

**EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON BETA-
ALANINA EN EL RENDIMIENTO DE CICLISTAS:
REVISIÓN SISTEMATIZADA**

TRABAJO FINAL DE MÁSTER



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

MÁSTER UNIVERISTARIO EN RENDIMIENTO
DEPORTIVO Y SALUD

Alumno: Miguel Ángel Pérez Cerdá

Tutor académico: Néstor Vicente Salar

Curso académico: 2023-2024

Resumen

La suplementación con beta-alanina puede ayudar a mejorar el rendimiento deportivo en el ciclismo debido a un aumento en la concentración de carnosina muscular. Para evaluar la evidencia actual de los efectos de la beta-alanina en el rendimiento de los ciclistas se ha realizado una revisión sistematizada. Se realizó una búsqueda de ensayos controlados aleatorizados en la base de datos Medline (PubMed), desde sus inicios hasta diciembre de 2023. De los 220 estudios encontrados, 8 fueron seleccionados para su inclusión. Los resultados fueron contradictorios en cuanto al rendimiento en esfuerzos de corta duración de ciclistas. Por tanto, se necesita de más evidencia para poder determinar que la suplementación con beta-alanina mejora el rendimiento en el ciclismo.

Palabras clave: ciclismo, beta-alanina, suplementación, rendimiento.

1. Introducción

El ciclismo es un deporte de carácter cíclico donde prima la vía aeróbica, ya que es un deporte de larga duración, en el que durante horas hay que imprimir una determinada fuerza a los pedales de la bicicleta para poder propulsarla y poder completar el recorrido, requiriendo de un constante suministro de oxígeno a los músculos (1). Por ello, el sistema cardiovascular juega un papel fundamental, ya que es el encargado de transportar el oxígeno por la sangre hacia los músculos (2). El corazón bombea sangre oxigenada a través de las arterias hacia los músculos, donde el oxígeno se utiliza en la producción de energía aeróbica. Al mismo tiempo, el sistema respiratorio se activa para inhalar oxígeno y exhalar dióxido de carbono, eliminando los productos de desecho del metabolismo celular. A medida que aumenta el esfuerzo, aumenta la frecuencia cardíaca y la respiración para poder responder a las demandas metabólicas (3).

El ATP (adenosín trifosfato) es la molécula que proporciona energía a las células para llevar a cabo sus funciones. Es conocido como la "moneda energética" de la célula, ya que almacena y libera energía en forma de enlaces químicos entre sus grupos fosfato, por lo que desempeña un papel fundamental en el ciclismo (4). La fosforilación oxidativa es el proceso mediante el cual las células eucariotas generan la mayor parte de su ATP de forma aeróbica. Ocurre en las mitocondrias, en la membrana interna mitocondrial, y es el resultado final de la cadena de transporte de electrones (CTE) que se deriva de la oxidación de sustratos energéticos como glucosa, ácidos grasos y aminoácidos (5). La fosforilación oxidativa comienza con la producción de NADH y FADH₂ durante la glucólisis y el ciclo de Krebs, mediante la oxidación de sustratos energéticos. Estos portadores de electrones (NADH y FADH₂) transportan los electrones a la cadena de transporte de electrones en la membrana interna mitocondrial. La CTE es una serie de complejos proteicos y los electrones de NADH y FADH₂ se transfieren de un complejo a otro a lo largo de la cadena, liberando energía en el proceso. Esta energía se utiliza para bombear protones (iones H⁺) desde la matriz mitocondrial hacia el espacio intermembrana, creando un gradiente electroquímico. La acumulación de protones en el espacio intermembrana crea un gradiente electroquímico, con un exceso de protones fuera de la matriz mitocondrial y una carga negativa en la matriz. Este gradiente electroquímico almacena energía potencial, lista para liberar energía cuando sea necesario (5). La energía del gradiente electroquímico se utiliza para impulsar la síntesis de ATP. Los protones regresan a la matriz a través de una enzima llamada ATP sintasa, que convierte la energía del flujo de protones en energía mecánica. Este proceso impulsa la unión de un grupo fosfato a una molécula de adenosín difosfato (ADP), formando adenosín trifosfato (ATP). Finalmente, el ATP producido se libera para ser utilizado como fuente de energía

en la célula (4). La fosforilación oxidativa es el principal proceso metabólico utilizado para obtener la energía necesaria durante actividades de larga duración y baja a moderada intensidad (6), como el ciclismo, pero también se requiere de la glucólisis para obtener energía de la vía anaeróbica en los momentos más intensos de una etapa, como puede ser en una subida o en un sprint (3).

