $W/KG - W$  absolutos - NP); La Potencia normalizada es la producción de potencia que un atleta podría mantener si se mantuviera la intensidad sin ninguna variabilidad. Cuanto mayor sea la variabilidad en la potencia de salida mayor es la

potencia normalizada, que representa la magnitud de la variabilidad durante el recorrido en bicicleta. La producción de potencia normalizada es nueva en la literatura del triatlón, donde esta métrica captura mayor carga de trabajo del ciclismo durante el triatlón, donde la producción de potencia media y normalizada será igual (Etxebarria et al., 2014).

#### Sector de carrera a pie.

Test de Cooper (Alvero-Cruz et al., 2019) en pista de 400m de atletismo. Consistió, en primer lugar, en realizar un calentamiento de 15 minutos de carrera continua a intensidad baja-moderada, más ejercicios de técnica y movilidad articular libre para cada participante. Tras el calentamiento, se procedió con el inicio del test, consistente en correr durante 12 minutos all-out en una pista de 400m, registrándose la máxima distancia recorrida. Al finalizar la prueba, se registró la FC máxima alcanzada y se estimó el VO<sub>2</sub>max (Bandyopadhyay, 2015). Se monitorizó la prueba mediante GPS "Garmin vivoactive 4S" (Kansas, EEUU) para medir la distancia, cronómetro "Kalenji Cronómetro Onstart 500" (Villeneuve-d'Ascq, Francia) para medir los 12 minutos y banda de pecho "Garmin HRM-Dual" (Kansas, EEUU) para medir la FC obtenida durante toda la prueba.

Durante las valoraciones, el registro de la FC y de la HRV se realizó con las bandas y sensores "Garmin HRM-Dual" (Kansas, EE. UU.), las cuales se sincronizaron con la aplicación EliteHRV ("Elite HRV: Wellness & Fitness", North Carolina, USA) para el registro (Perrotta et al., 2017).

## 2.4. INTERVENCIÓN

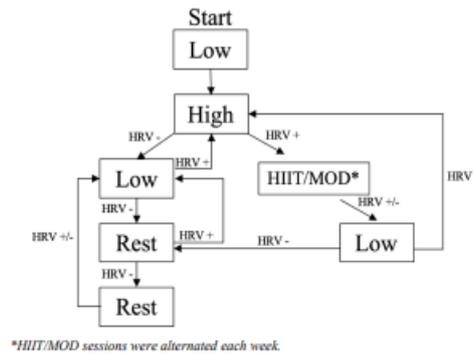
### 2.4.1. Programas de entrenamiento de los grupos HRV<sub>0.5</sub> y HRV<sub>1</sub>

El PE tuvo una duración de 6 semanas. Los participantes entrenaron entre 6-7 días a la semana, adoptando una dinámica de cargas clásica, con una estructura de tres semanas de carga y una semana de recuperación o descarga. Las sesiones de entrenamiento se dividieron en 4 tipos:

- Sesión de baja intensidad, trabajando de forma continua por debajo de VT1.
- Sesión de moderada intensidad a VT2, trabajando de forma interválica con periodos de 10 min trabajo a nivel de VT2.
- Sesiones de alta intensidad a velocidad aeróbica máxima (VAM).
- Sesiones de descanso.

Las sesiones estaban formadas principalmente por sesiones de baja-moderada intensidad, con presencia de algunas sesiones a alta intensidad, pero de bajo volumen. Los grupos HRV<sub>0.5</sub> y HRV<sub>1</sub>, entrenaron de acuerdo con los valores individuales del estado

parasimpático obtenidos cada día (Kiviniemi et al., 2007b). Ambos grupos entrenaron siguiendo el algoritmo de la *Figura 3*. Donde se explica que cuando el valor diario normalizado de RMSSD (LnRMSSD) incorporado a la media móvil de 7 días permanece dentro de SWC (HRV+), se prescribieron sesiones de entrenamiento de alta intensidad o moderadas. Mientras que si ese valor caía fuera de SWC (HRV-), se prescribía baja intensidad o descanso (Javaloyes et al., 2018).



**Figura 3.** Algoritmo de toma de decisiones (Javaloyes et al., 2018).

Los cambios en la carga de entrenamiento se produjeron a través del incremento gradual de la intensidad manteniendo el volumen semanal de cada uno de los participantes. La distribución de las sesiones se puede observar en la *tabla 1*.

**Tabla 1.** Periodización y distribución de las sesiones. Ocho semanas totales, contando una semana de PB y VPPE, de la 2ª-7ª semana de PE y la 8ª semana de VPOST.

