

# **TRABAJO FINAL DE GRADO**

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## **Análisis de la fatiga fisiológica tras la segunda transición en Triatlón**

Alumno: Pau Peñarroja Donet. Tutor académico: Raúl López Gueso.

Titulación: Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

Curso académico: 2015-2016



## **ÍNDICE**

1. Introducción .....	1
2. Procedimiento de revisión .....	3
3. Revisión Bibliográfica .....	4
4. Discusión .....	8
5. Propuesta de Intervención .....	11
6. Bibliografía .....	13

### **Resumen:**

El triatlón consiste en un deporte que combina tres modalidades (natación, ciclismo y carrera). Existen diferentes distancias entre las cuales se encuentran las más conocidas: Sprint, Olímpico y Ironman. Todas ellas se realizan de forma sucesiva por lo que el esfuerzo acumulado repercute sobre los ritmos de competición. Se ha observado un efecto negativo tras la natación sin embargo existe una repercusión superior tras la segunda transición por la musculatura que implican cada una de las modalidades. Diferentes factores influyen la fatiga que se produce en un Triatlón, como pueden ser factores ambientales, fisiológicos, características de la prueba o del deportista. En esta revisión bibliográfica nos centramos en la fatiga que se produce tras la segunda transición a nivel fisiológico y los efectos que tienen sobre la misma la elección de un tipo u otro de estrategia. En base a estos resultados, se observó un descenso del rendimiento por la fatiga acumulada y se realizó una estimación de la intensidad que debería seguir un triatleta en competición según sus características y las de la prueba, así como algunas consideraciones a tener en cuenta en la estrategia de competición, como la variabilidad de la intensidad o el tipo de cadencia utilizada en la fase de ciclismo.

**Palabras clave:** Triatlón, fatiga, natación, ciclismo, carrera, respuesta fisiológica, ritmo, rendimiento

## **1. Introducción**

El Triatlón consiste en un deporte de resistencia que combina tres categorías: natación, ciclismo y carrera, y que se lleva a cabo en tres periodos consecutivos. Hay una variedad de distancias en las pruebas de triatlón en las que se encuentran las modalidades más famosas como Sprint, Olímpico y Ironman, llevado a cabo en el mismo día. El Sprint consiste en la modalidad más corta por lo que se ha convertido en el más popular. Comprende 750 m de natación, 20 km de ciclismo, y 5 km de carrera a pie y los deportistas de mejor nivel lo completan en un tiempo inferior a una hora (Bentley, D., Millet, G., Vleck, V. & McNaughton, L. 2002). A continuación se encuentra la modalidad Olímpica que consta de 1.500 m de natación, 40 km de ciclismo y 10 km de carrera. Esta modalidad se completa en un tiempo de dos horas en adelante. El Ironman consta de 3800 m, a 180 km de nado y 42 km en carrera y los triatletas mejor entrenados tienen tiempos superiores a las ocho horas (Sleivert, G. & Rowlands, D. 1996).

En los últimos años, tanto en España como en todo el mundo, tanto a nivel popular como a nivel élite, el triatlón ha experimentado un crecimiento espectacular hasta tal punto que en el año 2000 formó parte, por primera vez, de los Juegos Olímpicos de Sydney (Australia). Pese a la creciente participación por nuevos deportistas en el triatlón, sigue habiendo un gran desconocimiento sobre los ritmos óptimos de competición. La habilidad para enlazar las tres disciplinas del triatlón de una manera óptima ha sido descrito como un determinante importante del éxito (Bentley et al. 2002; Hausswirth, C. & Brisswalter, J. 2008).

El triatlón muestra unas características especiales que, como hemos dicho, vienen dadas por el enlace sucesivo de varias disciplinas deportivas que implican un aspecto más desde el punto de vista de la regulación cardiovascular. Se ha observado que en distancias cortas existe un efecto negativo de la natación sobre las modalidades siguientes (Peeling, P. & Landers, G. 2009), sin embargo existe una mayor repercusión en la fatiga tras la segunda transición debido a la implicación muscular de unas y otras modalidades. Por tanto, la sucesión de ciclismo y carrera a pie que se da en el triatlón se ha convertido en un momento clave para el rendimiento por la respuesta cardiorrespiratoria que desencadena. Esta respuesta, comparando con un test aislado en carrera, está caracterizada por aumentos progresivos de la frecuencia cardíaca y respiratoria, fatiga de los músculos respiratorios y descenso de la economía de carrera y del rendimiento (Díaz, V., Peinado, A., Zapico, A., Álvarez, M., Benito P. & Calderón, F. 2009).

La intensidad de un triatlón oscila entre intensidades que van desde 55% a un 80% aproximadamente del consumo máximo de oxígeno, correspondiendo las intensidades más altas a la modalidad Sprint y las más bajas a la modalidad Ironman (Bernard, T., Vercruyssen F., Grego F., Hausswirth C., Lepers R., Vallier J. & Brisswalter J. 2003; Hausswirth, C. & Lehénaff, D. 2001; Bentley, D., Cox, G., Green, D. & Laursen, P. 2008). García Verdugo en 2007 situó el Umbral Anaeróbico (UAn) a una intensidad del 80% del consumo máximo de oxígeno, por lo que la intensidad máxima de un Triatlón se encontrará como máximo a esta intensidad. En cuanto a la modalidad de Sprint, uno de los factores determinantes del rendimiento consiste en elevar este umbral al máximo posible respecto a su VO<sub>2</sub>max y mantenerlo el máximo tiempo posible (Cejuela, R., Pérez J., Villa, J., Cortell, J. & Rodríguez, J. 2007). El tiempo en realizar un triatlón de esta distancia se encuentra cercano al tiempo que somos capaces de mantener la intensidad a Umbral Anaeróbico, por lo que a partir de esta distancia en adelante parece evidente que no se podrán mantener intensidades a Umbral Anaeróbico sino por debajo del mismo.

