

TRABAJO FIN DE GRADO

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: “EFECTOS ERGOGÉNICOS DE LA SUPLEMENTACIÓN CON CAFEÍNA EN EL RENDIMIENTO DE ATLETAS DE RESISTENCIA”



Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte
Universidad Miguel Hernández de Elche

Alumno: Iván Lozano Salvador

Tutor académico: Enrique Roché Collado

Curso académico: 2025-2026

ÍNDICE

CONTEXTUALIZACIÓN.....	3
1.1. FUNDAMENTO	4
1.2. OBJETIVOS	5
PROCEDIMIENTO DE LA REVISIÓN (METODOLOGÍA)	5
2.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	5
2.2. CRITERIOS DE BÚSQUEDA.....	6
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (DESARROLLO)	8
3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS	8
3.2. RESULTADO DE LOS ESTUDIOS.....	11
DISCUSIÓN.....	13
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN: EFECTO DE LA CAFÉINA SOBRE LOS PICOS DE POTENCIA EN CICLISTAS SOMETIDOS A UNA DIETA CETOGENICA HIPOCALÓRICA EN PRETEMPORADA	14
5.1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	14
5.2. DISEÑO DEL ESTUDIO Y METODOLOGÍA	14
5.3. FASES DE LA INTERVENCIÓN.....	15
5.4. EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS.....	15
BIBLIOGRAFÍA	15



1. CONTEXTUALIZACIÓN

Hoy en día, los deportes de resistencia como el ciclismo de ruta y el triatlón continúan experimentando un crecimiento exponencial. Tras el parón provocado por la pandemia global, los reportes más recientes muestran un auténtico efecto rebote en la participación, superando los 120.000 triatletas activos solo en regiones de referencia como Reino Unido, y con cifras récord en franquicias como IRONMAN, destacando un aumento significativo en la participación de mujeres y atletas jóvenes menores de 30 años. La participación en estas pruebas de larga distancia expone al organismo a exigencias fisiológicas extremas.

Para hacer frente a estas demandas, retrasar la fatiga y optimizar las marcas, la gran mayoría de estos deportistas recurren a estrategias nutricionales y ayudas ergogénicas. Entre ellas, la cafeína (1,3,7-trimetilxantina) se ha consolidado como una de las sustancias más utilizadas y respaldadas en el ámbito deportivo (Guest et al., 2021). Su principal mecanismo de acción radica en el sistema nervioso central, donde actúa como antagonista de los receptores de adenosina. Esta intervención inhibe las señales de cansancio y produce su efecto más beneficioso: una notable disminución de la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE), permitiendo al atleta mantener intensidades elevadas durante más tiempo (Guest et al., 2021).

Se ha demostrado que el uso estratégico de la cafeína en periodos competitivos ofrece grandes beneficios, como la mejora en pruebas contrarreloj y el aumento del tiempo hasta el agotamiento. Sin embargo, también presenta contras significativos si no se pauta correctamente, pudiendo generar molestias gastrointestinales graves, taquicardia o alteraciones del sueño. Por ello, su eficacia depende de la precisión en su aplicación, situándose la dosis óptima entre los 3 y 6 mg por kilogramo de peso corporal, y siendo crucial un timing de ingesta de unos 60 minutos antes del esfuerzo (Guest et al., 2021).

Así mismo, los efectos de esta ayuda ergogénica no actúan de forma aislada, sino que están estrechamente ligados a la pauta dietética del deportista. Revisiones sistemáticas y metaanálisis recientes han demostrado que existe una gran sinergia en la mejora del rendimiento cuando la suplementación con cafeína se acompaña de estrategias nutricionales con una alta disponibilidad de carbohidratos intra-entreno, logrando un efecto ergogénico aditivo superior al de su consumo aislado (López-Seoane et al., 2022). Por tanto, la alta prevalencia de consumo de cafeína en el pelotón ciclista y entre triatletas, sumado a la estrecha línea que separa el máximo beneficio ergogénico del efecto adverso provocado por un protocolo inadecuado, constituyen los principales motivos que fundamentan la necesidad de actualizar, analizar y unificar la evidencia científica reciente sobre su uso óptimo en estas disciplinas.

1.1. FUNDAMENTO

Este Trabajo Fin de Grado nos plantea varias preguntas que se resolverán en el desarrollo que se muestra a lo largo de esta revisión: ¿Cuál es el protocolo óptimo de suplementación con cafeína para maximizar el rendimiento en deportes de resistencia de larga duración? ¿Qué factores individuales alteran su eficacia y cómo podemos prevenir sus efectos adversos durante la competición?

La cafeína es una ayuda ergogénica con un fuerte respaldo científico de nivel A, ampliamente utilizada para la mejora del rendimiento físico y cognitivo inducido por el ejercicio. Su efecto principal se basa en el antagonismo de los receptores de adenosina en el sistema nervioso central, lo que retrasa la fatiga y disminuye la percepción del esfuerzo (Guest et al., 2021). Su consumo es una práctica muy común, especialmente en deportistas expuestos a pruebas de larga duración como ciclistas de ruta y triatletas. De hecho, estudios recientes sobre estrategias de suplementación indican que el 85% de los atletas de resistencia son consumidores habituales de cafeína, siendo su uso pre y durante la competición una estrategia fundamental tanto en atletas profesionales como recreacionales para mejorar el rendimiento deportivo (Jo et al., 2022).