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	
16 - 22 enero PB y VPPE	MEDICIONES BASALES						Test 200m y Test de Cooper	TEST 40km Time-Trial
	1 sesión Intensidad BAJA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad MODERADA	1 sesión Intensidad MODERADA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad SUAVE	1 sesión Intensidad SUAVE/DESCANSO	
23 - 29 enero PE	1 sesión Intensidad BAJA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad MODERADA	1 sesión Intensidad MODERADA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad SUAVE	1 sesión Intensidad SUAVE/DESCANSO	
30 enero - 5 febrero PE	1 sesión Intensidad BAJA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad MODERADA	1 sesión Intensidad MODERADA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad SUAVE	1 sesión Intensidad SUAVE/DESCANSO	
6 - 12 febrero PE	1 sesión Intensidad BAJA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad MODERADA	1 sesión Intensidad MODERADA-BAJA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad SUAVE	1 sesión Intensidad SUAVE/DESCANSO	
13 - 19 febrero PE	1 sesión Intensidad BAJA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad MODERADA	1 sesión Intensidad BAJA	1 sesión Intensidad MODERADA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad SUAVE/DESCANSO	
20 - 26 febrero PE	1 sesión Intensidad BAJA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad MODERADA	1 sesión Intensidad BAJA	1 sesión Intensidad MODERADA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad SUAVE/DESCANSO	
27 febrero - 5 marzo PE	1 sesión Intensidad BAJA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad MODERADA	1 sesión Intensidad BAJA	1 sesión Intensidad MODERADA	1 sesión Intensidad ALTA	1 sesión Intensidad SUAVE/DESCANSO	
6 - 12 marzo VPOST	Test 200m y Test de Cooper	TEST 40km Time-Trial						

Abreviaturas: PB, periodo basal; VB, valoraciones basales; VPOST, valoraciones post intervención; VPRE, valoraciones pre intervención; PE, período de entrenamiento.

## 2.5. ANALISIS ESTADÍSTICO

Los datos se presentan como promedio  $\pm$  desviación estándar. Se realizaron pruebas de normalidad para las diferentes variables registradas (Test de Shapiro-Wilk). Aquellas variables que mostraron una distribución normal, fueron tratadas mediante un T-test de Student para muestras relacionadas; mientras que las que mostraron una distribución no normal fueron tratadas mediante un T-test de Wilcoxon (prueba no paramétrica) para muestras relacionadas. Además de aporta el tamaño del efecto mediante la  $d$  de Cohen (con sus intervalos de confianza al 95%), que fue interpretado mediante la escala de Rhea para deportistas entrenados: ES trivial ( $<.25$ ), pequeño ( $.25-.5$ ), moderado ( $.5-1.0$ ) y grande ( $>1.0$ ). La significación estadística se asumió con un “ $p$ ” valor  $\leq .05$ . Los datos fueron analizados utilizando el software JASP (versión 0.14, University of Amsterdam, Netherlands).

## 3. RESULTADOS.

En este apartado se muestran los resultados más importantes obtenidos en el estudio. En primer lugar, se aportan los datos descriptivos de volúmenes e intensidades de los triatletas participantes por sectores (tabla 2).

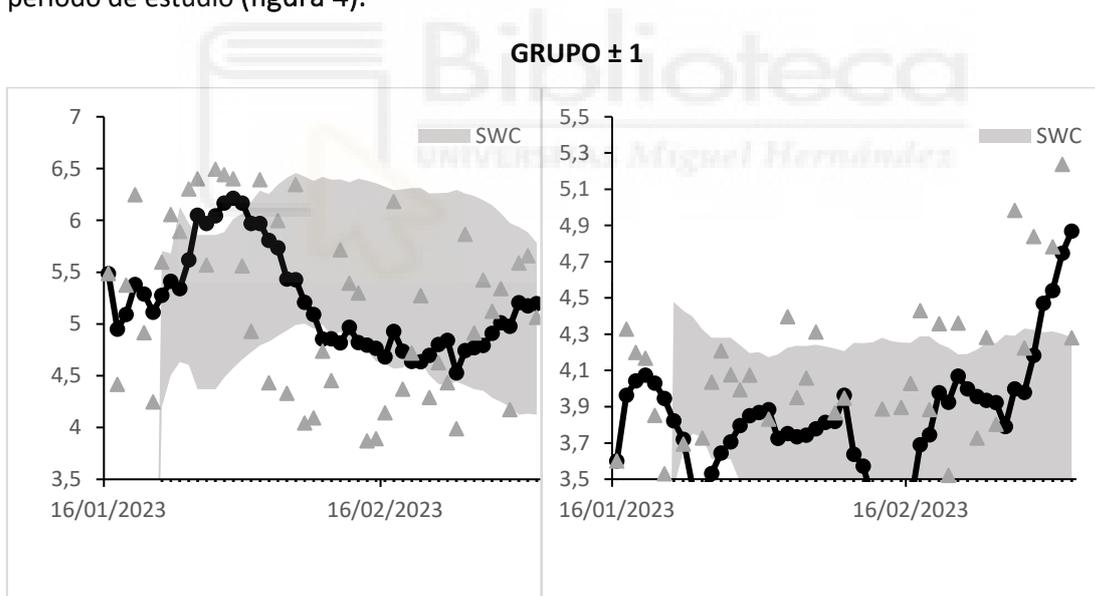
**Tabla 2.** Datos descriptivos de los volúmenes e intensidades.

