Rendimiento en *Laser Run*: recomendaciones prácticas para entrenadores basadas en una revisión narrativa

Performance in *Laser Run*: practical recommendations for coaches based on a narrative review

Roberto Sánchez-Gómez[1*]
[1]Doctor en Educación Física
*Autor para correspondencia: robertosanchezgomez@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.55166/reefd.v440i1.4508

RESUMEN
El *Laser Run* impone demandas antagónicas a los pentatletas al combinar carrera interválica de alta intensidad y tiro de precisión bajo fatiga. El objetivo de este estudio es sintetizar el conocimiento actual sobre sus determinantes fisiológicos, biomecánicos y técnicos para aportar recomendaciones prácticas a los entrenadores. Debido a la reciente incorporación de la modalidad y la escasez de literatura específica, se realizó una revisión narrativa en varias bases de datos. La búsqueda integró estudios específicos sobre *Laser Run* y se complementó con investigaciones de deportes afines, como el biatlón y el tiro de precisión, seleccionados mediante criterio experto para cubrir la brecha de conocimiento existente. El análisis evidencia que el rendimiento depende de la capacidad metabólica para tolerar altas concentraciones de lactato sin comprometer el control motor fino. Los hallazgos destacan que la fatiga afecta la estabilidad postural y aumenta el temblor; sin embargo, los atletas expertos mitigan estos efectos mediante estrategias de regulación autónoma y atención visual (*Quiet Eye*). Asimismo, se identifica que la consistencia en la cadencia de disparo y una adecuada estrategia de distribución del esfuerzo son predictores clave del éxito. Este apartado adopta la forma de aplicaciones prácticas centradas en el entrenamiento integrado de tiro bajo carga fisiológica, la consolidación de una cadencia rítmica, el fortalecimiento de la estabilidad postural y las habilidades perceptivas, cognitivas y emocionales. De este modo, esta revisión sistematiza la información dispersa para facilitar la transferencia de evidencia científica al ámbito del entrenamiento.
Palabras clave: Pentatlón Moderno; tiro; evento combinado; rendimiento deportivo

ABSTRACT
Laser Run imposes antagonistic demands on pentathletes by combining high-intensity interval running with precision shooting under fatigue. The aim of this study is to synthesize current knowledge regarding its physiological, biomechanical, and technical determinants in order to provide practical recommendations for coaches. Given the recent inclusion of this discipline and the limited availability of specific literature, a narrative review was conducted across multiple databases. The search incorporated studies specifically focused on laser run and was supplemented with research from related sports, such as biathlon and precision shooting, selected through expert judgment to address existing knowledge gaps. The analysis indicates that performance depends on the metabolic capacity to tolerate high lactate concentrations without compromising fine motor control. Findings highlight that fatigue impairs postural stability and increases tremor; however, expert athletes mitigate these effects through autonomic regulation strategies and visual attention control (Quiet Eye). Furthermore, consistency in shooting cadence and an effective pacing strategy are identified as key predictors of success. This section presents practical applications focused on the integrated training of shooting under physiological load, the consolidation of a rhythmic shooting cadence, and the

enhancement of postural stability as well as perceptual, cognitive, and emotional skills. In this way, the review systematizes dispersed evidence to facilitate the translation of scientific findings into training context.
Keywords: Modern Pentathlon; shooting, combined event; sport performance

INTRODUCCIÓN

El *Laser Run*, disciplina combinada que cierra la competición del pentatlón moderno, representa un desafío psico-fisiológico singular en el panorama deportivo. Esta prueba impone demandas únicas al pentatleta: debe alternar, sin pausa, episodios de carrera interválica de alta intensidad con secuencias de tiro de precisión con pistola láser. El rendimiento final no depende aisladamente de la capacidad física o técnica, sino de la habilidad para gestionar demandas antagónicas. Específicamente, el pentatleta debe modular la elevada carga metabólica y cardiovascular de la carrera para lograr, en cuestión de segundos, la estabilidad postural, la consistencia en la cadencia respiratoria y el control motor fino necesarios para el disparo. Todo ello se ejecuta bajo condiciones de fatiga acumulada progresiva. Esta capacidad de adaptación cobra mayor relevancia ante el continuo ajuste de las estrategias fisiológicas y técnicas de los pentatletas al que ha obligado la evolución reglamentaria de la disciplina (Tabla 1).

Tabla 1
Cambios reglamentarios del Laser Run en los Juegos Olímpicos. (T: Ronda de tiro).

JJOO	Secuencia	Límite temporal del tiro
Londres 2012	20m-T-1km-T-1km-T-1km	70”
Río 2016 **Tokio 2020**	20m-T-800m-T-800m-T-800m-T-800m	50”
París 2024	600m-T-600m-T-600m-T-600m-T-600m	
Los Ángeles 2028	20m-T-600m-T-600m-T-600m-T-600m-T-600m	

A pesar de la consolidación de esta modalidad en el programa olímpico y su creciente número de practicantes, la literatura científica sobre *Laser Run* resulta aún muy limitada en comparación con otras disciplinas deportivas. El cuerpo de conocimientos actual se encuentra fragmentado y carece de líneas sólidas de investigación o grupos de expertos especializados. Esta situación genera una "brecha de conocimiento" que dificulta a los entrenadores el acceso a materiales formativos fundamentados en la evidencia (Arias-Odón, 2025). Ante la escasez de estudios específicos, especialmente de carácter reciente, se hace necesario revisar la producción científica en el ámbito del pentatlón moderno. Además, resulta imprescindible integrar y transferir de forma crítica conocimientos de deportes afines que comparten componentes determinantes del rendimiento. El biatlón y el tiro de precisión constituyen ejemplos paradigmáticos de estas disciplinas relacionadas que pueden ayudar a construir un marco de referencia sólido para el *Laser Run*.

Por tanto, ante la necesidad de sistematizar la información dispersa, el objetivo de esta revisión narrativa es sintetizar el conocimiento científico actual sobre los determinantes fisiológicos, biomecánicos, estratégicos y técnicos del rendimiento en la prueba, con el objetivo

de sustentar y aportar recomendaciones prácticas que permitan a los entrenadores optimizar la preparación de los pentatletas.

