

# **EFFECTO DEL ENTRENAMIENTO INTERMITENTE DE ALTA INTENSIDAD (EIAI) SOBRE LA OXIDACIÓN DE GRASAS.**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO: REVISIÓN  
BIBLIOGRÁFICA.**

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

**Alumno: Daniel Jarillo Martí.**

**Tutor académico: Raúl López Grueso.**

**2016-2017**

## ÍNDICE

---

1. CONTEXTUALIZACIÓN..... pág 2-3.
2. PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN..... pág 3-4.
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... pág 4-7.
4. DISCUSIÓN..... pág 8-10.
5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN..... pág 10.
6. BIBLIOGRAFÍA..... pág 11-12.



## 1. CONTEXTUALIZACIÓN.

---

La grasa (FAT) es un combustible muy importante durante la realización del ejercicio físico, pero su relevancia cobra un papel secundario, en comparación con la utilización de los carbohidratos (CHO), durante ejercicios de alta intensidad (Spriet, 2011).

Las vías que metabolizan y oxidan la grasa se activan lentamente al inicio del ejercicio y alcanzan un máximo a intensidades de ejercicio moderadas. A medida que la intensidad del ejercicio aumenta, hasta alrededor del 75% del  $VO_{2m\acute{a}x}$  y más allá, el metabolismo de la grasa comienza a inhibirse y el uso de CHO aumentará la cantidad de energía producida por litro de oxígeno consumido. Aumentar la degradación de grasa durante el ejercicio, puede disminuir la dependencia de utilización de CHO y promover acciones más duraderas, así como acciones más intensas, debido a la eficiencia en la utilización de los hidratos de carbono, pudiendo alcanzar los objetivos propuestos (Spriet, 2011).

El entrenamiento de resistencia tradicional, continuo y regular induce adaptaciones fisiológicas, cardio-respiratorias y metabólicas que mejoran el rendimiento deportivo, incluyendo el aumento del  $VO_{2M\acute{a}x}$ , así como, el “cambio” de la utilización del metabolismo propio de los carbohidratos, por la oxidación de lípidos durante la realización de este tipo de ejercicio físico (Hulston *et al.*, 2010).

Estos cambios se producen en gran parte por el aumento del volumen mitocondrial, el aumento de la densidad capilar y una mayor actividad de las enzimas oxidativas, como la citrato sintasa y la B-hidroxiacil-CoA deshidrogenasa (B-HAD), las cuales promueven la utilización de grasa procedente de los diferentes depósitos de almacenamiento, así como, el transporte de ácidos grasos a través del plasma y las membranas mitocondriales. (Hulston *et al.*, 2010).

Cabe destacar dos umbrales, dentro de la zona de oxidación de grasas (FATZONE), que se vinculan con la mayor o menor utilización de grasas para la obtención de energía: el umbral relacionado con la intensidad del ejercicio en la cual se obtiene la mayor oxidación lipídica (FATMÁX), y el umbral relacionado con la intensidad del ejercicio en el cual se promueve la menor utilización de grasas durante la realización del ejercicio físico (FATMIN). (Astorino, Schubert, Palumbo, Stirling & Mcmillan, 2013).

Por otro lado, el Entrenamiento Intermitente de Alta intensidad (EIAI), High Intensity Interval Training (HIIT) en inglés, es una metodología del entrenamiento físico-deportivo que se fundamenta en la repetición de intervalos temporales, de corta hasta larga duración, de ejercicio físico, caracterizados por un alta intensidad, intercalados con sus correspondientes periodos de recuperación, la cual puede desarrollarse de forma activa o pasiva. (Buchheit & Laursen, 2013).

Esta metodología de entrenamiento se puede desarrollar a partir de movimientos dinámicos que simulan los gestos técnicos propios de la modalidad deportiva que se practica, es decir, la repetición de esfuerzos físicos de alta intensidad, no máxima, en intervalos de tiempo cortos ( $\leq 45s$ ), o largos (2-4 min), en combinación con los periodos de descanso. (Buchheit & Laursen, 2013).

De igual forma, el HIIT también se puede realizar por medio de la repetición de secuencias cortas ( $\leq 10 s$ ) de sprints repetidos (Repeat Sprint-Sprint), o intervalos temporales de sprints largos (20-30 s), en combinación con los periodos de descanso (Sprint Interval Training), a una intensidad máxima, incluso supramaximal. (Buchheit & Laursen, 2013).

El HIT, en sus diferentes variantes, es hoy en día una de los medios más efectivos para mejorar la función cardio-respiratoria y metabólica y, en consecuencia, el rendimiento físico de los atletas, además de ser una metodología caracterizada por bajos volúmenes de entrenamiento, lo que promueve la realización del entrenamiento completo en un periodo de tiempo reducido, en comparación con el entrenamiento de resistencia tradicional (Buchheit & Laursen, 2013).

Un estímulo óptimo para que durante la realización de este tipo de entrenamiento se produzcan las adaptaciones deseadas, es que los deportistas acumulen varios minutos (alrededor de los 8-10), dentro de la “zona roja”, zona que se refiere a realizar ejercicio físico sobre el 90% del VO<sub>2</sub>Máx, o incluso más, durante este tiempo (Buchheit & Laursen, 2013).