Diversos estudios han analizado los factores que condicionan el rendimiento de un triatlón, los cuales parecen afectar de forma directa a la disminución de los ritmos de competición. En 2007, Cejuela et al. observaron tras una amplia revisión que el rendimiento de

los triatletas de modalidad Sprint está condicionado por diferentes variables. En primer lugar destacaron la carga externa, la cual incluye aspectos como la distancia a recorrer, factores ambientales o las acciones realizadas en la prueba, y por otro lado el efecto de la carga interna, la cual incluye variación ascendente de la Frecuencia Cardíaca, cambios en las concentraciones de lactato o nuestro consumo máximo de oxígeno junto con la situación de nuestro Umbral Anaeróbico. Además otros factores como los condicionantes físicos, técnicos y tácticos también influyen en el rendimiento. Cabe destacar la importancia del uso o no del drafting y cómo repercute sobre los ritmos de competición, ya que algunas competiciones lo permiten y otras no. En otro estudio el cual trató sobre los factores que limitan el rendimiento en modalidades de largas distancias, se demostró la importancia de otros factores que no influyen en distancias más cortas como son la depleción de sustratos energéticos, fatiga neuromuscular, deshidratación y cambios en la Frecuencia Cardíaca por descenso del volumen sistólico (Laursen, P. & Rhodes, E. 2001).

Recientemente se propuso un estudio en el que combinaron en un solo test (“Doble Lactato”) una parte en cicloergómetro y otra en tapiz rodante (Vicente-Campous, D., Barbado, C., Nuñez, M. & Chicharro, J. 2014). Los triatletas realizaron primero un test submaximal en cicloergómetro hasta superar el límite de  $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  de Lactato. A continuación, tras una pausa de 4 minutos, se realizó un test incremental en carrera para determinar su Umbral Anaeróbico. Los resultados de este estudio demostraron la posibilidad de evaluar las disciplinas de ciclismo y carrera en un solo test y así favorecer un mayor realismo en las valoraciones además de ahorrar tiempo en las mismas.

Parece ser evidente que existe una fatiga acumulada que obliga a reducir los ritmos de competición. Sin embargo no parece haber una respuesta clara sobre cuanto deberían reducirse estos ritmos y si pueden ser o no predichos por un test. Como hemos visto, esta fatiga está condicionada por diferentes factores. En esta revisión nos hemos centrado en las variables que podrían afectar a la fatiga fisiológica de un triatleta y que el mismo deportista podría controlar para mejorar su rendimiento. El objetivo del presente trabajo fue revisar las explicaciones que se han planteado para justificar la posible respuesta negativa que se produce y estimar, en base a los resultados de un test de laboratorio, los ritmos de competición que debería seguir un triatleta según sus condiciones y las de la prueba. Por otro lado nos planteamos averiguar que tipo de estrategias según las características del deportista y de la prueba podrían beneficiar el rendimiento de un triatleta.

## 2. Procedimiento de Revisión

La búsqueda se realizó utilizando las bases de datos Pubmed y Dialnet. Los criterios de inclusión fueron: todas las modalidades del Triatlón, análisis de las variables fisiológicas y todos los niveles de triatletas. Los criterios de exclusión fueron: artículos anteriores al año 2000, influencia de aspectos ambientales, aspectos nutricionales, estudios donde se incluyeron mujeres y deportistas menores de edad o mayores de 45 años.

Las palabras clave y sus combinaciones fueron empleadas en la búsqueda: “physiological effects and triathlon performance”, “effect running after cycling and triathlon”, “pacing and triathlon”, “prediction performance triathlon” “running economy triathlon”, “lactate after cycling triathlon” y “fatigue triathlon and performance”.

Finalmente, de un total de 143 artículos encontrados, se utilizaron para la elaboración de la revisión 12 artículos (Figura 1) para comparar y extraer conclusiones de las diferentes variables que afectan al rendimiento de un triatlón.

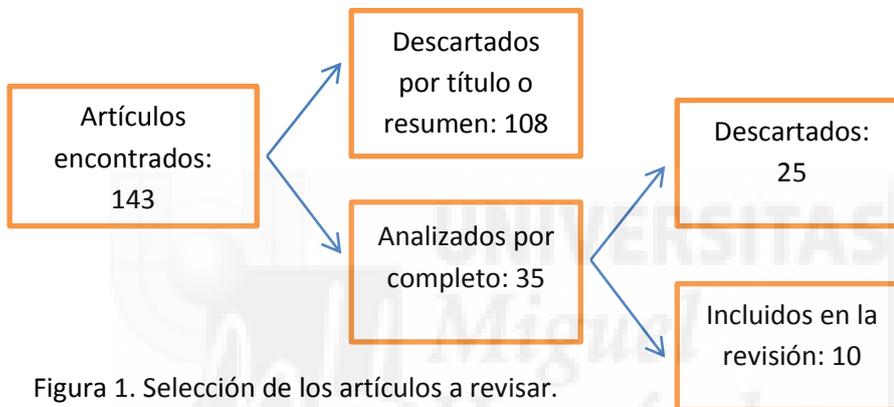


Figura 1. Selección de los artículos a revisar.