Hay diferentes tipos de modalidades en esta disciplina, pero destacan el ciclismo en ruta, siendo esta la modalidad reina del deporte, el ciclismo de montaña, la pista y el ciclocross. En cuanto al ciclismo de montaña, pista y ciclocross, son pruebas de corta duración (desde segundos en alguna prueba de pista, hasta poco más de una hora tanto en ciclocross como en ciclismo de montaña), por lo que son pruebas muy explosivas, al contrario que el ciclismo en ruta, que, al ser etapas de mayor duración, se suele ir a un ritmo menos intenso (7).

En el ciclismo de carretera hay varios tipos de etapa. Por un lado están las etapas llanas al sprint, en las cuales no hay grandes ascensos y son ideales para que llegue el pelotón jugándose la victoria al sprint. Por otro lado están las etapas de montaña (alta o media montaña) en las cuales para poder ganar se necesita una buena relación entre los vatios que puede generar un ciclista durante el ascenso y su peso corporal (W/kg) (8). En este tipo de etapas son en las que destacan los ciclistas que optan a ganar las clasificaciones generales de una carrera por etapas. Se necesita de un alto $VO_{2m\acute{a}x}$ ya que en los ascensos se puede llegar a los límites fisiológicos de los ciclistas. Finalmente, se encontrarían las contrarrelojes (individuales o por equipos) en la que los ciclistas tienen que realizar un recorrido, marcado por la organización, individualmente o con la compañía de los demás ciclistas del equipo (en el caso de las contrarrelojes por equipo) y el que menos tiempo necesite para completar el recorrido será el ganador. Las contrarrelojes, a diferencia del resto de tipo de etapas, hoy en día son etapas de corta duración, siendo inferiores a una hora de esfuerzo.

La carnosina, un tamponador intracelular durante la contracción muscular (9), es un dipéptido formado por dos aminoácidos, la beta-alanina y la L-histidina, y se encuentra sobre todo en los músculos esqueléticos (10). Durante el ejercicio intenso, los músculos producen ácido láctico e iones de hidrógeno (H^+), lo que lleva a una disminución del pH en el interior de las células musculares (11). Esta acidificación conduce a la fatiga muscular y a una disminución del rendimiento (12). La carnosina, al unirse a los iones de hidrógeno, ayuda a mantener el pH muscular dentro de un rango óptimo y a retrasar la fatiga (4).

La síntesis de carnosina está limitada por la disponibilidad de beta-alanina, que es un aminoácido no esencial. Por lo tanto, aumentar los niveles de beta-alanina en el cuerpo mediante la suplementación puede aumentar la síntesis de carnosina muscular (13). Estudios anteriores han demostrado que la suplementación con beta-alanina durante períodos prolongados (4-12 semanas) puede aumentar significativamente los niveles de carnosina muscular, mejorando así la capacidad del músculo para tamponar los iones de hidrógeno y retrasar la fatiga muscular (14). Este aumento de carnosina se debe a que cuando se consume beta-alanina, esta se transporta al músculo y se combina con la L-histidina para formar carnosina.

El uso de suplementos de beta-alanina se ha extendido a una variedad de disciplinas deportivas, ya que puede beneficiar a cualquier actividad que implique esfuerzos intermitentes de alta intensidad. En deportes como el boxeo, karate y judo, donde se requieren esfuerzos cortos pero intensos, la suplementación con beta-alanina puede ayudar a mejorar la capacidad de trabajo anaeróbico y la resistencia muscular, lo que puede ser beneficioso para mantener un rendimiento óptimo durante todo el combate (15). Los deportes de equipo, como el fútbol, baloncesto y rugby, implican cambios frecuentes entre actividades de alta intensidad y períodos

de descanso. La suplementación con beta-alanina puede ayudar a los deportistas de estos deportes a mantener un rendimiento constante durante todo el juego, mejorando la capacidad de trabajo anaeróbico y la resistencia muscular (16). La beta-alanina también puede ser útil en deportes de resistencia ya que durante ejercicios prolongados, la acidosis muscular contribuye a la fatiga y la beta-alanina puede ayudar a mantener la capacidad de trabajo durante períodos más largos al retrasar la acumulación de lactato y la acidosis (17).