	NATACIÓN	CICLISMO	CARRERA A PIE
<b>VOLUMEN MÁXIMO</b>	6950 $\pm$ 2954.65	274.75 $\pm$ 112.02	198.25 $\pm$ 17.28
<b>INTENSIDAD MÁXIMA</b>	INTENSIDAD ALTA (>VT2)	INTENSIDAD MODERADA / ENTRE UMBRALES (VT1-VT2)	INTENSIDAD ALTA (>VT2)
<b>INTENSIDAD MÍNIMA</b>	ZONA 1 - REGENERATIVO-BAJA (<VT1)	ZONA 1 - REGENERATIVO-BAJA (<VT1)	ZONA 1 - REGENERATIVO-BAJA (<VT1)

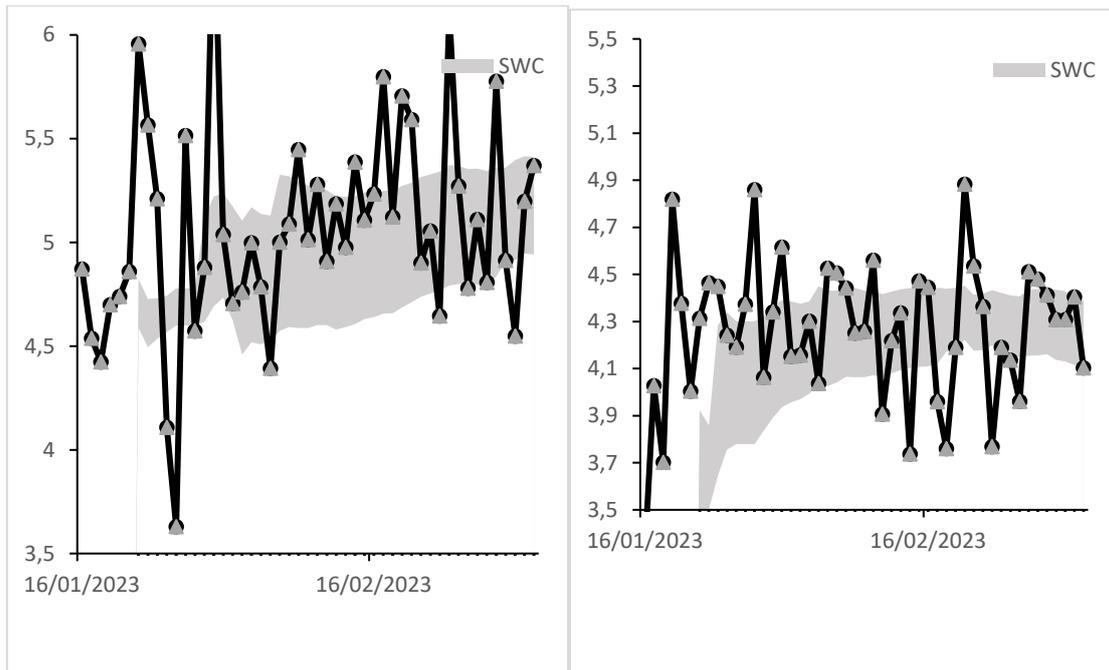
**Tabla 3.** Datos descriptivos relacionados con la HRV (RMSSD y SWC).

	VALOR INICIAL PROMEDIO RMSSD	VALOR FINAL PROMEDIO RMSSD		LÍMITE SUPERIOR PROMEDIO - SWC	LÍMITE INFERIOR PROMEDIO - SWC	DÍAS ENTRENO MODIFICADO
GRUPO ± 0.5	5.13 ± 1.16	4.73 ± 0.89	GRUPO ± 0.5	4.78 ± 0.57	4.34 ± 0.45	7.5 ± 0.70
GRUPO ± 1	4.47 ± 1.58	4.67 ± 0.55	GRUPO ± 1	5.22 ± 1.35	3.94 ± 0.88	4.5 ± 0.70

A continuación, se aportan los cuatro archivos de registro de la HRV de los participantes en el periodo de estudio (figura 4).



**GRUPO ± 0.5**



En la (tabla 4) se muestra la tabla descriptiva de las diferentes variables objeto de estudio, antes (pre) y después (post) del periodo de intervención.

**Tabla 4.** Descriptivos de las variables de estudio de la muestra en su totalidad.

Descriptivos	N	Media	SD	SE
NTp (s)	4	184.75	43.79	21.89
NTpost (s)	4	177.00	38.24	19.12
NV_100p (s/100m)	4	92.00	21.74	10.87
NV_100post (s/100m)	4	88.50	19.12	9.56
CTp (min)	4	74.00	5.09	2.55
CTpost (min)	4	71.00	6.37	3.18
CV_kmp (km/h)	4	32.22	2.29	1.14
CV_kmpost (km/h)	4	33.85	3.10	1.55
CT_FC_max_p (bpm)	3	156.33	6.65	3.84
CT_FC_max_post (bpm)	4	159.50	10.87	5.43
RV_1000p (min/km)	4	218.75	18.55	9.27
RV_1000post (min/km)	4	214.25	20.00	10.00
RV_mp (m)	4	3277.50	356.87	178.43
RV_mpost (m)	4	3350.00	341.56	170.78
RT_FC_max_p (lpm)	4	178.75	9.03	4.51
RT_FC_max_post (lpm)	4	181.25	10.07	5.03
VO2max_p (ml/kg/min)	4	60.72	7.39	3.69
VO2max_post (ml/kg/min)	4	63.55	7.64	3.82