### 3. Revisión Bibliográfica

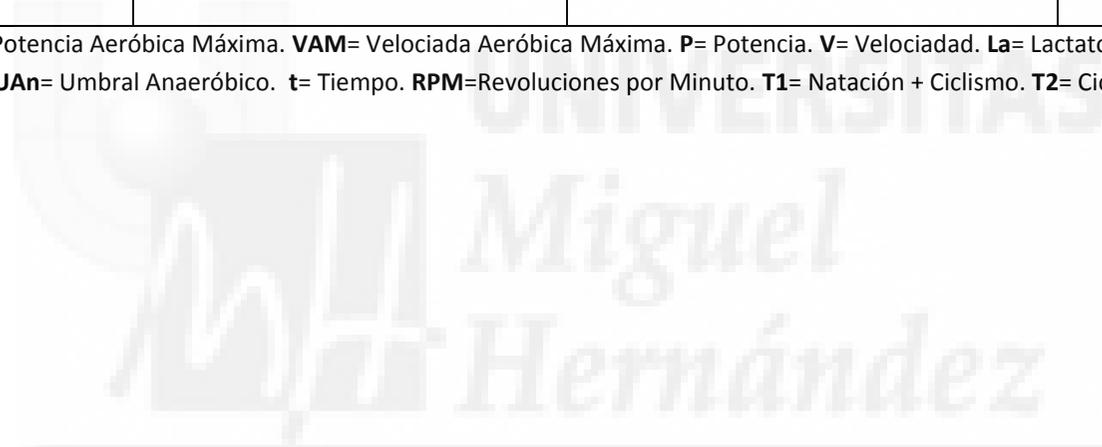
REFERENCIA	METODOLOGÍA		RESULTADOS	CONCLUSIONES												
<b>Taylor, D., Smith, Mark. &amp; Vleck, V. (2012)</b>	N=7 Entrenados <b>SPRINT</b>	-Familiarización (T1, T2 y Triatlón)  -Incremental (ciclismo y carrera) UAN= 4 mmol·L <sup>-1</sup>  <b>-Simulación SPRINT (3x)</b>	<b>Incremental</b> P (ciclismo)= 240 W (78,2%PAM) V (carrera)= 13,7km/h (87%VAM)  <b>Simulación Sprint</b> <b>Ciclismo:</b> P= 210 W (68,2% PAM) La= 7,2 mmol·L <sup>-1</sup> <b>Carrera:</b> V= 13,8km/h (87,5% VAM) La= 7,6 mmol·L <sup>-1</sup>	↓ potencia en ciclismo Sprint vs UAn Incremental.  ↑ La en ambas modalidades Sprint vs Incremental.  Velocidad en Sprint = velocidad a UAn de Incremental.												
<b>Taylor, D. &amp; Smith, M. (2014)</b>	N= 8 Entrenados <b>SPRINT</b>	-Incremental Carrera.  -Simulación SPRINT .  <b>-3 SPRINT cambiando Velocidad primeros 1'66km de Carrera: Velocidad 1er Sprint, 3% menos y 3% más. El resto al max.</b>	Tiempo Triatlón según V inicial de carrera:  <b>Sprint(C100%)= 4484 s</b>  <b>Sprint (C103%)= 4471 s</b>  <b>Sprint (C97%) = 4496 s</b>	Posible ↑ rendimiento con intensidad alta al inicio de carrera, no diferencias significativas.												
<b>Gottschall, J. &amp; Palmer, B. (2002)</b>	N= 13 Amateur <b>SPRINT</b>	-Gupo CONTROL: 30 min ciclismo (cadencia libre) + 3200m carrera.  <b>-Mismo test ≠ cadencias: 20% más y 20% menos. FC en carrera=FC grupo control.</b>	<b>Datos de carrera según cadencia:</b>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>RPM</th> <th>Baja</th> <th>Media</th> <th>Alta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V (km/h) =</td> <td>14,7</td> <td>15,1</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>S.F.(s/s)=</td> <td>1,39</td> <td>1,48</td> <td>1,6</td> </tr> </tbody> </table>	RPM	Baja	Media	Alta	V (km/h) =	14,7	15,1	16	S.F.(s/s)=	1,39	1,48	1,6	↑ velocidad en carrera cuando se utilizaron altas cadencias , por ↑ frecuencia de zancada.
RPM	Baja	Media	Alta													
V (km/h) =	14,7	15,1	16													
S.F.(s/s)=	1,39	1,48	1,6													

<p><b>Bernard, T., Vercruyssen F., Grego F., Hauswirth C., Lepers R., Vallier J. &amp; Brisswalter J. (2003)</b></p>	<p>N= 9 Élite <b>SPRINT Y OLÍMPICO</b></p>	<p>-Incremental ciclismo.  -20 min ciclismo (70%PAM) a 60, 80 y 100 rpm + 3000m carrera (lo + rápido posible).  -3000m carrera</p>	<p>t (carrera aislada)= 583s  <b>Datos de carrera según cadencia:</b>  <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <tr> <td><b>RPM</b></td> <td><b>60</b></td> <td><b>80</b></td> <td><b>100</b></td> </tr> <tr> <td>t(s)=</td> <td>625</td> <td>630</td> <td>637</td> </tr> <tr> <td>La(mmol·L<sup>-1</sup>)=</td> <td>9</td> <td>9,2</td> <td>9,9</td> </tr> </table> <p><b>En primeros 500m de carrera:</b>  V(60rpm)= 17,5km/h  V(80 y 100rpm )= 18,3km/h</p> </p>	<b>RPM</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	t(s)=	625	630	637	La(mmol·L <sup>-1</sup> )=	9	9,2	9,9	<p>No hay diferencias significativas en tiempo total según cadencia.  ↓La en cadencias bajas.  ↑ velocidad al inicio de carrera con cadencias altas.</p>				
<b>RPM</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>100</b>																	
t(s)=	625	630	637																	
La(mmol·L <sup>-1</sup> )=	9	9,2	9,9																	
<p><b>Tew (2005)</b></p>	<p>N= 8 Bien entrenados <b>OLÍMPICO</b></p>	<p>-Incremental ciclismo.  -10 km carrera.  - 65 min bici (70% PAM) + 10 km carrera con 3 cadencias: libre, 15% menos y 15% más.</p>	<p><b>10 km carrera</b>  t=44:45 min  V= 13km/h  <b>Datos de carrera según cadencia:</b>  <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <tr> <td><b>RPM</b></td> <td><b>72</b></td> <td><b>84</b></td> <td><b>97</b></td> </tr> <tr> <td>La(mmol·L<sup>-1</sup>)=</td> <td>8,3</td> <td>10</td> <td>9,1</td> </tr> <tr> <td>t(min)=</td> <td>49:58</td> <td>49:09</td> <td>49:28</td> </tr> <tr> <td>V(km/h)=</td> <td>12</td> <td>12,4</td> <td>12,3</td> </tr> </table> </p>	<b>RPM</b>	<b>72</b>	<b>84</b>	<b>97</b>	La(mmol·L <sup>-1</sup> )=	8,3	10	9,1	t(min)=	49:58	49:09	49:28	V(km/h)=	12	12,4	12,3	<p>↑ rendimiento carrera aislada.  ↓La en cadencias bajas.  No diferencias según la cadencia en tiempo total.  No diferencias Velocidad media</p>
<b>RPM</b>	<b>72</b>	<b>84</b>	<b>97</b>																	
La(mmol·L <sup>-1</sup> )=	8,3	10	9,1																	
t(min)=	49:58	49:09	49:28																	
V(km/h)=	12	12,4	12,3																	
<p><b>Etxebarria, N., Anson, J., Pyne, D. &amp; Ferguson, R. (2013).</b></p>	<p>N= 12 Bien entrenados <b>OLÍMPICO</b></p>	<p>-Incremental ciclismo.  - 9'3 km carrera.  -1 h ciclismo P constante (65%PAM) +9,3 km carrera.  -1 h ciclismo P variable (40%-140%PAM) + 9,3 km carrera.</p>	<p>t (carrera aislada)= 33:42 min  <b>Datos de carrera según cadencia:</b>  <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <tr> <td><b>P (W)</b></td> <td><b>Cte</b></td> <td><b>Var</b></td> </tr> <tr> <td>t(min)=</td> <td>34:50</td> <td>35:20</td> </tr> <tr> <td>La(mmol·L<sup>-1</sup>)=</td> <td>3,3</td> <td>8,2</td> </tr> </table> </p>	<b>P (W)</b>	<b>Cte</b>	<b>Var</b>	t(min)=	34:50	35:20	La(mmol·L <sup>-1</sup> )=	3,3	8,2	<p>↑ rendimiento carrera aislada.  ↑ tiempo tras potencia variable vs constante.  ↓La tras potencia constante.</p>							
<b>P (W)</b>	<b>Cte</b>	<b>Var</b>																		
t(min)=	34:50	35:20																		
La(mmol·L <sup>-1</sup> )=	3,3	8,2																		