Los suplementos deportivos se pueden clasificar según su grado de evidencia y seguridad. Una de las clasificaciones más utilizadas es la clasificación ABCD, desarrollada por el Instituto Australiano del Deporte (AIS), la cual divide los suplementos en las siguientes 4 categorías:

- **Categoría A: Evidencia sólida de eficacia y seguridad:**
 - En esta categoría se incluyen los suplementos y alimentos deportivos que cuentan con una amplia base de evidencia científica que respalda su eficacia y seguridad. Estos productos han sido estudiados en ensayos clínicos controlados y bien diseñados, con resultados positivos y consistentes.
 - Ejemplos: creatina, bicarbonato, beta-alanina, cafeína
- **Categoría B: Evidencia moderada de eficacia y seguridad:**
 - En esta categoría se encuentran los suplementos y alimentos deportivos que tienen alguna evidencia de su eficacia y seguridad, pero aún necesitan más investigación. Se consideran prometedores pero requieren más evidencia para confirmar sus beneficios.
 - Ejemplos: colágeno, vitamina C, carnitina
- **Categoría C: Evidencia limitada o insuficiente:**
 - Esta categoría incluye los suplementos y alimentos deportivos que no tienen ninguna evidencia de su eficacia y seguridad o aún no se ha investigado. No se recomienda su uso.
 - Ejemplos: magnesio, ácido alfa lipoico.
- **Categoría D: No permitido:**
 - Esta categoría incluye sustancias prohibidas o con un alto riesgo de contaminación que podrían conducir a una prueba de dopaje positiva. Además, pueden suponer un gran riesgo para la salud. Este grupo se actualiza cada año y lo evalúa e indica la Agencia Mundial Antidopaje (WADA)

Kersick et al. (2018) elaboraron para la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva (ISSN) otra clasificación dividida en tres categorías según su evidencia (18):

- **Categoría 1:**
 - Se encuentran los suplementos con una evidencia sólida que respalda su eficacia y su seguridad, es decir, suplementos que tienen una base sólida teórica con la mayoría de las investigaciones disponibles en poblaciones relevantes que utilizan regímenes de dosificación apropiados que demuestran tanto su eficacia como su seguridad. En esta categoría se encuentran suplementos como la beta-alanina, la cafeína o la creatina.
- **Categoría 2:**
 - Suplementos con una evidencia limitada o mixta que respalda la eficacia, es decir, suplementos caracterizados por tener una sólida justificación científica

para su utilización, aunque las investigaciones disponibles no hayan logrado producir resultados consistentes que respalden su eficacia. Suelen ser suplementos que requieren más investigación, aunque tampoco está demostrado que no funcionen o que no sean seguros. En esta categoría se encuentran suplementos como los aminoácidos ramificados, la taurina o el glicerol.

- **Categoría 3:**

- Suplementos que poseen poca o ninguna evidencia para respaldar su eficacia y/o su seguridad, es decir, suplementos que carecen de una justificación científica sólida o que pueden ser dañinos para la salud. En esta categoría se encuentran suplementos como la arginina, la glutamina o el cromo.

El objetivo principal de esta revisión sistemática fue evaluar las evidencias científicas que hay sobre el efecto en el rendimiento deportivo que provoca la beta-alanina en ciclistas entrenados.

2. Material y métodos

La realización y presentación de la actual revisión sistematizada se ajustan a la guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (19). Se analizó el efecto de la suplementación de beta-alanina en el rendimiento de ciclistas previamente entrenados.

2.1. Búsqueda sistemática

La búsqueda sistematizada se realizó mediante la base de datos electrónica PubMed (desde su inicio hasta el 21 de diciembre de 2023) utilizando la estrategia de búsqueda de la Tabla 1.

Tabla 1. Combinación de términos Mesh utilizados en la búsqueda de estudios.

Pubmed	
Ayuda ergonutricional	Ciclismo
Beta-alanine	Bicycling Exercise Test Anaerobic Threshold Athletic Performance Cardiorespiratory Fitness Physical Endurance Heart Rate
AND	

2.2. Extracción de datos

Se extrajeron los datos de cada estudio que incluían el número de participantes, características de los participantes, características de la intervención de suplementación, protocolo de entrenamiento, métodos de medida y resultados, para realizar una tabla con el resumen de todos los estudios seleccionados (Tabla 2).

2.3. Selección de estudios

Los estudios eran elegibles para su inclusión si cumplían cada uno de los siguientes criterios: (a) se trataba de un ensayo clínico aleatorizado (RCT, en sus siglas en inglés) en el que un grupo solo se suplementaba con beta-alanina, (b) no se ha realizado con animales, (c) no se ha realizado con personas de la tercera edad, (d) no se ha realizado en población clínica, (e) se ha realizado con un cicloergómetro (test de laboratorio) o con una bicicleta (test de campo), y (f) se ha realizado con ciclistas previamente entrenados.

3. Resultados

3.1. Estudios incluidos

Se encontraron 220 ensayos clínicos aleatorizados con los términos Mesh anteriormente citados, excluyendo 16 de ellos por ser estudios repetidos, y quedando 204 para analizar su elegibilidad (Figura 1). De los 204 estudios restantes, 17 fueron excluidos por realizarse en población mayor, 14 por realizarse en población clínica, 33 por realizarse en población no entrenada, 84 por no realizarse en el ámbito del ciclismo, 9 por no tener un grupo que solo se suplemente con beta-alanina y 39 por otros motivos. Finalmente, 8 estudios fueron incluidos en la revisión sistematizada.



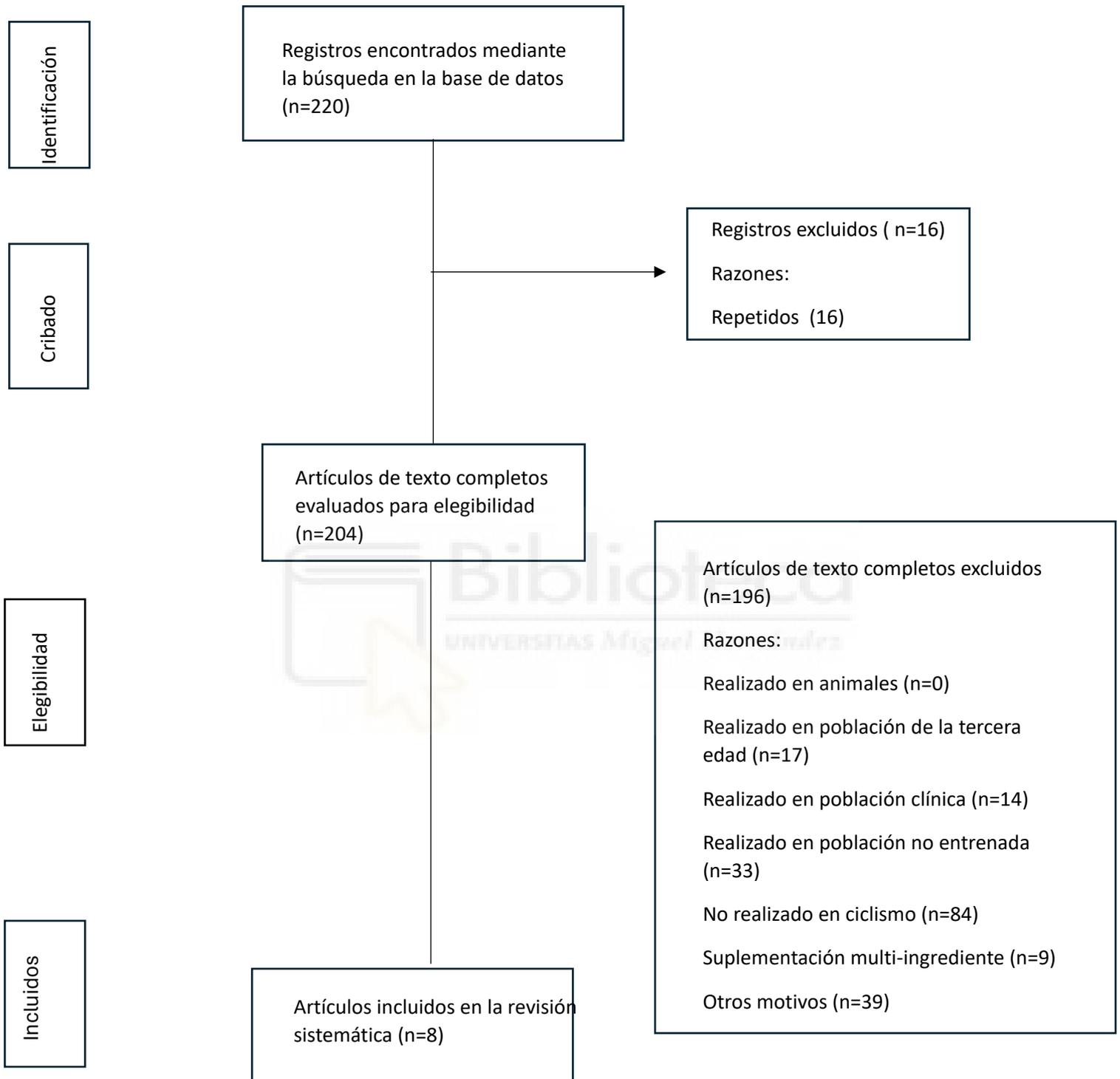


Figura 1. Diagrama de flujos sobre el proceso de elección de los estudios.

Tabla 2. Estudios incluidos sobre el efecto de la beta-alanina en el rendimiento de ciclistas. BA: beta-alanina; FC: Frecuencia cardiaca; G1: Grupo 1; G2: Grupo 2; H: Hombres; M: Mujeres; MPO: Potencia media; PPO: Potencia máxima; R: Recuperación; RPE: Índice de esfuerzo percibido; SB: Bicarbonato sódico; SIT: Entrenamiento interválico; TT: Contrarreloj; TTE: Tiempo hasta la extenuación; TWD: Trabajo total realizado; W: Vatios; [La]: Concentración de lactato de sprint

Estudio	Muestra	Edad (años)	Dosis	Duración	Protocolo de ejercicio físico	Medidas realizadas	Resultados
Howe et al., 2013 (20)	16 ciclistas (H)	26 ± 8	- 65 mg BA/kg/día	4 semanas	8x2,5' al 90% VO ₂ máx R: 3' al 40% VO ₂ máx 2 veces por semana, con sus respectivas bicicletas	- Prueba máxima de 4' en bicicleta ergométrica - Prueba isocinética - Parámetros sanguíneos circulantes	↔ W media en 4' ↑ W/repetición isocinético ↔ Torque máximo ↔ TWD ↓ Índice de fatiga ↔ Parámetros sanguíneos
Chung et al., 2014 (21)	27 ciclistas/triatletas (H)	30.3 ± 7.4	- 6,4 g BA/día	6 semanas	Entrenamiento de ciclismo de un promedio de 8h/semana y participar regularmente en competiciones amateurs o semi profesionales	- Concentración de carnosina muscular - TT de 1h en laboratorio - Parámetros sanguíneos circulantes	↔ Rendimiento ↔ Parámetros sanguíneos durante la prueba ↔ Ratio lactato ↑ [Protones] ↑ Carnosina

Glenn et al., 2015 (22)	12 ciclistas (M)	26.6 ± 1.3	- 1,6 g BA/día	1 única ingesta	Mantenimiento de las sesiones de entrenamiento habituales	- Test Wingate - Lactato en sangre	↔ W medios ↔ W máximos ↔ FC ↔ Lactato ↓ RPE después de los 2 primeros Wingate y después de las 3 recuperaciones
Bellinger et al., 2015 (23)	14 ciclistas (H)	24.8 ± 6.7	- 6,4 g BA/día	4 semanas	Mantenimiento de las sesiones de entrenamiento habituales	- Test supraximal - TT 1, 4 y 10km	↔ Tiempo TT ↑ TTE ↔ [La]
Bellinger et al., 2016 (24)	14 ciclistas (H)	25.4 ± 7.2	- 6,4 g BA/día las 4 primeras semanas - 1,2g BA/día la 5ª semana	5 semanas	Programa SIT (repeticiones de 1km al máximo) 2 veces por semana junto con sus entrenamientos individuales	- Test supraximal - TT 1, 4 y 10km	↓ Tiempo 4x1km en las series 3 y 4 ↓ Tiempo 4km ↔ Tiempo 10km ↑ TTE ↑ W 4x1km en las series 3 y 4 ↑ W 4km ↑ [La] 4x1km en las series 3 y 4 ↑ Capacidad anaeróbica 4x1km

Da Silva et al., 2018 (25)	71 ciclistas (H)	18-45	- G1: 6,4g BA/día - G2: 0,3g SB/kg (única ingesta antes del test) + 6,4g BA/día	4 semanas	Mantenimiento de las sesiones de entrenamiento habituales	- Prueba de ciclismo intermitente de alta intensidad - TT de 30kj - Parámetros sanguíneos circulantes	↔ Tiempo TT 30kj ↑ Contribución glucolítica en G2 ↑ pH ↑ Bicarbonato en G2 ↑ Lactato en G2
Perim et al., 2021 (26)	17 ciclistas (H)	39 ± 8	- 6,4g BA/día	4 semanas	Mantenimiento de las sesiones de entrenamiento habituales	- Prueba de ciclismo incremental - Simulación de carrera ciclista - TT 4km - Biopsia (vasto lateral) - Parámetros sanguíneos circulantes	↔ Tiempo TT 4km ↔ MPO sprint ↔ PPO sprint ↔ Lactato ↑ Carnosina
Ávila-Gandía et al., 2021 (27)	11 ciclistas (H)	25.5 ± 0.8	- 20 g BA/día	1 semana	1 o 2 rutas libres por terreno montañoso 2 días de rodaje regenerativo	- TT 10' - Parámetros sanguíneos circulantes	↑ W TT 10' ↑ Distancia TT 10' ↑ Carga total TT 10' ↑ [La] ↑ Brecha aniónica

3.2. Participantes

La edad de los sujetos en los estudios examinados osciló entre los 18 y los 45 años, por lo que incluía a ciclistas desde categoría sub23 hasta master, predominando los ciclistas de categoría élite y master. El nivel de los ciclistas fue desde ciclistas recreacionales hasta ciclistas profesionales. Hubo una mayor muestra de hombres (n=170) en comparación con las mujeres (n=12) en los estudios seleccionados.

3.3. Características de intervención

Los estudios tuvieron diferentes tiempos de duración, yendo desde un único día (22) hasta las 6 semanas (21). Predominaron los estudios con una duración de 4 semanas (20, 23, 25, 26). Además, hubo un estudio de 1 semana de duración (27) y otro estudio de 5 semanas de duración (24), en el cual la última semana del estudio correspondía con un descenso en la carga de beta-alanina para observar si al ingerir una dosis de mantenimiento había un descenso en las variables estudiadas en comparación con la fase de carga.

En la mayoría de los estudios, la dosis diaria fue de 6,4 g de beta-alanina por día (21, 23-26), con la particularidad de que en uno de los estudios, como se ha mencionado anteriormente, se redujo la dosis en la última semana a 1,2 g de beta-alanina por día (27). En otro estudio hubo un grupo adicional que se suplementaba antes de realizar las pruebas con 0,3 g de bicarbonato sódico por kilogramo de peso corporal, incluyéndose este grupo en la tabla de resultados (25). En el estudio de Ávila-Gandía et al. (2021) aumentaron la dosis en 20 g de beta-alanina por día, y redujeron la duración del estudio a una semana para observar si un aumento en la dosis provocaba beneficios en menos semanas de intervención (27).

En la mayoría de los estudios, como protocolo de entrenamiento, los ciclistas mantuvieron sus sesiones de entrenamiento habituales (21-23, 25, 26). En otros estudios, (20, 24), los investigadores pautaron los entrenamientos que tenían que seguir los ciclistas, como se muestra en la Tabla 2.

En cuanto a los resultados obtenidos, en 6 de los estudios no se vinieron diferencias en el rendimiento (tanto en vatios como en tiempo empleado) entre el grupo que se suplementaba con beta-alanina y el grupo control (20-23, 25, 26), pero en uno de ellos hubo un aumento en TTE en el grupo que se suplementaba con beta-alanina (23). Por el contrario, en 2 estudios sí que hubo una mejora del rendimiento (24, 27), ya que se observó tanto una reducción de tiempo empleado como un aumento de la potencia producida en los intervalos de 1 km, reduciendo el tiempo en un $1.6\% \pm 1.0\%$ y aumentando la potencia media en un $4.5\% \pm 3.4\%$ (24), y en la contrarreloj de 4 km, disminuyendo el tiempo en un $1.7\% \pm 1.7\%$ y aumentando la potencia media en un $4.1\% \pm 4\%$ (24). En cambio, cuando la contrarreloj aumentaba de distancia (10 km) no se observó diferencias significativas (24). Además, en el estudio de Ávila-Gandía et al. (2021) se observó una mejora del rendimiento en la contrarreloj de 10 minutos, aumentando un 6,21% la potencia media de la contrarreloj (27).

A nivel cognitivo, el cual se midió mediante la percepción del esfuerzo, se observó que la suplementación con beta-alanina disminuye la percepción del esfuerzo tras completar los dos primeros test de Wingate (22). En este estudio, utilizaron para ello la escala OMNI, la cual va desde 0, significando que no hay esfuerzo, hasta 10, significando el máximo esfuerzo posible (28).

A nivel de lactato, en dos estudios se observó un aumento en la concentración de éste (24, 27), mientras que en otros cuatro no hubo diferencias significativas (21-23, 26). Además se

demostró un aumento en la concentración de lactato en el grupo que se suplementaba con beta-alanina cuando se combinaba con bicarbonato sódico (25). En cuanto a la carnosina muscular, se observó un aumento de sus niveles en un $143 \pm 147\%$ y un $161 \pm 60\%$ en el gastrocnemio y el sóleo respectivamente (21), y aumentando $9.4 \pm 4.0 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{dm}$ en el vasto lateral (26).

4. Discusión

El amplio rango de edades y niveles competitivos, desde ciclistas recreacionales hasta profesionales, sugiere que los hallazgos de esta revisión pueden ser aplicables a una amplia población ciclista. Sin embargo, es importante destacar la desproporción en la muestra en relación al sexo, con una significativa mayoría de hombres ($n=170$) en comparación con mujeres ($n=12$). Esta diferencia podría influir en la generalización de los resultados, ya que las respuestas fisiológicas a la suplementación pueden variar entre sexos. Futuras investigaciones deberían intentar equilibrar la representación de sexo para obtener conclusiones más inclusivas y precisas.

Las intervenciones en los estudios analizados varían considerablemente en duración, desde un único día hasta seis semanas, teniendo la mayoría de los estudios una duración de entre 4 y 6 semanas (20, 21, 23-26) siguiendo las evidencias de estudios anteriores sobre los periodos en los que tiene efecto la beta-alanina (entre 4 y 12 semanas) (14). Esta variabilidad en la duración de las intervenciones se debe a que el tiempo de suplementación es un factor crítico a considerar en la evaluación de los efectos de la beta-alanina, ya que para poder rendir al máximo nivel hay que saber el momento idóneo para empezar la suplementación. La mayoría de los estudios utilizaron una dosis diaria de 6,4 g de beta-alanina, con algunas excepciones como la reducción de dosis en la última semana (24) o la inclusión de bicarbonato sódico en otro en el momento previo del test (25). Además, un estudio aumentó significativamente la dosis a 20 g por día durante una semana, con el fin de observar si con un aumento de la dosis se podía reducir el tiempo de suplementación, obteniendo resultados positivos (27). Estas variaciones en la dosificación y duración de los protocolos empleados aumentan la complejidad a la hora de realizar comparaciones entre ensayos pero también proporcionan una visión más completa de cómo diferentes protocolos pueden influir en los resultados.

Se ha observado que la mayoría de las mejoras que produce la beta-alanina en el rendimiento se encuentran en los esfuerzos de corta duración (24, 27), ya que mejoraban tanto el tiempo en contrarreloj como la potencia media en esfuerzos de 1 km, 4 km y 10 minutos. En estudios con duraciones de esfuerzo mucho más prolongadas, como por ejemplo 1 hora, no se han observado diferencias significativas entre el grupo que se suplementaba con beta-alanina y el grupo control (21). Estos resultados aparentemente contradictorios pueden deberse a que la beta-alanina tiene una mejoría en la capacidad anaeróbica, provocando una mejoría del rendimiento en esfuerzos cortos. Se ha observado que la beta-alanina también puede reducir la fatiga, es por ello que en otros estudios se ha observado un aumento del tiempo hasta la extenuación (23, 24).

A nivel cognitivo, la percepción del esfuerzo se redujo en uno de los estudios tras la suplementación con beta-alanina (22), lo cual es un hallazgo relevante ya que la disminución de la percepción del esfuerzo puede ser beneficiosa para los deportistas, ya que puede permitir un mayor rendimiento sin incrementar la sensación de fatiga. Se necesitan más estudios para reforzar su evidencia, ya que solo se midió en un ensayo.

En términos de los niveles de lactato como marcador de esfuerzos de alta intensidad a nivel glucolítico, los resultados fueron variados: dos estudios reportaron un aumento en la concentración de lactato [$13.8\text{-}16.1 \text{ mmol/L}$] de forma significativa frente al control [$10.9\text{-}15.0$

mmol/L] (24, 27), mientras que cuatro ensayos no encontraron diferencias significativas (21- 23, 26). Estos resultados contradictorios pueden deberse a la diferencia de la duración de los test y a los diferentes tipos de programas de entrenamiento que se llevaron a cabo, por lo que sería interesante que futuras investigaciones estudien el efecto de la suplementación de la beta-alanina en la concentración de lactato según la duración del esfuerzo. Además, la combinación de beta-alanina y bicarbonato sódico en un estudio también resultó en un aumento de lactato (25). El aumento de lactato podría estar asociado con una mayor capacidad tamponadora y, por lo tanto, con un mejor rendimiento en ejercicios de alta intensidad (4). La carnosina muscular aumentó significativamente en dos estudios (21, 26), aunque la mejora en el rendimiento debido a un aumento de los niveles de carnosina sigue siendo discutible (21-26).

La variabilidad en los resultados subraya la necesidad de más investigaciones para determinar las condiciones óptimas para la suplementación con beta-alanina. Las diferencias en duración, dosis y protocolos de entrenamiento complican la interpretación de los resultados, pero también indican que la beta-alanina puede tener efectos beneficiosos bajo ciertas condiciones específicas. Además, sería beneficioso explorar más a fondo los efectos a largo plazo y las posibles diferencias entre distancias de competición y disciplinas dentro del ciclismo.

5. Conclusiones

La suplementación con beta-alanina ha demostrado potencial para mejorar el rendimiento en ciertos contextos específicos del ciclismo, sobre todo en esfuerzos cortos al aumentar la potencia media producida y disminuir el tiempo empleado para cubrir una distancia en concreto, y en esfuerzos largos al retrasar la aparición de la fatiga. No obstante, se requiere más investigación para determinar las condiciones óptimas de suplementación y confirmar su efectividad de manera generalizada, asegurando al mismo tiempo una representación equitativa de género en las muestras estudiadas

6. Referencias

1. Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, 70. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
2. Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Horowitz, J. F., & Beltz, J. D. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of Type I muscle fibers. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, 24(7), 782-788. <https://doi.org/10.1249/00005768-199207000-00008>
3. Hawley, J. A., & Noakes, T. D. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology*, 65(1), 79-83. <https://doi.org/10.1007/bf01466278>
4. Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological Reviews*, 88(1), 287-332. <https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2007>
5. Alberts, B., Johnson, A. D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Wipf, P. (2007). *Molecular Biology of the Cell*. En W.W. Norton & Company eBooks. <https://doi.org/10.1201/9780203833445>
6. Brooks, G. A. (2000). Intra- and extra-cellular lactate shuttles. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, 32(4), 790-799. <https://doi.org/10.1097/00005768-200004000-00011>
7. Dorel, S., Hautier, C., Rambaud, O., Rouffet, D., Van Praagh, E., Lacour, J., & Bourdin, M. (2005). Torque and Power-Velocity Relationships in Cycling: Relevance to Track Sprint

- Performance in World-Class Cyclists. *International Journal Of Sports Medicine*, 26(9), 739-746. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830493>
8. Padilla, S., Mujika, I., Orbañanos, J., & Angulo, F. (2000). Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, 32(4), 850-856. <https://doi.org/10.1097/00005768-200004000-00019>
 9. Mannion, A. F., Jakeman, P. M., & Willan, P. (1995). Skeletal muscle buffer value, fibre type distribution and high intensity exercise performance in man. *Experimental Physiology*, 80(1), 89-101. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.1995.sp003837>
 10. Boldyrev, A. A., Aldini, G., & Derave, W. (2013). Physiology and Pathophysiology of Carnosine. *Physiological Reviews*, 93(4), 1803-1845. <https://doi.org/10.1152/physrev.00039.2012>
 11. Sahlin, K. (2014). Muscle Energetics During Explosive Activities and Potential Effects of Nutrition and Training. *Sports Medicine*, 44(S2), 167-173. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0256-9>
 12. Baguet, A., Bourgois, J., Vanhee, L., Achten, E., & Derave, W. (2010). Important role of muscle carnosine in rowing performance. *Journal Of Applied Physiology*, 109(4), 1096-1101. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00141.2010>
 13. Derave, W., Ozdemir, M., Harris, R. C., Pottier, A., Reyngoudt, H., Koppo, K., Wise, J. A., & Achten, E. (2007). β -Alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *Journal Of Applied Physiology*, 103(5), 1736-1743. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00397.2007>
 14. Hill, C., Harris, R. C., Kim, H. J., Harris, B., Sale, C., Boobis, L., Kim, C. K., & Wise, J. A. (2006). Influence of β -alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids*, 32(2), 225-233. <https://doi.org/10.1007/s00726-006-0364-4>
 15. Hobson, R. M., Saunders, B., Ball, G., Harris, R. C., & Sale, C. (2012). Effects of β -alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. *Amino Acids*, 43(1), 25-37. <https://doi.org/10.1007/s00726-011-1200-z>
 16. Tobias, G. C., Benatti, F. B., De Salles Painelli, V., Roschel, H., Gualano, B., Sale, C., Harris, R. C., Lancha, A. H., & Artioli, G. G. (2013). Additive effects of beta-alanine and sodium bicarbonate on upper-body intermittent performance. *Amino Acids*, 45(2), 309-317. <https://doi.org/10.1007/s00726-013-1495-z>
 17. Stout, J. R., