

# PREDICCIÓN DEL ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA A TRAVÉS DE VARIABLES FISIOLÓGICAS

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

2017-2018



**ESTHER MARTÍNEZ MARTÍNEZ**

Ciencias de la Actividad de la Actividad Física y del Deporte

TUTOR ACADÉMICO: DIEGO PASTOR CAMPOS

---

## ÍNDICE

---

1. Introducción	P. 1
2. Metodología	P. 2
3. Resultados	P. 6
4. Discusión y conclusión	P. 13
5. Propuesta	P. 14
6. Anexos	P. 16
7. Bibliografía	P. 18



---

## 1. INTRODUCCIÓN

---

Los corredores de media-larga distancia mantienen altas velocidades en sus carreras. ¿Qué les permite correr tan rápido? Esta pregunta ha intrigado a los científicos a lo largo de los años, hecho que ha provocado que se estudien aquellos factores fisiológicos que afecten en el rendimiento. Los cuatro factores fisiológicos que se han relacionado con el rendimiento de carrera son la captación máxima de oxígeno ( $VO_2\max$ ), la economía de carrera (RE), porcentaje de utilización respecto del  $VO_2\max$  (%  $VO_2\max$ ) y la acumulación de lactato sanguíneo (LT) (McLaughlin et al. 2010).

El máximo consumo de oxígeno ( $VO_2\max$ ) se define como la cantidad de oxígeno que consumes mientras realizas una actividad a alta intensidad. A mayor  $VO_2\max$ , mayor rendimiento. Está considerado el mejor indicador para expresar la resistencia cardiovascular (gold standar), y guarda relación con la cantidad oxígeno que somos capaces de transportar hacia los músculos. Poseer un  $VO_2\max$  elevado brinda el beneficio de llegar a realizar actividades a un cierto nivel de manera más confortable, y por ello mantener por así decirlo, un umbral de agotamiento superior. Por lo que podemos diferenciar tres zonas: Umbral Aeróbico o Aláctico se produce desde que se empieza una actividad ligera hasta que el atleta está el máximo tiempo realizando una actividad de manera estabilizada sin que se genere lactato, este punto exactamente lo denominamos MLSS ("Maximal Lactate Steadi State"). Lugar en el que el atleta va a desarrollar un esfuerzo manteniendo estable el nivel de lactato. Cuando sobrepasamos este estado estable nos encontramos con el Umbral Anaeróbico o Lactato, en el cual si el atleta aumenta la intensidad del esfuerzo irremediablemente lo podrá mantener de manera prolongada debido a la elevada generación de ácido láctico.

Sin embargo, el poder predictivo del  $VO_2\max$  ha sido cuestionado ya que algunos estudios informaron bajas correlaciones entre el  $VO_2\max$  y el rendimiento de resistencia en individuos entrenados y no entrenados. (Abad et al., 2016)

La economía de carrera (RE) es el consumo de oxígeno requerido para correr a una velocidad submáxima determinada. (Abad et al., 2016) El corredor que sea capaz de mantener una velocidad con menor gasto de  $VO_2$  tendrá mayor economía de carrera, es decir, necesita consumir menos energía para desarrollar esa intensidad de entrenamiento. Viene definida por muchos factores: antropométricos, metabólicos y neuromusculares, técnicos y biomecánicos, temperatura, humedad, altitud, superficie, calzado...

Otra manera que los investigadores han estudiado para predecir el rendimiento es, la velocidad máxima de carrera en cinta rodante (PTV). Se podría definir como la velocidad más rápida alcanzada y mantenida durante un minuto en una prueba de  $VO_2\max$ . (Abad et al., 2016) Sin embargo este forma de medir se usa más en la predicción de la carrera en si, y no tanto en la predicción de la respuesta del modelo fisiológico al ejercicio como los anteriores.

Finalmente otra forma de predecir el rendimiento es a través del modelo de Potencia Crítica de Banister (Clarke & Skiba, 2013). Este modelo describe la capacidad de un individuo para mantener un esfuerzo a una determinada intensidad en el tiempo. Y es útil para detectar el umbral anaeróbico e basa en la siguiente fórmula:  $W' = (P - CP) t$

El término "potencia crítica" (CP) se define como, la potencia que puede ser sostenida sin fatiga durante un tiempo muy largo. Otro parámetro, la "capacidad de trabajo anaeróbico" (AWC), hoy en día llamado W, representa la cantidad finita de energía que está disponible para que sea utilizada por encima de la potencia crítica. Finalmente, destacar que aunque es utilizado principalmente en ciclismo, también se puede utilizar en otros deportes como remo, carrera o natación. Para todos estos se puede expresar como, velocidad (S), velocidad critica (CS) y W se expresa como distancia (D). (Clarke & Skiba, 2013)

$$D = (C - CS) t$$

## 2. METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda sistemática de artículos científicos a fecha de 12/02/2018 en la base de datos PubMed. Se utilizó la guía PRISMA para cribar el resultado y así seleccionar los relacionados con el objeto de estudio, efectos en el entrenamiento del modelo dosis-respuesta para poder saber si a través de variables fisiológicas (HRV, Potencia Crítica, Fc...) y cargas de entrenamiento es posible poder predecir el rendimiento, aplicado a deportes de resistencia. Para ello se añadieron los siguientes criterios de inclusión:

- La muestra debía estar compuesta por personas físicamente activas o deportistas tanto de élite como recreativos, o por el contrario, debía ser un artículo que explicara el modelo en cuestión.
- Idioma en inglés o español.
- La modalidad deportiva debía ser resistencia, más concretamente carrera.

Se encontraron 150 artículos de los cuales estaban duplicados 5 artículos, por lo que fueron excluidos. Tras leer el título fueron seleccionados 18 de ellos y fueron desechados 127 por no cumplir los criterios deseados.

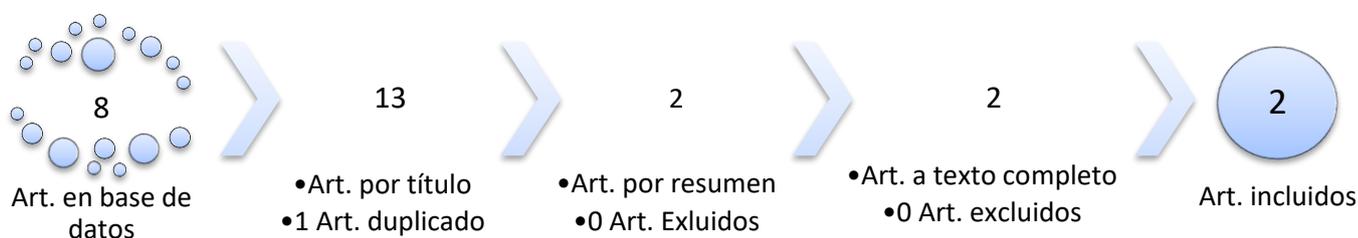
Los artículos fueron excluidos (por título, resumen o a texto completo) por los siguientes motivos:

- No estar relacionados con deporte/ejercicio
- Están realizados con personas con patologías
- No tratar el efecto dosis respuesta