En la planificación de nuestro entrenamiento deportivo, se pueden manipular diversas variables de la carga, las cuales influyen sobre el metabolismo a utilizar durante la realización de ejercicio y permiten que se produzcan las adaptaciones deseadas, provocando un aumento en el rendimiento. En el caso del Entrenamiento Intermitente de Alta Intensidad (HIIT), estas variables de la carga a modificar son: intensidad y volumen de los periodos de esfuerzo físico, intensidad y volumen de los periodos de recuperación, número de series, intensidad y volumen de la recuperación entre series, número de repeticiones, densidad y modalidad de ejercicio (correr, bici, remo, técnica específica...) (Buchheit & Laursen, 2013).

Por último, cabe destacar que el objetivo principal de la revisión bibliográfica es valorar el efecto del Entrenamiento Intermitente de Alta Intensidad sobre la oxidación de grasas intra y post entrenamiento.

## 2. PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN.

---

La revisión bibliográfica se ha realizado a partir de un proceso de búsqueda y selección de artículos científicos sistemático y controlado, mediado por la guía de directrices PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and meta-analyses*) (Urrutia & Bonfill, 2010).

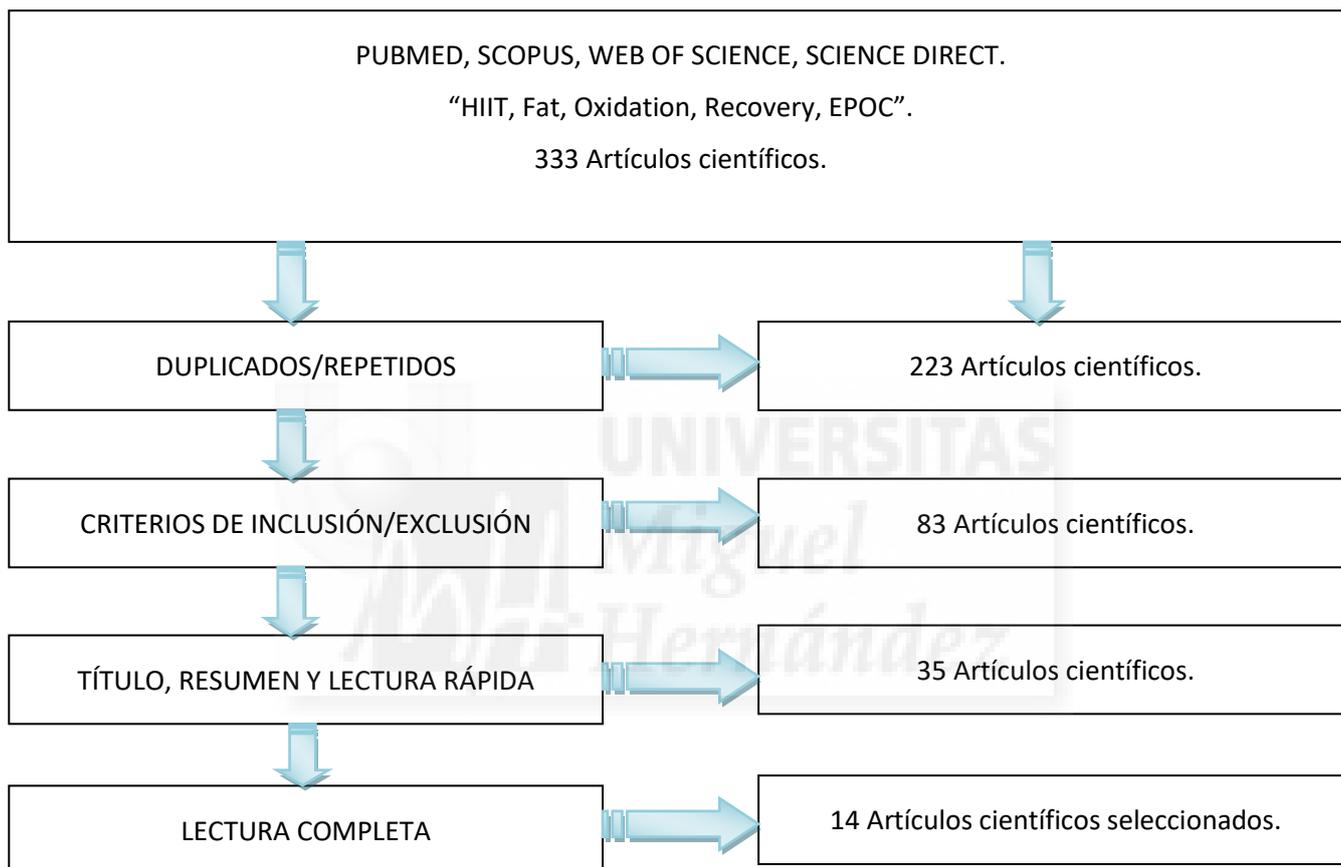
Se han revisado las publicaciones científicas de diferentes bases científicas (Pubmed, Scopus, Web of Science y Science Direct), así como, la literatura gris de diversos buscadores, tales como Research Gate y Google Scholar, y revistas relacionadas, utilizando los términos/palabras clave: “ High intensity interval training(HIT)(HIIT), Fat, Oxidation, Recovery, Excess post-exercise oxygen consumption (EPOC)”.