<p><b>Etxebarria, N., Ingham, S. &amp; Ferguson, R. (2013)</b></p>	<p>N= 9 Bien entrenados <b>OLÍMPICO</b></p>	<p>-Incremental ciclismo. - 9,3 km carrera.  <b>-1 Hora ciclismo P constante (65% PAM) +9,3 km carrera.</b>  <b>-1 Hora ciclismo P variable (40%-140% PAM) + 9,3 km carrera.</b></p>	<p>Velocidad media de carrera (km/h): C aislada &gt;0,8 (P cte) &gt; 0,6 (P var)  <b>Datos tras la fase de ciclismo:</b>  La (P cte)= 2,9 mmol·L<sup>-1</sup> La(P var)= 7,6 mmol·L<sup>-1</sup></p>	<p>↑ rendimiento carrera aislada.  Velocidad media de carrera ↑ tras Pcte vs Pvar.  ↑ La a final de ciclismo con P var.</p>
<p><b>Hue (2003)</b></p>	<p>N=8 Élite <b>OLÍMPICO</b></p>	<p>-Incremental ciclismo y carrera.  <b>-30 min ciclismo + 20 min carrera</b>  -Test control: 20 min carrera a la misma velocidad.  <b>-Triatlón Olímpico</b></p>	<p>P UAn= 316 W (81% PAM) P competición= 280 W (72% PAM)  V UAn= 20,1 km/h (91%VAM) V competición= 18,9 km/h (86%VAM)</p>	<p>P ciclismo &lt;9% P (UAn)  V carrera &lt;5% V (UAn)</p>
<p><b>Barrero, A., Erola P., Iglesias X. &amp; Chaverri, D. (2014)</b></p>	<p>N= 9 Bien entrenados <b>IRONMAN</b></p>	<p>-Incremental ciclismo. -Incremental carrera.  <b>-Triatlón Ironman.</b></p>	<p><b>Incremental ciclismo (UA).</b> FC= 149 ppm (84%FCmax) <b>Incremental Carrera (UA).</b> FC= 147 ppm (83% FCmax) V= 13 km/h (69% VAM)  <b>Triatlón Ironman</b> FC ciclismo= 137 ppm (78% FCmax) FC carrera= 136 ppm (77% FCmax) V carrera= 10,2 km/h (54% VAM)</p>	<p>FC ciclismo &lt; 8% FC (UA)  FC carrera &lt; 6% FC a (UA)  V carrera cercana al 54% de VAM.</p>

<p><b>Laursen, P., Knez, W., Shing C., Langill R., Rhodes, E. &amp; Jenkins D. (2005)</b></p>	<p>N= 21 Bien entrenados <b>IRONMAN</b></p>	<p>-Incremental ciclismo. -Incremental carrera. <b>-Triatlón Ironman.</b></p>	<p><b>Incremental ciclismo (UA).</b> FC= 146 ppm (82%FCmax) <b>Incremental Carrera (UA).</b> FC= 148 ppm (79% FCmax)</p> <p><b>Triatlón Ironman</b> FC ciclismo= 144 ppm (83% FCmax) FC carrera= 153 ppm (77% FCmax)</p>	<p>Ritmos de competición carrera y ciclismo con FC cercana a UAn.</p>
---	---	---	--	---

**FC**= Frecuencia Cardiaca. **PAM**= Potencia Aeróbica Máxima. **VAM**= Velocidad Aeróbica Máxima. **P**= Potencia. **V**= Velocidad. **La**= Lactato en sangre. **SF**=Frecuencia de zancada. **UA**= Umbral Aeróbico. **UAn**= Umbral Anaeróbico. **t**= Tiempo. **RPM**=Revoluciones por Minuto. **T1**= Natación + Ciclismo. **T2**= Ciclismo + Carrera.



#### 4. Discusión

Tras una revisión de la bibliografía actual, podemos decir que en un deporte de larga distancia como es el triatlón, en el cual interfieren entre si diferentes modalidades deportivas, se ven afectados los ritmos de carrera por diferentes variables. En esta revisión se incluyeron estudios que trataban diferentes distancias del Triatlón y con diferentes muestras, con la idea de poder extraer una conclusión general de como se ve afectada la fatiga fisiológica según el tipo de modalidad. Aspectos como la distancia a recorrer, la experiencia de los deportistas o el tipo de cadencia e intensidad utilizada en la fase de ciclismo son factores que determinaran el rendimiento total del deportista. Con los datos evaluados, se trató de extraer conclusiones acerca de los ritmos y estrategias que debería seguir un triatleta en una competición.

En cuanto a las modalidades más cortas que existen en el Triatlón como son el Sprint y el Olímpico, parece evidente que existe una fatiga acumulada a nivel fisiológico que se observa en los niveles de acumulación de lactato en las modalidades de ciclismo y carrera de una competición comparando con los registros en un test aislado. En la fase de ciclismo de un Sprint simulado se observaron niveles de potencia al 68% de la PAM, cerca de un 10% por debajo de los recogidos a nivel de Umbral Anaeróbico, y a concentraciones de lactato casi dobles a las del test aislado (Taylor et al. 2012). Estos datos nos indican por un lado una fatiga acumulada a nivel fisiológico que queda reflejada en los niveles de lactato recogidos en la simulación.

Por otro lado, la intensidad de la fase de ciclismo de un Triatlón Sprint para deportistas entrenados podemos deducir que se situaría cercana al 10% de la intensidad a Umbral Anaeróbico de un test aislado. Este descenso en la fase de ciclismo podría deberse a la necesidad de guardar energía y no acumular grandes cantidades de lactato para la fase de carrera, ya que los valores de lactato que se observan al final del ciclismo se sitúan en  $7,2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ . En deportistas más entrenados, posiblemente la reducción de esta intensidad no sea tan pronunciada ya que son capaces de mantener más tiempo la intensidad a Umbral Anaeróbico. En este mismo estudio se observó en la fase de carrera de la simulación, una intensidad prácticamente idéntica a la registrada en un test aislado en carrera (87%VAM), pero a intensidades de lactato de nuevo superiores ( $7,6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ). En base a este estudio podríamos deducir que los mismos deportistas no podrían mantener la intensidad a Umbral Anaeróbico en modalidades de más distancia dentro del Triatlón, ya que terminan la fase de carrera a concentraciones que sobrepasan de largo los niveles de lactato a Umbral Anaeróbico.