*Abreviaturas:* NTp, tiempo empleado en la prueba de natación en evaluación pre; NTpost, tiempo empleado en la prueba de natación en evaluación post; NV\_100p, ritmo de nado en evaluación pre; NV\_100post, ritmo de nado en evaluación post; CT, tiempo empleado en la prueba de ciclismo en evaluación pre; CTpost, tiempo empleado en la

prueba de ciclismo en evaluación post; CV\_kmp, velocidad media de la prueba de ciclismo en evaluación pre; CV\_kmpost, velocidad media de la prueba de ciclismo en evaluación post; CT\_FC\_max\_p, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de ciclismo en evaluación pre; CT\_FC\_max\_post, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de ciclismo en evaluación post; RV\_1000p, ritmo medio obtenido en la prueba de carrera a pie en la evaluación pre; RV\_1000post, ritmo medio obtenido en la prueba de carrera a pie en la evaluación post; RV\_mp, distancia recorrida en la prueba de carrera a pie en evaluación pre; RV\_mpost, distancia recorrida en la prueba de carrera a pie en evaluación post; RT\_FC\_max\_p, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de carrera a pie en la evaluación pre; RT\_FC\_max\_post, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de carrera a pie en evaluación post; VO2max\_p, consumo máximo de oxígeno relativo estimado en evaluación pre; VO2max\_post, consumo máximo de oxígeno relativo estimado en evaluación post.

En la **tabla 5** podemos observar los descriptivos de las variables de estudio por grupos (A: nivel bajo; B: nivel medio-alto).

**Tabla 5.** Descriptivos de las variables de estudio por grupos (A: nivel bajo; B: nivel medio-alto).

	GRUPO A				GRUPO B			
	N	Media	SD	SE	N	Media	SD	SE
NTp (s)	2	220.00	26.87	19.00	2	220.00	26.87	19.00
NTpost (s)	2	209.00	15.55	11.00	2	209.00	15.55	11.00
NV_100p (s/100m)	2	109.50	13.43	9.50	2	109.50	13.43	9.50
NV_100post (s/100m)	2	104.50	7.77	5.50	2	104.50	7.77	5.50
CTp (min)	2	77.50	2.12	1.50	2	77.50	2.12	1.50
CTpost (min)	2	75.00	2.82	2.00	2	75.00	2.82	2.00
CV_kmp (km/h)	2	30.70	0.99	0.70	2	30.70	0.99	0.70
CV_kmpost (km/h)	2	31.95	1.20	0.85	2	31.95	1.20	0.85
RV_mp (m)	2	3030.00	325.26	230.00	2	3030.00	325.26	230.00
RV_mpost (m)	2	3100.00	282.84	200.00	2	3100.00	282.84	200.00
RT_FC_max_p (bpm)	2	172.00	1.41	1.00	2	172.00	1.41	1.00
RT_FC_max_post (bpm)	2	174.50	4.95	3.50	2	174.50	4.95	3.50
VO2max_p (ml/kg/min)	2	55.70	6.36	4.50	2	55.70	6.36	4.50
VO2max_post (ml/kg/Min)	2	57.95	6.29	4.45	2	57.95	6.29	4.45

*Abreviaturas:* NTp, tiempo empleado en la prueba de natación en evaluación pre; NTpost, tiempo empleado en la prueba de natación en evaluación post; NV\_100p, ritmo de nado en evaluación pre; NV\_100post, ritmo de nado en evaluación post; CT, tiempo empleado en la prueba de ciclismo en evaluación pre; CTpost, tiempo empleado en la prueba de ciclismo en evaluación post; CV\_kmp, velocidad media de la prueba de ciclismo en evaluación pre; CV\_kmpost, velocidad media de la prueba de ciclismo en evaluación post; CT\_FC\_max\_p, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de ciclismo en evaluación pre; CT\_FC\_max\_post, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de ciclismo en evaluación post; RV\_mp, distancia recorrida en la prueba de carrera a pie en evaluación pre; RV\_mpost, distancia recorrida en la prueba de carrera a pie en evaluación post; RT\_FC\_max\_p, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de carrera a pie en la evaluación pre; RT\_FC\_max\_post, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de carrera a pie en evaluación post; VO2max\_p, consumo máximo de oxígeno relativo estimado en evaluación pre; VO2max\_post, consumo máximo de oxígeno relativo estimado en evaluación post.

En la **tabla 6** se presenta el test de normalidad de Shapiro-Wilk para todas las variables de estudio.