Una vez leído el resumen fueron desechados 0 artículos. Por lo que quedarían para leer a texto completo 18 artículos. El procedimiento empleado ha sido el siguiente:

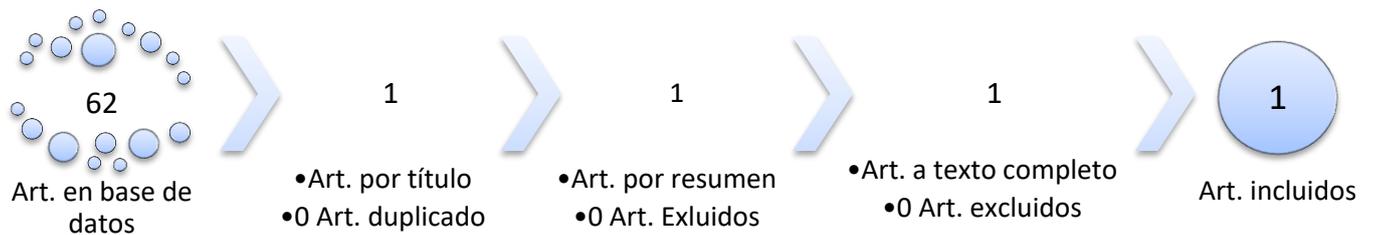
- Búsqueda: predict performance sport “dose response” = 8 artículos  
Fecha: 12 de febrero de 2018 Hora: 20.03h

1. Manzi, V., Castagna, C., Padua, E., Lombardo, M., D'Ottavio, S., Massaro, M., . . . Iellamo, F. (2009). *Dose-response relationship of autonomic nervous system responses to individualized training impulse in marathon runners*. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 296(6), H1733-1740. doi: 10.1152/ajpheart.00054.2009
2. Busso, T. (2003). *Variable dose-response relationship between exercise training and performance*. *Med Sci Sports Exerc*, 35(7), 1188-1195. doi: 10.1249/01.mss.0000074465.13621.37



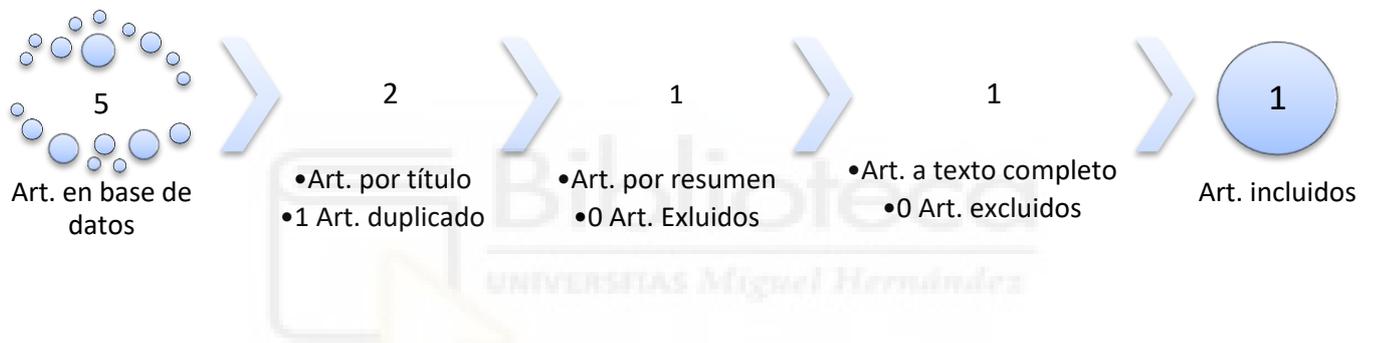
- Búsqueda: “dose response” endurance performance = 182 artículos  
“dose response” endurance performance (5 años) = 61 artículos  
Fecha: 12 de febrero de 2018 Hora: 20.10h

3. Sanders, D., Abt, G., Hesselink, M. K. C., Myers, T., & Akubat, I. (2017). *Methods of Monitoring Training Load and Their Relationships to Changes in Fitness and Performance in Competitive Road Cyclists*. *Int J Sports Physiol Perform*, 12(5), 668-675. doi: 10.1123/ijsp.2016-0454



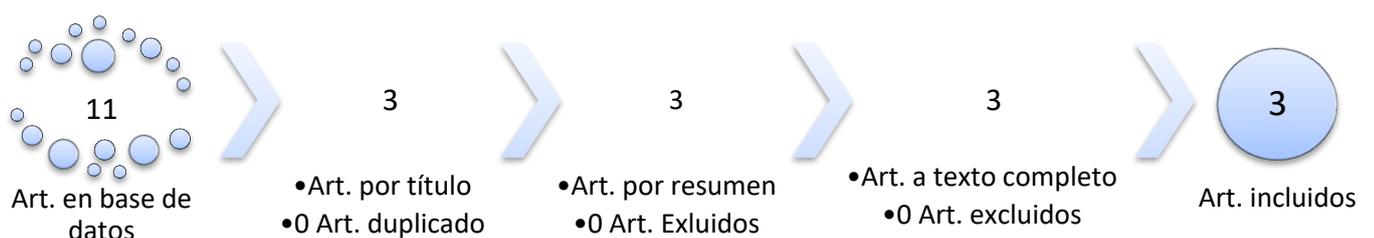
- Búsqueda: Performance predictivo dose response "sport" = 5 artículos  
Fecha: 12 de febrero de 2018 Hora: 20.25h

4. Graham, S. R., Cormack, S., Parfitt, G., & Eston, R. (2017). *Relationships Between Model Predicted and Actual Match Performance in Professional Australian Footballers During an In-Season Training Macrocycle*. *Int J Sports Physiol Perform*, 1-25. doi: 10.1123/ijsp.2017-0026



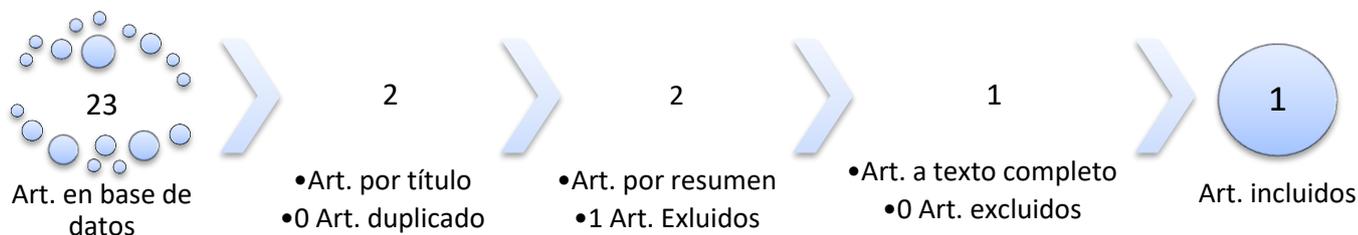
- Búsqueda: mathematical model predict exercise endurance performance NOT "patient" =11 artículos  
Fecha: 14 de febrero de 2018 Hora: 20.45h