Las palabras clave durante la búsqueda se han introducido en inglés, sin utilizar ninguna referencia clave en español durante el proceso de revisión. Los parámetros/criterios de inclusión y exclusión de la literatura revisada han sido:

1. Fecha de publicación del artículo igual o posterior al año 2008.
2. Muestra del estudio con población adolescente o adultos-jóvenes (13-45 años de edad), sanos, activos físicamente de forma recreacional o poco activos, sin realizar ningún tipo de ejercicio físico de forma organizada y controlada.
3. Validación y realización de medidas, directas e indirectas, sobre la oxidación de grasa pre, intra, inter y post intervención.
4. Metodología de intervención basada en medidas PRE y POST intervención, sesiones de familiarización, así como, la propia intervención.
5. Mínimo de 2 sesiones de intervención metodológica.
6. Intervalos de esfuerzo físico que no excedan los 4 minutos de duración.

A continuación, se adjunta la *Figura 1*, la cual representa gráficamente y de manera sistemática, el procedimiento de búsqueda y revisión de la literatura, para la selección de los artículos científicos a incluir en el trabajo.

*Figura 1:* Diagrama de flujo representativo del procedimiento de revisión de los diferentes trabajos científicos a incluir en la revisión bibliográfica, en función de los criterios de inclusión y exclusión propuestos.



### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

En este apartado se presenta una tabla-resumen de los diferentes artículos y trabajos científicos seleccionados y analizados, atendiendo principalmente al número y características de la muestra que conforma el estudio, la metodología y los materiales utilizados durante la intervención y los test realizados, así como, los principales resultados relacionados con la oxidación de grasas durante el entrenamiento y su recuperación posterior, bajo una metodología basada en las características del HIIT.

Al final de la revisión bibliográfica, se expone la *Figura 2*, tabla correspondiente a la leyenda utilizada para el desarrollo de los diferentes trabajos científicos.

AUTORES	AÑO	MUESTRA	MÉTODO	RESULTADOS
Islam, H., Townsend, L. K., & Hazell, T. J.	2016	n=9(H). edad: 23,3 años. $\mu$ VO <sub>2</sub> máx: 48,9 mL/ kg·min	1 CONTROL. 3 SIT: 4x30s/240s rec. 8x15s/120s rec. 24x5s/40s rec. Densidad (1:8) ≥ 1 sem entre S. Cinta rodante.	<b>DURANTE:</b> ↑ VO <sub>2</sub> y EE 5s>15s>30s. ↑ RER 30s>15s>5s. <b>POST:</b> ↑ VO <sub>2</sub> 1h 3 SIT, 2h 30s y 15s. ↑ FATOX 3h 30s Y 15s. ↓ RER 2h 30s Y 15s. <b>TOTAL:</b> ↑ EE 5s>30s. ↑ FATOX, VO <sub>2</sub> y EPOC 30s y 15s. ↓ RER 30s y 15s.
Bagley, L., Slevin, M., Liu, D., Morrissey, G., ... & McPhee, J. S.	2016	n=41. 24 H y 17 M. edad: 39 años. $\mu$ VO <sub>2</sub> máx: 3,49(H) L/min y 1,99(M) L/min.	4x20s 175%Wmáx. 2 min RA 20%Wmáx. Densidad (1:6) 3 d/sem/12 sem. ↑ 5% C cada 2 sem. Cicloergómetro.	↑ <b>VO<sub>2</sub>Máx</b> 18.7% M y 6% H. $\mu$ = 9%. ↑ <b>FATMÁX</b> $\mu$ =13%. FATMÁX ↓ % VO <sub>2</sub> Máx en M. ↓ LDL 8% y ↑ HDL 16%.
Barker, A. R., Day, J., Smith, A., Bond, B., & Williams, C. A.	2014	n=10(H). edad: 15.1 años. $\mu$ + 1.3 años sobre PVC.	4x30s Intensidad máxima ("all out"). 4 min RA. Densidad (1:8). ↑ vol C 7 rep. 3 d/sem/2 sem. Cicloergómetro.	↑ PPO 4 primeros sprints y THA. ↑ IF sprints 1 y 3. 73 % y 71% muestra ↑ VO <sub>2</sub> Máx absoluto y relativo. 56% muestra ↑ GET. ↑ <b>VO<sub>2</sub>Máx sub, FATOX y FATMÁX.</b> ---- ↑ 1.2 rep. ↓ <b>RER y CHOOX.</b>
Tucker, W. J., Angadi, S. S., & Gaesser, G. A.	2016	n=10. H. edad: 24,4 años. $\mu$ VO <sub>2</sub> Máx: 45,9 mL/kg·min.	<b>SIE:</b> 6x30s 0.075·peso. 4 min RA. Densidad (1:8). <b>HIE:</b> 4x4 min 95% HRMáx. 3 min RA. Densidad (4:3). <b>SSE:</b> 30 min 80% HRMáx. CONTROL. 4 S separadas ≥ 2 d. Cicloergómetro.	<b>DURANTE:</b> ↑ VO <sub>2</sub> SSE y HIE. ↑ O <sub>2</sub> y EE SSE HIE. <b>POST:</b> ↑ VO <sub>2</sub> en 3 INTERV. SIE> SSE. ↑ VO <sub>2</sub> SIE y HIE 60 min. ↑ EPOC total y EE neto SIE. <b>CONJUNTO:</b> ↑ O <sub>2</sub> y EE SSE. ↗ O <sub>2</sub> y EE HIE. <b>RER Y FATOX:</b> ↓ RER HIE/SIE 3 horas. ↑ FATOX 3 INTERV.
Astorino, T. A., & Schubert, M. M.	2014	<b>ESTUDIO 1:</b> n=20. H y M. edad: 24 años. $\mu$ Vo <sub>2</sub> Máx: 42,8 mL/Kg·min. <b>ESTUDIO 2:</b> n=20(M). edad: 23,7 años. $\mu$ VO <sub>2</sub> Máx: 30 mL/kg·min	<b>ESTUDIO 1:</b> 4-6x30s 200-300%WMáx. 5 mi RA. Densidad (1:10). 3 d/sem/2 sem. Cicloergómetro. <b>ESTUDIO 2:</b> 6-10x60s 60-90Wmáx. 60s RA Densidad (1:1). 3 d/sem/12sem. ↑ 2 rep y 5%W 2 sem. Cicloergómetro.	<b>ESTUDIO 1:</b> ↑ % VO <sub>2</sub> Máx 6.3%. ↑ VO <sub>2</sub> Máx absoluto 0.19%. ↑ VO <sub>2</sub> Máx relativo 2.6%. ↑ <b>FATOX 7.7% (60% muestra).</b> 1 sujeto " no adaptación" <b>ESTUDIO 2:</b> ↑ % VO <sub>2</sub> Máx 25.1%. ↑ VO <sub>2</sub> Máx absoluto 0.39%. ↑ VO <sub>2</sub> Máx relativo 6.4%. ↑ <b>FATOX 16.8% (65% muestra).</b>