**Tabla 6.** Datos obtenidos del test de Normalidad para las variables de estudio (Shapiro-Wilk).

		<b>W</b>	<b>p</b>
NTp (s)	- NTpost (s)	0.73	<b>0.02</b>
NV_100p (s/100m)	- NV_100post (s/100m)	0.73	<b>0.02</b>
CTp (min)	- CTpost (min)	0.82	0.16
CV_kmp (km/h)	- CV_kmpost (km/h)	0.74	<b>0.03</b>
CT_FC_max_p (bpm)	- CT_FC_max_post (bpm)	0.98	0.75
RV_1000p (min/km)	- RV_1000post (min/km)	0.70	<b>0.01</b>
RV_mp (m)	- RV_mpost (m)	0.79	0.10
RT_FC_max_p (bpm)	- RT_FC_max_post (bpm)	0.91	0.48
VO2max_p (ml/kg/min)	- VO2max_post (ml/kg/min)	0.66	<b>0.004</b>

*Abreviaturas:* NTp, tiempo empleado en la prueba de natación en evaluación pre; NTpost, tiempo empleado en la prueba de natación en evaluación post; NV\_100p, ritmo de nado en evaluación pre; NV\_100post, ritmo de nado en evaluación post; CT, tiempo empleado en la prueba de ciclismo en evaluación pre; CTpost, tiempo empleado en la prueba de ciclismo en evaluación post; CV\_kmp, velocidad media de la prueba de ciclismo en evaluación pre; CV\_kmpost, velocidad media de la prueba de ciclismo en evaluación post; CT\_FC\_max\_p, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de ciclismo en evaluación pre; CT\_FC\_max\_post, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de ciclismo en evaluación post; RV\_1000p, ritmo medio obtenido en la prueba de carrera a pie en la evaluación pre; RV\_1000post, ritmo medio obtenido en la prueba de carrera a pie en la evaluación post; RV\_mp, distancia recorrida en la prueba de carrera a pie en evaluación pre; RV\_mpost, distancia recorrida en la prueba de carrera a pie en evaluación post; RT\_FC\_max\_p, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de carrera a pie en la evaluación pre; RT\_FC\_max\_post, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de carrera a pie en evaluación post; VO2max\_p, consumo máximo de oxígeno relativo estimado en evaluación pre; VO2max\_post, consumo máximo de oxígeno relativo estimado en evaluación post.

Como podemos observar, hay cinco variables que no tienen una distribución normal (en color rojo). Para esas variables, en la comparación entre el pre y el post, se utilizarán test diferentes.

En la **Tabla 7** se muestran los T-test de toda la muestra mediante la prueba paramétrica y no paramétrica, en función de los datos obtenidos en la prueba de normalidad. En gris aparece el t-test utilizado y en rojo las variables con diferencias significativas.

**Tabla 7.** T-Test para muestras pareadas.

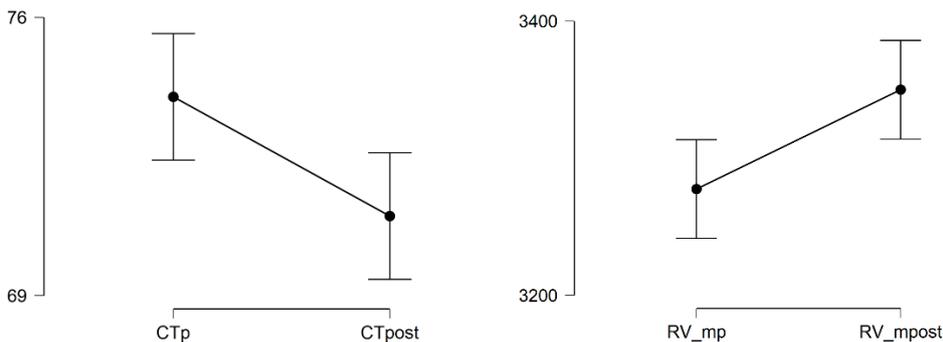
Medida pre	Medida post	Test	Statistic	df	p	Effect Size	95% CI for Effect Size	
							Lower	Upper
NTp (s)	- Ntpost (s)	Student	2.05	3	0.13	1.02	-0.27	2.23
		Wilcoxon	10.00		0.12	1.00	1.00	1.00
NV_100p (s/100m)	- NV_100post (s/100m)	Student	1.89	3	0.15	0.94	-0.31	2.11
		Wilcoxon	10.00		0.09	1.00	1.00	1.00
CTp (min)	- CTpost (min)	Student	4.24	3	<b>0.02</b>	2.12	0.21	3.97
		Wilcoxon	10.00		0.09	1.00	1.00	1.00
CV_kmp (km/h)	- CV_kmpost (km/h)	Student	-3.77	3	0.03	-1.88	-3.58	-0.12
		Wilcoxon	0.00		0.09	-1.00	-1.00	-1.00
CT_FC_max_p (bpm)	- CT_FC_max_post (bpm)	Student	-0.63	2	0.59	-0.36	-1.50	0.85