Además, a pesar de que sus beneficios generales están bien documentados, aún existen controversias sobre la variabilidad interindividual en la respuesta a la cafeína, presentando una etiología multifactorial en la que influyen diversas variables. Sin embargo, solo algunas de ellas tienen la suficiente evidencia como para ser tomadas en cuenta a la hora de pautar una suplementación. Algunos de estos elementos se dividen en factores intrínsecos (el sexo, el peso corporal y, muy especialmente, la genética. Concretamente, metaanálisis recientes han demostrado que el polimorfismo del gen CYP1A2 divide a los atletas y modula el efecto ergogénico: los portadores del alelo A —metabolizadores rápidos— experimentan grandes mejoras, mientras que los portadores del alelo C —metabolizadores lentos— pueden no obtener beneficios e incluso empeorar su rendimiento) y factores extrínsecos (como la dosis, el formato y el timing de ingesta) (Barreto et al., 2024).

Según Guest et al. (2021), otros factores de riesgo que pueden involucrar una mala pauta de cafeína incluyen la aparición de efectos secundarios limitantes para el rendimiento, como el malestar gastrointestinal agudo, taquicardias, sobreestimulación y alteraciones en la calidad del sueño post-competición, especialmente cuando se superan las dosis de 6 a 9 mg/kg de peso corporal.

Un factor integrador muy importante que está relacionado con el desarrollo del máximo potencial de esta ayuda ergogénica consiste en la sinergia nutricional. La cafeína no actúa en solitario, y revisiones sistemáticas y metaanálisis actuales han confirmado que la ingesta conjunta de cafeína y carbohidratos (CHO) produce un efecto ergogénico aditivo y superior al de los carbohidratos de forma aislada. Esta co-ingestión no solo retrasa la fatiga y mejora las marcas de tiempo, sino que favorece las respuestas metabólicas intra-entrenamiento en etapas de resistencia (López-Seoane et al., 2022).

Centrándonos en el apartado de la aplicación práctica, Martins et al. (2020) exponen que la personalización del protocolo de suplementación en la precompetición tiene un efecto protector frente a los efectos secundarios y maximizador del rendimiento. Este tipo de personalización consiste en un programa que integra pruebas de tolerancia en entrenamientos previos, ajuste de la dosis a 3-6 mg/kg, y la sincronización de la toma entre 45 y 60 minutos antes de los momentos de mayor exigencia física (como un puerto de montaña en ciclismo o la transición a la carrera a pie en triatlón).

1.2. OBJETIVOS

Respecto a los objetivos que se pretenden cumplir en este trabajo tenemos:

Conocer los mecanismos fisiológicos y los factores individuales (como la genética o la habituación) que determinan el efecto ergogénico y la tolerancia a la cafeína en deportistas de resistencia (ciclistas de ruta y triatletas).

Investigar sobre las estrategias de suplementación óptimas avaladas por la ciencia, analizando las dosis, el timing y los formatos de ingesta para maximizar el rendimiento físico y prevenir la aparición de efectos adversos limitantes.

Plantear una propuesta de intervención nutricional práctica y segura que integre el uso de la cafeína con pautas dietéticas complementarias (como la disponibilidad de carbohidratos) durante los periodos competitivos de larga duración.

2. PROCEDIMIENTO DE LA REVISIÓN (METODOLOGÍA)

La metodología empleada para la realización de la revisión bibliográfica se ha estructurado en función de las directrices de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) con el fin de recoger información acerca de los efectos ergogénicos de la cafeína en atletas de resistencia.

Se realizó una búsqueda de la literatura desde febrero hasta abril de 2026. Para llevar a cabo la investigación se buscó información en las siguientes bases de datos: Science Direct y PubMed, sumado a la búsqueda manual de reportes oficiales de la industria deportiva.

2.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Criterios de inclusión: en cuanto a la fecha de publicación, debían estar situados entre el año 2020 y 2026 ya que lo que se busca es información lo más actualizada posible. Respecto al idioma, los artículos debían estar publicados en español y/o inglés. También, eran artículos que incluían en sus estudios intervenciones, revisiones o reportes demográficos en una población determinada, en este caso, en ciclistas de ruta, triatletas o deportistas de resistencia, con el objetivo de analizar los efectos de la suplementación con cafeína y la evolución de estas disciplinas.

Criterios de exclusión: si los artículos eran anteriores al año 2020 y en un idioma diferente al inglés y español, si no correspondían a los objetivos que se plantean en este trabajo (por ejemplo, deportes exclusivos de fuerza o potencia) y población no humana (modelos animales in vivo o in vitro). También fueron excluidos los artículos que administraban la cafeína junto a otras sustancias estimulantes que enmascaran su efecto (salvo los carbohidratos) y los artículos no revisados o sin rigor institucional.

2.2. CRITERIOS DE BÚSQUEDA

Se llevó a cabo una búsqueda a través de palabras clave en inglés como son "caffeine", "endurance", "cycling", "triathlon" y "performance" y se iban combinando con los operadores AND, OR.

