

TRABAJO FIN DE GRADO

Crononutrición y rendimiento en deportes de resistencia

Chrononutrition and performance in endurance sports



Autor:

José Antonio Martín Juárez

Dirección del trabajo:

Natalia Giménez Legarre - Área de Medicina Preventiva y Salud Pública

Curso:

2024/2025

Fecha de presentación:

03/09/2025

RESUMEN

La crononutrición se trata de la interacción entre la alimentación y los ritmos circadianos. En los últimos años ha adquirido un creciente interés tanto en el ámbito de la nutrición como en las ciencias del deporte. En los deportes de resistencia, donde la eficiencia metabólica, la recuperación y la optimización del rendimiento son factores determinantes, considerar el momento de la ingesta de nutrientes puede resultar tan relevante como la cantidad y la calidad de los mismos.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la evidencia científica disponible sobre el impacto de la crononutrición en el rendimiento de los deportistas de resistencia. Para ello, se han revisado diferentes estudios que abordan tanto estrategias de alimentación restringida en el tiempo (*time-restricted eating* - TRE) como la distribución temporal de macronutrientes y el uso de suplementos en relación con los ritmos circadianos.

Los resultados muestran que el *time-restricted eating* puede favorecer la composición corporal y la oxidación de grasas, aunque debe aplicarse con precaución para evitar déficits energéticos en deportistas sometidos a altos volúmenes de entrenamiento. Asimismo, la ingesta estratégica de hidratos de carbono y proteínas en función del momento del día puede influir en la disponibilidad energética, en las adaptaciones metabólicas y en la recuperación postejercicio. La suplementación, particularmente con cafeína y melatonina, también presenta efectos modulados por la hora de administración, lo que refuerza la necesidad de integrar la variable temporal en las estrategias ergogénicas.

En conclusión, la crononutrición emerge como un enfoque prometedor para optimizar el rendimiento en deportes de resistencia, aunque la evidencia actual es limitada y se centra principalmente en deportistas recreacionales. Futuras investigaciones en poblaciones de élite y con diseños a largo plazo serán esenciales para establecer recomendaciones prácticas sólidas y aplicables en el ámbito competitivo.

ABSTRACT

Chrononutrition refers to the interaction between diet and circadian rhythms. Recently, it has been emerging interest in both, nutrition and sports science. In endurance sports, in which metabolic efficiency, recovery, and performance optimization are determining factors, considering the timing of nutrient intake can be as important as their quantity and quality of those nutrients.

The aim of this study is to analyze the available scientific evidence on the impact of chrononutrition on the performance of endurance athletes. To this purpose, studies have been reviewed that examine *time-restricted eating* strategies and the temporal distribution of macronutrients, and the use of supplements in relation to circadian rhythms.

The results show that *time-restricted eating* can improve body composition and fat oxidation, although it should be implemented with prudence to prevent energy deficits in athletes undergoing high training volumes. Furthermore, strategic intake of carbohydrates and proteins depending on the time of day may influence energy availability, metabolic adaptations, and post-exercise recovery. Supplementation, especially with caffeine and melatonin, also presents effects that are modulated by the time of administration, supporting the need to integrate the time variable into ergogenic strategies.

In conclusion, chrononutrition emerges as a promising approach to performance optimization in endurance sports, although current evidence is limited and mainly focuses on recreational athletes. Future research in elite populations and with long-term designs will be essential to establish robust recommendations applicable to competitive environments.

ÍNDICE

LISTADO DE ABREVIATURAS	1
INTRODUCCIÓN.....	2
OBJETIVOS	5
METODOLOGÍA	6
ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA:	7
RESULTADOS.....	9
DISCUSIÓN.....	36
CRONONUTRICIÓN.....	36
NUTRICIÓN EN DEPORTES DE RESISTENCIA.....	38
PROTEINAS:.....	38
HIDRATOS DE CARBONO:.....	39
COMBINACION DE HIDRATOS DE CARBONO Y PROTEINAS	39
SUPLEMENTACIÓN DEPORTIVA	40
PROTEINAS.....	40
CREATINA.....	41
CAFEINA	41
MELATONINA	42
CRONONUTRICIÓN EN DEPORTES DE RESISTENCIA.....	43
CONCLUSIONES.....	46
BIBLIOGRAFÍA/REFERENCIAS:.....	47

LISTADO DE ABREVIATURAS

Ácido gamma- aminobutírico: GABA

Cronotipo: CRT

Ritmo circadiano: RC

Núcleo supraquiasmático: NSQ

Reloj biológico: RB

Sistema nervioso central: SNC

Síntesis de proteína muscular: SPM

Degradación de proteínas musculares: DPM

Creatina quinasa: CK

Aminoácidos de cadena ramificada: BCAA

Volumen máximo de oxígeno: $VO_{2\text{máx}}$

Time-restricted eating: TRE

PRISMA: Preferred Reporting Items, for Systematic Reviews and Meta-Analysis

PICO: Participantes, Intervenciones, Control, Resultados

INTRODUCCIÓN

Una alimentación saludable y equilibrada es aquella que aporta todos los nutrientes esenciales que el organismo necesita para realizar sus funciones fisiológicas y metabólicas evitando excesos y carencias (1), siendo el momento de la ingesta de los alimentos un momento clave, ya que puede llegar a revertir los síntomas característicos de trastornos metabólicos reduciendo la resistencia a la insulina y aumentando la tolerancia de la glucosa (1).

El ritmo circadiano (RC) es un sistema interno que organiza los ciclos biológicos en periodos cercanos a 24 horas. Gracias a él, el cuerpo puede adaptar sus funciones a los cambios de luz y oscuridad del ambiente, influyendo en aspectos como la actividad metabólica, los procesos fisiológicos, la conducta y la bioquímica diaria (1,2). Su control principal se localiza en el núcleo supraquiasmático (NSQ), una pequeña estructura del hipotálamo que actúa como “reloj maestro”. Este conjunto de neuronas recibe señales luminosas desde los ojos y, a partir de ellas, ajusta los distintos ritmos corporales al día y la noche (1,2). Además, distintos órganos y tejidos cuentan con relojes propios. Aunque estos pueden funcionar de forma independiente, se mantienen coordinados con el NSQ, lo que permite una regulación conjunta de procesos como la producción de hormonas, la actividad metabólica o la temperatura corporal (2).

Para que este sistema funcione correctamente, la exposición natural por el día es imprescindible (2). Por el contrario, la exposición a la luz artificial por la noche o la ausencia de la luz diurna, pueden dar lugar a alteraciones en la sincronización entre los relojes centrales y periféricos repercutiendo al equilibrio fisiológico y conductual del cuerpo, dificultando su funcionamiento óptimo a lo largo del día (2).

Por otro lado, se ha observado previamente la importancia que tiene el RC en diversas hormonas y enzimas intestinales del organismo, que, durante el día biológico, da lugar a la vigilia y regulan la alimentación mientras que, durante la noche biológica, promueven el sueño y el ayuno (1,3). Además, se ha observado la importancia de un sueño reparador y de calidad, ya que durante el descanso se producen procesos fisiológicos y metabólicos muy importantes que intervienen en la señalización celular (4); por ello, es un factor a tener en cuenta, y debe de ser evaluado e investigado.

Por otro lado, se ha comprobado que la ingesta de energía y nutrientes influye directamente en el funcionamiento del reloj circadiano central (1,3). Esto pone de manifiesto la existencia de una relación de interdependencia y sincronización entre los ritmos biológicos y la alimentación (1). En este contexto, ha

surgido en los últimos años un creciente interés por la crononutrición, disciplina que estudia cómo el momento en que se consume la comida puede afectar tanto a los ritmos circadianos como a los procesos de sueño (1).

Una buena sincronización entre el RB y las comidas es muy importante para mejorar la salud y el metabolismo de las personas, y si se produce un desajuste entre ambas, debido a factores cronodisruptores como un consumo excesivo de energía en la alimentación, una irregularidad en los horarios de ingesta de alimentos, alteraciones en patrones del sueño tanto por exceso como por defecto (trabajos a turnos), puede afectar negativamente a la salud de las personas dando lugar a la aparición de enfermedades metabólicas como obesidad, diabetes mellitus tipo 2, hipertensión, síndrome metabólico, etc (1).

En un estudio realizado en mujeres jóvenes se ha observado que, adelantar la mayor parte de la ingesta a las primeras horas del día, dentro de una ventana horaria reducida, ha sido asociado con mejoras en la composición corporal (5). En este estudio se observó que este patrón permitió reducir peso y grasa sin afectar negativamente a la masa muscular, aun manteniendo la misma ingesta calórica diaria (5).

Por otro lado, existen aspectos importantes a tener en cuenta como la regularidad de las comidas, su frecuencia y el horario (1,6), pudiendo diferenciar cronotipos (CRT) tempranos y tardíos (6). En el caso de aquellas personas que son del tipo matutino, se caracterizan por preferir realizar actividades a primera hora de la mañana, mientras que las de tipo vespertino, prefieren realizarlas al final de la tarde o al anochecer (1). Por otro lado, se ha observado que llevar una alimentación saludable y equilibrada, en la que se incluyan alimentos con un aporte significativo de melatonina (MEL), serotonina y triptófano, junto con una adecuada distribución de macro y micronutrientes, ejerce un papel relevante en la regulación tanto de los relojes circadianos centrales como periféricos. Este equilibrio nutricional contribuye, a su vez, a una mejora en la calidad del sueño (3,6).

La práctica deportiva constituye un proceso en el que convergen factores fisiológicos, metabólicos y de estilo de vida, donde la alimentación desempeña un papel clave y esencial (7). La investigación reciente sugiere que no solo el tipo y la cantidad de nutrientes, sino también el momento en que se consumen, puede influir la salud y el rendimiento (7). En corredores recreativos, por ejemplo, ajustar la ventana diaria de ingesta ha mostrado efectos sobre la capacidad aeróbica, la composición corporal y marcadores metabólicos, lo que respalda la importancia de emplear estrategias nutricionales basadas en la temporalidad dentro de la planificación del entrenamiento (7).

Los deportes de resistencia son aquellos que requieren una gran capacidad respiratoria, cardiovascular, muscular y mental para mantener un esfuerzo físico sostenido en el tiempo a una intensidad baja-moderada. En esta modalidad destaca principalmente la resistencia aeróbica frente a la anaeróbica (8).

Aunque a veces se combinan componentes de fuerza, existen disciplinas donde la resistencia es predominante. Podemos diferenciar entre resistencia continua, con esfuerzo constante sin pausas significativas, como carreras de larga distancia, ciclismo, natación de larga distancia, triatlones, remo, escalada o esquí de fondo y resistencia intermitente, donde el esfuerzo se alterna con periodos de descanso y momentos de mayor velocidad o fuerza, como ocurre en fútbol, baloncesto, hockey, balonmano o carreras de obstáculos (8,9).

El rendimiento físico se refiere al tiempo que una persona puede mantener una actividad antes de llegar al agotamiento y está influenciado por numerosos factores que hay que tener en cuenta como condición física, factores externos, internos, estilos de vida, etc. (9). Es por ello importante prestar atención a las diferencias interindividuales de cada persona y su reloj biológico para así poder planificar de manera adecuada las sesiones de entrenamiento (8).

La crononutrición es un aspecto a tener en cuenta ya que se han observado efectos beneficiosos en la optimización del rendimiento en deportes de resistencia por sus importantes funciones (9).

La suplementación nutricional constituye una de las estrategias más utilizadas para optimizar el rendimiento deportivo, ya que puede modular variables fisiológicas y cognitivas en función del momento de ingesta y del tipo de compuesto administrado (10–12). La evidencia sugiere que la suplementación, además de depender del tipo de nutriente o compuesto, debe considerar el momento del día y el contexto específico de la práctica deportiva para maximizar sus efectos ergogénicos (10–12).