MATERIALES Y MÉTODO

Diseño

El presente estudio es una revisión narrativa de la literatura científica. Este enfoque metodológico se seleccionó por su idoneidad para sintetizar conocimientos fragmentados y ofrecer una visión integradora en áreas donde la evidencia específica es escasa o heterogénea (Ferrari, 2015; Greenhalgh et al., 2018). A diferencia de las revisiones sistemáticas que buscan responder preguntas cerradas mediante protocolos rígidos, las revisiones narrativas permiten una interpretación experta y crítica de los hallazgos disponibles. Este enfoque facilita conectar evidencias dispersas y construir un marco conceptual útil para la práctica profesional (Arias-Odón, 2025).

Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva en las bases de datos Google Académico, PubMed, SciELO, ScienceDirect y SportDiscus. Para identificar la literatura específica, se emplearon los descriptores: "Evento combinado", "Laser Run" y "Pentatlón Moderno", tanto en español como en inglés, sin restricciones de fecha inicial debido a la reciente reglamentación de la disciplina (2009).

Criterios de selección y procedimiento

Justificación de la selección temporal y temática. La selección de estudios no se limitó por criterios temporales debido a la naturaleza emergente de la disciplina y la escasez de investigaciones disponibles. El *Laser Run* se incluye en el programa de los Juegos Olímpicos de 2012 como evento final del pentatlón moderno, un deporte con una trayectoria olímpica de más de un siglo, pero muy minoritario en cuanto a practicantes e impacto mediático. Por todo ello, no sorprende que el número de estudios publicados específicamente sobre esta modalidad sea reducido. En estos casos donde la evidencia primaria es escasa o dispersa, la función de la revisión narrativa es precisamente evidenciar una "brecha de conocimiento", priorizando la síntesis de la información disponible frente a la aplicación de criterios de exclusión arbitrarios (Arias-Odón, 2025). Por tanto, para garantizar la exhaustividad en un campo con literatura tan limitada, esta revisión ha incluido todos los estudios empíricos publicados sobre *Laser Run* hasta la fecha (2010-2025). Ante el reducido número de investigaciones disponibles, se amplió la revisión a deportes afines con el objetivo de enriquecer las recomendaciones prácticas.

Fases de selección. El proceso de recuperación y selección de fuentes se organizó en dos fases diferenciadas para garantizar la relevancia y la transferibilidad de los resultados:

1. **Fase específica (*Laser Run*):** Se incluyeron todos los estudios empíricos y teóricos centrados en el rendimiento, biomecánica, fisiología y aspectos técnico-tácticos, a partir de la consulta en las bases de datos Académico, PubMed, SciELO, ScienceDirect y SportDiscus empleando los términos "Evento combinado", "Laser Run" y "Pentatlón Moderno", en español e inglés. Esta búsqueda permitió detectar 21 estudios que constituyen el núcleo de la revisión.
2. **Fase complementaria (Deportes afines):** Para subsanar las "brechas de conocimiento" detectadas en la literatura específica, se amplió la búsqueda a disciplinas con demandas biomecánicas y fisiológicas transferibles. Se seleccionaron estudios sobre biatlón (2) y tiro de precisión con pistola (5), utilizando los términos "Tiro con pistola" y "Biatlón", en español e inglés. En esta fase se priorizaron artículos de revisión debido a la extensa y diversa producción científica en ambas disciplinas, así como sobre temáticas que son claramente vacíos actuales en la investigación sobre *Laser Run*.

Análisis y síntesis de la información La selección final de las fuentes dentro de estas fases se basó en la pertinencia temática y la calidad del aporte práctico, aplicando un criterio de selección experta validado para revisiones narrativas que buscan informar la práctica profesional (Ferrari, 2015; Greenhalgh et al., 2018). Este enfoque cualitativo permitió integrar la evidencia científica con la experiencia práctica del autor como deportista máster internacional, facilitando una síntesis interpretativa orientada a generar recomendaciones aplicables al entrenamiento de pentatletas de élite.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Adaptaciones fisiológicas, metabólicas y morfológicas en Laser Run: respuestas adaptativas a demandas de un esfuerzo interválico

El *Laser Run* presenta una elevada demanda cardiorrespiratoria debido a su carácter interválico. Durante la carrera, los pentatletas alcanzan valores cercanos o iguales al VO2máx, confirmando el predominio del metabolismo aeróbico (Le Meur et al., 2012; Lim, 2018). Durante el tiro, el consumo de oxígeno desciende aproximadamente al 65% del VO2máx, pero la frecuencia cardíaca (FC) se mantiene entre el 94% y 99% de la FC máxima, reflejando un estrés fisiológico considerable (Hoffmann, 2024).

Desde el punto de vista metabólico, el *Laser Run* demanda una importante participación glucolítica. Los pentatletas alcanzan valores de lactato cercanos a 13 mmol/l al finalizar la prueba (Singh et al., 2019; Le Meur et al., 2012), confirmando "la considerable contribución del metabolismo anaeróbico a pesar de su perfil principalmente aeróbico" (Singh et al., 2019:43). La persistente elevación de lactato durante el tiro indica que la recuperación es insuficiente para restaurar la homeostasis antes del siguiente segmento de carrera, provocando una acumulación progresiva de fatiga (Le Meur et al., 2012). Este tiempo de recuperación oscila entre 14 y 20 segundos (Park et al., 2020, 2022; Hoffman, 2014; Ünver et al., 2025).

Diversas investigaciones han analizado las adaptaciones fisiológicas, metabólicas y físicas de los pentatletas frente a las demandas del *Laser Run* (Hoffmann, 2024; Le Meur et al., 2012; Lim, 2018; Singh et al., 2019). El estudio de Ünver et al. (2025) confirma esta elevada demanda cardiovascular: los pentatletas mantienen una FC elevada durante la prueba (promedio de 166 ppm), sin que la fatiga afecte significativamente su precisión. Además, la FC se reduce durante las rondas de disparo, evidenciando un proceso adaptativo que facilita la gestión del estrés cardiovascular y las demandas técnicas de la prueba.