5. Burns, R. D., Hannon, J. C., Brusseau, T. A., Eisenman, P. A., Shultz, B. B., Saint-Maurice, P. F., . . . Mahar, M. T. (2016). *Development of an aerobic capacity prediction model from one-mile run/walk performance in adolescents aged 13-16 years*. *J Sports Sci*, 34(1), 18-26. doi: 10.1080/02640414.2015.1031163
6. kiba, P. F., Chidnok, W., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2012). *Modeling the expenditure and reconstitution of work capacity above critical power*. *Med Sci Sports Exerc*, 44(8), 1526-1532. doi: 10.1249/MSS.0b013e3182517a80
7. Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R. H., & Poole, D. C. (2010). *Critical power: implications for determination of V O<sub>2</sub>max and exercise tolerance*. *Med Sci Sports Exerc*, 42(10), 1876-1890. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181d9cf7f



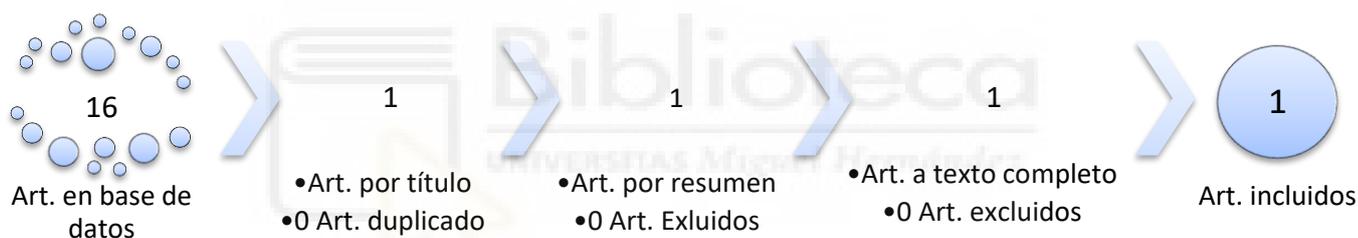
- Búsqueda: model predict performance endurance ( 5 años ) = 23 artículos  
Fecha: 14 de febrero de 2018 Hora: 21.00h

8. Abad, C. C., Barros, R. V., Bertuzzi, R., Gagliardi, J. F., Lima-Silva, A. E., Lambert, M. I., & Pires, F. O. (2016). *10 km running performance predicted by a multiple linear regression model with allometrically adjusted variables*. *J Hum Kinet*, 51, 193-200. doi: 10.1515/hukin-2015-0182



- Búsqueda: mathematical model predict performance endurance ( 5 años ) =16 artículos  
Fecha: 14 de febrero de 2018 Hora: 21.20h

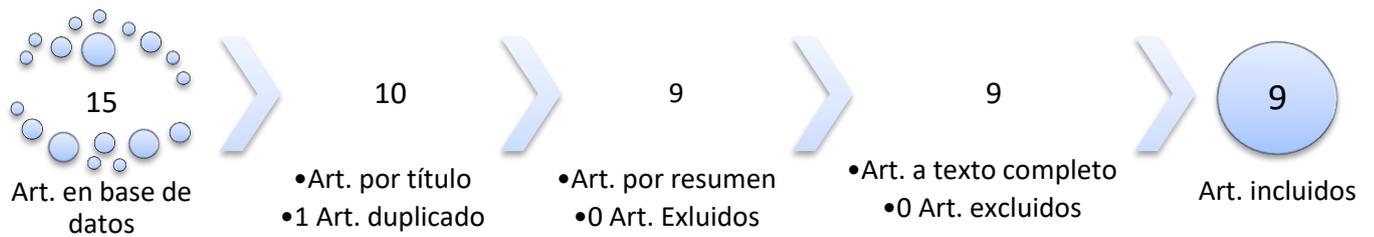
9. Black, M. I., Durant, J., Jones, A. M., & Vanhatalo, A. (2014). *Critical power derived from a 3-min all-out test predicts 16.1-km road time-trial performance*. *Eur J Sport Sci*, 14(3), 217-223. doi: 10.1080/17461391.2013.810306



- Búsqueda: Banister mathematical model AND exercise =15 artículos  
Fecha: 14 de febrero de 2018 Hora: 22.00h

10. Chalencon, S., Pichot, V., Roche, F., Lacour, J. R., Garet, M., Connes, P., . . . Busso, T. (2015). *Modeling of performance and ANS activity for predicting future responses to training*. *Eur J Appl Physiol*, 115(3), 589-596. doi: 10.1007/s00421-014-3035-2
11. Saboul, D., Balducci, P., Millet, G., Pialoux, V., & Hautier, C. (2016). *A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice*. *Eur J Sport Sci*, 16(2), 172-181. doi: 10.1080/17461391.2015.1004373
12. Hellard, P., Avalos, M., Lacoste, L., Barale, F., Chatard, J. C., & Millet, G. P. (2006). *Assessing the limitations of the Banister model in monitoring training*. *J Sports Sci*, 24(5), 509-520. doi: 10.1080/02640410500244697
13. Busso, T., Carasso, C., & Lacour, J. R. (1991). *Adequacy of a systems structure in the modeling of training effects on performance*. *J Appl Physiol (1985)*, 71(5), 2044-2049. doi: 10.1152/jappl.1991.71.5.2044
14. Morton, R. H., Fitz-Clarke, J. R., & Banister, E. W. (1990). *Modeling human performance in running*. *J Appl Physiol (1985)*, 69(3), 1171-1177. doi: 10.1152/jappl.1990.69.3.1171
15. Banister, E. W., & Calvert, T. W. (1980). *Planning for future performance: implications for long term training*. *Can J Appl Sport Sci*, 5(3), 170-176.

16. Fitz-Clarke, J. R., Morton, R. H., & Banister, E. W. (1991). *Optimizing athletic performance by influence curves*. *J Appl Physiol* (1985), 71(3), 1151-1158. doi: 10.1152/jappl.1991.71.3.1151



➤ Búsqueda: ("IR model") AND (endurance OR train OR run OR performance) =3 artículos  
 Fecha: 1 de febrero de 2018 Hora: 20.20h

17. Morin, S., Ahmaidi, S., & Lepretre, P. M. (2016). *Relevance of Damped Harmonic Oscillation for Modeling the Training Effects on Daily Physical Performance Capacity in Team Sport*. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(7), 965-972. doi: 10.1123/ijsp.2015-0203.

18. Clarke, D. C., & Skiba, P. F. (2013). *Rationale and resources for teaching the mathematical modeling of athletic training and performance*. *Adv Physiol Educ*, 37(2), 134-152. doi: 10.1152/advan.00078.2011



---

### 3. RESULTADOS

---

En la síntesis cualitativa se han incluido 18 artículos de los cuales 9 los sujetos son atletas, 5 son ciclistas, 1 con jugadores de fútbol americano y 3 nadadores. Los artículos tratan la temática de la predicción del rendimiento a través de variables fisiológicas y la cuantificación de cargas. Han sido analizadas múltiples variables de las cuales podemos identificar:

HV / FC – frecuencia cardíaca	GET – intercambio de gases
iTrimp / bTrimp – cuantificador de carga	Vel – Velocidad
k1 – fatiga	TL – cuantificación de carga
k2 – condición física	RMSSD – actividad parasimpática
UAC – unidades de carga	MAP- Potencia aeróbica máxima
sRPE – Percepción de esfuerzo sesión	D – duración del ejercicio
TSS8 - Training Stress Score	P* - nivel básico de rendimiento
8MT - 8-min time trial	Pi – rendimiento estimado en el día
PRScore- rendimiento jugador	PSI – potencia mantenida durante 1h
AU – Carga externa	R – número de componentes
Trimp <sup>dist</sup> – distancia	Wi – carga de entrenamiento del día i
Triimp <sup>Pl</sup> – player load, rendimiento del jugador	W(t) – tiempo
1MRW – test de 1 milla andando o corriendo	Tr- tiempo de decadencia de la constante r
Vo2 peak – Pico de Vo2 max	Bpm – pulsaciones por minuto
IMC – índice de masa corporal	FC max – Frecuencia cardíaca máxima
W – trabajo	G(t) – aptitud
CP – potencia crítica	H(t) – fatiga
P – potencia	Iu – rendimiento
T – tiempo	CMJ- Salto con contra movimiento

ESTUDIO	HIPOTESIS/OBJETIVO	PARTICIPANTE/ TIEMPO	ENTRENAMIENTO	VARIABLES	CONCLUSIONES
<p><b>Manzi, V., Castagna, C., Padua, E., Lombardo, M., D'Ottavio, S., Massaro, M., . . . Iellamo, F. (2009).</b> <i>Dose-response relationship of autonomic nervous system responses to individualized training impulse in marathon runners. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 296(6), H1733-1740.</i></p>	<p>Los cambios en los parámetros de SNA están relacionados con la carga de entrenamiento de volumen / intensidad individual y podían predecir el rendimiento deportivo.</p>	<p>8 corredores de larga distancia sanos y entrenados a nivel recreativo. 40 años de media Culminan con una maratón.</p>	<p>50km/ semana Entrenamiento individualizado</p>	<p>FC, variabilidad, iTRIMP</p>	<p>Existe una relación dosis-respuesta curvilínea entre la carga de entrenamiento individualizada y los parámetros de funcionamiento ANS y sugieren que un aumento en el componente LF de variabilidad de RH en el entrenamiento de ejercicio máximo podría predecir, de forma individual, logros.</p>
<p><b>Busso, T. (2003).</b> <i>Variable dose-response relationship between exercise training and performance. Med Sci Sports Exerc, 35(7), 1188-1195.</i></p>	<p>Desarrollar el modelo de sistemas con parámetros invariantes en el tiempo mediante la introducción de variaciones en el efecto fatigante de una única sesión de entrenamiento</p>	<p>6 hombres sanos, ciclismo.</p>	<p>Período de 8 semanas con 3 sesiones de entrenamiento por semana (s. 1-8) y un período de 4 semanas con 5 sesiones de entrenamiento por semana (s. 10-13) separados por 1 semana sin entrenamiento (s. 9). Las últimas 2 semanas del experimento también fueron un período sin entrenamiento (s. 14-15)</p>	<p>Efectos positivos entrenamiento k1, efectos negativos (fatiga) k2, tu (comparables con UAC)</p>	<p>Verificar que las ganancias negativas del rendimiento (fatiga) dependen de la cantidad de entrenamientos anteriores</p>

<p><b>Sanders, D., Abt, G., Hesselink, M. K. C., Myers, T., &amp; Akubat, I. (2017).</b> <i>Methods of Monitoring Training Load and Their Relationships to Changes in Fitness and Performance in Competitive Road Cyclists. Int J Sports Physiol Perform, 12(5), 668-675.</i></p>	<p>Evaluar las relaciones dosis-respuesta entre diferentes medidas de carga de entrenamiento y la aptitud aeróbica y el rendimiento en ciclistas competitivos bien entrenados.</p>	<p>15 Ciclistas de ruta masculinos de competiciones nacionales e internacionales, 10 años de experiencia 22 años, 187cm, 74.2kg</p>	<p>10 semanas antes de temporada, no se les modifico el entrenamiento, cada uno el de su entrenador</p>	<p>sRPE, TSS8, 8MT,HR, bTRIMP</p>	<p>A pesar de algunas de las limitaciones de las mediciones de lactato en sangre, las relaciones dosis-respuesta basadas en variables fisiológicas individuales son métodos aptos en la evaluación de las variables de rendimiento de resistencia en ciclismo</p>
<p><b>Graham, S. R., Cormack, S., Parfitt, G., &amp; Eston, R. (2017).</b> <i>Relationships Between Model Predicted and Actual Match Performance in Professional Australian Footballers During an In-Season Training Macrocycle. Int J Sports Physiol Perform, 1-25.</i></p>	<p>Validar el poder predictivo intraindividual de MEI.min-1 y el rendimiento de PRScore</p>	<p>45 jugadores profesionales de AF del mismo equipo, 188cm, 87kg, 22 años.</p>	<p>Temporada competitiva 24 semanas, 4057 sesiones analizadas (190 por jugador)</p>	<p>PRScore, AU, Srpe, 6 zonas de velocidad y carga, trimp<sup>dist</sup>, trimp<sup>PL</sup>.</p>	<p>Los modelos de dosis-respuesta a partir de métodos de carga de entrenamiento pueden predecir. MEI.min-1 y PRScore pueden predecir en la temporada con el mismo nivel de precisión.</p>
<p><b>Burns, R. D., Hannon, J. C., Brusseau, T. A., Eisenman, P. A., Shultz, B. B., Saint-Maurice, P. F., . . . Mahar, M. T. (2016).</b> <i>Development of an aerobic capacity prediction model from one-mile run/walk performance in adolescents aged 13-16 years. J Sports Sci, 34(1), 18-26.</i></p>	<p>Desarrollar un modelo de predicción de la capacidad aeróbica a partir de la velocidad de 1MRW</p>	<p>38 niñas y 52 niños de secundaria de EEUU de entre 13 y 16 años.</p>		<p>1MRW, Vo2peak, IMC, pliegues.</p>	<p>El nuevo modelo muestra una buena precisión predictiva del vo2peak. El uso de modelos que no usan IMC elimina los problemas de doble penalización a los niños con más IMC.</p>