**Tabla 7.** T-Test para muestras pareadas.

Medida pre	Medida post	Test	Statistic	df	p	Effect Size	95% CI for Effect Size	
							Lower	Upper
RV_1000p (min/km)	- RV_1000post (min/km)	Wilcoxon	2.00	3	0.75	-0.33	-0.91	0.70
		Student	2.06	3	0.13	1.03	-0.26	2.24
RV_mp (m)	- RV_mpost (m)	Wilcoxon	10.00	3	0.09	1.00	1.00	1.00
		Student	-4.52	3	<b>0.02</b>	-2.26	-4.21	-0.27
RT_FC_max_p (bpm)	- RT_FC_max_post (bpm)	Wilcoxon	0.00	3	0.09	-1.00	-1.00	-1.00
		Student	-2.10	3	0.12	-1.05	-2.27	0.25
VO2max_p (ml/kg/min)	- VO2max_post (ml/kg/min)	Wilcoxon	0.00	3	0.18	-1.00	-1.00	-1.00
		Student	-5.05	3	0.01	-2.52	-4.66	-0.37
		Wilcoxon	0.00	3	0.12	-1.00	-1.00	-1.00

*Abreviaturas:* NTp, tiempo empleado en la prueba de natación en evaluación pre; NTpost, tiempo empleado en la prueba de natación en evaluación post; NV\_100p, ritmo de nado en evaluación pre; NV\_100post, ritmo de nado en evaluación post; CT, tiempo empleado en la prueba de ciclismo en evaluación pre; CTpost, tiempo empleado en la prueba de ciclismo en evaluación post; CV\_kmp, velocidad media de la prueba de ciclismo en evaluación pre; CV\_kmpost, velocidad media de la prueba de ciclismo en evaluación post; CT\_FC\_max\_p, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de ciclismo en evaluación pre; CT\_FC\_max\_post, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de ciclismo en evaluación post; RV\_1000p, ritmo medio obtenido en la prueba de carrera a pie en la evaluación pre; RV\_1000post, ritmo medio obtenido en la prueba de carrera a pie en la evaluación post; RV\_mp, distancia recorrida en la prueba de carrera a pie en evaluación pre; RV\_mpost, distancia recorrida en la prueba de carrera a pie en evaluación post; RT\_FC\_max\_p, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de carrera a pie en la evaluación pre; RT\_FC\_max\_post, frecuencia cardíaca máxima obtenida en la prueba de carrera a pie en evaluación post; VO2max\_p, consumo máximo de oxígeno relativo estimado en evaluación pre; VO2max\_post, consumo máximo de oxígeno relativo estimado en evaluación post.

En la **figura 5** observamos la evolución gráfica de las variables significativas.



**Figura 5.** Evaluación gráfica de las variables significativas.

**Tabla 8.** Porcentajes de cambio ( $\Delta$  cambio %) por sectores y por triatletas.

	$\Delta$ cambio %		
	NATACIÓN	CICLISMO	CARRERA A PIE
T1	-0,75	-1,28	1,75
T2	-4,14	-2,01	1,45
T3	-1,41	-3,88	1,45
T4	-1,64	-1,37	0,68

Abreviaturas: T1, triatleta 1; T2, triatleta 2; T3, triatleta 3; T4, triatleta 4.

#### 4. DISCUSIÓN.

Los resultados obtenidos en el trabajo entre las mediciones de HRV, como método de cuantificación de la carga de entrenamiento y, las pruebas de evaluación pre y post durante las semanas del programa de entrenamiento, son muy positivas y apuntan hacia la posibilidad de implementación de un sistema de monitorización y control del entrenamiento basado en la HRV.

Los participantes del estudio fueron repartidos en dos grupos (A y B) en función de su nivel competitivo inicial, asignándoseles a cada grupo dos SWC diferentes en función de la SD manejada en el cálculo: al grupo A se le asignó  $HRV \pm 1$  y al grupo de mayor nivel  $HRV \pm 0.5$ . Observando los días totales que se les modificó los entrenamientos a los triatletas, se muestra como al grupo A se les modificó el entrenamiento un promedio de  $4.5 \pm 0.70$  días, mientras que al grupo B se les modificó un total de  $7.5 \pm 0.70$  días. Esta diferencia entre grupos podría justificarse mediante las características en la individualización del entrenamiento por niveles, siendo la carga de entrenamiento (volúmenes e intensidades) del grupo A menor en términos generales que las del grupo B. A este hecho, debería sumársele el rango de SWC más laxo del grupo A por el uso de  $\pm 1$  SD en su cómputo, con más capacidad de margen sin sobrepasar los límites (Hopkins, n.d.). En cambio, el grupo B con un cálculo más restrictivo del SWC, deja un margen de actuación menor, que unido al nivel de exigencia mayor de la carga puede hacer fluctuar más su HRV. Aunque también es conocido, que los deportistas de esta disciplina de muy

alto nivel fluctúan en sus valores de HRV menos que los noveles o amateurs. En nuestro estudio, el grupo B estaría catalogado como amateur (Moya-Ramon et al., 2022).

En cuanto a los resultados de las diferentes variables de las evaluaciones del estudio, como se observa en la tabla 2, la SD de los volúmenes de entrenamiento de las diferentes disciplinas es relativamente amplia, respecto a la diferencia entre grupos, ya que a mayor rendimiento los volúmenes eran mayores y viceversa con menor nivel, e igual ocurría con las intensidades. Si nos fijamos y relacionamos los días de entrenamiento modificados con las diferentes sesiones de entrenamiento, observamos que sobre todo en el grupo A ( $4.5 \pm 0.70$  días) se modificaba las sesiones de entrenamiento cuando el día anterior habían tenido una sesión de alta intensidad de carrera a pie (la mayoría de las veces), ya que tanto en grupo A como B, la carrera a pie era el segmento donde mayor intensidad se introducía en las sesiones debido a las características del triatlón, y en el grupo B ocurría muy similar. Por otro lado, todos los deportistas tuvieron en todo el período 2 ciclos de 2 días seguidos con el HRV por debajo del SWC, lo que en esos casos prescribía descanso total en todos ellos, y a partir del tercer día volvía a introducir una carga de entrenamiento de intensidad suave ya que todos al tercer día volvieron a estado normal de HRV (Javaloyes et al., 2018), donde muchas veces ocurría este fenómeno debido a cansancio por motivos laborales, académicos o enfermedades.

Viendo los resultados de rendimiento globalmente de ambos grupos, podemos hablar de que la individualización del proceso de entrenamiento ajustada a los dos criterios de elección del SWC, ha asegurado la mejora del rendimiento en todos los participantes.

En los resultados obtenidos de las variables de rendimiento tras finalizar la intervención (mediciones post), podemos decir que en todas las variables y disciplinas (natación, ciclismo y carrera a pie), todos los deportistas han mejorado porcentualmente (entre un 0.68% y un 4.14%) respecto a las evaluaciones iniciales (tabla 8). Estas mejoras se producen a nivel general (en toda la muestra), así como, a nivel grupal (tabla 7). Pero a nivel estadístico (mediante T-test), no hay mejoras estadísticamente significativas si se compara entre grupos (grupo A y B), ya que, si observamos la tabla 5 y sus descriptivos. Probablemente el hecho de que sea un estudio exploratorio, con una muestra muy reducida, impide que se alcancen los niveles de significación.

A nuestro favor, debemos comentar que los tamaños del efecto (entendidos como significación práctica) son todos grandes o muy grandes (valores entre 1 y 2), valorados con la escala de Rhea para deportistas entrenados, lo que estaría indicando que la tendencia a la mejora, aunque la muestra sea pequeña, debería tenerse en cuenta en el ámbito de entrenamiento de estos deportistas, debido a que la muestra total es muy reducida, pero que a nivel individual estas mejoras se aprecian realmente (Hopkins, n.d.) .

Por último, calculamos el porcentaje de mejora de los diferentes deportistas mediante el delta de cambio ( $\Delta\%$ ). Podemos observar en la tabla 9, como todos mejoran en todas las disciplinas, destacando que el deportista que más mejoró pertenecía al grupo A (entre un 1% y un 4%) con respecto a la evaluación pre. Esta situación podría justificarse debido a que es el deportista con menor días de entrenamientos modificados (4 días), lo cual implicaría haber acumulado una mayor carga de entrenamiento programada dentro de su nivel deportivo respecto al resto de participantes, acumulando mayor estímulo y estrés para producir mayores adaptaciones fisiológicas en las diferentes disciplinas deportivas (Vesterinen et al., 2016).

Por tanto, hemos podido comprobar mediante el uso de la HRV con diferentes SWC, que se pueden ajustar los estímulos del entrenamiento en función del nivel deportivo realizando una monitorización de carga día a día, produciendo cambios adaptados a la capacidad de mejora y el nivel deportivo de los participantes en un periodo de 6 semanas de entrenamiento, con un indudable valor práctico (Kiviniemi et al., 2007a), mediante el control de la fatiga y la realización de estímulos de diferente intensidad en función de ella (Vesterinen et al., 2016).

## 5. CONCLUSIONES Y LIMITACIONES

El uso de la HRV como método para monitorizar y analizar el proceso de entrenamiento mediante la planificación “day-to-day”, parece ser eficaz y útil para producir mejoras observables en el rendimiento del deportista, independientemente del nivel de este. El cambio de rendimiento en cada deportista se ve favorecido por el uso de un SWC individualizado.

En cuanto a las principales limitaciones del estudio, encontramos en primer lugar, la pequeña muestra participante en el estudio. Por tanto, este hecho limita muchísimo la capacidad de generalización de los datos en esta población deportiva. Aun así, los resultados obtenidos tendrían una gran importancia en el marco de mi desarrollo profesional.

En segundo lugar, se han utilizado los elementos de registros de la HRV que poseía cada participante, hecho que puede haber afectado a la homogeneidad o consistencia de esos datos.

En tercer lugar, no existe mucha información en la literatura específica para el uso de una magnitud de la SD determinada (en función del uso de una media móvil de RMSSD), en el cálculo de los límites del SWC. Aunque hemos utilizado dos magnitudes de las más utilizadas de SD, no podemos asegurar que esas y no otras podrían ser las más efectivas y ajustadas al nivel de los deportistas.

## 6. REFERENCIAS

- Almási, G., Bosnyák, E., Móra, Á., Zsákai, A., Fehér, P. V., Annár, D., Nagy, N., Sziráki, Z., Kemper, H. C. G., & Szmodis, M. (2021). Physiological and psychological responses to a maximal swimming exercise test in adolescent elite athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph18179270>
- Alvero-Cruz, J. R., Carnero, E. A., Giráldez García, M. A., Alacid, F., Rosemann, T., Nikolaidis, P. T., & Knechtle, B. (2019). Cooper Test Provides Better Half-Marathon Performance Prediction in Recreational Runners Than Laboratory Tests. *Frontiers in Physiology*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01349>
- Bandyopadhyay, A. (2015). Validity of Cooper's 12-minute run test for estimation of maximum oxygen uptake in male university students. *Biology of Sport*, *32*(1), 59–63. <https://doi.org/10.5604/20831862.1127283>
- Bell, L., Ruddock, A., Maden-Wilkinson, T., & Rogerson, D. (2020). Overreaching and overtraining in strength sports and resistance training: A scoping review. *Journal of Sports Sciences*, *38*(16), 1897–1912. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1763077>
- Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y., & Buckley, J. D. (2016). Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, *46*(10), 1461–1486. <https://doi.org/10.1007/S40279-016-0484-2>
- Coogan, A., & Allen, H. (2006). *Training and Racing with a PowerMeter*.
- 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. *Journal of Sports Science and Medicine*.
- Etxebarria, N., D'Auria, S., Anson, J. M., Pyne, D. B., & Ferguson, R. A. (2014). Variability in power output during cycling in international olympic-distance triathlon. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *9*(4), 732–734. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2013-0303>
- Hopkins, W. G. (n.d.). *SPORTSCIENCE · sportsci.org Perspectives / Research Resources Estimating Sample Size for Magnitude-Based Inferences*.
- Javaloyes, A., Mateo-March, M., Manresa-Rocamora, A., Sanz-Quinto, S., & Moya-Ramón, M. (2021). The use of a smartphone application in monitoring hrv during an altitude training camp in professional female cyclists: A preliminary study. *Sensors*, *21*(16). <https://doi.org/10.3390/s21165497>
- Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., & Moya-Ramon, M. (2018). Training Prescription Guided by Heart-Rate Variability in Cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(1), 23–32. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0122>
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., & Tulppo, M. P. (2007a). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology*. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0552-2>

- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., & Tulppo, M. P. (2007b). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology*, *101*(6), 743–751. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0552-2>
- Millet, G. P., Dréano, P., & Bentley, D. J. (2003). Physiological characteristics of elite short- and long-distance triathletes. *European Journal of Applied Physiology*, *88*(4–5), 427–430. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0731-0>
- Moya-Ramon, M., Mateo-March, M., Peña-González, I., Zabala, M., & Javaloyes, A. (2022). Validity and reliability of different smartphones applications to measure HRV during short and ultra-short measurements in elite athletes. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *217*. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.106696>
- Perrotta, A. S., Jeklin, A. T., Hives, B. A., Meanwell, L. E., & Warburton, D. E. R. (2017). Validity of the Elite HRV Smartphone Application for Examining Heart Rate Variability in a Field-Based Setting. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001841>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training A case comparison. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(11), 3729–3741. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2354-4>
- Rivas, L. G., Mielgo-Ayuso, J., Norte-Navarro, A., Cejuela, R., Cabañas, M. D., & Martínez-Sanz, J. M. (2015). Body composition and somatotype in university triathletes. *Nutricion Hospitalaria*, *32*(2), 799–807. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.2.9142>
- Rodas, G., Pedret Carballido, C., Ramos, J., Capdevila, L., Activa, M., & Roldas Avda Arístides Maillol, G. (n.d.). *Variabilidad de la frecuencia cardiaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (i) variabilidad de la frecuencia cardiaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (i) heart rate variability: definition, measurement and clinical relation aspects (i) concepto de variabilidad de la frecuencia cardiaca (vfc)*.
- Sleivert, G. G., & Rowlands, D. S. (1996). Physical and Physiological Factors Associated with Success in the Triathlon. In *Sports Med* (Vol. 22).
- Spurway, N. C. (1992). *Aerobic exercise, anaerobic exercise and the lactate threshold* (Vol. 48, Issue 3).
- Vesterinen, V., Nummela, A., Heikura, I., Laine, T., Hynynen, E., Botella, J., & Häkkinen, K. (2016). Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *48*(7), 1347–1354. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000910>
- Wehrwein, E. A., Orer, H. S., & Barman, S. M. (2016). Overview of the Anatomy, Physiology, and Pharmacology of the Autonomic Nervous System. *Comprehensive Physiology*, *6*(3), 1239–1278. <https://doi.org/10.1002/CPHY.C150037>