Otros trabajos han descrito perfiles adaptativos óptimos en pentatletas que favorecen el rendimiento: VO2máx de 60.79 ± 9.56 ml/kg/min, umbral anaeróbico de 82.61 ± 3.99 ml/kg/min, elevada masa muscular (33.8 ± 5.1 kg) y moderado porcentaje de grasa corporal (13.4 ± 5.3%) (Yoon, 2022). Hoffman (2020) complementa la evidencia de campo (Le Meur et al., 2012; Lim et al., 2018; Singh, 2019; Hoffman, 2024) al demostrar la capacidad de los pentatletas para mantener un control autónomo eficiente del sistema cardiovascular y respiratorio. Su estudio valida la fiabilidad de la FC, su variabilidad y la frecuencia respiratoria como variables para monitorear el estado fisiológico y la fatiga. Este control autónomo constituye una adaptación crucial ante las demandas intermitentes de alta intensidad del *Laser Run*.

Además de las adaptaciones fisiológicas y metabólicas, el rendimiento en *Laser Run* depende de capacidades físicas que involucran fuerza muscular, resistencia y agilidad. Los pentatletas presentan circunferencias musculares significativas en muslos y gemelos, reflejando notable fuerza y potencia, y sobresalen en pruebas de salto vertical, flexiones de brazos y resistencia muscular (Khidr, 2022). La importancia de este desarrollo físico integral se confirma con correlaciones significativas entre el resultado final en *Laser Run* y variables como la

capacidad pulmonar, la FC en reposo, el test de Course Navette y la potencia del salto vertical (Ko, 2021)

Control de la fatiga: la dosificación estratégica del esfuerzo para conservar la precisión

La distribución del esfuerzo es una habilidad táctica fundamental para optimizar el rendimiento en *Laser Run*. Esta gestión estratégica de la energía implica regular la velocidad en los distintos tramos de carrera, buscando equilibrar la fatiga física con el control motor necesario para mantener la precisión. El modelo ideal de distribución del esfuerzo se basa en estrategias de control cardiovascular y metabólico que mantienen velocidades elevadas de carrera sin comprometer la precisión en el tiro ni generar pérdidas excesivas de tiempo en el disparo, reservando energía suficiente para un potente tramo final.

El estudio de Le Meur et al. (2012), usando el formato inicial de 3×1 km, fue pionero en describir cómo la estrategia de distribución del esfuerzo varía según las condiciones: a) al ritmo habitual de competición, se observó un patrón con los dos primeros tramos a velocidades similares seguido de un aumento significativo en el tramo final (estrategia negativa); b) imponiendo un ritmo más elevado en los dos primeros tramos, la velocidad disminuyó marcadamente en el último (estrategia positiva). Los resultados mostraron que la manipulación del ritmo en los segmentos iniciales permite evaluar diferentes estrategias de *pacing* y su impacto sobre el rendimiento global. Aunque la consistencia del disparo varió, especialmente a alta velocidad de carrera, no se detectaron diferencias significativas en el resultado final. Esto sugiere que, si bien la regulación del esfuerzo es clave para gestionar las demandas fisiológicas, modificar el ritmo inicial no garantiza mejoras en el rendimiento, aunque puede afectar la estabilidad y precisión en el tiro. Por ello, la distribución óptima del esfuerzo es fundamental para gestionar la fatiga y permitir un tramo final rápido sin comprometer la precisión.

Estudios posteriores con el formato de 4×800 m (Kim et al., 2018; Lim et al., 2018), que compararon pentatletas de élite y no élite, identificaron un patrón de distribución del esfuerzo de tipo U: velocidad máxima en el primer tramo, disminución del ritmo en los dos tramos centrales y aumento final hasta recuperar valores cercanos a los iniciales. Respecto al tiro, ambos trabajos muestran que la distribución en U no provoca un deterioro significativo, aunque sí aparece una tendencia a menor precisión y mayor tiempo por disparo en la tercera ronda, seguida de una mejora significativa en la cuarta. Esta estrategia permite una gestión energética que combina un inicio rápido, un ritmo conservador en la parte central para controlar la fatiga y una aceleración final, evitando un desgaste prematuro que comprometa el rendimiento global.

Cadencia, consistencia y precisión con la pistola láser: factores clave para el rendimiento en el tiro

La cadencia de disparo es fundamental en *Laser Run*, donde se requiere equilibrio entre velocidad y precisión. Maddalena et al. (2020) identifican un punto crítico en esta cadencia, condicionado por la regla que exige tocar la mesa con la pistola tras cada tiro: disparar por debajo de 1,2 segundos/tiro provoca una pérdida significativa de precisión en pentatletas de élite. Sin embargo, disparar demasiado lento, aunque mejora la precisión, penaliza el tiempo total y afecta al resultado final. Por ello, cada pentatleta debe encontrar su ritmo óptimo según su nivel técnico (en la muestra investigada: 2,1 segundos a 10 metros en expertos y 2,7 segundos a 4 metros en inexpertos) que minimice el tiempo total para lograr los cinco aciertos, alcanzando así el "equilibrio necesario entre velocidad y precisión" (p. 46).

La consistencia temporal entre disparos es un factor asociado a la cadencia que ha interesado a los investigadores por su relevancia en el rendimiento. Mantener una cadencia óptima de forma estable se asocia directamente con mejores resultados en las rondas de tiro, ya que reduce los errores y ayuda a preservar la precisión ante el desgaste físico y la presión competitiva. Hoffmann (2024) destaca que la consistencia es la variable con mayor correlación

con el tiempo total de tiro (r = 0,77). Incluso con cadencias rápidas (2,4 segundos/tiro), los mejores tiradores mostraron una regularidad que reduce el tiempo total frente a la diana. Esta conexión entre consistencia y rendimiento se confirma en el amplio análisis de resultados oficiales de Park et al. (2022) y Kim y Park (2025) que, mediante técnicas de *machine learning*, demuestran la importancia de mantener un ritmo controlado y consistente durante toda la prueba.

Las interacciones entre cadencia, velocidad y precisión son esenciales para el rendimiento en tiro del *Laser Run*. Park et al. (2022) observaron una correlación moderada y positiva entre consistencia y velocidad (r = 0,36), lo que indica que los tiradores con cadencia más estable tienden también a disparar más rápido, es decir, un ritmo regular favorece sostener o incluso aumentar la velocidad del disparo. Por otro lado, la precisión tiende a disminuir ligeramente cuando aumentan la velocidad o la consistencia en la cadencia, pero este efecto es estadísticamente pequeño y no significativo. Estos hallazgos sugieren que optimizar la velocidad y mantener un ritmo constante no implica necesariamente un sacrificio importante en la precisión, permitiendo realizar disparos rápidos y regulares hasta cierto umbral óptimo sin comprometerla en exceso y favoreciendo así un mejor rendimiento global.

La variabilidad en la cadencia de disparo puede estar influenciada por la fatiga acumulada en las últimas rondas, un factor que, según Hoffmann (2024), tiende a incrementarla, aunque el nivel competitivo y la experiencia ayudan a mantener un disparo más consistente. Esta fatiga progresiva también se refleja en la pérdida gradual de precisión a lo largo de la competición. Como muestran Park et al. (2022), la cadencia disminuye conforme avanza la prueba, evidenciando el impacto acumulativo del esfuerzo físico y mental bajo condiciones de desgaste. La influencia de la fatiga en la variabilidad y precisión del disparo queda corroborada por estudios experimentales que manipulan la cadencia mediante un metrónomo (Maddalena et al., 2020). Los resultados muestran que alterar el ritmo ideal, ya sea por fatiga o por imposición externa, conlleva una reducción significativa de precisión, confirmando de nuevo que mantener un ritmo constante y acorde al nivel de habilidad es crucial para minimizar la pérdida de rendimiento a medida que avanza la prueba.

No obstante, algunas investigaciones difieren en esta cuestión. Kim et al. (2016) y Lim et al. (2018), trabajando con muestras reducidas de pentatletas expertos e inexpertos en el formato 4x800m, observaron mejor precisión en la última ronda. Ambos estudios muestran un patrón de rendimiento con pérdida progresiva de aciertos entre las primeras rondas y una recuperación en la cuarta y última, sugiriendo que en ciertos contextos o niveles individuales la capacidad para recuperar la precisión al final de la prueba puede ser un factor decisivo.

Algunos estudios determinan la importancia relativa de las rondas de tiro según su orden temporal, mostrando cómo la secuencia influye en la precisión y consistencia del disparo en diferentes fases de la competición. La cuarta ronda es la fase más determinante para explicar el tiempo total frente a la diana debido a la fatiga acumulada y la presión psicológica final, mientras que la primera ronda es esencial para establecer un buen rendimiento inicial, especialmente en pentatletas masculinos (Kim y Park, 2025; Park et al., 2022). La primera ronda se caracteriza por mayor consistencia y precisión, con menor variabilidad en los tiempos y una proporción superior de aciertos, mientras que la cuarta, aunque es la más lenta, mantiene niveles de precisión y consistencia comparables a las rondas intermedias pero inferiores a la inicial (Park et al., 2022). Estos hallazgos indican que gestionar eficientemente el estado físico y mental en las fases inicial y final es crucial para el desempeño óptimo en el disparo.

Temblor y estabilidad postural bajo fatiga: desafíos neuromusculares frente a la diana

Las investigaciones sobre el efecto de la fatiga en la precisión del tiro revelan interacciones complejas entre fatiga y mecanismos neuromusculares que regulan la estabilidad postural y el control motor fino en *Laser Run*. Bao et al. (2019) demuestran que el esfuerzo

físico incrementa el temblor fisiológico en el brazo, dificultando el control de la pistola y reduciendo significativamente la precisión. Hoffmann (2024) observa que la fatiga reduce la precisión cuando conlleva FC elevada y menor estabilidad postural, especialmente en el eje anteroposterior. Por tanto, en condiciones de alta fatiga, el mayor temblor muscular y la menor capacidad para mantener el equilibrio pueden superar los beneficios de la experiencia acumulada y el entrenamiento técnico. La fatiga afecta no solo a la musculatura postural, sino también a los procesos psicomotores responsables de la coordinación fina del disparo preciso, pudiendo amplificarse estos efectos en situaciones de presión competitiva o menor preparación. Además, las diferencias individuales, como el nivel de habilidad, la capacidad de recuperación cardiovascular y las estrategias de control emocional, pueden modular el efecto de la fatiga, generando respuestas diversas incluso bajo condiciones similares (Hoffmann, 2024).

Dadswell et al. (2013) compararon la puntuación, la estabilidad postural y el control del arma entre un grupo de tiradores de precisión y otro de pentatletas, bajo dos condiciones: tiro en formato de precisión y en el contexto del *Laser Run*. Sus hallazgos muestran mejores resultados en los tiradores expertos durante el tiro de precisión, gracias a su mayor estabilidad y menor movimiento de la pistola que los pentatletas. Sin embargo, estas diferencias desaparecen en el formato combinado, debido al mayor movimiento corporal y la pistola que provoca la fatiga y la necesidad de ejecución rápida. Estos resultados indican que la experiencia en tiro de precisión no garantiza un buen desempeño en las condiciones exigentes del evento combinado. Este hallazgo subraya la complejidad del impacto multifactorial de la fatiga sobre el rendimiento en *Laser Run*, destacando la necesidad de adaptación neuromuscular específica y entrenamiento focalizado en mantener la precisión y la estabilidad bajo condiciones de alta demanda fisiológica.

Sin embargo, Sadowska et al. (2019, 2020) observan que, aunque los pentatletas experimentan un notable deterioro del equilibrio en el primer tramo de carrera, la estabilidad postural se recupera en los tramos siguientes sin reducir el porcentaje de acierto. Dadswell et al. (2015) y Ünver et al. (2025) coinciden en que, pese al aumento de FC y lactato tras las fases de carrera, pentatletas entrenados mantienen la precisión de disparo en pruebas de campo y escenarios de laboratorio. Estos resultados indican que el sistema neuromuscular se adapta con el tiempo y la experiencia en competición es fundamental para mantener un rendimiento constante, incluso bajo elevados niveles de estrés fisiológico. En definitiva, la coexistencia de estos hallazgos, aparentemente contradictorios, sugiere que el impacto de la fatiga en la precisión del tiro depende tanto de factores fisiológicos como de la capacidad adaptativa y la experiencia competitiva del pentatleta.

Control visual y el fenómeno del "ojo quieto": la mirada que determina la puntería

El fenómeno del "ojo quieto" (*Quiet Eye*, QE) se refiere a la fijación ocular prolongada en un área crítica del objetivo justo antes y durante la ejecución de una acción motriz precisa, optimizando la percepción visual, la atención y la preparación motora para un desempeño óptimo en tareas que requieren alta precisión. Chirico et al. (2018) estudiaron por primera vez este fenómeno en el *Laser Run* utilizando un sistema de seguimiento ocular para registrar fijaciones visuales, sacadas (movimientos oculares rápidos entre puntos de fijación) y parpadeos en pentatletas expertos y principiantes durante el disparo. Los resultados confirmaron que los mejores tiros se distinguían por un inicio más temprano y una mayor duración del QE respecto a los peores. Sin embargo, expertos y novatos mostraron diferencias: los expertos iniciaban antes el QE y su duración total era menor, pero dispararon un 40% más rápido y con mayor precisión. Este hallazgo contradice la hipótesis de que la experiencia se asocia con duraciones prolongadas del QE, pero se explica por la naturaleza dual del *Laser Run* que exige al experto optimizar el tiempo total sin sacrificar la precisión mínima requerida (acierto dentro del anillo 7). Los expertos activan el QE anticipadamente y mantienen una duración suficiente,

aunque más corta que los novatos, para completar la tarea en el menor tiempo posible sin perder eficacia. Este estudio evidencia que la dinámica del ojo quieto en *Laser Run* refleja un balance entre programación motora y demandas contextuales, destacando el manejo temporal y atencional según el nivel de experiencia como factores clave del rendimiento.

Transferencia de conocimientos del biatlón y tiro de precisión al evento combinado del pentatlón moderno

La investigación específica es aún muy limitada y poco concluyente para repensar con rigor el entrenamiento de las nuevas demandas del *Laser Run*. Por ello, resulta razonable recurrir al conocimiento generado en el biatlón, dada su idéntica alternancia rápida de actividad cíclica intensa y tarea de precisión con alta exigencia de concentración y serenidad (Laaksonen et al., 2018). Asimismo, la amplia investigación sobre las modalidades de tiro de precisión con pistola puede servir de referencia para el entrenamiento perceptivo, postural y biomecánico del tiro en *Laser Run* (Dadswell et al., 2013). No obstante, sus peculiaridades frente al biatlón (p. ej., forma de desplazamiento, distancias más cortas, sin penalización de tiempo por errores, preparación combinada con otras disciplinas) o al tiro de precisión (p. ej., esfuerzo físico previo o diferente sistema de puntuación) exigen cautela con la transferencia del conocimiento adquirido.

En biatlón, los investigadores han analizado diversos factores que condicionan el rendimiento, incluyendo aspectos fisiológicos, biomecánicos, estratégicos, técnicos, psicológicos y sociales (Laaksonen et al., 2018). Un aspecto relevante ha sido el estudio de factores técnicos que afectan al resultado del tiro, como el equilibrio postural, estabilidad del rifle y control del gatillo, además de la influencia del esfuerzo previo sobre la regulación respiratoria y la fatiga, o las estrategias de distribución del esfuerzo para mantener la estabilidad neuromuscular necesaria para el disparo. Biatlón y *Laser Run* presentan similitudes en cuanto a requerimientos metabólicos, con intensidades que inciden en la estabilidad postural y el control fino del disparo. Asimismo, Heinrich et al. (2022) evidencian que el tiro "no se beneficia de la presencia de otros" (p. 2038), por lo que la copresencia de más deportistas durante el disparo puede aumentar la presión, provocando disparos más acelerados que disminuyan el acierto, sobre todo en el formato de *Laser Run* con salida simultánea.

El tiro olímpico con pistola puede realizar aportaciones valiosas para optimizar el gesto de tiro en *Laser Run.* El análisis biomecánico y fisiológico en esa modalidad permite identificar factores funcionales y físicos asociados al rendimiento, así como métodos de entrenamiento para mejorar la estabilidad técnica y el control neuromuscular. Los componentes técnicos como el control respiratorio, presión fina sobre el gatillo, colocación de los apoyos plantares y coordinación segmentaria han despertado gran interés por su relevancia en la precisión de los disparos (Olsson y Laaksonen, 2021). El estudio del patrón cinemático del gesto del tirador clarifica que las acciones musculares durante la subida, estabilización y disparo de la pistola requieren una activación coordinada para minimizar movimientos indeseados (Kim, 2016). Investigaciones adicionales revelan parámetros específicos de la condición física que contribuyen a la precisión, como la fuerza del core, de agarre y de abducción del hombro (Chen y Yue, 2023; Marković et al., 2020; Mon-López et al., 2019). Finalmente, el entrenamiento “en seco” mejora la precisión, respaldando la importancia de prácticas focalizadas en la estabilidad técnica y control neuromuscular sin necesidad de disparos reales (Salman y Hameed, 2023).

Aplicaciones prácticas para el entrenamiento de Pentatlón Moderno y *Laser Run*

El análisis de la literatura científica permite establecer recomendaciones prácticas para optimizar el rendimiento en *Laser Run*, estructuradas en tres dimensiones: a) preparación fisiológica y estratégica, b) dominio técnico del tiro bajo fatiga y c) desarrollo de habilidades perceptivas, cognitivas y emocionales.

Preparación fisiológica y gestión estratégica del esfuerzo acordes a las demandas específicas del Laser Run

Para afrontar las demandas metabólicas del *Laser Run*, se recomienda integrar series de alta intensidad (HIIT) combinadas con carrera continua, optimizando la tolerancia al lactato y la recuperación cardiovascular (Kim et al., 2016; Ko et al., 2021; Le Meur et al., 2012; Lim et al., 2018; Singh et al., 2019). Desde el punto de vista estratégico, es prioritario entrenar la dosificación del esfuerzo para mantener un ritmo óptimo en los segmentos de carrera y al acercarse a la zona de tiro, de forma que se reduzca el impacto sobre la precisión frente a la diana y se conserve energía para el tramo final (Dadswell et al., 2015; Kim et al., 2016).

Optimización técnica: cadencia, consistencia, sensibilidad con el gatillo y estabilidad postural y la pistola

El entrenamiento del tiro debe consolidar una cadencia de disparo rítmica y consistente, evitando disparos precipitados que reduzcan la precisión (Dadswell et al., 2013, 2015; Hoffmann, 2024; Kim et al., 2016; Lim et al., 2018; Park y Lee, 2020; Park et al., 2022). Para ello, los entrenadores pueden introducir tareas con metrónomos o sistemas de *feedback* que faciliten automatizar los intervalos entre disparos (Maddalena et al., 2020). Otra recomendación es entrenar la precisión y cadencia regular justo después de tareas de alta demanda cardiovascular y neuromuscular, con acumulación progresiva de fatiga, intensidad y duración similar a la competición, y variabilidad del entorno y condiciones ambientales (Dadswell et al., 2013; Hoffmann, 2024; Le Meur et al., 2010, 2012; Kim y Park, 2025; Laaksonen et al., 2018; Lim et al., 2018; Park et al., 2022; Ünver et al., 2025; Yoon et al, 2022). La cuarta ronda del disparo parece requerir una atención especial, por ejemplo, con simulaciones que reproduzcan las condiciones de presión y fatiga del contexto competitivo, priorizando estabilidad técnica y concentración (Kim et al., 2016; Kim y Park, 2025; Park et al., 2022).

La reducción del temblor inducido por la fatiga requiere practicar el tiro en reposo y desarrollar la coordinación neuromuscular y una activación eficiente y equilibrada de la musculatura que sostiene y estabiliza la pistola, prestando especial atención a la musculatura del hombro (agonista y antagonista), brazo y antebrazo, así como a su capacidad de fuerza isométrica en la posición de disparo (Dasdwell et al., 2015; Laaksonen et al., 2018; Marković et al., 2020; Mon-López et al., 2019). De forma complementaria, es fundamental trabajar la sensibilidad y el control del gatillo para minimizar movimientos involuntarios y desviaciones de la pistola en el momento del disparo. Para ello, se pueden utilizar tareas de entrenamiento "en seco" que trabajen una acción sobre el gatillo suave, progresiva y alineada con el eje de la pistola, elevación del vertical del brazo y postura corporal estable (Laaksonen et al., 2018; Olsson y Laaksonen, 2021; Salmana y Hameed, 2023).

La estabilidad postural está muy relacionada con la cadencia rítmica y la reducción del efecto negativo del temblor inducido por la fatiga. La principal recomendación es trabajar la conciencia y el control activo de la postura corporal, especialmente mediante la colocación y angulación correcta de los pies, para mejorar el equilibrio, minimizar las oscilaciones corporales y optimizar la coordinación entre cuerpo y pistola durante el disparo (Laaksonen et al., 2018; Sadowska et al., 2020). Además, el fortalecimiento muscular desempeña un papel relevante, particularmente de la musculatura del core, así como de la fuerza de agarre y del tren inferior (Hoffmann, 2024; Ko et al., 2021; Lim et al., 2018; Sadowska et al., 2020; Yoon, 2022). Finalmente, se recomienda incorporar ejercicios de equilibrio, propiocepción y control motor en superficies inestables y carácter excéntrico, vinculados a tareas de tiro en condiciones de fatiga similares a las de competición (Chen et al., 2023; Dadswell et al., 2013; Sadowska et al., 2019; Yoon, 2022). Para identificar aspectos técnicos prioritarios e individuales de cada pentatleta, el uso de inteligencia artificial y análisis avanzados de datos (SHAP, XGBoost)

facilita detectar las variables de tiro que más reducen el rendimiento, lo que permite focalizar en su mejora (Kim y Park, 2018).

Mejora de habilidades perceptivas, cognitivas y emocionales

La presencia simultánea de tiradores en la zona de tiro puede incrementar la presión psicológica y afectar negativamente al rendimiento. Por ello, se recomienda desarrollar habilidades de concentración y estrategias efectivas de control emocional que permitan mantener la precisión bajo presión social propia de la competición, por ejemplo, introduciendo simulaciones que reproduzcan estas condiciones de copresencia (Heinrich et al., 2022).

El control del fenómeno del "ojo quieto" (*Quiet Eye*, QE) constituye un aspecto fundamental del entrenamiento perceptivo en *Laser Run*. Una recomendación es entrenar su anticipación mediante tareas y estrategias que favorezcan la fijación inmediata y rutinaria en la mira delantera, como contar regresivamente tres segundos antes de levantar la pistola para anticipar mentalmente el enfoque sobre el guion (Chirico et al., 2018). Otra propuesta es optimizar la duración del QE en función de las demandas de velocidad y precisión del *Laser Run* y del nivel del tirador. Para ello, se pueden emplear tareas específicas como disparar con distintos intervalos de QE para identificar la ventana óptima individual, realizar simulaciones con retroalimentación inmediata (por ejemplo, "disparaste demasiado rápido") para ajustar el tiempo de fijación, o analizar en vídeo la secuencia de disparo para autocorregir y personalizar la duración efectiva (Chirico et al., 2018). Se recomienda también alternar las exigencias en la práctica del QE, combinando rondas con prioridad en precisión máxima y QE prolongado bajo baja presión, con otras de menor duración de QE ejecutadas bajo mayor presión temporal y fatiga, para consolidar un equilibrio funcional adaptado a las demandas específicas del *Laser Run* (Chirico et al., 2018).

De forma complementaria, es importante potenciar estrategias visuales y de atención focalizada que fortalezcan la puntería bajo presión mediante ejercicios que simulen condiciones competitivas. Estas prácticas pueden incluir focalización sostenida en el guion con distracciones controladas, entrenamiento en respiración y control emocional previo al disparo, consolidación de rutinas pre-tiro para estabilizar la atención, y ejercicios de respuesta a estímulos visuales y auditivos que refuercen la concentración en situaciones de estrés (Chirico et al, 2018; Laaksonen et al., 2018). Para monitorizar y mejorar estos aspectos, resulta útil utilizar herramientas de seguimiento ocular que permitan evaluar objetivamente la duración y calidad del foco visual durante el disparo (Chirico et al., 2018).

CONCLUSIONES

Esta revisión narrativa permite dar respuesta al objetivo de sintetizar los determinantes del rendimiento en *Laser Run* para fundamentar la intervención de los entrenadores. Del análisis de la literatura se concluye que el éxito en esta disciplina no depende de la suma aislada de capacidades, sino de la integración eficiente de al menos tres dimensiones fundamentales:

1. Dimensión fisiológica y estratégica: La capacidad del pentatleta para tolerar una elevada carga metabólica y, simultáneamente, aplicar una regulación inteligente del esfuerzo (*pacing*) que preserve la motricidad fina necesaria para el tiro.

2. Dimensión técnica: La consolidación de una mecánica de disparo caracterizada por la estabilidad postural y, sobre todo, por la consistencia rítmica en la cadencia, factores que se revelan como predictores del rendimiento más robustos que la velocidad de ejecución pura.

3. Dimensión perceptiva-cognitiva-emocional: La eficiencia en el control de la atención visual (*Quiet Eye*) y la regulación emocional para neutralizar la presión derivada de la copresencia de rivales y mantener la precisión bajo fatiga.

En definitiva, este trabajo ordena la evidencia dispersa de una modalidad emergente, con la intención de cubrir la brecha de conocimiento existente y proponer recomendaciones basadas en la investigación para que los entrenadores puedan mejorar los procesos de entrenamiento.

Limitaciones

Aunque esta revisión aporta una síntesis necesaria para la práctica, presenta limitaciones inherentes a su diseño y a la naturaleza de la literatura disponible. En primer lugar, la metodología de revisión narrativa conlleva un grado de subjetividad en la selección y análisis de las fuentes, al depender del criterio experto del investigador para integrar información heterogénea y cubrir vacíos temáticos, un rasgo característico de este diseño cualitativo (Arias-Odón, 2025; Ferrari, 2015; Greenhalgh et al., 2018).

Respecto a la evidencia analizada, se identifican las siguientes limitaciones específicas:

a) Evolución reglamentaria: La coexistencia de estudios realizados bajo distintos formatos de competición (véase Tabla 1) dificulta la extrapolación directa de los hallazgos sobre *pacing* y gestión de la fatiga al nuevo formato propuesto para LA2028.

b) Muestras reducidas: La mayoría de los estudios disponibles cuentan con un tamaño muestral pequeño, lo que limita la generalización estadística de los resultados, aunque permite una comprensión de casos de alto nivel.

c) Escasez de literatura específica: La corta vida del *Laser Run* como modalidad deportiva aconseja integrar conocimientos de deportes afines (biatlón y tiro) para reforzar las recomendaciones y suplir vacíos de la escasa investigación realizada, lo que limita la transferencia.

d) Heterogeneidad metodológica: La variabilidad en las condiciones de estudio (pruebas de laboratorio vs. competiciones simuladas u oficiales) complica la comparación directa de los datos fisiológicos y de rendimiento.

e) Ausencia de estudios longitudinales: La falta de seguimiento a largo plazo dificulta validar la eficacia de las propuestas de entrenamiento a lo largo de la carrera deportiva de los pentatletas.

Por lo tanto, las recomendaciones derivadas de esta revisión deben trasladarse con cautela y adaptarse al contexto competitivo vigente. Estas limitaciones subrayan la necesidad de futuras investigaciones empíricas centradas en el nuevo formato olímpico para consolidar la base científica del entrenamiento en *Laser Run*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias-Odón, F. (2025). El artículo de revisión narrativa: nivel de evidencia y validez científica. Revisión semi-sistemática. *e-Ciencias de la Información*, *15*(1). https://doi.org/10.15517/eci.v15i1.59584

Bao, D., Chen, Y., Yue, H., Zhang, J., Hu, Y., & Zhou, J. (2019). The relationship between multiscale dynamics in tremulous motion of upper limb when aiming and aiming performance in different physical load conditions. *Journal of Sports Sciences*, *37*(22), 2625-2630. https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1651591

Chen, T., & Yue, J. (2023). Reflections of functional training on shooters'grip stability. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, *29*, e2022_0674. https://doi.org/10.1590/1517-8692202329012022_0674

Chirico, A., Fegatelli, D., Galli, F., Alivernini, F., Cordone, S., Giamcamilli, F., Pecci, S., Tosi, G., Giordano, A. & Massaro, M. (2019). A study of quiet eye's phenomenon in the shooting section of Laser Run of modern pentathlon. *Journal of cellular physiology*, *234*(6), 9247-9254. https://doi.org/10.1002/jcp.27604

Dadswell, C. E., Payton, C., Holmes, P., & Burden, A. (2013). Biomechanical analysis of the change in pistol shooting format in modern pentathlon. *Journal of sports sciences*, *31*(12), 1294-1301. https://doi.org/10.1080/02640414.2013.777762

Dadswell, C., Payton, C., Holmes, P., & Burden, A. (2016). The effect of time constraints and running phases on combined event pistol shooting performance. *Journal of Sports Sciences*, *34*(11), 1044-1050. https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1088163

Ferrari, R. (2015). Writing narrative style literature reviews. *Medical Writing, 24 (4), 230–235*. https://doi.org/10.1179/2047480615Z.000000000329

