

Efecto de la cafeína como ayuda ergogénica para evitar y prevenir la fatiga muscular

Elena Barceló Cormano¹, Raquel Blasco Redondo², Mar Blanco Rogel¹, Anna Bach-Faig³

¹Universitat Oberta de Catalunya. Barcelona. ²Unidad de Medicina Interna y Nutrición del Centro Regional de Medicina Deportiva de la Junta de Castilla y León. Departamento de Nutrición y Bromoterapia. Facultad de Medicina. Universidad de Valladolid. ³Grupo de Investigación FoodLab. Universitat Oberta de Catalunya. Barcelona.

Recibido: 12.04.2019

Aceptado: 09.09.2019

Resumen

La cafeína, una de las sustancias psicoactivas de mayor consumo a nivel mundial, se ha relacionado con el retraso en la aparición de la fatiga muscular y la disminución en la percepción del esfuerzo durante la actividad física. Debido al aumento progresivo en el consumo de complementos alimenticios para mejorar el rendimiento deportivo, decidimos realizar esta revisión con el objetivo de sintetizar la evidencia disponible sobre el efecto de la cafeína como ayuda ergogénica en la fatiga central y periférica, examinando los mecanismos de acción y especificando las dosis y la forma de administración idóneas para obtener el efecto ergogénico deseado. Para ello se realizó una búsqueda bibliográfica entre enero de 2008 y mayo de 2018, identificando estudios publicados en bases de datos electrónicas (PubMed, SciELO, Dialnet) y documentos de organismos nacionales e internacionales (EFSA, AECOSAN, SEMED/FEMEDE, AIS, EUFIC, WADA) sobre la cafeína y su efecto sobre la fatiga muscular. Se analiza el mecanismo de acción de la cafeína en deportes de fuerza y resistencia, así como las dosis, vías y pautas de administración óptimas. Se revisan además otros aspectos como la toxicidad, el dopaje y la normativa actual que regula el etiquetado de los complementos alimenticios que contienen cafeína.

Palabras clave:

Cafeína. Efecto ergogénico. Fatiga muscular. Fuerza muscular. Mejora del rendimiento.

Effect of caffeine as an ergogenic aid to prevent muscle fatigue

Summary

Caffeine, one of the most widely used psychoactive substances worldwide, has been linked to the delay in the appearance of neuromuscular fatigue and the reduction in the effort perception during physical activity. As a result of a progressive increase in the consumption of food supplements to improve the sports performance, we decided to review the ergogenic effect of caffeine on muscle fatigue at central and peripheral levels. A bibliographic search was conducted between January 2008 and May 2018, identifying studies published in electronic databases (PubMed, SciELO, Dialnet) and documents from national and international organizations (EFSA, AECOSAN, SEMED/FEMEDE, AIS, EUFIC, WADA) about caffeine and its effect on muscle fatigue. The mechanism of action of caffeine in strength and endurance sports is analyzed, as well as the optimal dosage, routes of administration and dosology guidelines. We also review other aspects such as toxicity, doping and the current legislation that regulates the labeling of food supplements containing caffeine.

Key words:

Caffeine. Ergogenic effect. Muscle fatigue. Muscle strength. Performance-enhancing effect.

Correspondencia: Elena Barceló Cormano
E-mail: elenabarceloc@gmail.com

Introducción

La práctica de actividad física constituye una estrategia imprescindible para mantener un estilo de vida saludable, siendo también recomendable en la prevención y tratamiento de numerosas patologías.

Desde siempre se ha reconocido la importancia de la alimentación en el rendimiento físico, no solo en el ámbito de la competición, sino también entre quienes practican deportes de ocio y actividades de musculación. Para alcanzar el éxito deportivo, el entrenamiento debe acompañarse de una alimentación óptima y adecuada para cada actividad deportiva. No obstante, dado que una de las causas más importantes de aparición de lesiones deportivas es la fatiga muscular, se constata un aumento progresivo del consumo de ayudas ergogénicas por parte de deportistas de diferentes niveles y disciplinas^{1,2} con el propósito de minimizar el efecto de la fatiga tanto de origen central como periférico^{3,4}.

El "Instituto Australiano del Deporte", basándose en la evidencia científica y en criterios de seguridad, legalidad y eficacia en el rendimiento deportivo, clasifica la cafeína (junto con la β -alanina, el bicarbonato sódico, la creatina, el zumo de remolacha y el glicerol) dentro del grupo *Suplementos/Ingredientes de ayuda ergogénica con grado de evidencia A*⁵.

Químicamente, la cafeína (1,3,7-trimetilxantina) es un alcaloide de la familia de las xantinas, sustancias derivadas de las purinas que se encuentran de forma natural en las plantas del té, café, mate, cacao, chocolate, guaraná y nuez de cola. Junto con la teobromina de la planta del cacao, y la teofilina del té negro y verde, la cafeína es una de las sustancias psicoactivas de mayor consumo a nivel mundial⁶. Existen además productos (bebidas energizantes, geles, chicles, algunos medicamentos) que ofrecen concentraciones adicionales de cafeína para aumentar el rendimiento físico o psicológico, produciendo también efectos en otras funciones fisiológicas como el estado de ánimo, el humor, el sueño o el dolor⁴.

La capacidad de la cafeína para mejorar el trabajo muscular ha sido ampliamente estudiada a lo largo de los años, constando investigaciones que datan incluso de principios del siglo XX, aunque su uso como ayuda ergogénica por parte de los deportistas no se hizo evidente hasta las décadas de 1970-1980⁴. Dado que se trata de una sustancia casi omnipresente en la dieta habitual de los humanos, suscita gran interés el estudio de su efecto en el cuerpo humano y uno de los aspectos que más curiosidad ha generado es su influencia en la aparición de la fatiga que acompaña a la práctica de actividades deportivas.