Wood, K. M., Olive, B., LaValle, K., Thompson, H., Greer, K., & Astorino, T. A.	2016	n=12. 8 H y 4 M. edad: 24,2 años. $\mu\text{VO}_2\text{Máx}$ : 40,6 mL/Kg.min.	1 S HIT y 1 S SIT $\geq 2$ d. <b>HIT</b> : 8x60s 85%WMáx. 60s RA. Densidad (1:1). <b>SIT</b> : 8x30s 130%WMáx. 90s RA. Densidad (1:3). Cicloergómetro.	<b>↑ VO<sub>2</sub> HIT vs SIT 9-15%.</b> ↑ Ve rec SIT vs HIT últimas rep. ↑ 5-8% VCO <sub>2</sub> HIT última mitad. <b>↑ RER durante en SIT, ↓ FATOX vs HIT.</b>
Capostagno, B., & Bosch, A.	2010	n=9(H). edad: 32,3 años $\mu\text{VO}_2\text{Máx}$ : 58,6 mL/Kg.min.	Carrera y ciclo hasta estado fisiológico estable a intensidades de 60, 65, 70, 75, 80 y 85% WMáx. Cicloergómetro/cinta rodante.	<b>↑ FATOX carrera</b> hasta 75%WMáx con un EE ↑. <b>↑ FATOX carrera</b> todos los % VO <sub>2</sub> Máx. ↗ RER mayor en ciclismo.
Astorino, T. A., Schubert, M. M., Palumbo, E., Stirling, D., & Mcmillan, D. W.	2013	n=30(M). nHI= 10. nMOD= 10. nCONTROL=7 edad: 24,2 años. $\mu\text{VO}_2\text{Máx}$ : 30,3 mL/kg-min	<b>HI</b> : 6-10x60s 80-90%WMáx. 75s RA. Densidad (4:5). <b>MOD</b> : 6-10x60s 60-80%WMáx. 60s RA. Densidad (1:1). <b>CONTROL</b> . ↑ 5%W y 2 rep/sem. 3 d/sem/12 sem.	↑ VO <sub>2</sub> relativo y WMáx 22.3% y 20.5% MOD. ↑ VO <sub>2</sub> relativo y WMáx 21.9% y 17% HI. ↑ RER durante HI. <b>6 sem ↓ RER 26% HI (↑ FATOX).</b> 3 sem ↓ RER 16% MOD. <b>↓ CHOOX y ↑ FATOX HI.</b> <b>↑ FATMIN HI, MOD</b> hasta la 6 <sup>o</sup> sem. <b>↑ FATZONE HI (45%), MOD 6<sup>o</sup> sem (41%).</b>
Souza-Silva, A. A., Moreira, E... & Laitano, O.	2016	n=16. nHEAT= 8. nENVIR= 8. edad: 23 años.	HEAT= 35 °C; ENVIR=22 °C. 4x60s 100%PPO. 75s RA. Densidad (4:5). 3 d/sem/4 sem. ↑ 1 rep/sem.	↑ PPO HEAT. ↑ TBARS y <b>FATOX HEAT.</b> ↑ PROTEINOX ENVIRON <b>↓ PROTEINOX HEAT.</b>
Talanian, J. L., Holloway, G. P... & Spriet, L. L.	2010	n=10(M). edad: 22 años. $\mu\text{VO}_2\text{Máx}$ : 2,28 L/min.	10x4min 90% VO <sub>2</sub> Máx. 2 min rec. Densidad (2:1). 3 d/sem/6 sem. ↑ W y ajuste/S Cicloergómetro.	↑ PPO, VO <sub>2</sub> Máx (18%) y FFA post. ↑ FATOX ----- ↑ EM/EP, FAT/CD36 y FATBppm. <b>↓ RER y CHOOX (20%)</b>
Perry, C. G., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., & Spriet, L. L.	2008	n=8. 3 H. 5 M. edad: 24 años. $\mu\text{VO}_2\text{Máx}$ : 3,29 L/min.	10x4min $\approx 90\%$ VO <sub>2</sub> Máx. 2 min de rec. Densidad (2:1). ↑ W durante intervalos y entre S. 3 d/sem/ 6 sem. Cicloergómetro	↑ PPO (21%), VO <sub>2</sub> Máx (9%) y gluc/PCr (59%). <b>↑ FATOX (12%) ----- ↑ B-HAD, FAT/CD36 y FATBppm.</b> ↑ 111% THA al 90% VO <sub>2</sub> Máx pre. <b>↓ RER y CHOOX (16%)</b>
Hetlelid, K. J., Plews, D. J., Herold, E., Laursen, P. B., & Seiler, S.	2015	n=18. nWT= 9. nRT= 9. edad: 29 años. $\mu\text{Vo}_2\text{Máx}$ : 55 vs 70 mL/Kg.min.	6x4min Máxima velocidad. 2 min rec. Densidad (2:1). Cinta de correr.	↑ velocidad y VO <sub>2</sub> máx pre en WT. ↑ VO <sub>2</sub> Máx relativo durante en WT. ↑ EE en WT (33%) <b>↑ FATOX en WT vs RT.</b> <b>↓ RER y CHOOX durante en WT.</b>