Como en cada base de datos es diferente, en la siguiente tabla (Tabla 1) se muestran las estrategias de búsqueda empleadas en cada una de ellas.

Tabla 1 Estrategias de búsqueda empleadas

BASE DE DATOS	AÑO	ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA
Science Direct	2020-2026	Caffeine AND (cycling OR triathlon) AND performance
PubMed	2020-2026	Caffeine, cycling, triathlon, performance

Para la primera búsqueda se obtuvieron diferentes resultados dependiendo de la base de datos utilizada, quedando así:

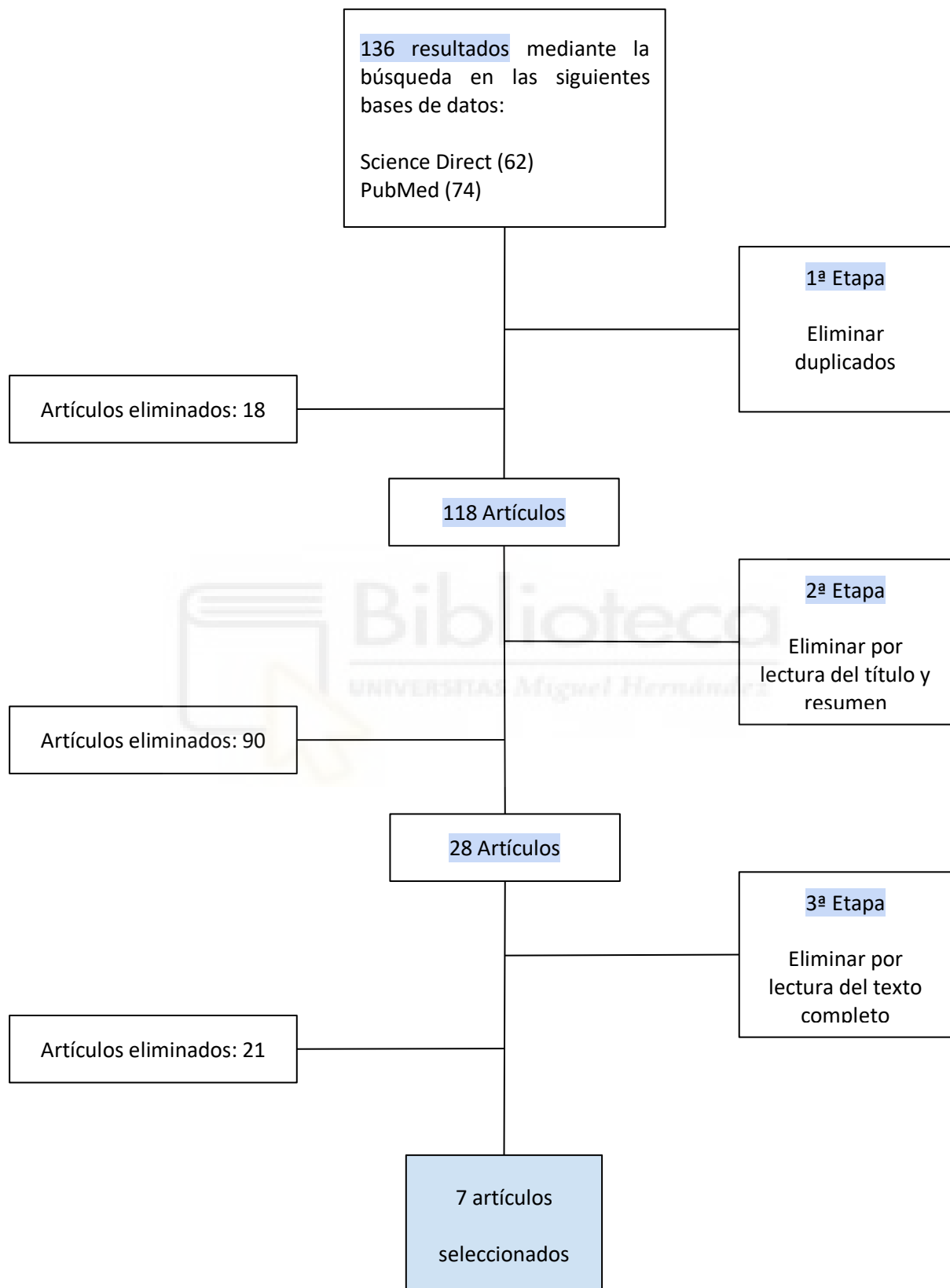
En PubMed se mostraron un total de 74 resultados.

En Science Direct aparecieron un total de 62 resultados.

Haciendo una síntesis y recopilación de ambas bases de datos, el número inicial de registros identificados fue de 136 resultados. A partir de aquí, el proceso de selección se dividió en tres etapas. En la primera etapa (identificación), se eliminaron los artículos duplicados entre ambas bases de datos, descartando un total de 18 registros. En la segunda etapa (cribado), se procedió a la lectura del título y resumen de los 118 artículos restantes, de los cuales 90 fueron eliminados por no cumplir claramente los criterios de inclusión (estudios en animales, otros deportes, etc.). Finalmente, en la tercera etapa (elegibilidad), se evaluaron a texto completo los 28 artículos restantes, descartando 21 de ellos por razones metodológicas. De este modo, quedaron finalmente 7 artículos científicos para la selección y desarrollo de este trabajo.