<p><b>kiba, P. F., Chidnok, W., Vanhatalo, A., &amp; Jones, A. M. (2012). Modeling the expenditure and reconstitution of work capacity above critical power. <i>Med Sci Sports Exerc</i>, 44(8), 1526-1532.</b></p>	<p>Desarrollar un modelo que sea capaz de calcular la carga y descarga de W durante el ejercicio intermitente. Posible vínculo entre la velocidad de Vo2 y la descarga de W.</p>	<p>7 sujetos</p>	<p>4 pruebas en cicloergómetro. 60s a una potencia concreta, seguido de una recuperación de 30s y posteriormente una potencia inferior, hasta el agotamiento.</p>	<p>W, CP, VO2 max, P, tiempo.</p>	<p>Desarrollo de una ecuación simplificada y continua que describe el estado dinámico de W durante el ejercicio intermitente.</p>
<p><b>Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R. H., &amp; Poole, D. C. (2010). Critical power: implications for determination of V O2max and exercise tolerance. <i>Med Sci Sports Exerc</i>, 42(10), 1876-1890.</b></p>	<p>Explicar las bases matemáticas y fisiológicas de la Potencia Crítica.</p>	<p>Biblioteca UNIVERSIDAD Miguel Alemán</p>	<p>CP, W, P, t, Vo2max, economía de carrera, Velocidad máxima de carrera en cinta</p>	<p>CP, W, P, t, Vo2max, economía de carrera, Velocidad máxima de carrera en cinta</p>	<p>Todas las tasas metabólicas por encima de CP producen un aumento intolerable de VO2 y lactato en sangre progresivamente hasta el agotamiento.</p>
<p><b>Abad, C. C., Barros, R. V., Bertuzzi, R., Gagliardi, J. F., Lima-Silva, A. E., Lambert, M. I., &amp; Pires, F. O. (2016). 10 km running performance predicted by a multiple linear regression model with allometrically adjusted variables. <i>J Hum Kinet</i>, 51, 193-200.</b></p>	<p>Desarrollar un modelo de regresión múltiple derivado de vo2max, economía de carrera y vel. max. en cinta rodante 1min mantenida, ajustados alométricamente para determinar si el modelo predeciría más.</p>	<p>18 corredores regionales de resistencia masculinos con experiencia de 3 años de entrenamiento, tienen en 10k tiempos menores de 40 min y tienen una frecuencia semanal de entrenamiento superior a 3 sesiones, 29 años, 67 kg, 174 cm</p>	<p>3 pruebas separadas de 48h en 14 días. a) Prueba incremental max b) Prueba de carrera constante 12km/h c) carrera de 10k</p>	<p>Vo2max, economía de carrera, Velocidad máxima de carrera en cinta</p>	<p>El ajuste alométrico es innecesario a efectos prácticos, porque sin ajustar también proporciona una estimación predictiva razonable</p>

<p><b>Black, M. I., Durant, J., Jones, A. M., &amp; Vanhatalo, A. (2014). <i>Critical power derived from a 3-min all-out test predicts 16.1-km road time-trial performance</i>. Eur J Sport Sci, 14(3), 217-223.</b></p>	<p>Evaluar la validez predictiva de la estimación de la PC en una prueba max.</p>	<p>10 ciclistas a nivel club, 33 años, 1.8cm, 73kg.</p>	<p>TT de carretera de 10 millas, prueba incremental en rampa hasta el agotamiento y 2 pruebas de 3min.</p>	<p>PC, GET (intercambio de gases), Vo2max, RPC</p>	<p>Los resultados demuestran que la prueba de CP de laboratorio junto con un aprueba máxima significativamente con el rendimiento en carrera de TT de 16.1km</p>
<p><b>Chalencon, S., Pichot, V., Roche, F., Lacour, J. R., Garet, M., Connes, P., . . . Busso, T. (2015). <i>Modeling of performance and ANS activity for predicting future responses to training</i>. Eur J Appl Physiol, 115(3), 589-596.</b></p>	<p>Evaluar si se puede predecir el rendimiento en natación y la potencia de alta frecuencia de la FC a partir de las respuestas al entrenamiento previo.</p>	<p>10 nadadores, 6 hombres (14años) y 4 mujeres (15 años), 10h semanales de entrenamiento y 2 años experiencia</p>	<p>Una temporada competitiva, 30 semanas de seguimiento de los entrenamientos</p>	<p>Rendimiento (vel. media de 400m los viernes, altas frecuencias de variabilidad cardíaca, km en piscina, 7 zonas de vel de nado.</p>	<p>El método resultó relevante para controlar las respuestas a la carga de entrenamiento de forma repetida.</p>
<p><b>Saboul, D., Balducci, P., Millet, G., Pialoux, V., &amp; Hautier, C. (2016). <i>A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice</i>. Eur J Sport Sci, 16(2), 172-181</b></p>	<p>Definir un nuevo método para cuantificar carga de entrenamiento mediante el uso de mediciones RMSSD pre y post ejercicio en condiciones de campo. Validar que la HRV se puede utilizar para evaluar la carga de entrenamiento.</p>	<p>11 corredores masculinos de larga distancia bien entrenados, competiciones regionales nacionales e internacionales, HRV en reposo 44, MAS= 18km/h, entrenamiento 450h/año</p>	<p>2 semanas, 4 entrenamientos (70%,85%,95%,100% de MAS)</p>	<p>Vel . aerobic max, carga de entrenamiento, RPE, HRV, RMSSD</p>	<p>TLHRV puede proporcionar información objetiva y racional sobre la intensidad actual de ejercicio, pero también sobre TL en los 2 métodos principales validados (Foster y Banister)</p>

<p>Hellard, P., Avalos, M., Lacoste, L., Barale, F., Chatard, J. C., &amp; Millet, G. P. (2006). <i>Assessing the limitations of the Banister model in monitoring training. J Sports Sci</i>, 24(5), 509-520.</p>	<p>Verificar cuan útil es el modelo de Banister para cuantificar los programas de entrenamiento en nadadores de elite.</p>	<p>9 nadadores de elite (5 mujeres y 4 hombres) de nivel internacional</p>	<p>1 temporada: 52 semanas de entrenamiento y 8 semanas de descanso. 4 ciclos de entrenamiento (9-14 semanas cada uno)</p>	<p>Km, lactato en sangre, tiempo</p>	<p>El modelo muestra variabilidad en sus parámetros, por lo que es impreciso en la cuantificación de la carga de nadadores de elite.</p>
<p>Busso, T., Carasso, C., &amp; Lacour, J. R. (1991). <i>Adequacy of a systems structure in the modeling of training effects on performance. J Appl Physiol</i> (1985), 71(5), 2044-2049.</p>	<p>Verificar la adecuación estadística de la estructura de los sistemas para la describir los efectos producidos en el rendimiento.</p>	<p>8 varones sedentarios entre 19 y 22 años</p>	<p>14 semanas de entrenamiento. Cicloergómetro 1h por semana.</p>	<p>Oxígeno, MAP, P, fuerza obtenida, t. D, P*, Pi, PSI, R, Wi, W(t) Tr.</p>	<p>El presente estudio muestra que el modelo de sistemas puede relacionarse de modo significativo con los efectos al entrenamiento debido a las sucesivas cargas de entrenamiento. Sin embargo, el bajo nivel de entrenamiento y e impreciso ajuste/adaptación puede alterar las evidencias de fatiga durante el entrenamiento.</p>
<p>Morton, R. H., Fitz-Clarke, J. R., &amp; Banister, E. W. (1990). <i>Modeling human performance in running. J Appl Physiol</i> (1985), 69(3), 1171-1177.</p>	<p>Validar que los parámetros descritos por Banister son capaces de predecir el rendimiento.</p>			<p>Cp, D. Fitness, fatigue, HR, p, W, t1,t2</p>	<p>Los resultados de las manipulaciones de los parámetros descritos indican que es posible la predicción precisa del rendimiento a partir de dosis de entrenamiento en cualquier persona sana.</p>
<p>Banister, E. W., &amp; Calvert, T. W. (1980). <i>Planning for future performance: implications for long term training. Can J Appl Sport Sci</i>, 5(3), 170-176.</p>	<p>Construir un modelo que predice el rendimiento en natación a través de la fatiga y el beneficios del entrenamiento</p>		<p>Natación</p>	<p>bpm, FC, FC max, s</p>	<p>Este método es factible para mejorar el nivel de rendimiento internacional.</p>

<p><b>Fitz-Clarke, J. R., Morton, R. H., &amp; Banister, E. W. (1991). <i>Optimizing athletic performance by influence curves. J Appl Physiol (1985), 71(3), 1151-1158.</i></b></p>	<p>Modelo matemático que predice el rendimiento a través de las curvas descritas.</p>			<p>Dose, <math>g(t)</math>, <math>h(t)</math>, <math>P(t)</math>, <math>t_1</math>, <math>t_2</math>...</p>	<p>Describe un modelo matemático el cual predice el rendimiento a través de las curvas.</p>
<p><b>Morin, S., Ahmaidi, S., &amp; Lepretre, P. M. (2016). <i>Relevance of Damped Harmonic Oscillation for Modeling the Training Effects on Daily Physical Performance Capacity in Team Sport. Int J Sports Physiol Perform, 11(7), 965-972.</i></b></p>	<p>Comparar los criterios de validez del modelo de Impulso respuesta de Banister y el modelo de oscilación armónica amortiguada para cuantificar la relación de la carga de entrenamiento</p>	<p>6 jugadoras profesionales de voleibol de entre 21 y 24 años miembros del equipo francés de alto nivel.</p>	<p>Monitorizando el RPE durante 9 meses para cuantificar la carga de entrenamiento. EL salto en contramovimiento y de contramovimiento de aproximación de 4 pasos se registró 1 vez al mes.</p>	<p>CMJ, 4sCMJ, RPE, min, au, TL</p>	<p>Los resultados muestran que la capacidad de rendimiento diaria encaja mejor con el modelo de oscilación armónica amortiguada que con el impulso respuesta. El modelo DHO es una herramienta útil que ayudara a entender mejor los efectos de entrenamiento y hará mas efectiva su monitorización.</p>
<p><b>Clarke, D. C., &amp; Skiba, P. F. (2013). <i>Rationale and resources for teaching the mathematical modeling of athletic training and performance. Adv Physiol Educ, 37(2), 134-152.</i></b></p>	<p>Difundir a los profesionales de fisiología del ejercicio los modelos de CP e IR</p>			<p>PC, W, t, efectos positivos del entrenamiento, efectos negativos del entrenamiento</p>	<p>PC: describe la relación entre las tasas de trabajo y la duración para la cual un individuo puede mantener de forma indefinida. IR: describe la dinámica en la capacidad de rendimiento en un individuo en función del rendimiento.</p>

---

#### 4. DISCUSIÓN

---

Se revisaron 18 artículos relacionados con el tema objeto de estudio, de los cuales 5 son estudios relacionados con el ciclismo, 4 son explicativos de los modelos teórico-matemáticos, 4 sobre atletismo, 3 de natación, 1 de voleibol y 1 sobre fútbol americano. Todos ellos hacen referencia a la resistencia, y más concretamente 16 sobre deportes cíclicos de resistencia.

El estudio del cual se basa toda la búsqueda es el de *Rationale and resources for teaching the mathematical modeling of athletic training and performance*. (Clarke & Skiba, 2013) en el que trata de explicar los modelos de potencia crítica, el cual describe la capacidad de un individuo para mantener un esfuerzo de forma indefinida, y el modelo de impulso-respuesta que describe la capacidad de rendimiento del individuo en función del entrenamiento. El estudio *Modeling human performance in running*. (Morton, Fitz-Clarke, & Banister, 1990) verifica los parámetros del estudio anterior de forma que apoya dicha propuesta. Otros artículos como *Critical power: implications for determination of VO<sub>2</sub>max and exercise tolerance* (Jones, Vanhatalo, Burnley, Morton, & Poole, 2010) llegan a la misma conclusión ya que todo esfuerzo por encima de la PC produce un aumento intolerable del VO<sub>2</sub>max y lactato hasta el agotamiento. Por otro lado *Planning for future performance: implications for long term training*. (Banister & Calvert, 1980) apoya dicha teoría e incluso la adaptan a otros deportes como es la natación construyendo un modelo que predice el rendimiento a través de la fatiga y de los beneficios del entrenamiento.

Si bien es cierto que no todos los artículos apoyan esta teoría. Otros artículos están en contraposición como son *Relevance of Damped Harmonic Oscillation for Modeling the Training Effects on Daily Physical Performance Capacity in Team Sport*. (Morin, Ahmaidi, & Lepretre, 2016) el cual indica que el modelo de oscilación armónica amortiguada encaja mejor en la predicción del rendimiento diario ayudando a entender mejor los efectos de entrenamiento y facilitando su amortiguación con respecto al modelo de impulso-respuesta. *Adequacy of a systems structure in the modeling of training effects on performance*. (Busso, Carasso, & Lacour, 1991) y *Assessing the limitations of the Banister model in monitoring training* (Hellard et al., 2006) concluye que a pesar de que el modelo puede relacionarse de modo significativo, la variabilidad de los resultados induce a la imprecisión de la monitorización provocando que la monitorización del entrenamiento se dificulte.

Sin embargo, hay estudios que demuestran que aun siendo imprecisos y variables los parámetros no influyen en la monitorización. *10 km running performance predicted by a multiple linear regression model with allometrically adjusted variables*. (Abad et al., 2016) sugiere que el ajuste alométrico es innecesario porque sin la realización del mismo también se correlaciona significativamente con el nivel de predicción.

Podemos concluir que a pesar de las limitaciones que pueda tener el modelo, es útil la monitorización del entrenamiento para poder obtener un mejor rendimiento a medio plazo en deportes cíclicos de resistencia, ya que los parámetros estudiados indican que es posible la predicción precisa el rendimiento de cualquier persona sana a raíz de dosis de entrenamiento adecuadas (Morton, Fitz-Clarke, & Banister, 1990). Por lo que el modelo podría decirse que es relevante tanto en ciclismo (Busso, 2003) y atletismo (Manzi et al., 2009), dejando abierto a estudios que profundicen más en deportes colectivos o intermitentes.

---

## 5. PROPUESTA

---

Se van a emplear los conocimientos obtenidos de dosis-respuesta de la revisión bibliográfica para crear una metodología “day to day” basada en la variabilidad de la frecuencia cardiaca (HRV). Todo ello se realizará a través de un modelo de semáforo, donde habrá entrenamientos de mayor a menor intensidad (rojo-amarillo-verde) que el atleta irá eligiendo en función de su variabilidad cardiaca. Para ello es necesario explicar qué es, cómo y para qué se utiliza la variabilidad de la frecuencia cardiaca (Anexo I). Para ello hemos ampliado la información y a obtenida de los artículos con 2 más que se han buscado “*ex profeso*”:

- Vesterinen V, Nummela A, Heikura I, Laine T, Hynynen E, Botella J, & Häkkinen K. (2016) *Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability*. Med Sci Sports Exerc. 48(7):1347-54. doi: 10.1249/MSS.0000000000000910
- Kiviniemi AM, Hautala AJ, Kinnunen H, & Tulppo MP.(2007) *Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements*. Eur J Appl Physiol. 101(6):743-51 DOI 10.1007/s00421-007-0552-2

Sujeto: corredor de carreras populares que lleva un par de años entrenando, pero su rendimiento no mejora debido a que realiza sesiones de muy elevada intensidad y no consigue recuperar.