<p>Kelly, B., King, J. A., Goerlach, J., &amp; Nimmo, M. A.</p>	<p>2013</p>	<p>n=9. H. edad: 21 años. <math>\mu</math>VO<sub>2</sub>Máx: 44 mL/kg·min.</p>	<p><b>HIIT1:</b> 10x60s 90%HRMáx. 60s RA 50W. Densidad (1:1). <b>HIIT2:</b> 10x4min 85% VO<sub>2</sub>Máx. 2min RA. Densidad (2:1). CONTROL y cicloergómetro.</p>	<p>↓ RER en HIT1 y HIT2 en RP. ↑ EE total y EE durante HIT2&gt; HIIT1&gt; CON. ↑ EE HIT1 y HIT2 en RP. ∅ significación EPOC total con RER y EE.</p>
<p>Astorino, T. A., Edmunds, R. M., Clark, A., Gallant, R., King, L., Ordille, G. M., ... &amp; Bandong, J.</p>	<p>2017</p>	<p>n=77. nHIIT= 39. nCON=15/17(H/M). nSIT=7/7(H/M). nHIITb=7/6(H/M). nPER=5/7(H/M). edad: 24,2 años. <math>\mu</math>VO<sub>2</sub>Máx: 40 mL/Kg·min.</p>	<p><b>10 PRIMERAS SESIONES:</b> 8-10x60s 90-110% PPO. 75s RA. Densidad (4:5). <b>10 SEGUNDAS SESIONES:</b> <b>SIT:</b> 8-12x30s 130-150% PPO. 120s RA. Densidad (1:4). <b>HIITb:</b> 5-7x150s 70-80% PPO. 60s RA. Densidad (5:2) <b>PER:</b> 3 HIIT, 3 SIT y 4 HIITb. 3 días/semana. 6 semanas. Cicloergómetro.</p>	<p>↑ P.O en HIITb ↑ PPO en H. ↑ VO<sub>2</sub>Máx HIITb&gt;PER&gt;SIT. ↑ MFO absoluta en H. <b>↑ FATOX, FATZONE y FATMIN</b> ↑ MFO <u>INDIVIDUAL</u> 3 en SIT, 5 en HIITb y 5 en PER.</p>

Figura 2: leyenda artículos incluidos en la revisión bibliográfica.

**Rec:** recuperación.  
**RER:** ratio intercambio respiratorio.  
**M:** mujer/es.  
**EPOC:** exceso consumo oxígeno post-ejercicio.  
**rep:** repeticiones.  
**PPO:** potencia absoluta.  
Pcr: fosfocreatina.  
**GET:** gasto energético total.  
**P.O:** potencia óptima.  
**PROTEINOX:** oxidación proteica.  
**VO<sub>2</sub>:** consumo oxígeno.  
↑: mejora/aumento.  
**FFA:** ácidos grasos libres.

**$\mu$ :** media muestral.  
**EE:** energía expedita.  
**RA:** recuperación activa.  
**PVC:** pico velocidad de crecimiento.  
**vol:** volumen.  
**WT:** bien entrenados.  
**C:** carga.  
**HRMáx:** máximas pulsaciones por minuto.  
**RP:** fase rápida EPOC.  
**VO<sub>2</sub>Máx:** consumo máximo de oxígeno.  
**Ve:** volumen espirado.  
↓: empeoramiento/menor.

**FATOX:** oxidación de grasas.  
**MFO:** máxima cantidad grasa oxidada.  
**Wmáx:** potencia máxima.  
**THA:** tiempo hasta el agotamiento.  
**IF:** índice de fatiga.  
**RT:** entrenados recreacional.  
**Sub:** sub-máximo.  
**EM/EP:** enzimas mitocondriales y enzimas proteicas.  
**SSE:** ejercicio continuo.  
**ENVIRON:** temperatura ambiente.  
**INTERV:** intervención.  
∅: ausencia significación.

**sem:** semanas.  
**H:** hombre/s.  
**d:** días.  
**CHOOX:** oxidación carbohidratos.  
**min:** minutos.  
**gluc:** glucógeno.  
**S:** sesión/es.  
**W:** potencia.  
**MOD:** moderado.  
**HEAT:** temperatura alta.  
**VCO<sub>2</sub>:** volumen CO<sub>2</sub>.  
↗: tendencia.

#### 4. DISCUSIÓN.

---

A partir del análisis de los diferentes artículos científicos seleccionados, y con el objetivo de valorar el efecto del Entrenamiento Intermitente de Alta Intensidad (HIIT) sobre la oxidación de grasas intra y post esfuerzo, podemos concluir que esta metodología de entrenamiento provoca adaptaciones positivas en variables fisiológicas relacionadas con la oxidación de grasas.

La metodología de entrenamiento descrita, mejora el VO<sub>2</sub>Máx y provoca el desplazamiento hacia la derecha de los umbrales respiratorios asociados a éste (VT1 y VT2) (Hetlelid, Plews, Herold, Laursen & Seiler, 2015). También prolonga el tiempo hasta el agotamiento durante esfuerzos submáximos y la disminución del valor RER durante el intercambio respiratorio en el ejercicio y recuperación (Perry, Heigenhauser, Bonen & Spriet, 2008).

Además, promueve el aumento de la oxidación y degradación de grasas, y la menor utilización de hidratos de carbono y glucógeno muscular, durante el ejercicio y su recuperación posterior. Este aumento en la oxidación lipídica está relacionado con la mejora de las variables fisiológicas FATMÁX, FATMIN y FATZONE (Astorino *et al.*, 2013).

La eficiencia y mejora en los parámetros fisiológicos antes mencionados ocurren con significación clínica y estadística durante la realización de intervalos de esfuerzos de alta intensidad y la recuperación entre repeticiones, con una incidencia post-sesión pobre y menor a los 60 minutos. Por ello, el HIIT no posee efecto significativo sobre la tasa de oxidación de grasas durante la recuperación del ejercicio (Kelly, King, Goerlach & Nimmo, 2013).

Durante la realización de ejercicio físico de alta intensidad, la obtención de energía proviene principalmente de la degradación de glucógeno, con una participación de la oxidación de grasas muy escasa, la cual empieza a cobrar relevancia cuando se produce la depleción total de las reservas energéticas de hidratos de carbono y el organismo recurre a la oxidación lipídica para proseguir el esfuerzo, con una intensidad relativamente menor (Islam, Townsend & Hazell, 2016).

Seguidamente, las metodologías comprendidas dentro del concepto de entrenamiento físico intermitente de alta intensidad no inciden por igual en el aumento de la oxidación de grasas, teniendo una mayor relevancia los tiempos de esfuerzos comprendidos entre los 60 segundos y los 2 minutos y medio. Tiempos de trabajo menores inciden principalmente en metabolismos anaeróbico y por su corto carácter temporal, no poseen la misma incidencia sobre la oxidación de grasa que tiempos de esfuerzo mayores. (Wood *et al.*, 2016).

La mejora en los parámetros fisiológicos citados guarda una estrecha relación con la variable de intensidad de la carga de entrenamiento/competición. Ante cargas del mismo valor de intensidad, o muy similares, se incidirá sobre la oxidación de grasas, en mayor grado, como proceso para la obtención de energía, promoviendo una menor degradación relativa de hidratos de carbono y sustratos energéticos de acción rápida (Astorino & Schubert, 2014).

Por todo ello, se consigue una mayor eficiencia y economización del esfuerzo físico, así como, su prolongación en el tiempo a la realización de un mayor volumen de acciones intermitentes de elevada intensidad.

El análisis de los diferentes artículos científicos incluidos en la revisión bibliográfica, y las relaciones entre el HIIT y la oxidación de lípidos, poseen una serie de limitaciones a destacar. Los resultados de los trabajos científicos proponen mejoras significativas en aspectos fisiológicos relacionados con la oxidación de grasas utilizando volúmenes, intensidades y densidades de la carga diferentes.

Por lo tanto, se entiende que estas variables de la carga no inciden sobre el mayor o menor beneficio sobre la oxidación lipídica durante el esfuerzo físico y su recuperación, la cual cosa es errónea. Estas variables de la carga deben tener una importancia relevante a la hora de planificar y estructurar el entrenamiento a realizar en las diferentes sesiones de intervención a lo largo del tiempo (Astorino *et al.*, 2013).

En el conjunto de la revisión bibliográfica propuesta, se tienen estudios que: no poseen grupo control, el grupo control no realiza ejercicio físico de ningún tipo, el grupo control realiza trabajo continuo a moderada intensidad o el grupo control realiza entrenamiento intermitente de alta intensidad bajo condiciones diferentes al grupo experimental durante la intervención. No existe homogeneidad en el uso y caracterización del grupo control, con respecto al grupo intervención.

Este aspecto es una limitación a tener en cuenta, en relación a los resultados/conclusiones obtenidas, ya que en los trabajos científicos en los que no se posee grupo control, o éste no realice ningún tipo de ejercicio físico programado, se podría sobrevalorar el efecto de la realización programada y controlada de HIIT sobre el aumento de la oxidación de grasas (Astorino *et al.*, 2017).

Por otra parte, se puede relacionar esta sobrevaloración del efecto beneficioso del Entrenamiento Intermitente de Alta Intensidad sobre la oxidación de las grasas con la variabilidad de los valores fisiológicos pre-intervención, relacionados con la condición física de los sujetos (Astorino & Schubert, 2014).

En la revisión bibliográfica se han introducido una minoría de investigaciones científicas que poseen muestras de población definidas como poco activos, las cuales realizan escaso/muy poco ejercicio físico durante su vida regular, con valores pre-intervención inferiores a población activa-recreacional, por lo que los resultados/mejoras obtenidas a causa de la intervención basada en el HIIT pueden ser no extrapolables al resto de la población activa. (Barker, Day, Smith, Bond & Williams, 2014).

La gran mayoría de las investigaciones científicas que se integran en la revisión bibliográfica basan su metodología de entrenamiento en la realización de esfuerzos dinámicos intermitentes de alta intensidad sobre cicloergómetro, con una gran implicación del tren inferior y una escasa participación del tren superior en la realización del ejercicio físico.

En contraposición, podemos afirmar que se produce una mayor oxidación de grasas durante este tipo de entrenamiento cuando los esfuerzos físicos se desarrollan sobre un tapiz rodante, realizando la acción de correr, debido a una mayor implicación muscular durante la realización del gesto técnico de carrera, en comparación con el gesto técnico de pedalear. (Capostagno & Bosch, 2010).

La mejora de los parámetros fisiológicos como el VO<sub>2</sub>Máx y el RER durante el esfuerzo físico, no es el único factor a tener en cuenta en el aumento y eficiencia de la oxidación de grasas durante intervalos temporales de esfuerzos de alta intensidad. Esta mejora también se puede vincular con el aumento de la actividad de hormonas características del metabolismo lipídico (Beta-HAD), proteínas propias de las membranas mitocondriales (FAT/CD36) y el sarcolema de las fibras musculares (FATBPpm,) que promueven una mayor degradación y oxidación de grasas durante el ejercicio físico y su recuperación entre esfuerzos. (Talanian *et al.*, 2010; Perry *et al.*, 2008).

Por último, destacar la influencia del factor del sexo en relación a la oxidación de grasas por una intervención de HIIT, ya que se ha demostrado que los hombres degradan en reposo una mayor cantidad absoluta de grasas, su FATM<sub>áx</sub> se produce a intensidades relativas menores en relación a su VO<sub>2</sub>M<sub>áx</sub> y poseen mayor cantidad de masa magra y menor cantidad de masa grasa en comparación con las mujeres. (Astorino *et al.*, 2017).

En contraposición, las mujeres poseen propiedades contráctiles del músculo esquelético más lentas, oxidan los ácidos grasos a una mayor intensidad relativa del ejercicio y tienen menos dependencia de las reservas de glucógeno muscular después de episodios repetidos de esfuerzos de alta intensidad. (Bagley *et al.*, 2016).

Las características de cada sexo relacionadas con la oxidación de grasas, durante la realización de ejercicio y su recuperación, debe ser un factor muy importante a tener en cuenta en la planificación del entrenamiento, ya que en función de la intensidad y la densidad de la carga de entrenamiento, así como el sexo de la muestra poblacional a la que va dirigida la intervención, se conseguirán unas mejoras más o menos significativas.

## 5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

Se propone una intervención de entrenamiento físico por intervalos de alta intensidad durante 12 semanas, realizando cada semana 3 sesiones específicas de HIIT.

Previa, y posteriormente a la intervención metodológica, se realizarán 3 test para valorar la condición física de los sujetos. Estos test son: una prueba de esfuerzo máxima en tapiz rodante hasta el agotamiento, una hora de carrera al 65% del VO<sub>2</sub>M<sub>áx</sub> obtenido en el primer test y, por último, una prueba de esfuerzo sub-máximo al 90% del VO<sub>2</sub>M<sub>áx</sub> sobre el valor obtenido en la prueba maximal. Así mismo, se realizarán 2 sesiones de familiarización previas a la intervención, caracterizadas por un volumen igual, pero una menor intensidad del ejercicio, separadas entre sí como mínimo dos días.

La intervención se caracteriza por la repetición, de 6 a 10 veces, de 60 segundos de carrera en tapiz rodante a una alta intensidad, entre el 85% y el 100% del VO<sub>2</sub>m<sub>áx</sub>, sobre/por encima del umbral anaeróbico. Cada repetición de ejercicio físico se intercalará con un periodo de recuperación activa de 75 segundos, a una intensidad baja-media, entre el 55% y el 75% del VO<sub>2</sub>M<sub>áx</sub>, entre el umbral aeróbico y el umbral anaeróbico, sobre la descrita FATZONE.

Durante el proceso de intervención, se cumplirá con el principio del entrenamiento de progresión de la carga, a partir del aumento en una repetición cada dos semanas y un aumento del 5% de la intensidad del ejercicio cada cuatro semanas.

A continuación, se expone la *Figura 3*, cuadro-resumen de la intervención propuesta para valorar el efecto del Entrenamiento Intermitente de Alta Intensidad sobre la oxidación de grasas durante y post esfuerzo.

*Figura 3:*

<p>3 d/sem/ 12 sem.          ↑ 1 rep. Cada 2 sem.          ↑ 5% intensidad cada 4 sem.</p>	<p>PRE/FAM/INTERV/POST          CINTA RODANTE.</p>	<p>6-10x60s 85-100% VO<sub>2</sub>M<sub>áx</sub>.          75s RA 55-70% VO<sub>2</sub>M<sub>áx</sub>.          Densidad (4:5).</p>
--	--	---

## 6. BIBLIOGRAFIA.

---

- Astorino, T. A., Edmunds, R. M., Clark, A., Gallant, R., King, L., Ordille, G. M., ... & Bandong, J. (2017). Change in maximal fat oxidation in response to different regimes of periodized high-intensity interval training (HIIT). *European journal of applied physiology*, *117*(4), 745-755. doi: 10.1007/s00421-017-3535-y
- Astorino, T. A., & Schubert, M. M. (2014). Individual responses to completion of short-term and chronic interval training: a retrospective study. *PLoS one*, *9*(5), e97638. doi: 10.1371/journal.pone.0097638
- Astorino, T. A., Schubert, M. M., Palumbo, E., Stirling, D., & Mcmillan, D. W. (2013). Effect of two doses of interval training on maximal fat oxidation in sedentary women. *Med Sci Sports Exerc*, *45*(10), 1878-1886. doi: 10.1249/MSS.0b013e3182936261
- Bagley, L., Slevin, M., Bradburn, S., Liu, D., Murgatroyd, C., Morrissey, G., ... & McPhee, J. S. (2016). Sex differences in the effects of 12 weeks sprint interval training on body fat mass and the rates of fatty acid oxidation and VO<sub>2</sub>max during exercise. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, *2*(1), e000056. doi: 10.1136/bmjsem-2015000056
- Barker, A. R., Day, J., Smith, A., Bond, B., & Williams, C. A. (2014). The influence of 2 weeks of low-volume high-intensity interval training on health outcomes in adolescent boys. *Journal of sports sciences*, *32*(8), 757-765. doi: 10.1080/02640414.2013.853132
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary Emphasis. *Sports medicine*, *43*(5), 313-338. doi: 10.1007/s40279-013-0029-x
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part II: Anaerobic Energy, Neuromuscular Load and Practical Applications. *Sports medicine*, *43*(10), 927-954. doi: 10.1007/s40279-013-0066-5
- Capostagno, B., & Bosch, A. (2010). Higher fat oxidation in running than cycling at the same exercise intensities. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, *20*(1), 44-55.
- Hetlelid, K. J., Plews, D. J., Herold, E., Laursen, P. B., & Seiler, S. (2015). Rethinking the role of fat oxidation: substrate utilisation during high-intensity interval training in well-trained and recreationally trained runners. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, *1*(1), e000047. doi: 10.1136/bmjsem-2015000047
- Hulston, C. J., Venables, M. C., Mann, C. H., Martin, C., Philp, A., Baar, K., & Jeukendrup, A. E. (2010). Training with low muscle glycogen enhances fat metabolism in well-trained cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *42*(11), 2046-2055. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181dd5070
- Islam, H., Townsend, L. K., & Hazell, T. J. (2016). Modified sprint interval training protocols. Part I. Physiological responses. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *42*(4), 339-346. doi: 10.1139/apnm-2016-0479
- Kelly, B., King, J. A., Goerlach, J., & Nimmo, M. A. (2013). The impact of high-intensity intermittent exercise on resting metabolic rate in healthy males. *European journal of applied physiology*, *113*(12), 3039-3047. doi: 10.1007/s00421-013-2741-5
- Perry, C. G., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2008). High-intensity aerobic interval training increases fat and carbohydrate metabolic capacities in human skeletal muscle. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *33*(6), 1112-1123. doi: 10.1139/H08-097

- Souza-Silva, A. A., Moreira, E., de Melo-Marins, D., Schöler, C. M., de Bittencourt Jr, P. I. H., & Laitano, O. (2016). High intensity interval training in the heat enhances exercise-induced lipid peroxidation, but prevents protein oxidation in physically active men. *Temperature*, 3(1), 167-175. doi: 10.1080/23328940.2015.1132101
- Spriet, L. L. (2011). Metabolic regulation of fat use during exercise and in recovery. *Nestlé Nutrition Institute Workshop Series*, 69(1), 39–53. doi: 10.1159/000329281
- Talanian, J. L., Holloway, G. P., Snook, L. A., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2010). Exercise training increases sarcolemmal and mitochondrial fatty acid transport proteins in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 299(2), E180-E188. doi: 10.1152/ajpendo.00073.2010.
- Tucker, W. J., Angadi, S. S., & Gaesser, G. A. (2016). Excess postexercise oxygen consumption after high-intensity and sprint interval exercise, and continuous steady-state exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(11), 3090-3097. doi: 10.1519/JSC.0000000000001399
- Wood, K. M., Olive, B., LaValle, K., Thompson, H., Greer, K., & Astorino, T. A. (2016). Dissimilar physiological and perceptual responses between sprint interval training and high-intensity interval training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(1), 244-250. doi: 10.1519/JSC.0000000000001042