OBJETIVOS

Objetivo principal:

Determinar el impacto de la crononutrición en el rendimiento de deportes de resistencia.

Objetivos secundarios:

- Identificar pautas generales sobre alimentos, cantidades y horarios de ingesta, destacando la importancia de su individualización y la limitación de aquellos que puedan interferir con el rendimiento en deportes de resistencia.
- Investigar si la modificación del horario de alimentación según principios de crononutrición mejora el rendimiento físico medido por volumen máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$) o parámetros similares en deportistas de resistencia en comparación con una alimentación convencional.

METODOLOGÍA

La revisión bibliográfica se ha realizado de acuerdo con las directrices PRISMA (Preferred Reporting Items, for Systematic Reviews and Meta-Analysis). Se elaboró una pregunta específica según los principios PICOS (Participantes, Intervenciones, Control, Resultados) (**Tabla 1**).

Tabla 1. Criterios PICOS (participantes, intervenciones, control, resultados) utilizados para la inclusión y exclusión de estudios.

PICOS	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Participantes	Deportistas de resistencia (aficionados, semiprofesionales o profesionales), de ambos sexos y cualquier nacionalidad.	Personas sedentarias o con niveles de actividad física no clasificados como resistencia. Participantes con enfermedades crónicas o condiciones médicas que puedan afectar el rendimiento.
Intervención	Crononutrición: horarios de alimentación en relación con el ciclo circadiano o entrenamientos e ingesta de alimentos óptimos.	Estudios no relacionados con la crononutrición y/o el horario de alimentación.
Control/Grupo comparador	Deportistas con alimentación habitual (sin modificación del horario de comidas o crononutrición).	Estudios no relacionados con deportistas de resistencia con una alimentación convencional.
Resultados	Medidas objetivas o subjetivas de rendimiento físico: VO_2 máx, tiempo hasta el agotamiento, tiempo de carrera, potencia, entre otros.	Resultados no relacionados con el rendimiento físico o sin medidas de rendimiento cuantificables. Metaanálisis, revisiones sistemáticas...

ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA:

Se ha realizado una búsqueda sistemática y exhaustiva de la literatura en dos bases de datos (Pubmed y Web of Science). La búsqueda se limitó a estudios en humanos, sin restricciones geográficas y publicados en inglés y español.

Se utilizaron los siguientes términos durante la búsqueda sistemática en las bases de datos Pubmed y Web of Science:

("chrononutrition"[Title/Abstract] OR "chrono-nutrition"[Title/Abstract] OR "meal timing"[Title/Abstract] OR "nutrient timing"[Title/Abstract] OR "feeding time"[Title/Abstract] OR "time-restricted eating"[Title/Abstract] OR "eating window"[Title/Abstract] OR "feeding schedule"[Title/Abstract] OR "circadian rhythm"[MeSH Terms] OR "circadian clocks"[MeSH Terms]) AND ("Athletic Performance"[MeSH Terms] OR "exercise performance"[Title/Abstract] OR "sports performance"[Title/Abstract] OR "endurance training"[MeSH Terms] OR "endurance exercise"[Title/Abstract] OR "endurance sports"[Title/Abstract] OR "aerobic exercise"[Title/Abstract] OR "physical performance"[Title/Abstract]) AND ("nutrition"[Title/Abstract] OR "diet"[Title/Abstract] OR "feeding"[Title/Abstract] OR "energy intake"[Title/Abstract] OR "Diet, Food, and Nutrition"[MeSH Terms])

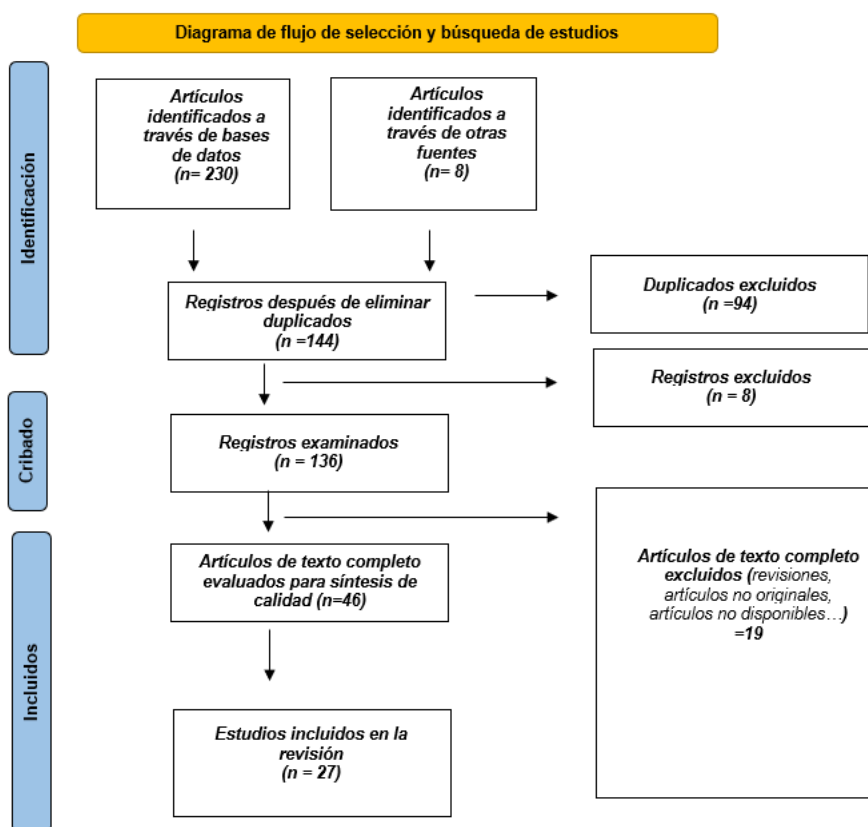
Se han incluido aquellos estudios sobre deportistas de resistencia que evalúen intervenciones de crononutrición, comparadas con dietas convencionales o sin intervención, y que reporten medidas objetivas o subjetivas de rendimiento físico. Se excluirán estudios en poblaciones con enfermedades o sin datos específicos sobre crononutrición.

Para que los artículos hayan sido incluidos en esta revisión debe cumplir los siguientes criterios: (1) ser un artículo de investigación original, (2) los participantes debían ser adultos, hombres y/o mujeres mayores de 18 años, (3) el diseño de los estudios debe ser: estudio transversal, estudio longitudinal, estudio de casos y controles, ensayos controlados aleatorizados, ensayos clínicos, informes de casos, estudios de intervención. Se excluyeron los artículos que no cumplieran los criterios de inclusión previos y que cumplieran alguno de los siguientes criterios: (1) el diseño de los estudios era uno de los siguientes: Artículos de opinión, revisiones, revisiones sistemáticas o metaanálisis, (2) participantes con alguna enfermedad reportada o conocida.

Todos los estudios se han recopilado a través de Pubmed y Web of Science utilizando el gestor Rayyan para valorar la inclusión o no de los artículos.

Se ha utilizado la plataforma web Rayyan para realizar la evaluación y cribado de los títulos y resúmenes. Posteriormente los artículos de texto completo fueron evaluados considerando los criterios de inclusión y exclusión por el revisor. La información extraída incluye referencia completa, año, país, tipo de estudio, muestra, deporte/tipo de ejercicio, intervención nutricional, duración de la intervención, variables medidas, instrumentos de medición, resultados, conclusiones del autor, limitaciones del estudio y comentarios personales. Los resultados del proceso de búsqueda se muestran en forma de diagrama de flujo en la **Figura 1**.

Figura 1. Diagrama de flujo de la selección y búsqueda de estudios.



RESULTADOS

238 estudios fueron identificados inicialmente. Tras el proceso de cribado y selección se evaluaron 46 artículos mediante la lectura de texto completo, de los cuales finalmente 27 fueron incluidos en la revisión. De los cuales, 8 estudios abordan la restricción temporal de la ingesta (TRE) y el ayuno en Ramadán, 5 estudios analizan el papel de la cafeína y otros ergogénicos con componente cronobiológico, 5 estudios estudian la relación entre cronotipo y momento del día en el rendimiento, 3 estudios se centran en los ritmos hormonales y metabólicos circadianos y finalmente 6 estudios estudian la distribución horaria de macronutrientes. En la **Tabla 2** se muestra la información detallada de los estudios incluidos.

Tabla 2. Características, descripción y resumen de los resultados de los estudios incluidos en la revisión bibliográfica

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
1	Yu, Z. et al. 2025 Japón (5)	Ensayo clínico aleatorizado. 24 mujeres jóvenes sanas sin experiencia previa en entrenamiento de resistencia, asignadas en 3 grupos.	Ejercicio de resistencia: push-ups con rodillas (4×10 rep × 3 veces/semana)	<i>Early TRE</i> (<i>eTRE</i>) ventana de ingesta de 8:00 a 14:00 vs dTRE (12:00-18:00) vs control (8:00-20:00); sin restricción calórica	8 semanas	Peso corporal (báscula), grosor del tríceps (ecografía), resistencia a push-ups (recuento reps)	eTRE perdió -2.61 ± 1.06 kg ($p < 0.001$), mayor que dTRE (-1.44 ± 1.12) y control (-0.48 ± 0.64). No hubo diferencias entre grupos en grosor muscular ($\uparrow 1.36$ - 1.55 mm) ni en capacidad de push-ups (62-74 reps más)	eTRE con entrenamiento de fuerza mejora pérdida de peso sin comprometer adaptaciones musculares

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
2	Brady et al. 2021 RU/EE. UU (13)	Ensayo controlado. 40 corredores masculinos de media y larga distancia entrenados	Carrera de resistencia	TRE 16:8 (ventana libre de 8h) vs dieta libre habitual (control) (12h); sin restricción calórica	8 semanas	Peso corporal (antropometría), ingesta energética (diario dietético), VO ₂ max (test incremental), economía de carrera, lactato, glucosa, insulina, triglicéridos (muestras de sangre) y FC	TRE redujo -1.92 kg (p = 0.022), menor ingesta calórica (p = 0.049), sin cambios en rendimiento ni metabolismo	TRE reduce peso por menor ingesta, sin afectar rendimiento ni salud metabólica

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
3	Gratton et al. 2025 Canada/Reino Unido (14)	Estudio observacional retrospectivo. 936 maratonianos	Maratón de resistencia (42 km)	No hay intervención nutricional específica (estudio observacional sobre cronotipo y sueño)	Estudio puntual post-evento	Cronotipo (cuestionarios MEQ), tiempo de finalización del maratón e higiene de sueño	Vespertinos + alta inercia del sueño = peor rendimiento Interacción significativa	Tanto la preferencia por la mañana como la menor inercia del sueño se asocian con mejor rendimiento (tiempos de maratón más rápidos); altos niveles de inercia del sueño atenúan la ventaja del cronotipo matutino y viceversa.