El objetivo de esta revisión es sintetizar la evidencia disponible sobre el efecto de la cafeína como ayuda ergogénica en la fatiga central y periférica, examinando los mecanismos de acción y especificando las dosis y la forma de administración idóneas para obtener el efecto ergogénico deseado.

Metodología

Se realizó una búsqueda bibliográfica sobre el efecto ergogénico de la cafeína en la fatiga muscular consultando bases de datos electrónicas (PubMed, SciELO, Dialnet), seleccionando fundamentalmente revisiones sistemáticas, meta-análisis y artículos específicos de expertos publicados entre enero de 2008 y mayo de 2018 y siguiendo la estrategia de "bola de nieve" para obtener la mayor cantidad de información posible. También se revisaron documentos de organismos nacionales e internacionales: EFSA, AECOSAN, SEMED/FEMEDE, AIS, EUFIC, WADA (Tabla 1).

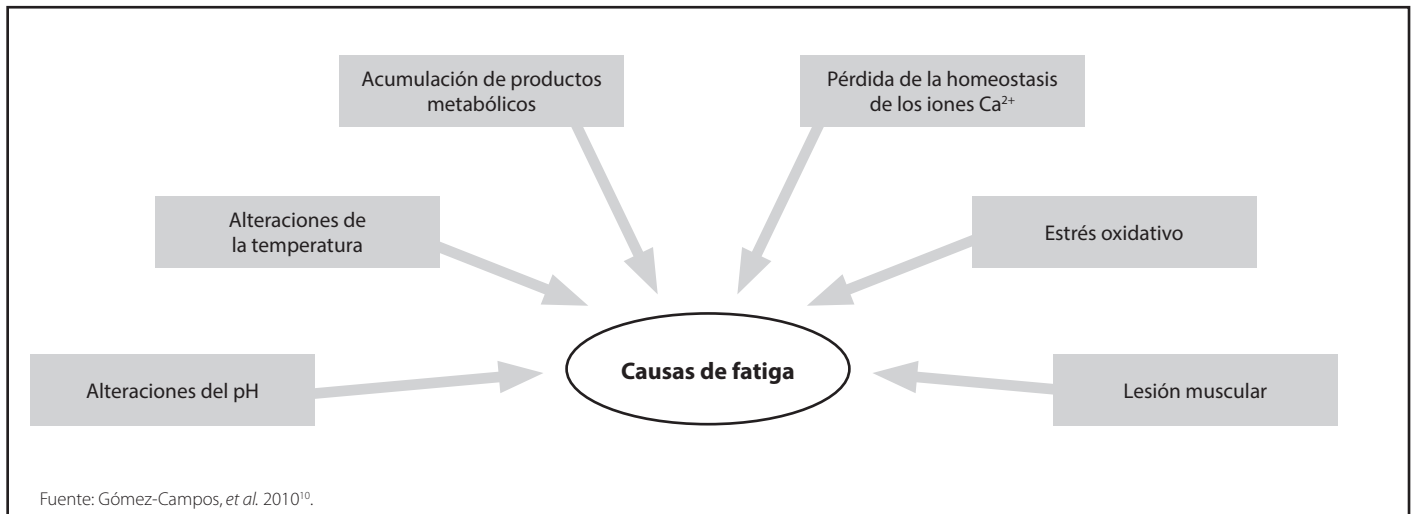
Consideraciones sobre la fatiga muscular

La *fatiga muscular*, fenómeno que generalmente limita la actividad deportiva y la realización de ejercicios prolongados y extenuantes, se

Tabla 1. Criterios de inclusión / exclusión, palabras clave, bases de datos consultadas.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<ul style="list-style-type: none"> - Información relevante sobre el efecto ergogénico de la cafeína y la fatiga muscular - Documentos de consenso basados en evidencia científica - Idiomas: español, inglés y francés - Artículos de acceso a texto completo - Período de publicación: enero 2008 – mayo 2018 - Diseño del estudio: artículos originales, revisiones de la literatura, revisiones sistemáticas y meta-análisis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Artículos no relacionados con el objeto del estudio - Estudios no realizados en humanos - Artículos sin relevancia científica
Palabras clave	
<ul style="list-style-type: none"> - cafeína - efecto ergogénico - fatiga muscular - fuerza muscular - mejora del rendimiento 	<ul style="list-style-type: none"> - caffeine - ergogenic effect - muscle fatigue - muscle strength - performance-enhancing effect
Bases de datos electrónicas	Organismos y sociedades científicas nacionales e internacionales
<ul style="list-style-type: none"> - PubMed - Scielo - Dialnet 	<ul style="list-style-type: none"> - EFSA: European Food Safety Authority - AECOSAN: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición - SEMED/FEMEDE: Sociedad Española de Medicina del Deporte - AIS: Australian Institute of Sport - EUFIC: European Food Information Council - WADA: World Anti-Doping Agency

Figura 1. Causas sugeridas de fatiga.



define como una disminución en la producción de fuerza o potencia máxima en respuesta a una actividad contráctil. A pesar de que las causas de la fatiga provocada por el ejercicio son complejas, en general se acepta que depende del nivel de entrenamiento y del estado nutricional de la persona, del tipo de fibras musculares, así como de la intensidad, duración y tipo de ejercicio realizado. Cabe destacar que la fatiga muscular difiere de la lesión muscular en que la primera es reversible tras unas horas de descanso, mientras que el restablecimiento completo tras la lesión puede prolongarse durante días o semanas⁷.

Alteraciones a diferentes niveles de la vía motora pueden contribuir en la aparición de la fatiga muscular, lo que nos permite clasificarla en *central* cuando se origina por alteraciones en el sistema nervioso central (SNC), a nivel encefálico o de la médula espinal, que disminuyen la conducción del impulso nervioso hacia el músculo, y *periférica* cuando se produce por disfunción del sistema nervioso periférico (SNP) o por patología músculo-esquelética, debiéndose a cambios a nivel de la unión neuromuscular o bien a nivel de las terminaciones nerviosas⁷⁻⁹.

La hipótesis sobre el origen de la *fatiga central* se basa en los cambios que el ejercicio induce en la concentración a nivel del SNC de neurotransmisores (serotonina, dopamina, noradrenalina) que producen estímulos a nivel de las motoneuronas espinales, activando finalmente las unidades motoras para conseguir la generación de potencia. La ralentización o cese de esta activación contribuye a la pérdida de fuerza propia de la fatiga^{7,9}. Otros factores que pueden influir en la génesis de la fatiga central son los niveles cerebrales de glucógeno y amonio, y además, la hipertermia que frecuentemente se asocia al ejercicio también podría reducir la actividad del SNC⁹.

En cambio, se considera que la *fatiga periférica* resulta de las alteraciones de la homeostasis en el músculo esquelético debido a una limitación de uno o más procesos en la unidad motora¹⁰.

La producción de la fuerza músculo-esquelética depende de mecanismos contráctiles y algunas de las alteraciones a nivel neuronal, mecánico o energético que pueden generar fatiga son las siguientes⁷:

- Acúmulo de metabolitos intracelulares (iones hidrógeno, lactato, fosfato inorgánico, especies reactivas de oxígeno) que modifican la

actividad contráctil muscular por interferencia en la liberación de calcio del retículo sarcoplásmico, disminución de la sensibilidad de la fibra muscular al calcio e inhibición directa de las motoneuronas. No obstante, la aparición de fatiga muscular atribuida al descenso del pH por acúmulo de iones hidrógeno está siendo actualmente cuestionada, ya que a temperaturas fisiológicas no parece ser un mecanismo limitante^{7,11}.

- Disminución del aporte sanguíneo, y por consiguiente de oxígeno, a los grupos musculares activos durante la contracción muscular voluntaria por aumento de la tensión arterial media⁷.
- Desequilibrio entre consumo y producción de adenosín trifosfato (ATP) a nivel muscular por disminución de las reservas de glucógeno durante el ejercicio⁹. El mecanismo por el cual la depleción de glucógeno en el músculo conduce a la fatiga muscular continúa en estudio⁷.

Efecto de la cafeína

La cafeína ejerce su efecto ergogénico mediante diferentes mecanismos, entre los que destaca la inhibición competitiva de los receptores de adenosina que se encuentran en el SNC a nivel de las terminaciones presinápticas y que regulan la liberación de otros neurotransmisores como la acetilcolina, el glutamato y la dopamina, potenciando así la atención, la concentración y el estado de alerta en el ejercicio mental y físico, y reduciendo la percepción de fatiga durante el ejercicio^{4,12,13}.

También se han observado alteraciones en la percepción del dolor con la ingesta de cafeína por un aumento de la secreción de β -endorfinas¹⁴, lo cual favorece un aumento de la resistencia al ejercicio.

Este modelo central es el que mejor explicaría el efecto ergogénico de la cafeína en los ejercicios de alta intensidad, en contraposición a la teoría ampliamente defendida de la estimulación de los ácidos grasos y consiguiente ahorro de glucógeno muscular^{15,16}.

En referencia a los factores relacionados con la fatiga periférica, existen evidencias de los posibles mecanismos que explicarían el efecto ergogénico de la cafeína en deportes de fuerza a nivel muscular, entre

los que destacan la pérdida de potasio durante las contracciones y la potenciación de la liberación de calcio desde el retículo sarcoplásmico, generando todo ello una mejora global de la función neuromuscular^{9,16}.

Resultados y discusión

Cafeína en deportes de fuerza

Sobre el efecto de la cafeína en la fuerza y potencia muscular, los resultados son equívocos. Autores pioneros como Astorino *et al.*¹⁷ o Williams *et al.*¹⁸, ambos en 2008, y otros posteriores como Ali *et al.*¹⁹ en 2016 no demostraron efectos ergogénicos significativos en deportes de fuerza, mientras que Goldstein *et al.*²⁰ en 2010 y Grgic y Mikulic²¹ en 2017 apoyan la efectividad de la cafeína a dosis de 6 mg/kg de peso para aumentar la fuerza de grupos musculares de la parte superior e inferior del cuerpo, respectivamente.

Los estudios individuales muestran resultados inconsistentes por causas diversas: número total de participantes y sus características específicas (nivel de entrenamiento, género, grado de habituación a la cafeína,...), tipo de ejercicio estudiado, forma de dispensación, etc., no permitiendo sacar conclusiones sólidas sobre el potencial ergogénico de la cafeína para los resultados de fuerza muscular máxima.

Por este motivo, Grgic *et al.*²² publicaron en 2018 una revisión sistemática y metaanálisis sobre resultados de estudios individuales en cuanto al efecto agudo de la ingesta de cafeína sobre la fuerza muscular máxima, concluyendo que dosis de 3-6 mg/kg de peso pueden inducir mejoras significativas en la producción de fuerza y potencia muscular expresada como altura de salto vertical, lo cual sería aplicable a una amplia variedad de deportes en los que el salto es una actividad predominante que afecta al rendimiento deportivo. A pesar de evidenciar efectos ergogénicos pequeños o medianos, cabe señalar que en algunos deportes pequeñas mejoras del rendimiento representan diferencias significativas en los resultados.

Cafeína en deportes de resistencia

Existe una extensa documentación científica sobre la utilidad de la cafeína en la mejora del rendimiento en el *ejercicio aeróbico* observada a través de diversos parámetros como el aumento del tiempo de trabajo y del tiempo hasta el agotamiento, la mejora del pico de consumo de oxígeno en ejercicio submáximo y la mejora en la percepción del esfuerzo, entre otros^{23,24}.