El procedimiento que se siguió para la búsqueda, selección y cribado de los resultados se muestran en la Figura 1, donde se pueden diferenciar las tres etapas.

Figura 1 Esquema-síntesis de la recopilación de las bases de datos



3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (DESARROLLO)

En el presente apartado se exponen los detalles más destacados de los 7 artículos científicos seleccionados tras el proceso de cribado metodológico. Con el fin de facilitar la comprensión y dar cumplimiento a los criterios de la revisión, en primer lugar se presenta una tabla de extracción de datos detallando los objetivos, metodología, muestra, instrumentos y conclusiones de cada investigación. Posteriormente, se desarrolla la "historia del problema abordado", construyendo el hilo narrativo que conecta estos hallazgos.

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS

En la siguiente tabla (tabla 2) se muestran las diferentes características de los estudios.

Tabla 2 Características de los estudios analizados

Estudio (Autor, Año)	Objetivo del estudio	Metodología	Participantes y duración	Resultados / Conclusiones
Guest et al. (2021)	Establecer el consenso oficial y actualizado sobre la eficacia y seguridad de la cafeína en el deporte.	Revisión paraguas (<i>Umbrella review</i>) y posicionamiento oficial avalado por la ISSN.	Participantes: Muestra global de literatura (miles de deportistas). Duración: Análisis de intervenciones agudas previas al ejercicio.	Conclusión: Dosis de 3-6 mg/kg mejoran el rendimiento, retrasan la fatiga y disminuyen el RPE. Dosis altas (≥ 9 mg) no aportan beneficios y generan efectos adversos.

Chen et al. (2024)	Evaluar el efecto directo de la ingestión de cafeína en el rendimiento de pruebas contrarreloj exclusivas en ciclistas.	Revisión sistemática y Metaanálisis de Ensayos Controlados Aleatorizados (ECA).	Participantes: Cientos de ciclistas (muestra agrupada de los ECA). Duración: Pruebas agudas contrarreloj (<i>Time Trial</i>).	Conclusión: La cafeína en dosis moderadas aumenta significativamente la Potencia Media (MPO) y acorta los tiempos de finalización frente a placebo.
Barreto et al. (2024)	Determinar la influencia del genotipo CYP1A2 en el efecto ergogénico de la cafeína sobre el rendimiento físico.	Revisión sistemática y Metaanálisis de estudios genéticos.	Participantes: Atletas de resistencia sometidos a pruebas de genotipado (ADN). Duración: Intervenciones agudas de rendimiento.	Conclusión: El genotipo AA (metabolizadores rápidos) mejora su rendimiento de forma consistente; los genotipos AC/CC no mejoran o sufren efectos ergolíticos.
López-Seoane et al. (2022)	Analizar la sinergia metabólica de la co-ingestión de cafeína junto con carbohidratos (CHO) durante el ejercicio.	Revisión sistemática con Metaanálisis.	Participantes: Atletas de resistencia y triatletas. Duración: Pruebas de resistencia prolongada (>1h).	Conclusión: La co-ingestión genera un efecto ergogénico aditivo superior, aumentando la asimilación y oxidación de glucosa exógena en el intestino.

Xue et al. (2025)	Comparar la eficacia de diferentes dosis y formatos de administración de cafeína (chicles vs. cápsulas/líquido).	Revisión sistemática y Metaanálisis en red (<i>Network Meta-analysis</i>).	Participantes: Deportistas evaluados bajo distintos formatos de suplementación. Duración: Absorción aguda (10 a 60 min) e impacto en carrera.	Conclusión: Ambos son efectivos, pero el chicle permite una absorción mucosa ultrarrápida (10-15 min), ofreciendo ventajas tácticas y evitando molestias estomacales.
Jo et al. (2022)	Identificar y resumir las estrategias prácticas y epidemiología del consumo de cafeína en atletas reales.	Revisión narrativa centrada en estrategias y encuestas de prevalencia.	Participantes: Población general de atletas de resistencia aficionados y de élite. Duración: Análisis de rutinas de consumo pre y durante competición.	Conclusión: Un 85% de los atletas la consume. Se aconseja dividir las dosis (protocolo escalonado) en pruebas de ultra-resistencia para mantener la efectividad.
Martins et al. (2020)	Proponer direcciones futuras y evidenciar la necesidad de protocolos personalizados de toma de cafeína.	Revisión crítica y teórica de la literatura (Artículo de opinión/perspectiva).	Participantes: No aplica muestra directa (análisis cualitativo de la variabilidad interindividual). Duración: Planteamientos a largo plazo.	Conclusión: Recomienda abandonar las fórmulas genéricas e instaurar dinámicas de "ensayo y error" durante la pretemporada para lograr la personalización total.

3.2. RESULTADO DE LOS ESTUDIOS

A continuación, se expone un análisis exhaustivo e individualizado de cada una de las investigaciones seleccionadas, detallando la metodología aplicada por los autores y los resultados específicos obtenidos que dan respuesta a los objetivos de este trabajo:

Posicionamiento de la ISSN sobre la cafeína (Guest et al., 2021)

Metodología: Los autores llevaron a cabo una revisión paraguas (Umbrella review) analizando la literatura científica global para emitir el posicionamiento oficial de la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva (ISSN). Su metodología consistió en reunir a un panel de expertos internacionales para evaluar la calidad de la evidencia existente sobre los mecanismos de acción, dosificación y seguridad de la cafeína.

Resultados y hallazgos: El estudio determinó con un nivel de evidencia A (el más alto) que la cafeína actúa eficazmente como un antagonista de los receptores de adenosina en el sistema nervioso central. Al bloquear estos receptores, se mitiga la señal de fatiga cerebral y se reduce drásticamente la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) durante el ejercicio prolongado. Los resultados cuantitativos concluyeron que la dosis óptima ergogénica se sitúa en un rango de 3 a 6 mg/kg de peso corporal, ingerida aproximadamente 60 minutos antes del esfuerzo, logrando mejoras consistentes de entre el 2% y el 4% en el tiempo hasta el agotamiento (time-to-exhaustion). Asimismo, el estudio demostró que dosis superiores (iguales o mayores a 9 mg/kg) no aportan ningún beneficio mecánico adicional y, por el contrario, provocan efectos secundarios adversos como taquicardia, insomnio, ansiedad y malestar gastrointestinal severo que pueden mermar el rendimiento.

Efecto de la cafeína en ciclistas contrarreloj (Chen et al., 2024)

Metodología: Se diseñó una revisión sistemática y metaanálisis que incluyó ensayos controlados aleatorizados (ECA) focalizados exclusivamente en ciclistas sometidos a pruebas contrarreloj (Time Trial). Utilizaron bases de datos como PubMed y Scopus, y evaluaron la calidad de los ensayos primarios con la escala PEDro, extrayendo datos cuantitativos del rendimiento mecánico.

Resultados y hallazgos: Tras agrupar estadísticamente los datos de las diferentes muestras, los investigadores demostraron de forma robusta que la ingesta previa de cafeína produce un incremento significativo y sostenido en la potencia media (MPO - Mean Power Output) desarrollada por los ciclistas en comparación con los grupos control que recibieron un placebo. Este aumento constante en la generación de vatios absolutos y relativos se tradujo directamente en una reducción drástica y estadísticamente significativa del tiempo total necesario para completar la distancia fija de la prueba contrarreloj. Los hallazgos confirman que la estimulación de la cafeína permite al ciclista mantener una mayor cadencia y fuerza de pedaleo sin que se dispare la sensación de fatiga muscular.

La influencia genética: Genotipo CYP1A2 (Barreto et al., 2024)

Metodología: Los autores realizaron un metaanálisis pionero centrando su búsqueda en estudios que no sólo medían el rendimiento, sino que analizaron el ADN de los deportistas (mediante pruebas PCR). Clasificaron a los sujetos según el polimorfismo de su gen CYP1A2 (encargado de metabolizar la cafeína en el hígado) en tres grupos: genotipo AA, AC y CC.

Resultados y hallazgos: Los resultados rompieron con el paradigma tradicional de la nutrición deportiva al demostrar que la cafeína no genera una respuesta uniforme. Se descubrió que sólo los deportistas poseedores del genotipo AA (metabolizadores rápidos) experimentan una mejora lineal, segura y estadísticamente significativa de sus marcas y vatios. Por el contrario, los portadores del alelo C (genotipos AC y CC, considerados metabolizadores lentos) retuvieron los metabolitos de la cafeína en el torrente sanguíneo durante un tiempo prolongado. En estos sujetos no solo no se observó ninguna mejora en el rendimiento físico, sino que en varios de los ensayos clínicos analizados experimentaron un marcado efecto ergolítico (empeoramiento del rendimiento) debido a que la

acumulación de la sustancia les provocó una vasoconstricción periférica prolongada (reduciendo la llegada de sangre oxigenada al músculo).

Sinergia intra-entrenamiento con carbohidratos (López-Seoane et al., 2022)

Metodología: Mediante una revisión sistemática con metaanálisis, este estudio seleccionó investigaciones en las que atletas de resistencia se sometían a pruebas de larga duración (>1 hora). Su objetivo metodológico fue comparar tres escenarios: consumo de placebo, consumo de carbohidratos (CHO) aislados, y la co-ingestión de CHO + cafeína.

Resultados y hallazgos: Los resultados evidenciaron la existencia de una sinergia metabólica positiva, demostrando que la cafeína administrada de forma conjunta con los hidratos de carbono genera un efecto ergogénico aditivo. Fisiológicamente se comprobó que la cafeína acelera el vaciado gástrico y optimiza la tasa de oxidación de la glucosa exógena a nivel intestinal. Esto permite que los carbohidratos que el deportista va consumiendo se transformen en energía utilizable de manera mucho más rápida, logrando un ahorro significativo del glucógeno muscular y hepático endógeno. Como consecuencia, los atletas que combinaron ambas sustancias consiguieron mitigar la fatiga periférica y mantener intensidades de esfuerzo y picos de velocidad mucho más elevados en el tercio final de las pruebas de resistencia en comparación con el grupo que solo tomó carbohidratos.

Formatos de administración: Chicles frente a cápsulas (Xue et al., 2025)

Metodología: Para resolver la duda sobre qué formato es más eficaz, los investigadores aplicaron un modelo estadístico complejo llamado Metaanálisis en red (Network Meta-analysis). Esto les permitió comparar de forma indirecta la efectividad de las cápsulas tradicionales, los líquidos y los chicles de cafeína en pruebas contrarreloj.

Resultados y hallazgos: Si bien todos los formatos demostraron ser metabólicamente efectivos en comparación con el placebo, los resultados revelaron una diferencia abismal en los tiempos de absorción. Mientras que las cápsulas anhidras requieren un proceso de digestión gastrointestinal obligatorio que tarda entre 45 y 60 minutos en alcanzar el pico máximo de concentración en sangre, el chicle de cafeína se absorbe a través de las vías de la mucosa sublingual (transmucosa). Esta absorción directa elude el metabolismo hepático de primer paso, logrando que la cafeína llegue al torrente sanguíneo y al cerebro en un periodo de apenas 10 a 15 minutos. El estudio concluyó que el formato en chicle representa una herramienta táctica y ergonómica superior en el ciclismo para responder a ataques imprevistos en carrera y para evitar la saturación y el colapso estomacal provocado por la ingesta masiva de cápsulas.

Epidemiología y estrategias en el deporte real (Jo et al., 2022)

Metodología: Este artículo llevó a cabo una revisión narrativa recopilando datos epidemiológicos a partir de encuestas, diarios nutricionales y cuestionarios estandarizados aplicados a miles de atletas de resistencia (tanto amateur como élite) para evaluar cómo y cuánta cafeína toman en la vida real.

Resultados y hallazgos: Los datos revelaron que aproximadamente el 85% de los deportistas de resistencia consumen cafeína habitualmente para buscar mejoras competitivas. No obstante, se detectó un índice críticamente alto de problemas estomacales y náuseas debido al hábito común de ingerir la dosis total recomendada (6 mg/kg) en una sola toma masiva previa a la salida. Como solución estratégica basada en los datos de campo, los autores concluyeron que en pruebas de ultra-resistencia (como etapas reinas de ciclismo o triatlones de larga distancia) el protocolo más eficiente y seguro para evitar el malestar gástrico es fraccionar el aporte, implementando microdosis repetidas (de 1 a 2 mg/kg) distribuidas de forma estratégica e intervalos regulares a lo largo de toda la competición.

La necesidad de una personalización absoluta (Martins et al., 2020)

Metodología: Se trata de una revisión crítica de la literatura en la que los autores contrastaron decenas de estudios previos. Su análisis metodológico se basó en buscar inconsistencias, es decir,

identificar por qué atletas de peso idéntico tomando la misma dosis de cafeína arrojaban resultados de rendimiento completamente diferentes.

Resultados y hallazgos: La investigación determinó que la respuesta fisiológica a la cafeína es extremadamente heterogénea y se encuentra fuertemente influenciada por factores cruzados como el nivel de habituación diaria al café, el estado de los receptores de adenosina en el cerebro, el nivel de nerviosismo pre-competitivo y la tolerancia individual. Los resultados demostraron de manera concluyente que las pautas y recomendaciones genéricas basadas de forma exclusiva en tablas matemáticas de peso corporal están obsoletas. Los autores sentenciaron que el único protocolo científico válido en la actualidad para garantizar el éxito es que los preparadores físicos y nutricionistas apliquen dinámicas individualizadas de "ensayo y error" con cada deportista durante los entrenamientos diarios de la pretemporada, ajustando el timing y la dosis exacta en función de las sensaciones subjetivas y la tolerancia gástrica del propio atleta.

4. DISCUSIÓN

El presente Trabajo Fin de Grado tuvo como objetivo principal evaluar, actualizar y sintetizar la evidencia científica existente respecto a los efectos ergogénicos de la suplementación con cafeína en el rendimiento de atletas de resistencia (ciclismo y triatlón). Tras la interpretación crítica de los 7 estudios incluidos (2020-2025), se constata que el abordaje de esta ayuda ergogénica ha experimentado un cambio de paradigma definitivo: la transición desde una dosificación estandarizada y universal hacia una prescripción clínica basada en la individualización.

La dualidad entre la eficacia mecanicista y la realidad epidemiológica El punto de partida del debate se sitúa en la confirmación de la eficacia teórica. El posicionamiento de la ISSN (Guest et al., 2021) y el reciente metaanálisis específico de Chen et al. (2024) son concluyentes en entornos controlados: dosis moderadas de 3 a 6 mg/kg elevan significativamente la Potencia Media (MPO) y reducen los tiempos en pruebas contrarreloj. Sin embargo, al contrastar esta teoría con la realidad epidemiológica aportada por Jo et al. (2022), surge una discrepancia evidente. A pesar de ingerir las dosis "teóricamente correctas", una amplia proporción de los atletas de resistencia en competición reportan bloqueos estomacales, ansiedad severa y un rendimiento subóptimo. Esta paradoja indica que calcular la dosis en función del peso corporal es una visión reduccionista del problema si no se domina la fisiología individual del deportista.

La genética como factor discriminatorio La explicación científica a gran parte de esos "fracasos competitivos" recae en la genómica. El metaanálisis de Barreto et al. (2024) supone un antes y un después en esta discusión, al evidenciar que el polimorfismo del gen CYP1A2 clasifica a los deportistas en "metabolizadores rápidos" (genotipo AA) y "lentos" (alelos AC o CC). Este hallazgo desmiente que la cafeína sea una sustancia universal. La implicación práctica de este estudio es crítica: suministrar una pauta de 6 mg/kg en formato cápsula a un ciclista con el genotipo CC no sólo será ineficaz, sino que su marcado efecto ergolítico, caracterizado por una vasoconstricción periférica prolongada, saboteará irremediablemente su rendimiento.

Otro de los grandes focos de debate es cómo asegurar la asimilación del suplemento en el contexto hostil de una prueba de larga duración (como un triatlón de media distancia), donde la irrigación sanguínea en el estómago disminuye para priorizar los músculos activos. En este aspecto, los trabajos de López-Seoane et al. (2022) y Xue et al. (2025) aportan las soluciones aplicadas.

Por un lado, López-Seoane demuestra que el consumo aislado de cafeína es un error táctico; su verdadera eficacia reside en la sinergia metabólica, al favorecer de manera aditiva la oxidación de los carbohidratos (CHO) exógenos introducidos intra-carrera. Por otro lado, Xue et al. dan respuesta a los problemas gástricos demostrando la superioridad farmacocinética de los nuevos vehículos de

administración. Mientras que la cápsula tradicional obliga al atleta a planificar con 60 minutos de antelación el ataque crítico de una etapa, el chicle de cafeína permite una absorción ultrarrápida a través de la mucosa sublingual (10-15 minutos), lo que otorga una flexibilidad táctica inmediata y elude el saturado tracto gastrointestinal.

Limitaciones de la evidencia actual Para mantener un rigor científico adecuado, resulta imperativo señalar las limitaciones de la literatura actual. El análisis de sesgos reveló una preocupante infrarrepresentación del sexo femenino en las muestras agrupadas de los ensayos. Las fluctuaciones de los estrógenos y la progesterona durante el ciclo menstrual interactúan significativamente con el metabolismo de las sustancias estimulantes. Por tanto, extrapolar las pautas diseñadas en grupos de ciclistas masculinos a mujeres ciclistas o triatletas constituye un vacío en la evidencia que requiere futuras investigaciones. Además, cabe destacar el posible sesgo de validez ecológica: los grandes picos de potencia (MPO) logrados en cicloergómetros de laboratorio no siempre se replican ante la variabilidad climática y táctica del asfalto real.

Síntesis interpretativa En convergencia con la postura final aportada por Martins et al. (2020), la interpretación de estos 7 estudios rechaza categóricamente la visión de la cafeína como una simple "píldora ergogénica". Su eficacia no emana de una fórmula matemática en una pizarra, sino de una implementación práctica basada en dinámicas de "ensayo y error" realizadas por el atleta durante los meses previos a la competición.

5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN: EFECTO DE LA CAFEÍNA SOBRE LOS PICOS DE POTENCIA EN CICLISTAS SOMETIDOS A UNA DIETA CETOGÉNICA HIPOCALÓRICA EN PRETEMPORADA

5.1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Según el reciente Documento de Consenso de la Sociedad Española de Nutrición (SEÑ) sobre estrategias nutricionales en el deporte, las dietas bajas en carbohidratos y la Dieta Cetogénica (DC) son herramientas eficaces durante las fases preparatorias (como la pretemporada) para promover la oxidación de grasas, mejorar la flexibilidad metabólica y reducir el peso corporal. Es un escenario habitual que los ciclistas lleguen al inicio de la pretemporada con un exceso de masa grasa tras el periodo de descanso.

Aunque la DC permite a estos atletas aguantar entrenamientos largos de base aeróbica, el consenso de la SEÑ advierte de una limitación crítica: la restricción severa de carbohidratos compromete drásticamente el rendimiento glucolítico, impidiendo a los deportistas mantener esfuerzos de alta intensidad y grandes picos de potencia.

Por tanto, el objetivo principal de esta intervención es evaluar si la suplementación con cafeína es capaz de revertir esta limitación. La hipótesis plantea que el uso de cafeína actuará como un potente estimulador del sistema nervioso central, permitiendo a los ciclistas soportar mayores picos de esfuerzo a alta intensidad, mientras se benefician de la pérdida de peso inducida por la dieta cetogénica hipocalórica.

5.2. DISEÑO DEL ESTUDIO Y METODOLOGÍA

Para dar respuesta a esta hipótesis, se plantea un diseño de intervención longitudinal y comparativo a lo largo de 2 años (dos pretemporadas consecutivas) utilizando a los mismos sujetos como su propio grupo control (diseño cruzado).

Población: Un grupo de 20 ciclistas de ruta (categoría amateur/élite) que presenten sobrepeso o un porcentaje de masa grasa por encima de su peso competitivo al inicio del ciclo de pretemporada.

Duración de la intervención dietética: 8 semanas durante la fase inicial de pretemporada de cada año.

Pauta Nutricional (Aplicada en ambos años): Se prescribirá una Dieta Cetogénica Hipocalórica. Esta consistirá en una restricción severa de carbohidratos (<50 g/día o 5-10% del valor calórico total), alta en grasas (70-80%) y un aporte moderado de proteínas (aprox. 1,5 g/kg para evitar la pérdida de masa muscular), induciendo un estado de cetosis nutricional controlada.

5.3. FASES DE LA INTERVENCIÓN

AÑO 1 (Pretemporada A): Dieta Cetogénica + Ausencia de Cafeína (Control) Durante el primer año, los ciclistas realizarán su base aeróbica bajo la dieta cetogénica hipocalórica descrita para lograr la pérdida de peso. En los entrenamientos específicos que incluyan series de alta intensidad o simulacros de ataques (donde se exigen picos de potencia de 1 a 3 minutos), los atletas no consumirán cafeína (se les administrará un placebo). En esta fase, se espera registrar una óptima resistencia en volumen kilométrico, pero un colapso temprano o incapacidad para sostener altos vatios (MPO) en los picos de esfuerzo, tal y como indica la literatura ante la falta de disponibilidad de glucógeno.

AÑO 2 (Pretemporada B): Dieta Cetogénica + Suplementación con Cafeína Al año siguiente, se replicarán las mismas 8 semanas de dieta cetogénica hipocalórica con el mismo grupo de ciclistas, buscando idénticas adaptaciones de pérdida de peso. La variable diferencial será la introducción de la ayuda ergogénica: 60 minutos antes de las sesiones de entrenamiento de alta intensidad y series explosivas, se les suplementará con cafeína en dosis moderadas (3-6 mg/kg). El objetivo de este segundo año es comprobar si la alteración en la percepción del esfuerzo (RPE) y el mayor reclutamiento de unidades motoras provocados por la cafeína compensan la falta de sustrato glucolítico, permitiendo al ciclista "exprimir" el músculo y alcanzar picos de potencia superiores a los del Año 1 a pesar de estar en cetosis.

5.4. EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE RESULTADOS

Para determinar la viabilidad de la intervención, se monitorizarán dos bloques de variables fundamentales al inicio y al final de las 8 semanas de cada año:

Control de la Composición Corporal: Se realizarán antropometrías y densitometrías óseas (DEXA) para confirmar que la Dieta Cetogénica Hipocalórica cumple su objetivo primordial de reducir la masa grasa de los ciclistas, y asegurar que el descenso de peso es equitativo tanto en el Año 1 como en el Año 2.

Control del Rendimiento Mecánico (Vatios): A través de los potenciómetros instalados en las bicicletas, se aislarán los datos de las series explosivas. Se medirá y comparará la Potencia Pico Máxima y la Potencia Media (MPO) alcanzada durante los esfuerzos de alta intensidad. Si la MPO del Año 2 es significativamente superior a la del Año 1, se confirmará que la cafeína es una estrategia viable para rescatar el rendimiento explosivo en ciclistas sometidos a dietas bajas en carbohidratos.

6. BIBLIOGRAFÍA

Barreto, G., Grecco, B., Merola, P., et al. (2024). Caffeine, CYP1A2 Genotype and Exercise Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 56(1).

Chen, B., Ding, L., Qin, Q., Lei, T. H., Girard, O., & Cao, Y. (2024). Effect of caffeine ingestion on time trial performance in cyclists: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 21(1), Artículo 2363789.

Guest, N. S., VanDusseldorp, T. A., Nelson, M. T., Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Jenkins, N. D., ... & Antonio, J. (2021). International society of sports nutrition position stand: caffeine and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 1.

Jo, E., Worts, P. R., & Elam, M. L. (2022). Caffeine Supplementation Strategies Among Endurance Athletes. *International Journal of Exercise Science*, 15(2), 522-536.

López-Seoane, J., Martínez-Ferrán, M., & Pareja-Galeano, H. (2022). Synergy of carbohydrate and caffeine ingestion on physical performance and metabolic responses to exercise: A systematic review with meta-analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.

Martins, G. L., Guilherme, J. P. L. F., Ferreira, L. H. B., de Souza-Junior, T. P., & Lancha Jr, A. H. (2020). Caffeine and exercise performance: possible directions for definitive findings. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2, 574854.

Mielgo-Ayuso, J., Macho-González, A., Úbeda, N., Sánchez-Oliver, A. J., Martínez-Ferrán, M., Fernández-Lázaro, D., Aparicio-Ugarriza, R., Roche, E., & González-Gross, M. (2025). Consensus Document of the Spanish Nutrition Society (SEN) on Nutritional Strategies in Sports. *Nutrients*, 17(24), 3862.

Xue, R., Huang, J., Chen, B., Ding, L., Guo, L., Cao, Y., & Girard, O. (2025). Effects of caffeine dose and administration method on time-trial performance: A systematic review and network meta-analysis. *Nutrients*, 17(23), Artículo 3792.