En un segundo estudio el cual se realizó con triatletas élite de modalidad Olímpica, se observaron datos similares a los recogidos en el anterior estudio (Hue 2003). Se compararon los resultados de una transición que combinó 30 minutos de ciclismo con 20 minutos de carrera con los resultados de un test aislados. En cuanto a la intensidad observada en el test combinado, en el ciclismo fue 9% inferior a la intensidad a Umbral Anaeróbico mientras que para la carrera fue de un 5% menor. Ambas intensidades, respecto a su máximo fueron respectivamente de un 72 y 82%. Los resultados de este estudio podrían no ser del todo fiable ya que no se incluyó la fase de natación, la cual como hemos visto produce una fatiga a nivel fisiológico, y por otro lado los tiempos que se utilizaron en el test experimental son inferiores a los de un triatlón Olímpico real, por lo que las intensidades que debería seguir un triatleta de estas características podrían estar ligeramente por debajo.

Si comparamos ambos artículos que evaluaron la reducción de la intensidad, observamos un porcentaje ligeramente inferior para la fase de ciclismo en el artículo que trató con deportistas de modalidad Sprint, lo cual podría ser debido a que los deportistas estaban moderadamente entrenados, mientras que en los otros dos la muestra fue de triatletas élite. En cuanto a la intensidad en carrera, se observa una disminución importante en la modalidad

Olímpica respecto a la Sprint, lo cual puede ser debido al mayor acúmulo de concentración de Ácido Láctico por ser una modalidad de tiempo superior.

En el año 2013, Etxebarria et al compararon en dos estudios la diferencia entre utilizar una potencia constante con una variable en el ciclismo. Se observó una mayor eficiencia con potencia constante, lo cual se reflejaba en una menor concentración de lactato al final del ciclismo así como una velocidad media superior en la fase de carrera. Ambos estudios se realizaron con triatletas bien entrenados y de modalidad Olímpica, por lo que parecen necesarios nuevos estudios que tomen como muestra deportistas con otras condiciones y que compitan en otro tipo de distancias.

A través de otro estudio que comparó las intensidades utilizadas al inicio de la carrera de un Sprint, se demostró que el uso de una intensidad alta al inicio de la carrera podría producir una mejora en el registro del tiempo total (Taylor et al. 2014). Los resultados del estudio no mostraron una diferencia significativa según el tipo de intensidad utilizada al inicio de la carrera. No obstante, en la realidad las competiciones se ganan o se pierden en muchas ocasiones por diferencias de tiempo cercanas a los resultados del estudio. En distancias más largas posiblemente no tendría ningún efecto ya que se realizan en tiempos superiores, sin embargo más investigaciones serían necesarias para estudiar el posible efecto que pueda tener en el rendimiento.

En base a estos estudios podríamos deducir que el uso de una potencia constante en la fase del ciclismo y una intensidad alta al inicio de la fase de carrera podría tener una repercusión positiva en el rendimiento de un Triatlón de corta duración, no obstante nuevos estudios serían necesarios para corroborar el posible efecto de esta estrategia sobre el rendimiento.

Respecto a cómo afecta la cadencia utilizada en la fase de ciclismo, todo parece indicar que el uso cadencias altas se corresponde con una mayor fatiga fisiológica al final de la fase de ciclismo (Bernard et al. 2003; Tew 2005), lo cual repercute con un peor rendimiento en la carrera posterior. No obstante, ambos estudios demostraron que a pesar de la fatiga acumulada, no existían diferencias en el tiempo total de carrera. Por otro lado, tanto en los estudios anteriores junto con un tercero, los cuales utilizaron muestras con niveles diferentes, coincidieron en sus resultados en el efecto positivo sobre la eficiencia en carrera con el uso previo de cadencias altas, sobre todo en los primeros metros (Gottschall et al. 2002), lo que parece una contradicción. En base a los resultados, nos planteamos si el uso de una cadencia baja al inicio, terminando con una cadencia alta, podría beneficiar el rendimiento total de un triatleta de distancias cortas. En distancias superiores como pueden ser las de un Ironman, posiblemente los resultados serían diferentes ya que podría tener un efecto superior las concentraciones altas de lactato observadas con cadencias altas. Nuevas investigaciones serían necesarias para ambas hipótesis.

En distancias más largas como es la modalidad de Ironman, parece evidente la necesidad de mayor número de estudios en los que analizar el efecto de las variables anteriormente mencionadas, ya que la mayoría de la investigación realizada en los últimos años aborda estudios con distancias más cortas. En base a los estudios analizados, parece ser que las intensidades en un triatlón Ironman se acercan bastante las intensidades de Umbral Aeróbico (Barrero et al. 2014). En un primer estudio en el que se compararon los resultados de un Ironman real con los resultados de evaluaciones aisladas de cada modalidad, se observaron intensidades ligeramente inferiores a las registradas a Umbral Aeróbico de un test realizado de forma aislada. Concretamente la intensidad registrada en la competición fue de un 8 y un 6 % por debajo de las intensidades registradas a Umbral en ciclismo y carrera respectivamente. No obstante, las intensidades registradas en la fase de natación se acercaban bastante a las registradas a Umbral Anaeróbico, lo que nos hace concluir que el efecto de la natación sobre la

carrera de un triatlón de larga distancia podría ser menor que el de una distancia inferior. Esto podría ser debido al porcentaje respecto al tiempo total de la prueba que ocupa en las distancias largas en comparación con las más cortas. En un estudio realizado unos años atrás, los datos registrados en competición en las fases de ciclismo y carrera fueron prácticamente idénticos a los registrados a Umbral Aeróbico de un test aislado (Laursen et al. 2004).