Ya en 2009, una revisión sistemática de Ganio *et al.*²⁵ sobre 33 ensayos clínicos evidenció un beneficio del rendimiento con una mejora media de 3,2-4,3% con la administración de cafeína en cantidades de 3-6 mg/kg de peso antes y/o durante actividades de resistencia contrarreloj de duración variable (5-150 min) y en diversas modalidades de ejercicio (ciclismo, carrera, remo, esquí de fondo y natación). Estos autores concluyeron además que la abstención del consumo de cafeína durante al menos 7 días antes de la competición, mejoraba el efecto ergogénico. Ahora bien, aunque Irwin *et al.*²⁶ muestran una mejora ergogénica en ejercicios de resistencia de alta intensidad con dosis de 3 mg/kg independientemente de un periodo de abstención previo, la revisión de Naderi *et al.*²⁷ de 2016 refuerza las conclusiones obtenidas

por Ganio *et al.*²⁵, atribuyendo dicho efecto a la regulación enzimática secundaria a la ingesta crónica de cafeína.

Los efectos de la cafeína en *esfuerzos anaeróbicos* como actividades intensas de corta duración, supramáximas y sprints de repetición han sido menos estudiados²⁸. Existen revisiones sistemáticas como la realizada por Astorino y Roberson²⁹ en 2010 sobre el rendimiento en ejercicios de alta intensidad y corta duración (≤ 5 min), en donde aproximadamente un 65% de los estudios mostraron un beneficio medio del 6,5% en el rendimiento, con variaciones según el nivel de entrenamiento y de consumo de cafeína de los participantes, dosis total ingerida y tipos de pruebas, además de las diferencias genéticas entre deportistas.

Un estudio a doble ciego con placebo en 2013³⁰ mostraba cómo dosis de cafeína de 5 mg/kg de peso mejoraban no sólo el rendimiento, sino también la percepción de fatiga y de dolor muscular en ejercicios de resistencia en deportistas entrenados. En 2017, Wellington *et al.*³¹ muestran una mejora del 1% en una prueba de sprint de repetición en jugadores de rugby con dosis de 300 mg de cafeína 60 minutos antes del ejercicio, y Christensen *et al.*¹² demuestran en un metaanálisis una mejora del 1% en la velocidad promedio también en pruebas de resistencia. Así mismo, los resultados del metaanálisis de Grgic *et al.*²² de 2018 se suman a las investigaciones que sugieren la mejora del rendimiento anaeróbico de la cafeína, demostrando una diferencia significativa en comparación con placebo en la producción de potencia media y máxima en un cicloergómetro.

Farmacocinética y timing

Debido a sus características farmacocinéticas, la cafeína administrada vía oral es absorbida rápidamente desde el sistema gastrointestinal hacia el torrente sanguíneo, observándose concentraciones plasmáticas elevadas a los 15 minutos de su ingesta que llegan a alcanzar un máximo en 30-60 minutos, con una vida media de 3 a 10 horas. La absorción a nivel de la mucosa oral alcanza niveles máximos mucho más rápidamente. La cafeína presenta una biodisponibilidad del 100% y una alta solubilidad, por lo que se distribuye rápidamente por todo el organismo atravesando con gran facilidad las membranas celulares, así como las barreras hematoencefálica y placentaria, alcanzando grandes concentraciones en todo el organismo, inclusive en el encéfalo³².

El metabolismo tiene lugar principalmente a nivel hepático (en mucha menor proporción a nivel cerebral y renal) mediante las enzimas del citocromo P-450, dando lugar a metabolitos que se excretan por vía renal y que podrían mediar algunos de los efectos potenciadores del rendimiento propios de la cafeína¹³.

Entre los factores intrínsecos que pueden explicar las modificaciones en la farmacocinética de la cafeína tenemos los diferentes polimorfismos genéticos del citocromo P-450. Además, la ingesta crónica de cafeína acelera su aclaramiento metabólico, dando lugar a una habituación en la mayoría de consumidores, con lo que la abstención de alimentos y bebidas con cafeína en los días previos a la competición podría potenciar el efecto ergogénico. También se ha demostrado una mayor respuesta en la mejora de la función neuromuscular con el consumo matutino de cafeína respecto al vespertino, debido a la mayor actividad enzimática durante las primeras horas del día²⁷. Como factores exógenos que también pueden modificar el aclaramiento de la

cafeína podemos destacar el consumo concomitante de fármacos o el hábito tabáquico, el cual puede llegar a duplicar la tasa de eliminación de la cafeína^{4,23}.

A pesar de que podemos encontrar cafeína en concentraciones considerables en diversos alimentos, pueden no ser suficientes para conseguir el deseado efecto ergogénico debido a las cantidades variables de cafeína que presentan (según la elaboración o preparación) o bien a la presencia de sustancias antagónicas o modificadoras de la absorción, por lo que se defiende el consumo de preparados específicos^{23,33} (Tabla 2).

En entornos deportistas la cafeína se suele administrar en forma anhidra (deshidratada), bien en comprimidos o en soluciones en polvo. Otras formas de presentación pueden tener un grado de absorción diferente, como en el caso de la administración a través de la mucosa oral o nasal que constituye una ruta directa hacia el SNC, permitiendo detectar niveles plasmáticos elevados en solo 5-15 minutos³⁴.

En diferentes estudios que demuestran los beneficios ergogénicos de la cafeína, observamos que las dosis habituales en adultos (consultar Figura 2 para niños-adolescentes) oscilan entre 3-6 mg/kg de peso, administradas 30-60 minutos antes del ejercicio, obteniendo mejoras en el tiempo hasta el agotamiento, la capacidad de trabajo y la percepción del esfuerzo en deportes de resistencia^{13,16}.

Investigando el uso de dosis bajas de cafeína (<3 mg/kg de peso, ~200 mg) antes o durante el ejercicio, se observa también una mejora en el rendimiento, sobre todo a nivel cognitivo, con la consiguiente mejora de la vigilancia y los estados de alerta y de ánimo durante y después del ejercicio extenuante por el efecto de la cafeína sobre el SNC^{27,35}.

Por otro lado, dosis elevadas de cafeína (≥9 mg/kg de peso) no parecen aportar mayores beneficios, pudiendo en cambio aumentar el riesgo de efectos adversos (náuseas, diarrea, deshidratación, ansiedad, insomnio, inquietud)^{16,27} que condicionarán el rendimiento deportivo²⁸.

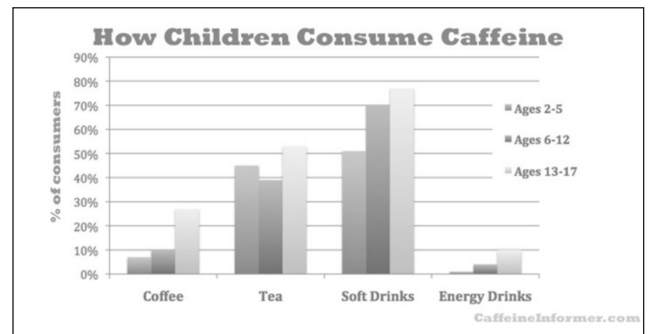
Tabla 2. Cafeína en alimentos y bebidas.

Alimento o bebida	Contenido en cafeína (mg)
Café expreso (60 ml)	80
Café filtrado (250 ml)	95-165
Café descafeinado	1-2
Café 'Starbucks' (Corto /Venti)	160 / 400
Té negro (220 ml)	50
Té verde (220 ml)	25-30
Bebida de cola (330 ml)	40
Bebida energizante (250 ml)	80
Chocolate negro (50 g)	25
Chocolate con leche (50 g)	10
Barrita cafeinada (65 g)	50
Gel deportivo con cafeína (40-60 ml)	25-150
Gel energético 'Shot' (33 ml)	200-300
Cafeína en cápsulas (1 g)	100
Bebida de guaraná (330 ml)	30

Fuente: Elaboración propia, a partir de:
 - EUFIC (2016): Caffeine (Q&A): How much caffeine is found in different foods and drinks? (<https://www.eufic.org/en/whats-in-food/article/caffeine-qas>)
 - Mayo Clinic (2018): Contenido de cafeína del café, el té, las gaseosas y más. (<https://www.mayoclinic.org/es-es/healthy-lifestyle/nutrition-and-healthy-eating/in-depth/caffeine/art-20049372>)
 - Botanical on-line (2019): Cantidad de cafeína de los alimentos, plantas y bebidas. (<https://www.botanical-online.com/alimentos/caffeina-alimentos-ricos>)
 - Verster & Koenig (2018): Caffeine intake and its sources: A review of national representative studies. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2018;58(8):1250-59 (<https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1247252>)

Figura 2. Consumo de cafeína en la infancia-adolescencia.

- Consumo diario estable durante la última década, a pesar de la introducción de nuevas bebidas con cafeína¹
- Prevalencia: ~ 75 % niños entre 6-17 años²
- Ingesta media diaria total por debajo de las recomendaciones de consumo de cafeína (EFSA: 3 mg/kg/día para niños y adolescentes)^{1,2,3}:
 - 6-11 años: 25 mg/día
 - 12-17 años: 50 mg/día
- Principales fuentes (variable según los países)⁴:
 - café y té (consumo en ascenso)
 - bebidas de cola (consumo en descenso) y
 - bebidas energizantes (mayor consumo a mayor edad, sobre todo en varones)
- Metabolismo más lento que en adultos por menor eficacia de la enzima CYP1A2³
- Dosis de 1,5 mg/kg/día ya pueden producir alteraciones del sueño³
- Bebidas energizantes^{1,5}:
 - representan un bajo porcentaje del consumo total de cafeína (5-12%)
 - pueden comportar mayor riesgo de efectos adversos por su elevada concentración de cafeína (80-250 mg)
 - su consumo entre adolescentes se asocia con mayor prevalencia de conductas de riesgo (tabaquismo, alcoholismo, drogadicción,...)



Fuente:

1. Verster & Koenig, 2018 (<https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1247252>)
2. Ahluwalia, *et al.*, 2015 (<https://doi.org/10.3945/an.114.007401>)
3. EFSA, 2015 (<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/4102>)
4. Tran, *et al.*, 2016 (<https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.06.007>)
5. Temple *et al.*, 2017 (<https://doi.org/10.3389/fpsy.2017.00080>)

Así pues, teniendo en cuenta el amplio rango de dosis con efecto ergogénico debido a la considerable variación interindividual¹³, se aconseja ensayar diferentes estrategias durante los entrenamientos con el fin de conseguir protocolos individualizados que aporten el máximo beneficio con el menor riesgo posible²⁸.

Toxicidad de la cafeína

El progresivo aumento del consumo de bebidas energéticas conllevando concentraciones elevadas de cafeína y otras sustancias como taurina, guaraná, L-carnitina, ginseng, ha comportado un mayor número de casos de toxicidad³⁶ tanto cardíaca (fibrilación auricular) como a nivel del SNC (convulsiones). No obstante, recientes investigaciones apuntan a que dichos componentes consumidos por separado pueden tener un efecto neutro o incluso positivo en la salud, siempre que no se superen las dosis tóxicas³⁷.

El consumo agudo de cafeína puede producir un aumento leve de la tensión arterial y de la frecuencia cardíaca que se asocia a un descenso del flujo sanguíneo miocárdico, así como un aumento de los niveles plasmáticos de catecolaminas, renina y ácidos grasos libres³⁸ y aunque un estudio prospectivo publicado por Klatsky *et al.*³⁹ en 2011 muestra una relación inversa independiente del sexo, raza y edad entre el consumo de café y el riesgo de ingreso hospitalario por arritmias cardíacas, existe evidencia de los posibles efectos adversos de la cafeína cuando se consume a dosis elevadas (>500-600 mg/día), produciendo nerviosismo, ansiedad, irritabilidad, insomnio, cefalea y problemas gastrointestinales, además del aumento de la actividad nerviosa simpática a nivel cardíaco, estimándose una dosis letal media de 10 g de cafeína para adultos⁴⁰.

Yamamoto *et al.*⁴¹ en 2015 revisaron diversos casos de intoxicación por cafeína, especialmente aquellos que resultaron en muerte, y en la mayoría de ellos se asoció al consumo de otro tipo de drogas, sobretudo alcohol, comprobando que la concentración de cafeína en los individuos que no habían consumido alcohol era superior a aquellos que combinaron ambas sustancias. Se ha especulado sobre el mecanismo letal de la cafeína, asociándose a arritmias ventriculares, pero existen estudios que sugieren otros mecanismos como convulsiones, rhabdomiólisis y fallo renal agudo⁴² o paro respiratorio por daño cerebral funcional⁴¹. Estudios en animales⁴³ y en humanos⁴¹ muestran en casos letales de intoxicación que la cafeína se distribuye en diferentes órganos, principalmente riñón, cerebro e hígado, por lo que la causa de muerte puede asociarse no sólo al mecanismo de arritmia ventricular sino también al daño orgánico generalizado.

Dopaje

La cafeína figuró en la lista de sustancias prohibidas por la Asociación Mundial Antidopaje - *World Anti-Doping Agency* (AMA-WADA) desde 1984 hasta el año 2004, momento en que fue retirada. El nivel permitido en orina se limitó a <12 µg/ml, (~6-8 tazas de café). Debido a que las dosis ergogénicas de cafeína son casi indistinguibles de las de un consumo normal, la AMA eliminó su restricción para evitar penalizar injustamente a los atletas. Sin embargo, ante el creciente uso de la cafeína desde su liberalización y para elucidar si la intención de dicho consumo era la mejora del rendimiento, los expertos consideraron en 2017 que se debía incluir en la lista de vigilancia de la AMA, donde continúa a día de hoy, por lo que se siguen monitoreando sus niveles en la actualidad^{44,45}.

Etiquetado / Normativa

La Unión Europea refuerza las obligaciones de informar al consumidor acerca de las bebidas y alimentos (incluidos los complementos alimenticios) que contengan una cantidad elevada de cafeína mediante el Reglamento (UE) nº 1169/2011 que regula la información alimentaria facilitada al consumidor⁴⁶. Si bien la legislación europea sobre complementos alimenticios no especifica el máximo permitido, sí que se regula la información que debe aparecer en el etiquetado en relación con la cafeína⁴⁶:

- Para bebidas en las que la denominación del alimento incluya las palabras “café” o “té” (excepto las fabricadas a base de café, té o de extractos de té o café), tanto las destinadas al consumo sin

modificación alguna como las elaboradas a partir del producto concentrado o deshidratado y que contengan una proporción superior a los 150 mg de cafeína por litro, se debe mencionar:

“Contenido elevado de cafeína: No recomendado para niños ni mujeres embarazadas o en período de lactancia” en el mismo campo visual que la denominación de la bebida, seguida de una referencia al contenido de cafeína expresado en mg por 100 ml.

- Para otros alimentos distintos de las bebidas, a los que se añada cafeína con fines fisiológicos, se debe mencionar:

“Contiene cafeína. No recomendado para niños ni mujeres embarazadas” en el mismo campo visual que la denominación del alimento, seguida de una referencia al contenido de cafeína expresado en mg por 100 g/ml. En el caso de complementos alimenticios, el contenido en cafeína se expresará por porciones, según consumo recomendado diario indicado en el etiquetado.

En cuanto a la cafeína que se utiliza como aroma en la fabricación o preparación de un producto alimenticio, como es el caso de las bebidas de cola, deberá figurar en la lista de ingredientes bajo su denominación específica, inmediatamente después del término “aroma”. En este supuesto, no obstante, no existe la obligación de especificar en el etiquetado la dosis contenida ni las menciones anteriores de restricción en poblaciones especiales, aunque las cantidades máximas permitidas como aroma están recogidas en el Reglamento 1334/2008 sobre aromas⁴⁷.

Por otro lado, en lo que concierne a medicamentos que contengan cafeína, no son objeto de regulación por parte de esta normativa, sino de la Directiva 2001/83/CE, ya que no se categorizan como ‘alimentos’, sino como medicamentos⁴⁸.

A pesar de que en 2011 EFSA emitió un dictamen favorable⁴⁹ para seis declaraciones del artículo 13.1 del Reglamento 1924/2006 (cuatro con condiciones específicas/restricciones de uso y dos relacionadas con el deporte/actividad física), no existen declaraciones de propiedades saludables relacionadas con la cafeína, ya que la Comisión Europea vetó en 2017 la aprobación de dichas declaraciones para proteger al consumidor.

Conclusiones

- La cafeína mejora el rendimiento físico tanto en deportes de resistencia (ejercicio aeróbico) como en actividades de alta intensidad y deportes de equipo (ejercicio anaeróbico).
- A nivel central, el efecto de la cafeína sobre la fatiga se debe a cambios neuroquímicos que modifican la valoración del esfuerzo percibido durante el ejercicio y disminuyen la sensación de dolor, mientras que a nivel periférico se debe a la estimulación de la Na⁺-K⁺-ATPasa que potencia la liberación de calcio desde el retículo sarcoplásmico, mejorando la función neuromuscular.
- Dosis bajas-moderadas de 3-6 mg/kg de peso en forma de cafeína anhidra administradas 30-60 minutos antes del ejercicio parecen tener los resultados positivos más consistentes sobre el rendimiento deportivo, aunque dosis menores de 3 mg/kg de peso (~200 mg) administradas antes o durante actividades prolongadas parecen ser igualmente beneficiosas, sobre todo a nivel cognitivo. Por otro lado, dosis superiores a 9 mg/kg de peso no parecen aumentar

el beneficio ergogénico, pudiendo aumentar el riesgo de efectos adversos que condicionarán el rendimiento deportivo.

- Debido a la variabilidad en la respuesta según el momento de administración, la interacción con otros ingredientes ergogénicos, la disciplina deportiva, el genotipo y el género, se aconseja personalizar los protocolos de uso para lograr el máximo beneficio con los mínimos efectos secundarios.
- El mecanismo letal en caso de intoxicación por cafeína se asocia a alteraciones no sólo a nivel cardíaco, sino también a la afectación sistémica generalizada (renal, cerebral, hepática).
- Aspectos a explorar en futuros estudios sobre la respuesta ergogénica de la cafeína:
 - Influencia del consumo habitual de café/cafeína.
 - Momento óptimo de administración / influencia del ritmo circadiano.
 - Variación del efecto ergogénico según la fuente de cafeína.
 - Influencia del grado de entrenamiento previo del deportista.
 - Influencia de la administración crónica de cafeína en la adaptación al entrenamiento.
 - Influencia de la diferencia de género.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

1. NIH: National Institutes of Health. Dietary Supplements for Exercise and Athletic Performance (Actualizado 06/2017; Consultado 05/2019). Disponible en: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/ExerciseAndAthleticPerformance-HealthProfessional/>
2. CRN: Council for Responsible Nutrition. 2018 CRN Consumer Survey on Dietary Supplements. Disponible en: <https://www.crnusa.org/CRNConsumerSurvey>
3. Muñoz Soler, A. Guía de Nutrición para el Entrenamiento de la Fuerza. Madrid. Ediciones Tutor; 2014. p.75-6.
4. Ramírez-Montes CA, Osorio JH. Uso de la cafeína en el ejercicio físico: ventajas y riesgos. *Rev. Fac. Med.* 2013;61(4):459-68.
5. AIS: Australian Institute of Sports. The AIS Sports Supplement Framework. (Actualizado 03/2019; Consultado 03/2019). Disponible en: https://www.sportaus.gov.au/__data/assets/pdf_file/0004/698557/AIS_Sports_Supplement_Framework_2019.pdf
6. ICO: International Coffee Organization. The Current State of the Global Coffee Trade Stats 2016. (Actualizado 10/2016; Consultado 05/2019). Disponible en: http://www.ico.org/monthly_coffee_trade_stats.asp
7. Wan J, Qin Z, Wang P, Sun Y, Liu X. Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Exp Mol Med.* 2017;49(10):e384.
8. Finsterer J. Biomarkers Of Peripheral Muscle Fatigue During Exercise. *BMC Musculoskelet Disord.* 2012;13(1):218-30.
9. Boyas S, Guével A. Neuromuscular Fatigue in healthy muscle: Underlying factors and adaptation mechanisms. *Ann Phys Rehabil Med.* 2011;54(2):88-108.
10. Gómez-Campos R, Cossio-Bolaños MA, Brousett M, Hochmuller-Fogaca RT. Mecanismos implicados en la fatiga aguda. *Rev Int Med Cienc Act Fis Deporte.* 2010;10(40):537-55.
11. Arce Rodríguez E. Mecanismos fisiológicos de la fatiga neuromuscular. *Rev Med Cos Cen.* 2015;72(615):461-4.
12. Christensen PM, Shirai Y, Ritz C, Nordsborg NB. Caffeine and Bicarbonate for Speed. A Meta-Analysis of Legal Supplements Potential for Improving Intense Endurance Exercise Performance. *Front Physiol.* 2017;8:240.
13. Pickering C, Kiely J. Are the Current Guidelines on Caffeine Use in Sport Optimal for Everyone? Inter-individual Variation in Caffeine Ergogenicity, and a Move Towards Personalised Sports Nutrition. *Sports Med.* 2018;48(1):7-16.
14. Gonglach AR, Ade CJ, Bembem MG, Larson RD, Black CD. Muscle Pain as a Regulator of Cycling Intensity: Effect of Caffeine Ingestion. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(2):287-96.
15. Hodgson AB, Randell RK, Jeukendrup AE. The metabolic and performance effects of caffeine compared to coffee during endurance exercise. *PLoS One.* 2013;8(4):e59561.
16. Brooks JH, Wyld K, Christmas BCR. Caffeine Supplementation as an Ergogenic Aid for Muscular Strength and Endurance: A Recommendation for Coaches and Athletes. *J Athl Enhanc.* 2016;5:4.
17. Astorino TA, Rohmann RL, Firth K. Effect of caffeine ingestion on one-repetition maximum muscular strength. *Eur J Appl Physiol.* 2008;102(2):127-32.
18. Williams A, Cribb P, Cooke M, Hayes A. The effect of ephedra and caffeine on maximal strength and power in resistance-trained athletes. *J Strength Cond Res.* 2008;22(2):464-70.
19. Ali A, O'Donnell J, Foskett A, Rutherford-Markwick K. The influence of caffeine ingestion on strength and power performance in female team-sport players. *J Int Soc Sports Nutr.* 2016;13:46.
20. Goldstein E, Jacobs PL, Whitehurst, Penhollow T, Antonio J. Caffeine enhances upper body strength in resistance-trained women. *J Int Soc Sports Nutr.* 2010;7:18.
21. 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.
22. 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;15:11.
23. Santesteban Moriones V, Ibáñez Santos J. Ayudas ergogénicas en el deporte. *Nutr Hosp.* 2017;34(1):204-15.
24. Palacios N, Manonelles P, Blasco R, Franco L, Gaztañaga T, Manuz B, et al. Ayudas ergogénicas nutricionales para las personas que realizan ejercicio físico. Documento de Consenso de la Federación Española de Medicina del Deporte. *Arch Med Deporte.* 2012;29(Supl.1):5-80.
25. Ganio MS, Klau JF, Casa DJ, Armstrong LE, Maresh CM. Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: A systematic review. *J Strength Cond Res.* 2009;23(1):315-24.
26. Irwin C, Desbrow B, Ellis A, O'Keefe B, Grant G, Leveritt M. Caffeine withdrawal and high-intensity endurance cycling performance. *J Sports Sci.* 2011;29(5):509-15.
27. Naderi A, de Oliveira EP, Ziegenfuss TN, Willems MT. Timing, optimal dose and intake duration of dietary supplements with evidence-based use in sports nutrition. *J Exerc Nutr Biochem.* 2016;20(4):1-12.
28. Peeling P, Binnie MJ, Goods PSR, Sim M, Burke LM. Evidence-Based Supplements for the Enhancement of Athletic Performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2018;28(2):178-87.
29. Astorino TA, Roberson DW. Efficacy of acute caffeine ingestion for short-term high-intensity exercise performance: A systematic review. *J Strength Cond Res.* 2010;24(1):257-65.
30. Duncan MJ, Stanley M, Parkhouse N, Cook K, Smith M. Acute caffeine ingestion enhances strength performance and reduces perceived exertion and muscle pain perception during resistance exercise. *Eur J Sport Sci.* 2013;13(4):392-9.
31. Wellington BM, Leveritt MD, Kelly VG. The effect of caffeine on repeat high intensity effort performance in rugby league players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12(2):206-10.
32. Cappelletti S, Piacentino D, Sani G, Aromatario M. Caffeine: cognitive and physical performance enhancer or psychoactive drug? *Curr Neuropharmacol.* 2015;13(1):71-88.
33. Tarnopolsky MA. Caffeine and creatine use in sport. *Ann Nutr Metab.* 2010;57(Suppl.2):1-8.
34. Wickham KA, Spriet LL. Administration of Caffeine in Alternate Forms. *Sports Med.* 2018;48(Suppl.1):79-91.
35. Spriet LL. Exercise and sport performance with low doses of caffeine. *Sports Med.* 2014;44(Suppl. 2):175-84.
36. NIH: National Institutes of Health. Energy Drinks. (Actualizado 07/2018; Consultado 07/2018). Disponible en: <https://nccih.nih.gov/health/energy-drinks>
37. Wassef B, Kohansieh M, Makaryus AN. Effects of energy drinks on the cardiovascular system. *World J Cardiol.* 2017;9(11):796-806.
38. Noguchi K, Matsuzaky T, Sakanashi M, Hamadate N, Uchida T, Kina-Tanada M, et al. Effect of caffeine contained in a cup of coffee on microvascular function in healthy subjects. *J Pharmacol Sci.* 2015;127(2):217-22.
39. Klatsky AL, Hasan AS, Armstrong MA, Udaltsova N, Morton C. Coffee, caffeine, and risk of hospitalization for arrhythmias. *Perm J.* 2011;15(3):19-25.
40. González AB, Hardisson A, Gutiérrez AJ, Rubio C, Frias I, Revert C. Cafeína y quinina en bebidas refrescantes; contribución a la ingesta dietética. *Nutr Hosp.* 2015;32(6):2880-6.
41. Yamamoto T, Yoshizawa K, Kubo S, Emoto Y, Hara K, Waters B, et al. Autopsy report for a caffeine intoxication case and review of the current literature. *J Toxicol Pathol.* 2015;28(1):33-6.
42. Campana C, Griffin PL, Simon EL. Caffeine overdose resulting in severe rhabdomyolysis and acute renal failure. *Am J Emerg Med.* 2014;32(1):111.e3-4.
43. Che B, Wang L, Zhang Z, Zhang Y, Deng Y. Distribution and accumulation of caffeine in rat tissues and its inhibition on semicarbazide-sensitive amine oxidase. *Neurotoxicology.* 2012;33(5):1248-53.

44. WADA: World Anti-Doping Agency. The 2018 Monitored Program. (Consultado 12/2018). Disponible en: <https://www.wada-ama.org/en/resources/science-medicine/monitoring-program>
45. Nationalcoffeeblog.org: National Coffee Association USA (Internet): Can Olympic Athletes Have Caffeine? (Actualizado 12/02/2018; Consultado 02/2019). Disponible en: <https://nationalcoffeeblog.org/2018/02/12/can-olympic-athletes-have-caffeine/>
46. Unión Europea: Reglamento (UE) nº 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 octubre 2011 sobre la información alimentaria facilitada al consumidor. Diario Oficial de la Comunidades Europeas, 22 noviembre 2011. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32011R1169>
47. Unión Europea: Reglamento (UE) nº 1334/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 diciembre 2008 sobre los aromas y determinados ingredientes alimentarios con propiedades aromatizantes utilizados en los alimentos y por el que se modifican el Reglamento (CEE) nº 1601/91 del Consejo, los Reglamentos (CE) nº 2232/96 y (CE) nº 110/2008 y la Directiva 2000/13/CE. Diario Oficial de la Unión Europea, 31 diciembre 2008. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2008/354/L00034-00050.pdf>
48. Unión Europea: Directiva 2001/83/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 noviembre 2001 por la que se establece un código comunitario sobre medicamentos para uso humano. Diario Oficial de la Comunidades Europeas, 28 noviembre 2001. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2001/311/L00067-00128.pdf>
49. EFSA: European Food Safety Authority. Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to caffeine. *EFSA Journal*. 2011;9(4):2054.