### 1. PARA EMPEZAR CON LA NUEVA METODOLOGÍA LO PRIMERO ES SABER EL VALOR “CONSTANTE/REFERENCIA” DE SU HRV.

Para ello vamos a pedir al deportista que realice una prueba de esfuerzo para determinar los umbrales y posteriormente que continúe con su entrenamiento habitual durante 15 días, o en caso de ser principiante realizaremos un microciclo preparatorio, en el cual deberá aportar los resultados de su variabilidad cardiaca diaria, intentando que siempre sea a la misma hora (justo después de levantarse) y tras orinar. Los datos de 10 últimos días de RMSSD nos permitirá sacar una media que determinará su HRV. Para ellos utilizaremos la aplicación gratuita Elite HRV.

### 2. DETERMINAR LAS ZONAS DE INTENSIDAD DE ENTRENAMIENTO.

Vamos a determinar 3 zonas de entrenamiento por lo que no podemos utilizar un valor estricto de HRV, por lo que se determinó un umbral SWC (smallest worthwhile change) definido como la media  $\pm 0.5$  SD, Zona óptima de entrenamiento (verde), y entre  $\pm 0.5$ -1.5 SD respecto HRV se determinará la zona de fatiga (amarilla). Más allá de  $\pm 1.5$  SD se considerará fatiga excesiva y se descansará (zona roja). De esta manera, si los valores estaban por debajo o por encima del umbral podíamos determinar la intensidad del entrenamiento. De modo que las zonas quedarían determinadas de la siguiente forma:

## VERDE

- Indica que puedes trabajar duro, puedes soportar estrés/intensidad.
- Ausencia de inflamación sistémica.

## AMARILLO

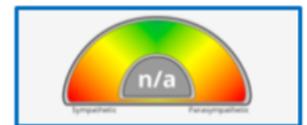
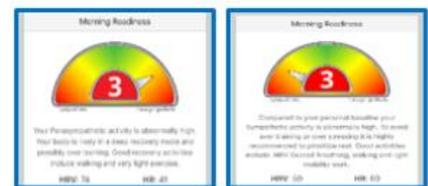
- SN Simpático dominante: indica que el cuerpo está bajo un nivel de estrés mayor de lo habitual.
- SN Parasimpático dominante: indica que los sistemas de recuperación del cuerpo están trabajando horas extra para recuperarse de una sesión grande o acumulación de cargas.

## ROJO

- SN Simpático dominante: indica que el cuerpo está experimentando profundos niveles de estrés o fatiga. Para evitar el sobreentrenamiento o sobrecarga es muy recomendable priorizar el descanso.
- SN Parasimpático dominante: indica un esfuerzo de recuperación importante de nuestro organismo en respuesta al estrés acumulado. El cuerpo está probablemente llegando a un estado de sobreentrenamiento. Ese día, por tanto se recomendará una recuperación activa ligera.

## GRIS

- Aparece en la aplicación cuando no hay datos suficientes para calcular los umbrales.



### 3. ENTRENAMIENTOS EJEMPLOS

 VERDE

20' A1 + 12x(2' rápido A3-1' lento A1) + 800m a A3 + 10' A1 + Abdominales + Estiramientos

20' A1 + 4x100m Progresiones + Series: 8x1000m A3 rec 1' + 10' A1 + 10' Abdominales + 10' Estiramientos

20' A1 + 7xCuestas (1' subida rápido A3 + 1' bajada suave A1 + 1' llano A2) rec 1'/2' + 10' A1 + 10' Abdominales + 10' Estiramientos

 AMARILLO

35' A1 + 10' Abdominales

30' bicicleta A1 + 10' bicicleta A2 + Abdominales

50' (10' A1 + 30' A2 + 10' A1) + Estiramiento

 ROJO

Descanso.

Caminata a ritmo ligero

Sesión de estiramientos

A1 = >VT 1  
A2 = Entre VT 1 – VT 2  
A3 = Entre VT2 – VO<sub>2</sub> max

### LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA (HRV)

En el deporte, los parámetros fisiológicos son frecuentemente utilizados como herramientas para el control y evaluación de las cargas de entrenamiento o los efectos agudos y crónicos que se producen en el deportista. Uno de estos indicadores es la Frecuencia Cardíaca, que generalmente se mide en latido por minuto utilizando un valor medio, pero en realidad la distancia temporal entre los latidos no es constante, dando lugar a una Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (HRV por sus siglas en inglés). Cabe destacar que incluso cuando la frecuencia cardíaca (FC) es estable, el tiempo entre dos latidos (intervalos R-R) no es constante. La variación en el tiempo entre latidos es lo que se define como variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV).

El Sistema Nervioso es el responsable de controlar y coordinar nuestro organismo para permitirnos interactuar con el entorno. Lo consideramos en función de la estructura y la función en:

- Desde el punto de vista anatómico Sistema Nervios Central Y Sistema Nervioso Periférico
- Desde el punto de vista funcional se diferencia entre Sistema Nervioso Somático (el consciente) y el Autónomo (que controla y regula muchas de las funciones vitales. El sistema Nervioso Autónomo, a su vez, está compuesto por:
  - Sistema Nervioso Simpático: relacionado con la activación
  - Sistema Nerviosos Parasimpático: relacionado con la relajación.

Las interacciones entre las ramas simpática y parasimpática del sistema nervioso autónomo (SNA) son las responsables de las oscilaciones en el ritmo cardíaco conocidas como la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) (Martin-González, JM et al,2010). Cuando existe un dominio simpático normalmente como respuesta ante una situación estresante la HRV disminuye, mientras que, si hay una predominancia parasimpática, de una situación relajante, la HRV será más elevada.

La importancia de la HRV radica en:

1. Ofrece una medida objetiva y fiable de adaptación al estrés diario.
2. Se puede controlar con 2 herramientas de fácil acceso. Un pulsómetro y una App.

De la evaluación de la HRV en reposos se pueden extraer numerosos datos, los cuales se pueden usar como herramienta para reflejar el estado de recuperación, las mejoras del consumo máximo de oxígeno tras un programa de entrenamiento interválico de alta intensidad, la adaptación a una sesión de entrenamientos precedente, así como a un programa de entrenamiento de resistencia (V. Vesterinen et al., 2013; V. Vesterinen et al., 2015; V. Vesterinen et al., 2016). Por lo que toda esta información puede destinarse para aumentar el control de la carga que se aplica a nuestros deportistas individualizando en mayor medida la planificación del entrenamiento.

- Evaluar la intensidad del entrenamiento. En relación a la capacidad de regulación autónoma del corazón.
- Determinar adaptaciones al entrenamiento. Hay divergencias, pero, en general se observa que los atletas muestran un FC en reposo menor junto con una HRV aumentadas con respecto a personas sedentarias
- Detectar/prevenir el sobreentrenamiento. Aporta información sobre la adaptación al estrés físico y psíquico ya que se pueden detectar los cambios simpáticos-vagales. En general las adaptaciones positivas al entrenamiento son relacionadas con aumentos de la HRV y adaptaciones negativas con descensos de la HRV, siendo más confuso en atletas profesionales.

En cuanto a la eficacia de los entrenamientos la HRV se muestra como un factor que predice la capacidad de adaptación individual a diferentes programas de entrenamiento, bien basados en el volumen o en la intensidad (HIT).

Finalmente podemos concluir:

1. La HRV es una herramienta científica con muchas aplicaciones establecidas.
2. Una HRV reducida significa la rotura de la homeostasis o equilibrio corporal. Aunque suene extraño, el estado de variabilidad continua en el corazón es el que nos permite adaptarnos mejor al medio. Si fuese fijo no tendría la capacidad de adaptación y ante a mínima amenaza se desestabilizaría.



---

## 7. BIBLIOGRAFÍA

---

- Manzi, V., Castagna, C., Padua, E., Lombardo, M., D'Ottavio, S., Massaro, M., Iellamo, F. (2009). Dose-response relationship of autonomic nervous system responses to individualized training impulse in marathon runners. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 296(6), H1733-1740. doi: 10.1152/ajpheart.00054.2009
- Busso, T. (2003). Variable dose-response relationship between exercise training and performance. *Med Sci Sports Exerc*, 35(7), 1188-1195. doi: 10.1249/01.mss.0000074465.13621.37
- Sanders, D., Abt, G., Hesselink, M. K. C., Myers, T., & Akubat, I. (2017). Methods of Monitoring Training Load and Their Relationships to Changes in Fitness and Performance in Competitive Road Cyclists. *Int J Sports Physiol Perform*, 12(5), 668-675. doi: 10.1123/ijsp.2016-0454
- Graham, S. R., Cormack, S., Parfitt, G., & Eston, R. (2017). Relationships Between Model Predicted and Actual Match Performance in Professional Australian Footballers During an In-Season Training Macrocycle. *Int J Sports Physiol Perform*, 1-25. doi: 10.1123/ijsp.2017-0026
- Burns, R. D., Hannon, J. C., Brusseau, T. A., Eisenman, P. A., Shultz, B. B., Saint-Maurice, P. F., . . . Mahar, M. T. (2016). Development of an aerobic capacity prediction model from one-mile run/walk performance in adolescents aged 13-16 years. *J Sports Sci*, 34(1), 18-26. doi: 10.1080/02640414.2015.1031163
- Skiba, P. F., Chidnok, W., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2012). Modeling the expenditure and reconstitution of work capacity above critical power. *Med Sci Sports Exerc*, 44(8), 1526-1532. doi: 10.1249/MSS.0b013e3182517a80
- Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R. H., & Poole, D. C. (2010). Critical power: implications for determination of  $\dot{V}O_{2\max}$  and exercise tolerance. *Med Sci Sports Exerc*, 42(10), 1876-1890. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181d9cf7f
- Abad, C. C., Barros, R. V., Bertuzzi, R., Gagliardi, J. F., Lima-Silva, A. E., Lambert, M. I., & Pires, F. O. (2016). 10 km running performance predicted by a multiple linear regression model with allometrically adjusted variables. *J Hum Kinet*, 51, 193-200. doi: 10.1515/hukin-2015-0182
- Black, M. I., Durant, J., Jones, A. M., & Vanhatalo, A. (2014). Critical power derived from a 3-min all-out test predicts 16.1-km road time-trial performance. *Eur J Sport Sci*, 14(3), 217-223. doi: 10.1080/17461391.2013.810306
- Chalencon, S., Pichot, V., Roche, F., Lacour, J. R., Garet, M., Connes, P., . . . Busso, T. (2015). Modeling of performance and ANS activity for predicting future responses to training. *Eur J Appl Physiol*, 115(3), 589-596. doi: 10.1007/s00421-014-3035-2
- Saboul, D., Balducci, P., Millet, G., Pialoux, V., & Hautier, C. (2016). A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. *Eur J Sport Sci*, 16(2), 172-181. doi: 10.1080/17461391.2015.1004373
- Hellard, P., Avalos, M., Lacoste, L., Barale, F., Chatard, J. C., & Millet, G. P. (2006). Assessing the limitations of the Banister model in monitoring training. *J Sports Sci*, 24(5), 509-520. doi: 10.1080/02640410500244697

- Busso, T., Carasso, C., & Lacour, J. R. (1991). Adequacy of a systems structure in the modeling of training effects on performance. *J Appl Physiol* (1985), 71(5), 2044-2049. doi: 10.1152/jappl.1991.71.5.2044
- Morton, R. H., Fitz-Clarke, J. R., & Banister, E. W. (1990). Modeling human performance in running. *J Appl Physiol* (1985), 69(3), 1171-1177. doi: 10.1152/jappl.1990.69.3.1171
- Banister, E. W., & Calvert, T. W. (1980). Planning for future performance: implications for long term training. *Can J Appl Sport Sci*, 5(3), 170-176.
- Fitz-Clarke, J. R., Morton, R. H., & Banister, E. W. (1991). Optimizing athletic performance by influence curves. *J Appl Physiol* (1985), 71(3), 1151-1158. doi: 10.1152/jappl.1991.71.3.115
- Banister, E. W., Morton, R. H., & Fitz-Clarke, J. (1992). Dose/response effects of exercise modeled from training: physical and biochemical measures. *Ann Physiol Anthropol*, 11(3), 345-356.
- Morin, S., Ahmaidi, S., & Lepretre, P. M. (2016). Relevance of Damped Harmonic Oscillation for Modeling the Training Effects on Daily Physical Performance Capacity in Team Sport. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(7), 965-972. doi: 10.1123/ijsp.2015-0203
- Clarke, D. C., & Skiba, P. F. (2013). Rationale and resources for teaching the mathematical modeling of athletic training and performance. *Adv Physiol Educ*, 37(2), 134-152. doi: 10.1152/advan.00078.2011
- Vesterinen V, Nummela A, Heikura I, Laine T, Hynynen E, Botella J, & Hänninen K. (2016) Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. *Med Sci Sports Exerc*. 48(7):1347-54. doi: 10.1249/MSS.0000000000000910
- Kiviniemi AM, Hautala AJ, Kinnunen H, & Tulppo MP.(2007) Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *Eur J Appl Physiol*. 101(6):743-51 DOI 10.1007/s00421-007-0552-2
- Sánchez Otero, Tánia (2016). Grupo Sobreentrenamiento (G-SE). La variabilidad Cardíaca programación del Hlit. <https://g-se.com/la-variabilidad-de-la-frecuencia-cardiaca-en-la-programacion-de-hit-bp-t57cfb26ded86b>