Basándonos en ambos estudios, podemos afirmar que la intensidad indicada para la mejora del rendimiento en un Ironman con deportistas bien entrenados se encuentra a intensidad de Umbral Aeróbico o ligeramente por debajo. En estos estudios la muestra fue de triatletas bien entrenados por lo que sería necesario nuevas investigaciones con deportistas de diferente nivel.

En base a las conclusiones extraídas en esta revisión, cabe destacar la importancia de las características de la prueba y del deportista para el uso de un tipo u otro de estrategia, ya que por ejemplo se ha demostrado el beneficio de una potencia constante pero la realidad es que en una competición donde el drafting está permitido se producen cambios de intensidad.

Parece evidente la necesidad de más investigaciones para poder predecir los ritmos de un triatleta en competición, sobre todo en distancias más largas. No obstante, en base a la revisión bibliográfica realizada, podríamos extraer las siguientes conclusiones que podrían ayudar a futuros entrenadores a tener en cuenta según el tipo de estrategia, condiciones del deportista y tipo de prueba:

#### SPRINT

- En deportistas moderadamente entrenados, niveles de Potencia en competición con importante reducción en base al Umbral Anaeróbico (cerca al 68% de la PAM) en ciclismo y cerca del Umbral para carrera (87%VAM).
- Posible mejora de rendimiento con intensidades altas al inicio de carrera.
- Mayor eficiencia en carrera cuando previamente se usaron cadencias altas.

#### OLÍMPICO

- Reducción de intensidad en triatletas élite del 9 y 5% para ciclismo y carrera respectivamente en base a su Umbral Anaeróbico. Ritmos ciclismo cerca de 72 y 86% respectivamente respecto a sus máximos.
- No diferencias según cadencia utilizada pero mayor eficiencia en ciclismo con cadencias bajas y mayor eficiencia en carrera con cadencias altas.
- Mejor rendimiento y eficiencia tanto en ciclismo como en carrera con el uso de una potencia constante comparando con potencia variable.

#### IRONMAN

- Intensidad de competición en ciclismo y carrera cercanos a los registrados a Umbral Aeróbico de un test aislado.

## 5. Propuesta de intervención

Según la revisión que hemos realizado, el uso de cadencias bajas resulta ser más eficiente a pesar de que las cadencias altas tienen un efecto positivo sobre la eficiencia en carrera (Bernard et al. 2003; Tew 2005). En tiempos de carrera no se observaron diferencias significativas según el tipo de cadencia utilizada. Por este motivo, nos planteamos la posible mejora del rendimiento con el uso de cadencias bajas y terminando con cadencias altas. En este estudio nos propusimos evaluar el efecto sobre el rendimiento que pueda tener este tipo de estrategia en comparación con otras, por lo que se comparó el tiempo de carrera para unas y otras.

### Método

**Participantes:** Se utilizará una muestra de 15 hombres moderadamente entrenados ( $VO_{2max} > 50$  ml/min/kg) los cuales su principal dedicación deportiva sea el Triatlón de modalidad Olímpica y con un mínimo de 3 años compitiendo en este tipo de distancias. La edad de los deportistas estará comprendida entre 18 y 45 años. Previamente realizarán un consentimiento médico informado.

**Materiales:** Analizador de gases, medidor de Lactato, pulsómetro, cinta de correr y cicloergómetro

<b>GXT B</b>	72h	<b>60min B (60rpm) +10km C</b>	72h	<b>60min B (90rpm) +10km C</b>	72h	<b>55min B (60rpm) + 5min B (90rpm) +10km C</b>
--------------	-----	------------------------------------	-----	------------------------------------	-----	---

Figura 2. Evaluaciones a realizar en la investigación.

Las evaluaciones se realizarán todas en laboratorio utilizando un cicloergómetro y una cinta de correr. Los sujetos realizarán un total de 4 test con una separación entre ellos de 72 horas. El primer día todos los participantes realizarán el test incremental, realizándose los otros tres de forma totalmente aleatoria. Todas las pruebas se realizarán a la misma hora del día y con una temperatura entre 20 y 25 grados. Los participantes no realizarán ningún tipo de entrenamiento durante la intervención y realizarán una dieta establecida rica en carbohidratos, evitando el consumo de cafeína y de alcohol.

En primer lugar realizarán el test incremental en cicloergómetro (GXT). El objetivo de este test será evaluar el consumo máximo de oxígeno así como su PAM (potencia aeróbica máxima). El test se realizará con una cadencia libre, la cual se mantendrá durante toda la prueba. Se iniciará con una potencia de 100W a modo de calentamiento durante 5 minutos. A partir de este momento se aplicarán incrementos de 15W cada 30 segundos hasta que el deportista no pueda más, momento en el cual finalizará el test. Cada vez que realicemos una subida de potencia se tomarán muestras de consumo de oxígeno, concentración de Lactato, Frecuencia Cardíaca,  $CO_2$  producido y  $O_2$  consumido. El test finalizará cuando el sujeto no pueda continuar.