Greenhalgh, T., Thorne, S., & Malterud, K. (2018). Time to challenge the spurious hierarchy of systematic over narrative reviews?. *European journal of clinical investigation*, *48*(6), e12931. https://doi.org/10.1111/eci.12931

Heinrich, A., Köhler, H., Müller, F., Stoll, O., & Cañal-Brulan, R. (2022). The impact of co-acting competitors on shooting performance in elite biathletes. *Journal of sports sciences*, *40*(18), 2028-2036. https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2127514

Hoffmann, B., Flatt, A., Silva, L., Młyńczak, M., Baranowski, R., Dziedzic, E., Werner, B. & Gąsior, J. (2020). A pilot study of the reliability and agreement of heart rate, respiratory rate and short-term heart rate variability in elite modern pentathlon athletes. *Diagnostics*, *10*(10), 833. https://doi.org/10.3390/diagnostics10100833

Hoffmann, C. (2024). Factors affecting shooting performance in Laser Run. *Journal of Science in Sport and Exercise*, *6*, 1-9. https://doi.org/10.1007/s42978-024-00286-9

Kim, J., & Park, J. (2025). Applying machine learning for analyzing shooting importance in modern pentathlon. *Applied Sciences*, *15*(17), 9378. https://doi.org/10.3390/app15179378

Kim, M. S. (2016). The kinematic factors of physical motions during air pistol shooting. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *26*(2), 197-204. https://doi.org/10.5103/KJSB.2016.26.2.197

Kim, Y.S., Yoon, J., & Hur, S. (2016). Comparison of new combined event performance by pentathletes using GPS. *Exercise Science*, *25*(4), 282–287. https://doi.org/10.15857/ksep.2016.25.4.282

Ko, B., Cho, E., Chae, J., & Lee, J. (2021). Relative contribution among physical fitness factors contributing to the performance of modern pentathlon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(9), 4880. https://doi.org/10.3390/ijerph18094880

Laaksonen, M., Finkenzeller, T., Holmberg, H. C., & Sattlecker, G. (2018). The influence of physiobiomechanical parameters, technical aspects of shooting, and psychophysiological factors on biathlon performance: a review. *Journal of sport and health science*, *7*(4), 394-404. https://doi.org/10.1016/j.jshs.2018.09.003

Le Meur, Y., Bernard, T., Dorel, S., Abbiss, C., Honnorat, G., Brisswalter, J., & Hausswirth, C. (2012). Physiological demand and pacing strategy during the new combined event in elite pentathletes. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(7), 2583–2593. https://doi.org/10.1007/s00421-011-2235-2

Le Meur, Y., Hausswirth, C., Dorel, S., Baup, Y. & Brisswalter, J. (2010). Performance factors in the new combined event of modern pentathlon. *Journal of Sports Sciences*, *28*(10), 1111–1116. https://doi.org/10.1080/02640414.2010.497816

Lim, C.H., Kim, Y.S., Yoon, J., & Hur, S. (2018). An analysis of the performance determinants of modern pentathlon athletes in laser-run, a newly-combined event in modern pentathlon. *Korean Journal of Sport Science*, 27(1), 62–70. https://doi.org/10.15857/ksep.2018.27.1.62

Maddalena, T., Bacot, V., Cohen, C., & Clanet, C. (2020, Junio). Optimal shooting cadence in the laser-run trial of modern pentathlon. In Proceedings, *49*(1), 46. MDPI. https://doi.org/10.3390/proceedings2020049046

Marković, S., Dopsaj, M., Umek, A., Prebeg, G., & Kos, A. (2020). The relationship of pistol movement measured by a kinematic sensor, shooting performance and handgrip strength. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, *20*(6), 1107-1119. https://doi.org/10.1080/24748668.2020.1833624

Mon-López, D., Zakynthinaki, M., Cordente, C., & García-González, J. (2019). The relationship between pistol Olympic shooting performance, handgrip and shoulder abduction strength. *Journal of Human Kinetics*, *69*, 39.

Olsson, E., & Laaksonen, M. (2021). Key technical components for air pistol shooting performance. *International journal of performance analysis in sport*, *21*(3), 348-360. https://doi.org/10.1080/24748668.2021.1891820

Park, J., & Lee, S. (2020). The analysis of game outcomes based on UIPM shooting match data in the modern pentathlon. *Journal of Digital Convergence*, *18*(6), 523-529. https://doi.org/10.14400/JDC.2020.18.6.523

Park, J., Lee, S., & Chun, S. (2022). Relationship between accuracy, speed, and consistency in a modern pentathlon shooting event. *Applied Sciences*, *12*(15), 7852. https://doi.org/10.3390/app12157852

Sadowska, D., Lichota, M., Sacewicz, T., & Krzepota, J. (2019). Influence of running phases on the postural balance of modern pentathlon athletes in a laser run event. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(22), 4440. https://doi.org/10.3390/ijerph16224440

Sadowska, D. Lichota, M., Sacewicz, T., & Krzepota, J. (2020). Is there a correlation between postural balance and pistol shooting performance in laser run event? *Acta Kinesiologica, 14*(1), 59-63.

Salmana, T., & Hameed, G. (2023). The effect of a dry training program using aids on the results of error measures and the effect size on the air pistol accuracy of correction. *Journal of Aeronautical Materials*, *43*(2), 357-366.

Singh, P., Fry, A. & Hines, S. (2019). Heart rate and blood lactate analysis after Laser Run in pentathletes. *Sports Medicine Journal*, *4*(2), 41-44.

Ünver, M., Cengizel, E., Pekel, H., Pekel, A. & Çakır, V. (2025). The impact of fatigue and different environmental conditions on heart rate responses and shooting accuracy during laser run event in elite modern pentathletes. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *17*(1), 51. https://doi.org/10.1186/s13102-025-01103-8

Yoon, J.R. (2022). Physiological profiles and performance characteristics of modern pentathletes. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, *10*(1), 104–111. https://doi.org/10.13189/saj.2022.100115