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
4	El-Jaziz A et al. 2023 Marruecos (15)	Cohorte prospectiva. 50-100 atletas amateurs (ambos sexos)	Actividad aeróbica (test de 20 m shuttle run)	Ayuno intermitente (Ramadán)	Durante el mes de Ramadán (pre vs durante)	VO ₂ máx, cronotipo (MEQ), calidad del sueño (PSQI y STQ), duración del sueño.	Disminuye VO ₂ máx y calidad del sueño durante Ramadán; cronotipo y sueño no influyen significativamente en VO ₂ máx	Cronotipo y sueño no afectan al rendimiento aeróbico bajo ayuno; se necesitan más estudios

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
5	Boyet et al. 2016 EE. UU. (16)	Estudio cruzado, doble ciego, aleatorizado. 20 sujetos (10 entrenados y 10 no entrenados)	Ciclismo (3 km contrarreloj)	Ingesta de cafeína (6 mg/kg) vs placebo	4 sesiones (mañana y tarde, con y sin cafeína)	Tiempo de finalización en contrarreloj (cronómetro), percepción subjetiva de esfuerzo (escala de Borg)	Mejora del rendimiento en la mañana con cafeína ($2.3\% \pm 1.7\%$); mejora en la tarde solo en no entrenados ($2.9\% \pm 2.6\%$); entrenados mejoran más en la mañana	La cafeína mejora el rendimiento en la mañana; los no entrenados responden mejor a la tarde

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
6	Ghattassi et al. 2016 Túnez (11)	Estudio crossover, doble ciego, aleatorizado. 12 futbolistas masculinos (~17.9 ± 1.3 años)	Fútbol (pruebas de rendimiento o físico y cognitivo de corta duración)	Ingesta de melatonina (5 mg) por la mañana vs placebo	3 sesiones (08:00 h, 12:00 h y 16:00 h)	Fuerza de agarre (dinamómetro), lanzamiento de balón medicinal (test MBT), test de agilidad (cronómetro), cinco saltos, vigilancia, tiempo de reacción (software cognitivo)	Mejores rendimientos a las 16:00 h; melatonina redujo fuerza en la mañana (MBT y handgrip), sin cambios al mediodía o tarde	La melatonina matutina no afecta el rendimiento vespertino, pero sí reduce fuerza por la mañana

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
7	Anastasilakis et al. 2014 Grecia (17)	Observacional experimental. 122 individuos sanos jóvenes (hombres y mujeres)	Sin deporte específico; ejercicio aeróbico leve (30 min)	Ingesta de comida estandarizada; ejercicio aeróbico de 30 min	Día-noche (24 horas)	Niveles plasmáticos de irisin ELISA (bioquímica)	Irisin presenta ritmo circadiano; Irisin aumenta tras ejercicio; No cambia tras comida; nivel mayor en mujeres tras ajuste por masa magra; correlación con masa magra	En jóvenes sanos, irisin muestra ritmo circadiano, aumenta tras ejercicio agudo, no responde a comida, y depende de masa magra y género

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
8	Mora-Rodríguez et al. 2012 España (18)	Estudio crossover, doble ciego. 12 sujetos masculinos altamente entrenados en fuerza	Ejercicios de fuerza: squat libre y bench press, cargas al 75 % 1RM	Café (3 mg/kg) ingerido 60 min antes de la prueba en la mañana; comparado con placebo en mañana y tarde	Tres condiciones: mañana + cafeína, mañana + placebo, tarde + placebo	Bar velocity en squat y bench press a cargas específicas (codificador lineal para velocidad de barra y potencia), contracción maximal isométrica voluntaria (MVC) (dinamómetro) y fuerza evoked in leg (EVOK) (estimulación eléctrica) Análisis hormonal (NE, testosterona, cortisol, GH)	Rendimiento peor por la mañana pero con cafeína en la mañana, se restauró rendimiento a niveles de la tarde: fuerza/fuerza-power aumentaron 4.6–5.7 % respecto a placebo matutino. EVOK y niveles de norepinefrina aumentaron (14.6 % y 96.8 %) en AM-CAFF vs AM-PLAC	La cafeína revierte los efectos negativos de la mañana sobre rendimiento neuromuscular, alcanzando niveles vespertinos; los datos de EVOK y NE sugieren acción directa a nivel muscular

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
9	Correia et al. (2024) Portugal (7)	Ensayo clínico cruzado, aleatorizado. 16 varones de Educación Física aficionados a running de resistencia, 18–30 años	Running de resistencia (test progresivo y carrera de 10 km)	TRE 16/8 (comer en ventana de 8 h) vs dieta habitual (12 h ingesta) en condiciones isoenergéticas	4 semanas por condición, con cruce y wash-out entre fases	VO ₂ max, economía de carrera, tiempo de 10 km, composición corporal (DXA), glucosa, insulina y lípidos (análisis sanguíneo), presión arterial, gasto energético en reposo	TRE redujo peso y grasa corporal (~0.8 kg, -5.9%) pero no mejoró rendimiento VO ₂ max ni tiempo 10 km; menor VCO ₂ y lactato en TRE; sin cambios en glucosa, insulina, lípidos, PA o REE	16/8 TRE durante 4 semanas reduce grasa corporal pero no afecta capacidad aeróbica ni rendimiento en carrera de 10 km; no compromete la salud metabólica

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
10	Hannaian et al. (2020) Canadá (12)	Ensayo clínico crossover, aleatorizado. 16 hombres sanos activos recreativamente (18-35 años), VO ₂ max ≥46.8 ml/kg/min	Entreno de intensidad variable tipo LIST (simula deportes de equipo), 5 días consecutivos por la tarde	Ingesta inmediata post-ejercicio de proteína (0.3 g/kg whey + 0.7 g/kg CHO) vs ingesta retrasada (carbohidratos sola) con inversión de timing por la mañana	5 días de entrenamiento + 2 días recuperación	Recuperación de fuerza (MVC) (dinamómetro), potencia anaeróbica (Wingate), salto (SJ), capacidad aeróbica (predicción VO ₂ max) (test de Beep)	VIT redujo potencia pico (~7 %) y fuerza (~8 %) progresivamente. Sin efecto del timing sobre recuperación inmediata. Posterior a recuperación, MVC y VO ₂ peak aumentaron (~10 % y ~5 %), con efecto moderado favorable de la ingestión inmediata sobre VO ₂ max (ES ≈ 0.78)	El timing de proteína no influye la recuperación aguda de fuerza o potencia, pero la ingesta inmediata podría mejorar la adaptación aeróbica

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
11	McCormick R et al. (2019) Australia (19)	Estudio crossover, controlado. 16 corredores de resistencia entrenados (10 varones, 6 mujeres) con ferritina sérica <50 µg/L	Carrera continua 90 min al 65 % VO ₂ max	Inicio de comida fortificada con hierro isotópico 30 min tras ejercicio (desayuno o cena), según momento del día	Dos sesiones (mañana y tarde) separadas por varios días	Absorción fraccionada de hierro (incorporación eritrocitaria de isótopos), IL-6, hepcidina sérica (análisis sanguíneo)	La absorción de hierro fue significativamente mayor después del ejercicio matutino (~0.778%) comparada con estado en reposo o cena del día matutino (~0.672%). La respuesta de hepcidina fue mayor en la tarde y se elevó post-ejercicio (~0.380 nM en 3 h)	El ejercicio matutino seguido de ingesta rica en hierro dentro de los 30 min maximiza la absorción, mientras que la toma tras ejercicio vespertino o en la tarde se ve afectada negativamente por niveles más altos de hepcidina

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
12	Harty et al. (2020) EE. UU. (20)	Ensayo clínico crossover, aleatorizado, doble ciego, controlado. Participantes activos (hombres y mujeres), muestra combinada	Activación neuromuscular: isometric mid-thigh pull (IMTP), countermovement vertical jump (CMVJ), ISO/ISOK knee extensor tests	Carga de cafeína (6 mg/kg) administrada 120, 60 o 30 min antes del test, vs placebo	Cuatro sesiones con diferentes timing, crossover completo ida/vuelta	Altura de CMVJ (plataforma de fuerza), torque isométrico y trabajo isocinético (dinamometro), fatiga, propulsión	Carga de 1 h (60 min antes) mejoró significativamente CMVJ y desempeño ISO vs placebo; mejor timing que 2 h o 30 min pre ejercicio; efectos más consistentes en hombres	Consumir cafeína ≈1 hora antes del ejercicio maximiza rendimiento neuromuscular de tren inferior, más que 30 min o 2 h

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
13	Petit E et al. (2014) Francia (21)	Estudio experimental en laboratorio (diseño cruzado). n = 16 (hombres, atletas entrenados; 22.2 ± 1.7 años, 178.3 ± 5.6 cm, 73.6 ± 7.9 kg)	Cicloergómetro: test Wingate (anaeróbico)	Desfase simulado de 5 horas (adelanto de fase; jet lag artificial)	3 noches (1 control, 2 con desfase separadas por 1 semana)	Arquitectura del sueño (polisomnografía: EEG), ritmo circadiano (temperatura), rendimiento anaeróbico (potencia y lactato) (Wingate y análisis sanguíneo)	Noche 1 con fase adelantada: ↓ tiempo total de sueño, eficiencia, latencia, N2 y REM. Noche 2: ↑ sueño profundo (SWS) y REM. Acrofase y batifase del ritmo térmico se adelantaron. El rendimiento (potencia media) no se deterioró, aunque lactato aumentó.	El cambio de fase alteró el sueño, pero el cuerpo se ajustó rápidamente en términos circadianos (temperatura), lo cual mitigó el impacto sobre el rendimiento físico anaeróbico.

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
14	Hofstätter et al. (2025) Austria (22)	Ensayo clínico aleatorizado. 36 adultos sanos jóvenes (28 mujeres, 8 hombres)	Entrenamiento aeróbico tipo fat-max en bicicleta (3x/semana, 60 min, intensidad que maximiza oxidación grasa)	TRF: ayuno ≥ 14 h antes del ejercicio vs. mismo ayuno con snack rico en carbohidratos 30 min antes vs. dieta normal control	8 semanas	Oxidación de grasa y CHO a carga igualada y máxima (fat _{max}); peso, masa grasa, masa muscular Calorimetría indirecta (ergómetro), bioimpedancia / antropometría	Fat _{max} y oxidación grasa mejoraron con el entrenamiento en todos los grupos ($p < 0.001$), sin diferencias entre condiciones – todos perdieron peso y grasa, aumentaron masa muscular con el tiempo	El entrenamiento fat-max mejora oxidación grasa independientemente del estado alimenticio pre-ejercicio; el snack CHO no modificó las adaptaciones

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
15	Mode et al. (2023) Reino Unido (23)	Ensayo cruzado aleatorizado. 16 adultos sanos (8 hombres y 8 mujeres)	Ciclismo steady-state al 60 % VO ₂ max + test de rendimiento o (15 min)	Ejercicio en la mañana (10:30) o tarde-noche (18:30), con comidas estandarizadas antes	Dos sesiones cruzadas (una mañana y otra tarde)	Hambre subjetiva, ingesta energética ad-libitum, sustrato oxidado (CHO y grasa), gasto energético en reposo y en ejercicio, rendimiento en test Calorimetría indirecta; cuestionarios visuales de apetito y escala; VO ₂ max; test de rendimiento deportivo	La ingesta ad-libitum tras ejercicio fue significativamente mayor en sesión vespertina (+152 ± 126 kcal ; p < 0.001); el apetito subjetivo no difirió entre condiciones. El gasto en reposo y la oxidación de CHO fueron mayores en ejercicio matinal, sin diferencia durante el ejercicio. El rendimiento no varió entre sesiones	Aunque el apetito subjetivo fue similar, la ingesta espontánea fue mayor tras ejercicio vespertino; el rendimiento fue equivalente en ambas sesiones; ejercicios matinales aumentaron gasto energético basal y quema de carbohidratos

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
16	Metcalfe R et al. (2020) Reino Unido (24)	Estudio experimental cruzado. n = 11 hombres físicamente activos (VO ₂ max ≈ 55 ml/kg/min; edad ≈ 23 años)	Ciclismo de resistencia (60 min a intensidad fija + prueba contrarreloj de 30 min)	Comparación: desayuno rico en carbohidratos vs. ayuno matutino con misma ingesta energética compensada en el almuerzo	1 día por condición (estudio agudo con condiciones cruzadas)	Rendimiento en ejercicio vespertino, glucemia, oxidación de sustratos, percepción del esfuerzo	Omitir el desayuno redujo significativamente el rendimiento por la tarde, a pesar de igualar el total energético diario. Además, se observó menor oxidación de carbohidratos durante el ejercicio y mayor percepción del esfuerzo.	La ingesta de carbohidratos en el desayuno mejora el rendimiento vespertino en ejercicios de resistencia. La distribución temporal de los macronutrientes importa, no solo la cantidad total diaria.