En las sesiones siguientes se realizarán los otros tres test, como hemos señalado, de forma aleatoria. La fase de ciclismo se realizara en 60 minutos a una intensidad del 70%, tiempo e intensidad que se acerca a la que corresponde en un Triatlón Olímpico (Bentley et al 2002). Lo único que modificaremos será la cadencia que utilizaremos (Figura 2). La fase de carrera será de 10 km, distancia que corresponde a esta modalidad de Triatlón. Se realizará del mismo modo en las tres pruebas, siempre a la máxima velocidad posible.

En estas tres evaluaciones se comparará el tiempo total de la fase de carrera para extraer conclusiones sobre cuál de las tres estrategias, basadas en la elección de la cadencia en ciclismo, sería mejor para el rendimiento en carrera de un Triatlón Olímpico con un triatleta de características similares a las de nuestro estudio.



## 6. **Bibliografía**

- Barrero, A., Erola P., Iglesias X. & Chaverri, D. (2014). Intensity Profile during an Ultra-endurance Triathlon in Relation to Testing and Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(14), 90-101.
- Bernard, T., Vercruyssen F., Grego F., Hauswirth C., Lepers R., Vallier J. & Brisswalter J. (2003). Effect of cycling cadence on subsequent 3 km running performance in well trained triathletes. *Journal Sports Medicine*, 37, 154-159.
- Bentley, D., Millet, G., Vleck, V. & McNaughton, L. (2002). Specific aspects of contemporary triathlon: implications for physiological analysis and performance. *Journal Sports Medicine*, 32(6), 345-359.
- Bentley, D., Cox, G., Green, D. & Laursen, P. (2008). Maximising performance in triathlon: applied physiological and nutritional aspects of elite and non-elite competitions. *Journal of science and medicine in sport*, 11(4), 407-416.
- Cejuela, R., Pérez J., Villa, J., Cortell, J. & Rodríguez, J. (2007). Análisis de los factores de rendimiento en triatlón distancia sprint. *Journal of Human Sport and Exercise*, 2(2), 1-25.
- Díaz, V., Peinado, A., Zapico, A., Álvarez, M., Benito P. & Calderón, F. (2009). Efecto del ciclismo sobre el rendimiento de la carrera en triatletas jóvenes. *Educación Física y deportes*, 1, 57-63.
- Etxebarria, N., Anson, J., Pyne, D. & Ferguson, R. (2013). Cycling Attributes That Enhance Running Performance After the Cycle Section in Triathlon. *International journal of sports physiology and performance*, 8(5), 502-525.
- Etxebarria, N., Ingham, S. & Ferguson, R. (2013). Physiological assessment of isolated running does not directly replicate running capacity after triathlon-specific cycling. *Journal of Sports Sciences*, 32(3), 229-238.
- Gottschall, J. & Palmer, B. (2002). The acute effects of prior cycling cadence on running performance and kinematics. *Medicine Science Sports Exercise*, 34(9), 1518-22.
- Hauswirth, C. & Lehénaff, D. (2001). Physiological demands of running during long distance runs and triathlons. *Sports medicine*, 31(9), 679-689.
- Hauswirth, C. & Brisswalter, J. (2008). Strategies for improving performance in long duration events: Olympic distance triathlon. *Journal Sports Medicine*, 38(11), 881-891.
- Hue, O. (2003). Prediction of Drafted- Triathlon Race Time From Submaximal Laboratory Testing in Elite Triathletes. *Canadian journal of applied physiology*, 28(4), 27-42.
- Laursen, P. & Rhodes, E. (2001). Factors affecting performance in an ultraendurance triathlon. *Sports medicine*, 31(3), 195-209.
- Laursen, P., Knez, W., Shing C., Langill R., Rhodes, E. & Jenkins D. (2005). Relationship between laboratory-measured variables and heart rate during an ultra-endurance triathlon. *Journal of Sports Sciences*, 23(10), 1111-1120.

- Peeling, P. & Landers, G. (2009). Swimming intensity during triathlon: a review of current research and strategies to enhance race performance. *Journal of sports sciences*, 27(10), 1079-1085.
- Sleivert, G. & Rowlands, D. (1996). Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Journal Sports Medicine*, 22(1), 8-18.
- Taylor, D., Smith, Mark. & Vleck, V. (2012). Reliability of performance and associated physiological responses during simulated sprint-distance triathlon. *Journal of Science and Cycling*, 1(1), 21-29.
- Taylor, D. & Smith, M. (2014). Effects of deceptive running speed on physiology, perceptual responses, and performance during sprint-distance triathlon. *Physiology & Behavior*, 133, 45-52.
- Tew, G. (2005). The effect of cycling cadence on subsequent 10km running performance in well-trained triathletes. *Journal of Sports Sciences*, 4(3), 342-353.
- Vicente-Campous, D., Barbado, C., Nuñez, M. & Chicharro, J. (2014). Lactate minimum test during incremental running after a submaximal cycling exercise: a novel test with training applications for triathletes. *The journal of sports medicine and physical fitness*, 54(6), 742-749.