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
17	Moro et al. (2020) Italia (25)	Ensayo clínico aleatorizado paralelo. 16 ciclistas élite sub-23 varones	Ciclismo de resistencia (durante 45 min)	TRE 8 h alimentación (10:00–18:00) vs dieta normal distribuida en 3 comidas entre 07:00–21:00; ingesta energética total equivalente	4 semanas	VO ₂ max, potencia pico, composición corporal (FM, FFM), peso total.	TRE redujo peso (–2 %) y porcentaje de grasa (–1.1 %) sin pérdida de masa libre de grasa; VO ₂ max y PPO no cambiaron. PPO/peso mejoró en TRE gracias a reducción de peso.	TRE llevo a pérdida de grasa sin pérdida de rendimiento; mejoró PPO/peso
18	Meessen et al. (2022) Países Bajos / Noruega (26)	Ensayo cruzado aleatorizado. 11 adultos sanos (5 hombres, 6 mujeres)	Ejercicio aeróbico submáximo / pruebas de capacidad (VO ₂ max, fuerza)	Una comida al día por la tarde (ventana 17–19 h; OMAD 22/2) vs tres comidas normales eucalóricas	11 días por condición con 11 días de wash-out	Masa corporal, grasa corporal, oxidación de ácidos grasos durante ejercicio, capacidad aeróbica (VO ₂ max, fuerza)	OMAD redujo peso (–1.4 kg) y grasa (–0.7 kg), aumentó oxidación lipídica durante ejercicio, sin deterioro del VO ₂ max ni de la fuerza	Una comida al día en la tarde mejora flexibilidad metabólica y composición corporal sin afectar el rendimiento aeróbico o fuerza

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
19	Gieske et al. (2018) EE. UU. (27)	Estudio piloto, crossover, doble ciego. 11 hombres (edad \approx 23 años; peso \approx 86 kg; grasa \approx 19.7 %)	Caminata/tróte en cinta al 55 % de frecuencia cardíaca de reserva (moderado) durante 30 min	Ingesta pre-ejercicio (30 min antes) de 25 g de proteína: caseinato (CAS) o aislado de suero (WPI), CHO (maltodextrina) o placebo	Cuatro sesiones, cada intervención con >8 h de ayuno previo	RER durante el ejercicio, oxidación total de grasa, gasto energético en reposo pre-y post-ejercicio (REE). Calorimetría indirecta, medición continua VO_2 y RER, cálculo de oxidación, REE con calorimetría indirecta	No hubo diferencias en oxidación de grasa intra-ejercicio entre caseína, CHO o placebo; sin embargo, CAS permitió mayor oxidación total de grasa que WPI. REE post-ejercicio fue significativamente mayor tras ingestión de proteína (especialmente CAS) vs CHO o placebo	El consumo de caseína antes del ejercicio en ayunas aumentó la oxidación de grasa post-ejercicio y el gasto energético comparado a suero, CHO o ayuno; el ejercicio en ayunas no mejora más la oxidación intra-ejercicio que la proteína CAS

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
20	Mattsson et al. (2025) Suecia (28)	Ensayo controlado aleatorizado, crossover. 10 hombres, ciclistas de resistencia entrenados.	Ciclismo: 50 min al 70 % Wmax + contrarreloj (~24 min), sesiones nocturnas	Ingesta de 253 ± 52 g de CHO pre-ejercicio (2 h antes) o post-ejercicio (justo después), más bebida placebo en diseño cruzado	1 sesión por condición; seguimiento nocturno (00:00–06:00) + OGTT de 120 min a la mañana siguiente	Glucosa capilar durante ejercicio, glucosa intersticial nocturna, oxidación de grasa y CHO, tolerancia a glucosa, RER	CHO pre-ejercicio redujo glucosa durante el ejercicio sin afectar rendimiento; CHO post-ejercicio deterioró la tolerancia a la glucosa en la mañana siguiente, pero mejoró la flexibilidad metabólica (↑ oxidación CHO durante OGTT); ambos mejoraron oxidación de grasa vs control	El timing de CHO post-ejercicio nocturno puede afectar negativamente la tolerancia a la glucosa al día siguiente, pero mejorar la flexibilidad metabólica, lo que podría favorecer el rendimiento futuro; impacto potencial en estrategias de recuperación post-ejercicio nocturno

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
21	Ratliff K et al. (2023) Australia (29)	Estudio piloto, crossover, doble ciego. 15 mujeres (edad ≈ 22 años; peso ≈ 70 kg; grasa corporal ≈ 25 %)	Caminata/tróte en cinta al ~55 % de frecuencia cardíaca de reserva durante 60 min	Ingesta pre-ejercicio (30 min antes) de 25 g de proteína (caseinato o aislado de suero), CHO (maltodextrina) o placebo	4 sesiones con >8 h de ayuno previo	Oxidación de grasa y CHO, gasto energético, RER intra y post-ejercicio. Calorimetría indirecta, VO ₂ , RER, gasto energético	La proteína caseinato pre-ejercicio aumentó la oxidación de grasa post-ejercicio; sin diferencias en oxidación intra-ejercicio	La ingesta de caseinato antes del ejercicio en ayunas puede mejorar la oxidación de grasa post-ejercicio en mujeres
22	Küüsmaa M et al. (2021) (30)	Estudio experimental, crossover. 12 nadadores competitivos (edad 18-25 años)	Natación: pruebas de velocidad (50 y 100 m) en diferentes horas del día	No intervención nutricional específica; enfoque en variación circadiana del rendimiento	Varias sesiones en diferentes momentos del día	Tiempo de carrera, potencia, frecuencia cardíaca. Cronómetro digital, medidor de potencia, pulsómetro	Mejor rendimiento en la tarde comparado con la mañana; variaciones significativas en velocidad y potencia	El rendimiento en natación presenta variación circadiana, siendo mejor en la tarde, importante para planificar entrenamientos y competiciones

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
23	Müller et al. (2022) Alemania (31)	Estudio longitudinal, controlado. 20 atletas alemanes (edad 20-30 años; entrenamiento regular)	Ciclismo y carrera de resistencia	Ajuste del timing y composición de macronutrientes en función del ritmo circadiano	8 semanas	Resistencia, VO ₂ max, niveles de glucosa y lípidos. Test de esfuerzo, análisis sanguíneo	Mejoras significativas en stamina y metabolismo energético con crononutrición	La crononutrición mejora el rendimiento y la recuperación en atletas de resistencia
24	Soussi et al. (2019) Tunisia (10)	Estudio experimental cruzado, doble ciego, controlado con placebo. n = 15 hombres activos (edad: 20 ± 1 años, 174.3 ± 4.3 cm, 70.8 ± 3.5 kg)	Sprints intermitentes (5-m multiple shuttle run test) + tareas cognitivas (RT, atención)	Ingesta de cafeína (6 mg/kg) vs. placebo en 6 horarios distintos del día (07:00 a 17:00 h)	6 sesiones por condición (mañana a tarde), en días distintos	Rendimiento físico (distancia recorrida), cognición (tiempo de reacción, atención), ritmo diurno.	Rendimiento cognitivo y físico siguió un ritmo circadiano: mejores valores a las 11:00 y 17:00, peores a las 07:00 y 13:00. La cafeína mejoró RT y distancia en todos los horarios, especialmente cuando el rendimiento era más bajo.	El rendimiento físico y cognitivo varía según la hora del día. La cafeína atenúa esta variabilidad, especialmente en horarios con menor rendimiento (mañana temprano y mediodía).

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
25	Hawkins K et al. (2012) EE. UU. (32)	Estudio experimental crossover. 18 adultos sedentarios (8 hombres, 10 mujeres)	Ejercicio aeróbico de intensidad moderada (45% Vo2max en bicicleta)	Dieta alta en grasas con ejercicio en diferentes momentos del día	5 días consecutivos por condición	Oxidación de grasas y carbohidratos, RER Calorimetría indirecta, análisis de nitrógeno	Mayor oxidación de grasas en ejercicio realizado por la mañana en comparación con la tarde	El ejercicio matutino mejora la oxidación de grasas en dietas altas en grasa

Nº	Referencia	Tipo de estudio y muestra (n)	Tipo de ejercicio	Intervención nutricional	Duración de la intervención	Variables e instrumentos	Resultados principales	Conclusiones
26	Ramadan et al. (2000) Kuwait (33)	Estudio experimental observacional 18 hombres adultos sedentarios	Ejercicio aeróbico de intensidad moderada (70% Vo ₂ max)	Ayuno durante el Ramadán	Durante el mes de Ramadán	Frecuencia cardíaca, VO ₂ , gasto energético Monitorización cardio-respiratoria	No hubo cambios significativos en la capacidad máxima de ejercicio, eficiencia en la caminata, porcentaje de VO ₂ máx, peso o composición corporal.	Leves reducciones en la frecuencia cardíaca y ventilación durante ejercicio submáximo, sin afectar rendimiento aeróbico
27	Martarelli et al. (2009) Italia (34)	Estudio observacional. n = 6; ciclistas masculinos, edad promedio 44,8 ± 2 años (atletas máster)	Ciclismo de montaña; carrera de 24 h individual	No hubo intervención nutricional específica (solo dieta habitual)	24 horas de competición + seguimiento hasta 72 h postejercicio	Estrés oxidativo (ROMs), capacidad antioxidante plasmática (BAP)	ROMs ↑ 162% al final; ↑ 158% a las 24h; ↑ 144% a las 48h. BAP ↑ 128% al final; ↑ 114% a las 48h. Respuesta individual variable a las 72h.	El ejercicio extremo genera fuerte estrés oxidativo, compensado parcialmente por antioxidantes. Dieta rica en antioxidantes para la recuperación

Abreviaturas: Vo2 max: Volumen máximo de oxígeno; n: muestra; rep: repeticiones; km: kilometros; m: metros; min: minutos; RM: repetición máxima; LIST: Low-Intensity Steady-State; IMTP: Isometric Mid-Thigh Pull; CMVJ: Countermovement Vertical Jump; ISO: Isométrico; ISOK: Isocinético; fat-max: Fat Oxidation Maximum; Wmax: Potencia máxima alcanzada; RT: Reaction Time; TRE: Early Time-Restricted Eating; e-TRE: Early Time-Restricted Eating; d-TRE: Delayed / Late Time Restricted Eating; vs: versus; CHO: Carbohidratos; TRF: Time-Restricted Feeding; OMAD: One Meal A Day; CAS: Caseinato; WPI: Whey Protein Isolate; OGAT: Oral Glucose Tolerance Test; FC: Frecuencia Cardiaca; MEQ: Morningness- Eveningness Questionnaire; PSQI: Pittsburgh Sleep Quality Index; STQ: Sleep Timing Questionnaire; MBT = Medicine Ball Throw; ELISA: Enzyme-Linked Immunosorbent Assay; MVC: Maximal Voluntary Contraction; EVOK: fuerza evocada en pierna (Evoked Force); NE: Noradrenalina / Norepinefrina; GH: Hormona de crecimiento / Growth Hormone; DXA: Dual-energy X-ray Absorptiometry; IL-6: Interleucina 6; CMVJ: Countermovement Vertical Jump; EEG: Electroencefalografía; FM: Fat Mass; FFM: Fat-Free Mass; RER: Respiratory Exchange Ratio; REE: Resting Energy Expenditure; ROMs: Reactive Oxygen Metabolites; BAP: Biological Antioxidant Potential; AM CAFF: Mañana con cafeína; AM-PLAC: Mañana con placebo; PA: Presión arterial; VIT: Variable Intensity Training; N2: Non-REM Stage 2; REM: Rapid Eye Movement; SWS: Slow Wave Sleep; PPO: Peak Power Output

1. Restricción temporal de la ingesta (TRE) y ayuno en Ramadán

Ocho estudios han evaluado el impacto de la TRE y modalidades de ayuno en deportistas de resistencia (5,7,13,15,22,25,26,33). De forma consistente, la TRE produjo reducciones de peso y grasa corporal (5,7,13,22,25,26). En mujeres jóvenes, la aplicación de una ventana de alimentación temprana (8:00–14:00 h) se asoció con reducción significativa de peso corporal y mejoras en parámetros de fuerza, sin cambios negativos en la resistencia aeróbica (5). En corredores masculinos sometidos a un protocolo TRE 16/8 durante 8 semanas, se observó una disminución de peso y de la ingesta energética, manteniéndose estables el $\text{VO}_2\text{máx}$ y el rendimiento en carrera (13). De forma similar, en corredores recreativos la TRE redujo masa grasa con un impacto mínimo sobre la masa libre de grasa, sin peora del rendimiento (7). Por otro lado, en población físicamente activa han señalado que los beneficios se deben más a la reducción calórica inducida que a la restricción temporal en sí (13).

El protocolo OMAD (22/2) también mejoró la oxidación lipídica sin comprometer fuerza ni $\text{VO}_2\text{máx}$ (26). El ayuno intermitente ligado al Ramadán también ha sido estudiado en contextos deportivos. Se ha descrito una disminución del $\text{VO}_2\text{máx}$, alteraciones en la calidad del sueño y mayor percepción de fatiga en deportistas jóvenes durante este periodo (11), mientras que otros no observaron cambios relevantes en la capacidad aeróbica o la composición corporal (33). Investigaciones adicionales apuntan a que el rendimiento en pruebas de resistencia tiende a descender durante el Ramadán, con recuperación parcial una vez finalizado (12,19).

2. Cafeína y otros ergogénicos con componente cronobiológico

Cinco estudios evaluaron la cafeína y la melatonina (10,11,16,18,20). La cafeína es el suplemento más investigado en relación con el momento del día. Se observó que la cafeína atenúa la variabilidad circadiana del rendimiento físico y cognitivo, siendo más efectiva en horarios de menor rendimiento (mañana temprano y mediodía) (10). Por otro lado, en ciclistas, la suplementación con 6 mg/kg aumentó el rendimiento en pruebas contrarreloj, sobre todo en la mañana, cuando el desempeño suele ser más bajo (16). Del mismo modo, en pruebas de fuerza máxima y resistencia muscular, la cafeína ingerida en horario matutino mejoró los resultados, atenuando las diferencias entre la mañana y la tarde (18). Además, el timing óptimo de la cafeína se situó en torno a 60 minutos previos al ejercicio, mostrando menor eficacia si se administraba a los 30 min o 2 h (20).

Por otro lado, la administración de melatonina en horario matutino se asoció con una reducción significativa del rendimiento físico y cognitivo en pruebas de handgrip y MBT, sin que se observaran alteraciones en el

rendimiento vespertino (11). Asimismo, se registró un desfase en la percepción de fatiga y somnolencia (11).

3. Cronotipo y momento del día en el rendimiento

Cinco estudios exploraron la influencia del cronotipo y la hora de la prueba (14,21,23,30,32). Un estudio observacional con más de 900 maratonianos reveló que los individuos con cronotipo vespertino y mayor inercia del sueño registraban peores tiempos en maratón, mientras que los matutinos lograban mejores marcas en competiciones realizadas en horario de mañana (14).

La hora del día también se confirmó como determinante: en natación el rendimiento fue superior por la tarde, tanto en potencia como en velocidad (23,30,32) y el ejercicio matinal favoreció una mayor oxidación de grasas, mientras que el vespertino incrementó la ingesta ad libitum posterior (23,32).

Además, el rendimiento en pruebas de sprint y potencia muscular presenta variaciones circadianas consistentes: la fuerza máxima y la velocidad tienden a alcanzar valores más altos por la tarde, aunque la cafeína puede mitigar estas diferencias (21).

4. Ritmos hormonales y metabólicos circadianos

Tres estudios han evaluado la relación entre ritmos circadianos y marcadores fisiológicos (17,19,34). La irisin, mioquina asociada al metabolismo energético, mostró niveles superiores tras ejercicio aeróbico realizado por la tarde, evidenciando un ritmo circadiano en su secreción (17).

La absorción de hierro fue mayor tras ejercicio matutino seguido de ingesta de hierro, debido a menores niveles de hepcidina en esa franja, mientras que en la tarde la respuesta inflamatoria limitó la biodisponibilidad (19). Finalmente, en pruebas extremas de ultraciclismo, se observó un aumento marcado de estrés oxidativo sostenido hasta 72 h postejercicio, parcialmente compensado por mecanismos antioxidantes (34).

5. Distribución horaria de macronutrientes

Seis estudios investigaron la influencia del timing de macronutrientes (12,24,27–29,31).

La proteína post-ejercicio no modificó la recuperación inmediata de fuerza, pero la ingesta inmediata podría favorecer adaptaciones aeróbicas a medio plazo (12). Omitir el desayuno redujo significativamente el rendimiento vespertino a pesar de igualar la ingesta calórica total, mostrando que la distribución horaria de carbohidratos es relevante para pruebas de resistencia (24).

En mujeres y hombres jóvenes, la proteína caseinato pre-ejercicio aumentó la oxidación de grasa postejercicio (27,29). En ciclistas entrenados, el consumo de carbohidratos post-ejercicio nocturno deterioró

la tolerancia a la glucosa en la mañana siguiente, aunque mejoró la flexibilidad metabólica (28). Finalmente, un programa de crononutrición adaptado al ritmo circadiano mejoró stamina y recuperación tras 8 semanas de entrenamiento (31).

DISCUSIÓN

CRONONUTRICIÓN

La crononutrición se define como la relación que existe entre los RC, los nutrientes y el momento de la ingesta de los alimentos, afectando todo ello a la salud metabólica (3). Se basa en un sistema circadiano que promueve la vigilia y la alimentación durante el día, y el sueño y el ayuno durante la noche, existiendo una relevante relación entre el sueño y la alimentación (3).

Por lo tanto, además, de la cantidad y la composición de los alimentos, el horario de las comidas y garantizar un sueño reparador juegan un papel primordial en el bienestar y salud general dada que una buena sincronización entre ambas cosas puede optimizar el metabolismo y la salud en general (3).

El sistema circadiano está formado por un conjunto de RB ubicados principalmente en los núcleos supraquiasmáticos (NSQ) del hipotálamo y en órganos periféricos metabólicamente activos (1). Su función es regular los ritmos diarios conductuales y fisiológicos, como los ciclos de sueño/vigilia, alimentación, metabolismo, temperatura corporal y funciones endocrinas (1). Aunque el NSQ es el principal marcapasos circadiano, los órganos periféricos también pueden mantener RC de forma independiente, pero coordinados entre sí para asegurar una fisiología sincronizada (35). Estos ritmos influyen en procesos como la tolerancia a la glucosa, la secreción de melatonina y cortisol, la profundidad y calidad del sueño y la temperatura corporal a diferentes horas del día (1).

El ciclo circadiano, con una duración genética de aproximadamente 24 horas, se sincroniza principalmente con la luz ambiental siendo un sistema complejo y cuidadosamente regulado (35).

Por otro lado, la crononutrición se enfoca en tres elementos fundamentales de los hábitos alimentarios: la hora del día en que se come, la frecuencia de las comidas y su regularidad (1). Debido a esto, no solo importa qué y cuánto se come, sino también en qué momento del día se realiza la ingesta. Adaptar la alimentación al ritmo natural del cuerpo, ya sea en la mañana, tarde o noche, puede contribuir al equilibrio fisiológico y apoyar el buen funcionamiento del metabolismo (35).

Se han observado múltiples beneficios gracias a ciertos patrones dietéticos basándose en la ingesta de alimentos en intervalos específicos de tiempo durante el día (1).

La alimentación con restricción horaria (TRF) busca sincronizar los tiempos de ingesta con el RC, favoreciendo una mejor regulación del organismo (36).

Se ha observado que, saltarse comidas o comer a deshoras, altera negativamente al RB debido a una desincronización entre los RC y la fisiología metabólica, lo que puede llevar a problemas de salud y por lo tanto de rendimiento (36).

Existen numerosos neurotransmisores en el organismo, como la melatonina, la serotonina, la acetilcolina, la orexina, la galanina, la noradrenalina, la histamina, 5-hidroxitriptofano, etc. (37) capaces de regular el ciclo de sueño-vigilia ya que actúan en el reloj maestro del SNC (36).

Por esta razón, la alimentación adquiere un papel fundamental, ya que a través de ella es posible aportar precursores dietéticos de neurotransmisores que favorecen la calidad del sueño (36).

Seguir una dieta rica en melatonina (pescado, huevos, aves, leche, frutos secos, frutas y semillas), serotonina y triptófano, junto con un adecuado equilibrio de macronutrientes y un control del índice glucémico, ha demostrado tener un efecto positivo en los patrones del sueño (3). Además, se ha observado que los compuestos fenólicos como el resveratrol, proantocianidinas, epigallocatequina-3-galato, nobiletina, polifenoles del té oolong, ácido chicórico y quercetina tienen propiedades beneficiosas para la regulación de los RC (36).

Al contrario, las dietas ricas en grasas son uno de los principales factores que alteran el RC, ya que pueden modificar los horarios de alimentación y afectar el equilibrio metabólico (36). Además, la proporción de macronutrientes en la dieta influye en la regulación del RB, tanto central como periférico. Otros componentes como la dieta cetogénica, el alto consumo de sal, la cafeína y la teofilina también han demostrado impactar la sincronización del RC, modificando su funcionamiento y duración (36).

Es fundamental que la ingesta de alimentos se sincronice con el RB y las fases de actividad del organismo, lo que permite mantener un ciclo adecuado de alimentación y ayuno (38). Cada etapa activa mecanismos distintos: durante el día se favorece el almacenamiento de energía, mientras que en el ayuno se estimulan procesos de reparación y utilización de reservas (38).

NUTRICIÓN EN DEPORTES DE RESISTENCIA

El ejercicio aeróbico o de resistencia se basa principalmente en la fosforilación oxidativa para obtener energía y puede durar desde minutos hasta varias horas. Este desempeña un papel importante en la salud cardiovascular y el rendimiento físico (39).

En este contexto, adquieren especial relevancia dos macronutrientes esenciales para los deportes de resistencia: las proteínas, necesarias para la recuperación y el mantenimiento de la masa muscular, y los hidratos de carbono, como principal fuente de energía durante el esfuerzo prolongado (40).

PROTEÍNAS:

Aunque la mayoría de las investigaciones sobre proteínas se han centrado en el entrenamiento de fuerza (41), también se ha observado que una buena dieta rica en proteínas puede beneficiar las respuestas fisiológicas inducidas por el ejercicio aeróbico (39). Una ingesta adecuada de proteínas, especialmente después de la sesión de entrenamiento, puede apoyar la recuperación y el rendimiento, siempre que se tenga en cuenta la ingesta total diaria y el estado energético del individuo (42).

La mayoría de los estudios han enfocado sus análisis en los efectos de la proteína sobre la síntesis de proteína muscular (SPM), el desarrollo de masa muscular y la mejora de la composición corporal, especialmente en el contexto del entrenamiento de fuerza (43–48). No obstante, el ejercicio aeróbico también puede verse beneficiado por una ingesta proteica adecuada (42).

Aunque la cantidad total diaria de proteínas y energía sigue siendo el factor principal para favorecer las adaptaciones al entrenamiento, se ha observado que consumir proteínas alrededor (pre, intra, post..) del ejercicio puede ofrecer beneficios adicionales. Además, no solo importa la cantidad, sino también la calidad de las proteínas ingeridas, ya que influye en las adaptaciones al ejercicio tanto a corto como a largo plazo (39).

Además, se ha observado que la combinación de proteínas con carbohidratos y monohidratos de creatina potencia los efectos positivos del entrenamiento, especialmente en términos de fuerza e hipertrofia. Esta sinergia puede mejorar el balance proteico al aumentar la SPM y reducir la degradación de proteínas musculares (DPM) (39). Los carbohidratos, por sí solos, no aumentan directamente la SPM, pero sí contribuyen a conservar proteínas y a mejorar la reposición de glucógeno postejercicio, lo cual es fundamental para una recuperación completa (49). Cuando la ingesta de carbohidratos es insuficiente tras el ejercicio, añadir proteínas puede compensar parcialmente este déficit y disminuir los signos de daño muscular (49).

El impacto de la proteína en el entrenamiento de resistencia no depende únicamente de su consumo, sino de múltiples variables asociadas al tipo de ejercicio y al estado del atleta (50). Aun así, omitir por completo la ingesta postejercicio representa una estrategia poco efectiva si se busca potenciar las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento (50).

Estudios previos sobre sustancias como la cafeína, la creatina y el bicarbonato han demostrado que el momento de su ingesta puede influir tanto en la respuesta inmediata como en los efectos a largo plazo del ejercicio. Por ello, una distribución adecuada de carbohidratos y proteínas puede impactar positivamente en la recuperación y el rendimiento (39).

HIDRATOS DE CARBONO:

Durante el ejercicio aeróbico de intensidad moderada a alta, y en entrenamientos de resistencia, los carbohidratos son la principal fuente de energía (39). Las reservas de glucógeno en el hígado y los músculos son limitadas, y su reducción afecta negativamente al rendimiento y acelera la degradación muscular. Por ello, es fundamental que los atletas ajusten su ingesta de carbohidratos según la intensidad y duración del entrenamiento (39).

COMBINACION DE HIDRATOS DE CARBONO Y PROTEINAS

La combinación de carbohidratos y proteínas representa una estrategia nutricional ampliamente utilizada por los atletas de resistencia para optimizar el rendimiento físico y la recuperación (49). Esta sinergia no solo favorece una reposición más eficiente del glucógeno muscular, sino que también contribuye a reducir el daño muscular inducido por el ejercicio intenso y a mantener un balance positivo de nitrógeno, esencial para los procesos de reparación y adaptación muscular (39). Diversas investigaciones han evidenciado que incorporar proteínas junto con carbohidratos mejora significativamente el rendimiento y acelera la recuperación, especialmente cuando el tiempo entre sesiones es limitado o cuando la ingesta de carbohidratos ha sido insuficiente (49). Además, esta combinación puede mitigar los efectos del daño muscular, facilitando una recuperación más completa y reduciendo los síntomas asociados al esfuerzo prolongado (39).

SUPLEMENTACIÓN DEPORTIVA

En el ámbito de la suplementación deportiva, resulta imprescindible tener en cuenta diversos factores. En primer lugar, conviene señalar que, en el caso de mantener una alimentación desequilibrada o poco saludable, la suplementación no puede considerarse una solución milagrosa (51). Además, es importante cuestionar si el suplemento seleccionado contribuirá de manera efectiva al logro de los objetivos establecidos, teniendo en consideración la modalidad deportiva que se practique (51). En consecuencia, la suplementación debe administrarse de forma adecuada, respetando tanto los tiempos mínimos de ingesta como la cantidad suficiente y el momento idóneo de consumo (51).

Dentro del ámbito de la suplementación deportiva, existen múltiples compuestos utilizados con diferentes fines:

PROTEINAS

Las proteínas tienen un papel fundamental en la síntesis de proteína muscular y, por lo tanto, la recuperación tras el ejercicio. De ahí, su relevancia dentro de la suplementación más extendida en la práctica deportiva (47).

Las fuentes de suplementación proteica se dividen, fundamentalmente, en dos grupos: de origen animal y de origen vegetal. En relación con estas últimas, las más empleadas son la proteína de soja, guisante, arroz y cáñamo. Sin embargo, debido a que presentan deficiencias o bajos niveles en determinados aminoácidos esenciales, su capacidad de estimular la síntesis de proteína muscular (SPM) resulta inferior a la de las proteínas de mayor calidad biológica (52).

Por otro lado, las proteínas de origen animal se caracterizan por un perfil de aminoácidos más completo y un mayor valor biológico. Entre ellas, las más habituales son las proteínas lácteas (que incluyen el suero y la caseína), además de la proteína del huevo y la carne. En el caso específico del suero lácteo, este puede encontrarse en tres formas principales: concentrado, aislado e hidrolizado (44).

La suplementación derivada de la leche continúa siendo considerada una de las más eficaces, entre otros factores por su elevado contenido en leucina, aminoácido clave en la activación de la SPM (53).

En este sentido, la combinación de diferentes fuentes proteicas con velocidades de digestión variables puede favorecer una respuesta anabólica más prolongada (54).

Sin embargo, diversos estudios coinciden en que la variable determinante es la cantidad total de proteína ingerida a lo largo del día. De hecho, se ha evidenciado que, una vez alcanzada una ingesta en el rango de 1,6–2,2 g/kg/día, el consumo adicional de proteínas no conlleva mayores incrementos en la masa muscular (55).

CREATINA

La creatinina es uno de los suplementos con mayor respaldo científico, un compuesto formado por tres aminoácidos: arginina, metionina y glicina (56). La cantidad presente de manera natural en los alimentos resulta insuficiente para alcanzar los niveles que permiten obtener sus beneficios ergogénicos, por lo que la suplementación se convierte en una estrategia eficaz (57). Su principal mecanismo de acción se relaciona con el aumento de las reservas de fosfocreatina, lo que favorece una resíntesis más rápida de ATP. En consecuencia, se dispone de una mayor disponibilidad energética para el músculo durante esfuerzos de moderada-alta intensidad (58).

Dentro de las distintas formas existentes, el monohidrato de creatina es la más recomendada, ya que es la variante más estudiada y con mayor evidencia de eficacia y seguridad (59). Cabe señalar que, a diferencia de la cafeína, cuyos efectos son inmediatos, la creatina ejerce su acción de manera acumulativa en el tiempo y no requiere una fase de carga para ser efectiva. Las dosis recomendadas son de 0,1g/kg de peso al día (59).

CAFEINA

La cafeína también se considera uno de los suplementos con mayor respaldo científico junto a la creatina y está presente en diversos alimentos y bebidas, aunque su consumo más habitual se realiza mediante infusiones como el café o el té (60). Los efectos ergogénicos de la cafeína son variables y dependen de múltiples factores, entre los que se incluyen las características individuales del sujeto, el contexto, el tipo de esfuerzo o deporte y la dosis administrada (61). La evidencia científica sugiere que, para optimizar el rendimiento, resulta más eficaz la ingesta de cafeína en forma de suplemento que a través del consumo de café por sí solo (61).

Por ello, es fundamental considerar tanto el momento de la toma como la cantidad administrada, especialmente si la competición o el entrenamiento se realiza por la tarde, ya que podría afectar la calidad del sueño. Las dosis recomendadas oscilan generalmente entre 200 y 400 mg por ingesta (62).

MELATONINA

La melatonina es un suplemento ampliamente reconocido por su capacidad para mejorar la calidad del sueño (51). Una ingesta adecuada de triptófano en la dieta favorece la síntesis de serotonina y, de manera subsecuente, la producción de melatonina (63).

Este compuesto regula los ritmos circadianos, contribuyendo a un sueño más reparador, y además posee propiedades antioxidantes y antiinflamatorias que pueden favorecer las adaptaciones al ejercicio (64).

En España, la legislación permite comercializar suplementos de melatonina únicamente con dosis máximas de 2 mg (65). La evidencia sugiere que la melatonina puede mejorar el descanso y la recuperación en deportistas, así como contribuir a la mejora de ciertos parámetros metabólicos, como la inflamación, la resistencia a la insulina o la sarcopenia, repercutiendo positivamente en el rendimiento y la recuperación muscular (64). Aunque en la literatura se reporta que las dosis efectivas suelen situarse entre 2 y 5 mg, en el mercado español los productos disponibles contienen habitualmente menos de 2 mg (65).

CRONONUTRICIÓN EN DEPORTES DE RESISTENCIA

En el ámbito deportivo, numerosos estudios han demostrado que el ritmo circadiano influye de manera significativa en el rendimiento (30,35,38,66–68). La preferencia circadiana es un término que se utiliza para describir la inclinación subjetiva de cada persona hacia un tipo específico de RC, el cual generalmente refleja su horario habitual de sueño y vigilia (1,14).

Investigaciones previas indican que el momento del día en que un atleta alcanza su máximo rendimiento está relacionado con su preferencia circadiana individual (14).

En deportes de resistencia, como los maratones que suelen iniciarse temprano en la mañana o a media mañana, la preferencia circadiana se convierte en un factor fundamental a considerar para maximizar el rendimiento (1).

Además, existe el concepto de inercia del sueño, que se refiere al deterioro temporal de las capacidades físicas y cognitivas que ocurre inmediatamente después de despertarse. La duración e intensidad de esta inercia varían entre personas y es un fenómeno completamente normal (1).

No obstante, aquellos que experimentan una inercia del sueño más prolongada y severa pueden enfrentar mayores dificultades para rendir óptimamente, aunque existen estrategias para minimizar este efecto (30).

Diferentes estudios sugieren que las características circadianas individuales, como el CRT o la calidad del sueño, también influyen en la capacidad de esfuerzo y en la recuperación (1,2,8,30,35,37,38,66–68). Así, el rendimiento en pruebas de resistencia puede variar en función del horario de la competición y de la preferencia circadiana de cada atleta (30). Por lo tanto, las alteraciones del ritmo circadiano pueden amplificar la fatiga y limitar la adaptación al entrenamiento (21).

Para que ese sueño sea de calidad es importante tener en cuenta la alimentación, ya que las investigaciones recientes muestran que la crononutrición puede desempeñar un papel relevante en la planificación dietética de los atletas de resistencia, especialmente en lo que respecta a la organización de las ingestas y su interacción con los ritmos circadianos (1,3,6,8,36,69–76). Es por eso por lo que, la integración de la crononutrición con la periodización del entrenamiento permite personalizar las estrategias nutricionales y de recuperación, ajustándolas al CRT, al horario de las sesiones y a las demandas energéticas, con el fin de optimizar tanto el REN inmediato como las adaptaciones a largo plazo (8,73,74).

En este sentido, la práctica del TRE ha mostrado efectos positivos sobre la composición corporal y, en algunos casos, sobre parámetros de capacidad aeróbica en corredores y ciclistas (13,25). No obstante, es importante conocer que, en disciplinas de alta carga de entrenamiento, estas estrategias pueden reducir la disponibilidad energética diaria, comprometiendo la recuperación y, potencialmente, el rendimiento (26).

Sin embargo, es importante implementarla de manera individualizada y adaptarla a las necesidades específicas de cada deportista (26).

Otro aspecto importante es el momento de ingesta de macronutrientes en relación con el ejercicio. Se ha evidenciado que la omisión de un desayuno rico en carbohidratos puede deteriorar el rendimiento en sesiones de resistencia realizadas en horario vespertino, incluso si la ingesta energética total se compensa a lo largo del día (24). Del mismo modo, el consumo de carbohidratos en momentos estratégicos ha demostrado optimizar la disponibilidad de glucosa y modular la oxidación de sustratos durante el ejercicio de alta intensidad (28).

Los resultados de la literatura revisada ponen de manifiesto que la crononutrición constituye un campo de creciente interés en el ámbito del rendimiento en deportes de resistencia, ya que integra tanto el momento de las ingestas como la interacción con los RC (5,7,25,26,77).

En relación con las estrategias de TRE, se ha observado que pueden favorecer la mejora de la composición corporal y la oxidación de sustratos, particularmente grasas, en corredores y ciclistas recreacionales (25). No obstante, conviene señalar que, en situaciones de elevada carga de entrenamiento, la restricción de la ventana de alimentación puede disminuir la disponibilidad energética total, con posibles consecuencias negativas sobre la recuperación y el rendimiento a largo plazo (5).

Además del TRE, el momento de ingesta de macronutrientes en relación con el ejercicio es un aspecto fundamental. La evidencia indica que la supresión de comidas ricas en carbohidratos, como el desayuno, puede perjudicar el rendimiento en sesiones de resistencia realizadas en la tarde, incluso si se compensa la ingesta en otras comidas del día (28). Asimismo, el consumo estratégico de carbohidratos antes o después de sesiones de alta intensidad se asocia a una mejor disponibilidad de glucosa y a una regulación más eficiente de la oxidación de sustratos (26). En el caso de las proteínas, algunos trabajos apuntan a que el momento de su ingesta no tiene un impacto determinante en la recuperación de fuerza tras el ejercicio, aunque podría facilitar adaptaciones aeróbicas cuando se combina con programas de entrenamiento variable en intensidad (12).

Por otro lado, se ha investigado sobre la suplementación y su interacción con los RC. La cafeína, por ejemplo, ha demostrado ser más eficaz para mejorar el rendimiento muscular y cognitivo cuando se consume en determinados momentos del día, pudiendo incluso contrarrestar las fluctuaciones circadianas del rendimiento neuromuscular (10,16). Estudios recientes confirman que el momento de la ingesta de cafeína condiciona su efectividad, siendo más marcada en esfuerzos de alta intensidad o corta duración realizados por la tarde (18). De forma similar, la administración de melatonina en horario matutino se ha asociado a

alteraciones en el ritmo de las capacidades físicas de corta duración, lo que sugiere que la cronobiología debe ser considerada también en la suplementación (15,21).

Otro factor a destacar es la influencia de los RC y el CRT en el rendimiento en pruebas de resistencia. Se ha descrito que tanto el CRT matutino o vespertino como el momento del día en el que se entrena o compete influyen en variables como la percepción del esfuerzo o la capacidad aeróbica (14,30). Además, la desincronización circadiana, como ocurre en los cambios de huso horario o en el adelanto de fases del sueño, puede alterar parámetros fisiológicos y de rendimiento en deportistas (25).

En deportes de resistencia, una correcta sincronización de ingestas y suplementación con los RC y los horarios de entrenamiento puede optimizar la disponibilidad energética, mejorar la oxidación de sustratos, potenciar la eficacia de ayudas ergogénicas y favorecer la recuperación (5,14,18,19). Sin embargo, debe señalarse que la mayoría de los estudios disponibles presentan limitaciones importantes: la mayoría se han realizado en deportistas recreacionales y en periodos relativamente cortos (4–12 semanas), además de existir gran heterogeneidad en los protocolos de TRE y en los tipos de pruebas de resistencia analizadas (5,7,22,25,33).

Por ello, se requieren investigaciones más prolongadas y realizadas en atletas de élite que permitan esclarecer cómo la crononutrición puede integrarse de manera óptima en programas de entrenamiento de resistencia. Sería de especial interés evaluar la interacción entre CRT, distribución temporal de macronutrientes y suplementación, así como sus efectos combinados sobre el rendimiento, la recuperación y la salud a largo plazo. Con este enfoque integral será posible determinar con mayor precisión el potencial de la crononutrición como estrategia innovadora para el alto rendimiento en deportes de resistencia.

CONCLUSIONES

El presente trabajo permite afirmar que la crononutrición constituye un elemento emergente y de gran interés en la optimización del rendimiento en deportes de resistencia, ya que contempla no solo la calidad y cantidad de la dieta, sino también el momento en el que los nutrientes son ingeridos en relación con los RC y el entrenamiento.

1. Las estrategias de TRE pueden mejorar la composición corporal y favorecer la oxidación de grasas, aunque su aplicación en deportistas sometidos a elevadas cargas de entrenamiento debe realizarse con cautela para no comprometer la disponibilidad energética ni la recuperación.
2. La distribución temporal de los macronutrientes, especialmente de los hidratos de carbono, tiene un impacto directo sobre la disponibilidad energética y el rendimiento en sesiones de resistencia. No basta con cubrir las necesidades diarias, sino que resulta clave ajustar el momento de consumo a la intensidad y al horario del ejercicio.
3. La suplementación deportiva presenta también una dimensión cronobiológica. Sustancias como la cafeína, la melatonina o las proteínas muestran respuestas diferentes según el momento del día en el que se ingieren, lo que resalta la importancia de considerar no solo la dosis, sino también el horario de administración.
4. Los RC y el CRT individual influyen de manera significativa en la respuesta al entrenamiento y a la nutrición. Adaptar la estrategia nutricional al perfil circadiano de cada deportista puede favorecer un mejor rendimiento y una recuperación más eficaz.
5. La evidencia científica disponible presenta limitaciones importantes, ya que la mayoría de los estudios se han realizado en atletas recreacionales, con duraciones cortas y gran heterogeneidad metodológica. Esto dificulta la extrapolación de los resultados a poblaciones de élite.
6. La crononutrición no debe entenderse como una intervención aislada, sino como parte de un enfoque integrado que contemple el entrenamiento, el descanso y la periodización dietética. Este enfoque multidimensional abre la puerta a estrategias más personalizadas y potencialmente más efectivas en el ámbito de los deportes de resistencia.

BIBLIOGRAFÍA/REFERENCIAS:

1. Franzago M, Alessandrelli E, Notarangelo S, Stuppia L, Vitacolonna E. Chrono-Nutrition: Circadian Rhythm and Personalized Nutrition. Vol. 24, International Journal of Molecular Sciences. MDPI; 2023.
2. Meléndez-Fernández OH, Liu JA, Nelson RJ. Circadian Rhythms Disrupted by Light at Night and Mistimed Food Intake Alter Hormonal Rhythms and Metabolism. Vol. 24, International Journal of Molecular Sciences. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2023.
3. Saidi O, Rochette E, Dambel L, St-Onge MP, Duché P. Chrono-nutrition and sleep: lessons from the temporal feature of eating patterns in human studies - A systematic scoping review. Vol. 76, Sleep Medicine Reviews. W.B. Saunders Ltd; 2024.
4. Drăgoi CM, Nicolae AC, Ungurianu A, Margină DM, Grădinaru D, Dumitrescu IB. Circadian Rhythms, Chrononutrition, Physical Training, and Redox Homeostasis—Molecular Mechanisms in Human Health. Vol. 13, Cells. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024.
5. Yu Z, Ueda T. Early Time-Restricted Eating Improves Weight Loss While Preserving Muscle: An 8-Week Trial in Young Women. *Nutrients* . 2025 Mar 1;17(6).
6. Mentzelou M, Papadopoulou SK, Psara E, Voulgaridou G, Pavlidou E, Androutsos O, et al. Chrononutrition in the Prevention and Management of Metabolic Disorders: A Literature Review. Vol. 16, *Nutrients*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024.
7. Correia JM, Pizarat-Correia P, Minderico C, Infante J, Mendonca G V. Effects of Time-Restricted Eating on Aerobic Capacity, Body Composition, and Markers of Metabolic Health in Healthy Male Recreational Runners: A Randomized Crossover Trial. *J Acad Nutr Diet*. 2024 Aug 1;124(8):1041–50.
8. Vitale JA, Weydahl A. Chronotype, Physical Activity, and Sport Performance: A Systematic Review. Vol. 47, *Sports Medicine*. Springer International Publishing; 2017. p. 1859–68.
9. Golem DL, Martin-Biggers JT, Koenings MM, Davis KF, Byrd-Bredbenner C. An integrative review of sleep for nutrition professionals. Vol. 5, *Advances in Nutrition*. American Society for Nutrition; 2014. p. 742–59.
10. Souissi Y, Souissi M, Chtourou H. Effects of caffeine ingestion on the diurnal variation of cognitive and repeated high-intensity performances. *Pharmacol Biochem Behav*. 2019 Feb 1;177:69–74.

11. Ghattassi K, Hammouda O, Graja A, Boudhina N, Chtourou H, Hadhri S, et al. Morning melatonin ingestion and diurnal variation of short-term maximal performances in soccer players. *Acta Physiol Hung.* 2016 Mar 1;103(1):94–104.
12. Hannaian SJ, Orlando MN, Sawan SA, Mazzulla M, West DWD, Moore DR. Protein Timing Does Not Affect Next-Day Recovery of Strength or Power but May Enhance Aerobic Adaptations to Short-Term Variable Intensity Exercise Training in Recreationally Active Males: A Pilot Study. *Front Sports Act Living.* 2020;2.
13. Brady AJ, Langton HM, Mulligan M, Egan B. Effects of 8 wk of 16:8 Time-restricted Eating in Male Middle- and Long-Distance Runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2021 Mar 1;53(3):633–42.
14. Gratton MKP, Charest J, Lickel J, Bender AM, Werthner P, Pedlar CR, et al. Influence of circadian preference, sleep inertia and their interaction on marathon completion time: A retrospective, cross-sectional investigation of a large mass-participation city marathon. *J Sleep Res.* 2025 Jun 1;34(3).
15. El-Jaziz A, Lotfi S. How do chronotype and sleep patterns impact young athletes' aerobic performance during Ramadan intermittent fasting? *Ann Ig.* 2023;35(6):683–94.
16. Boyett JC, Giersch GEW, Womack CJ, Saunders MJ, Hughey CA, Daley HM, et al. Time of day and training status both impact the efficacy of caffeine for short duration cycling performance. *Nutrients.* 2016 Oct 1;8(10).
17. Anastasilakis AD, Polyzos SA, Saridakis ZG, Kynigopoulos G, Skouvaklidou EC, Molyvas D, et al. Circulating irisin in healthy, young individuals: Day-night rhythm, effects of food intake and exercise, and associations with gender, physical activity, diet, and body composition. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism.* 2014 Sep 1;99(9):3247–55.
18. Mora-Rodríguez R, Pallarés JG, López-Samanes Á, Ortega JF, Fernández-Elías VE. Caffeine ingestion reverses the circadian rhythm effects on neuromuscular performance in highly resistance-trained men. *PLoS One.* 2012 Apr 4;7(4).
19. McCormick R, Moretti D, McKay AKA, Laarakkers CM, Vanswelm R, Trinder D, et al. The Impact of Morning versus Afternoon Exercise on Iron Absorption in Athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2019 Oct 1;51(10):2147–55.
20. Harty PS, Zabriskie HA, Stecker RA, Currier BS, Tinsley GM, Surowiec K, et al. Caffeine Timing Improves Lower-Body Muscular Performance: A Randomized Trial. *Front Nutr.* 2020 Nov 23;7.
21. Petit E, Mougin F, Bourdin H, Tio G, Haffen E. Impact of 5-h phase advance on sleep architecture and physical performance in athletes. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism.* 2014 Nov 16;39(11):1230–6.

22. Hofstätter F, Niedermeier M, Rausch LK, Kopp M, Simpson L, Lawley JS. Effects of time-restricted feeding and meal timing on an 8-week fat oxidation exercise training program—A randomized controlled trial. *Physiol Rep.* 2025 Jan 1;13(2).
23. Mode WJA, Slater T, Pinkney MG, Hough J, James RM, Varley I, et al. Effects of Morning Vs. Evening exercise on appetite, energy intake, performance and metabolism, in lean males and females. *Appetite.* 2023 Mar 1;182.
24. Metcalfe RS, Thomas M, Lamb C, Chowdhury EA. Omission of a carbohydrate-rich breakfast impairs evening endurance exercise performance despite complete dietary compensation at lunch. *Eur J Sport Sci.* 2020;1–22.
25. Moro T, Tinsley G, Longo G, Grigoletto D, Bianco A, Ferraris C, et al. Time-restricted eating effects on performance, immune function, and body composition in elite cyclists: a randomized controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr.* 2020 Dec 1;17(1).
26. Meessen ECE, Andresen H, van Barneveld T, van Riel A, Johansen EI, Kolnes AJ, et al. Differential Effects of One Meal per Day in the Evening on Metabolic Health and Physical Performance in Lean Individuals. *Front Physiol.* 2022 Jan 11;12.
27. Gieske BT, Stecker RA, Smith CR, Witherbee KE, Harty PS, Wildman R, et al. Metabolic impact of protein feeding prior to moderate-intensity treadmill exercise in a fasted state: A pilot study. *J Int Soc Sports Nutr.* 2018 Nov 29;15(1).
28. Mattsson S, Edin F, Trinh J, Adolfsson P, Jendle J, Pettersson S. Impact of carbohydrate timing on glucose metabolism and substrate oxidation following high-intensity evening aerobic exercise in athletes: a randomized controlled study. *J Int Soc Sports Nutr.* 2025;22(1).
29. Ratliff KM, Kerksick CM, Moon JM, Hagele AM, Boring JL, Walden K, et al. Metabolic impact of feeding prior to a 60-min bout of moderate-intensity exercise in females in a fasted state. *Front Sports Act Living.* 2023 Jan 16;4.
30. Kūusmaa M MEMMMJ. Circadian variation in swim performance. *Eur J Sport Sci.* 2021;21(5):653–61.
31. Müller K; SL; WT. Nutritional Strategies and their Role in Enhancing Athletic Stamina in German Athletes. *European Journal of Sports Nutrition.* 2022;14(2):123–35.
32. Hawkins KR, Hansen KC, Schoeller DA, Cooper JA. Effect of exercise on the diurnal variation in energy substrate use during a high-fat diet. *Eur J Appl Physiol.* 2012 Nov;112(11):3775–85.
33. Ramadan JM, Barac-Nieto M. Cardio-respiratory responses to moderately heavy aerobic exercise during the Ramadan fasts Original Articles. Vol. 21, *Saudi Medical Journal.* 2000.

34. Martarelli D; PP. Oxidative stress and antioxidant changes during a 24-hours mountain bike endurance exercise in master athletes. *J Sports Med Phys Fitness*. 2009;49(1):122–7.
35. Bass J, Takahashi JS. Circadian integration of metabolism and energetics. Vol. 330, *Science*. 2010. p. 1349–54.
36. Ahluwalia MK. Chrononutrition—When We Eat Is of the Essence in Tackling Obesity. Vol. 14, *Nutrients*. MDPI; 2022.
37. Drăgoi CM, Nicolae AC, Ungurianu A, Margină DM, Grădinaru D, Dumitrescu IB. Circadian Rhythms, Chrononutrition, Physical Training, and Redox Homeostasis—Molecular Mechanisms in Human Health. Vol. 13, *Cells*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024.
38. Oosterman JE, Kalsbeek A, la Fleur SE, Belsham DD, Fleur la S. Impact of nutrients on circadian rhythmicity. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* [Internet]. 2015;308:337–50. Available from: www.ajpregu.org
39. Kerkick CM, Arent S, Schoenfeld BJ, Stout JR, Campbell B, Wilborn CD, et al. International society of sports nutrition position stand: Nutrient timing. Vol. 14, *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. BioMed Central Ltd.; 2017.
40. de Castro JM. The time of day and the proportions of macronutrients eaten are related to total daily food intake. *British Journal of Nutrition*. 2007 Nov;98(5):1077–83.
41. Abdulla H, Smith K, Atherton PJ, Idris I. Role of insulin in the regulation of human skeletal muscle protein synthesis and breakdown: a systematic review and meta-analysis. *Diabetologia*. 2016 Jan 1;59(1):44–55.
42. West DWD, Burd NA, Coffey VG, Baker SK, Burke LM, Hawley JA, et al. Rapid aminoacidemia enhances myofibrillar protein synthesis and anabolic intramuscular signaling responses after resistance exercise. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2011 Sep 1;94(3):795–803.
43. Ivy JL, Goforth HW, Damon BM, Mccauley TR, Parsons EC, Price TB, et al. Early postexercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *J Appl Physiol* [Internet]. 2002;93:1337–44. Available from: <http://www.jap.org>
44. Gorissen SH, Trommelen J, Kouw IW, Holwerda AM, Pennings B, Groen BB, et al. Protein type, protein dose, and age modulate dietary protein digestion and phenylalanine absorption kinetics and plasma phenylalanine availability in humans. *J Nutr*. 2020;150(8):2041–50.
45. Shamim B, Hawley JA, Camera DM. Protein availability and satellite cell dynamics in skeletal muscle. *Sports Medicine*. 2018;48(6):1329–43.
46. Churchward-Venne TA, Breen L, Di Donato DM, Hector AJ, Mitchell CJ, Moore DR, et al. Leucine supplementation of a low-protein mixed macronutrient beverage enhances myofibrillar

- protein synthesis in young men: a double-blind, randomized trial. *Am J Clin Nutr.* 2014;99(2):276–86.
47. Antonio J, Ellerbroek A, Peacock C, Silver T. Casein protein supplementation in trained men and women: Morning versus evening. *Int J Exerc Sci.* 2017;10(3):479.
 48. West DWD, Burd NA, Coffey VG, Baker SK, Burke LM, Hawley JA, et al. Rapid aminoacidemia enhances myofibrillar protein synthesis and anabolic intramuscular signaling responses after resistance exercise. *American Journal of Clinical Nutrition.* 2011 Sep 1;94(3):795–803.
 49. Howarth KR, Moreau NA, Phillips SM, Gibala MJ. HIGHLIGHTED TOPIC Regulation of Protein Metabolism in Exercise and Recovery Coingestion of protein with carbohydrate during recovery from endurance exercise stimulates skeletal muscle protein synthesis in humans. *J Appl Physiol* [Internet]. 2009;106:1394–402. Available from: <http://www>.
 50. Pasiakos SM, McClung HL, McClung JP, Margolis LM, Andersen NE, Cloutier GJ, et al. Leucine-enriched essential amino acid supplementation during moderate steady state exercise enhances postexercise muscle protein synthesis. *American Journal of Clinical Nutrition.* 2011 Sep 1;94(3):809–18.
 51. Galancho Reina I. El gran manual de la suplementación deportiva. 2021.
 52. Gorissen SH, Witard OC. Characterising the muscle anabolic potential of dairy, meat and plant-based protein sources in older adults. *Proceedings of the Nutrition Society.* 2018;77(1):20–31.
 53. Jackman SR, Witard OC, Philp A, Wallis GA, Baar K, Tipton KD. Branched-chain amino acid ingestion stimulates muscle myofibrillar protein synthesis following resistance exercise in humans. *Front Physiol.* 2017;8:390.
 54. Kato H, Volterman KA, West DW, Suzuki K, Moore DR. Nutritionally non-essential amino acids are dispensable for whole-body protein synthesis after exercise in endurance athletes with an adequate essential amino acid intake. *Amino Acids.* 2018;50(12):1679–84.
 55. Morton RWMKTMSRSBJHMHEAAADMCBLKJWPSM. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *Br J Sports Med.* 2017;52(6):376–84.
 56. Brosnan ME, Brosnan JT. The role of dietary creatine. *Amino Acids.* 2016;48(8):1785–91.
 57. Deminice R, de Castro GS, Brosnan ME, Brosnan JT. Creatine supplementation as a possible new therapeutic approach for fatty liver disease: Early findings. *Amino Acids.* 2016;48(8):1983–91.
 58. Chilibeck PD, Kaviani M, Candow DG, Zello GA. Effect of creatine supplementation during resistance training on lean tissue mass and muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Open Access J Sports Med.* 2017;8:213.

59. Forbes SC, Candow DG. Timing of creatine supplementation and resistance training: A brief review. ???
60. Glaister M, Gissane C. Caffeine and physiological responses to submaximal exercise: A meta-analysis. *Int J Sports Physiol Perform*. 2018;13(4):402–11.
61. Grgic J, Mikulic P. Caffeine ingestion acutely enhances muscular strength and power but not muscular endurance in resistance trained men. *Eur J Sport Sci*. 2017;17(8):1029–36.
62. Grgic J, Trexler ET, Lazinica B, Pedisic Z. Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr*. 2018;15(1):11.
63. Farjallah MA, Hammouda O, Zouch M, Ghattassi K, Graja A, Driss T, et al. Effect of melatonin ingestion on physical performance, metabolic responses, and recovery after an intermittent training session. *Physiol Int*. 2018;105(4):358–70.
64. Czuczejko J, Sielski Ł, Woźniak B, Woźniak A, Szewczyk-Golec K. Melatonin supplementation improves oxidative and inflammatory state in the blood of professional athletes during the preparatory period for competitions. *Free Radic Res*. 2019;53(2):198–209.
65. Cheikh M, Hammouda O, Gaamouri N, Driss T, Chamari K, Cheikh RB, et al. Melatonin ingestion after exhaustive late evening exercise improves sleep quality and quantity, and short-term performances in teenage athletes. *Chronobiol Int*. 2018;35(9):1281–93.
66. Ritmos circadianos y rendimiento atlético.
67. Lewandowski MH. Circadian Clock and Nutrition. Vol. 15, *Nutrients*. MDPI; 2023.
68. Anderson A, Murray G, Herlihy M, Weiss C, King J, Hutchinson E, et al. Circadian effects on performance and effort in collegiate swimmers. *J Circadian Rhythms*. 2018 Aug 3;16.
69. Rodrigues J, Magalhães V, Santos MP, Reis C, Pichel F, Soares P, et al. Weight loss in patients with severe obesity after bariatric surgery—the potential role of the chrono-nutrition, chronotype and the circadian misalignment: A study protocol of the ChronoWise prospective cohort. *PLoS One*. 2024 Nov 1;19(11).
70. Negri M, Pivonello C, Amatrudo F, Cimmino F, Trinchese G, Vetrani C, et al. Effects of Chrono-Exercise and Chrono-Nutrition on Muscle Health: Understanding the Molecular Mechanisms Activated by Timed Exercise and Consumption of Proteins and Carbohydrates. 2025; Available from: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaf007>
71. Kim HK, Radak Z, Takahashi M, Inami T, Shibata S. Chrono-exercise: Time-of-day-dependent physiological responses to exercise. Vol. 5, *Sports Medicine and Health Science*. KeAi Communications Co.; 2023. p. 50–8.

72. Flanagan A, Bechtold DA, Pot GK, Johnston JD. Chrono-nutrition: From molecular and neuronal mechanisms to human epidemiology and timed feeding patterns. Vol. 157, *Journal of Neurochemistry*. Blackwell Publishing Ltd; 2021. p. 53–72.
73. Al Abdi T, Andreou E, Papageorgiou A, Heraclides A, Philippou E. Personality, Chrono-nutrition and Cardiometabolic Health: A Narrative Review of the Evidence. Vol. 11, *Advances in Nutrition*. Oxford University Press; 2020. p. 1201–10.
74. Aoyama S, Nakahata Y, Shinohara K. Chrono-Nutrition Has Potential in Preventing Age-Related Muscle Loss and Dysfunction. Vol. 15, *Frontiers in Neuroscience*. Frontiers Media S.A.; 2021.
75. Pot GK. Sleep and dietary habits in the urban environment: The role of chrono-nutrition. In: *Proceedings of the Nutrition Society*. Cambridge University Press; 2018. p. 189–98.
76. Patel A, Cheung J. The effect of mediterranean diet and chrononutrition on sleep quality: a scoping review. Vol. 24, *Nutrition Journal*. BioMed Central Ltd; 2025.
77. Brady AJ, Langton HM, Mulligan M, Egan B. Effects of 8 wk of 16:8 Time-restricted Eating in Male Middle- and Long-Distance Runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2021 Mar 1;53(3):633–42.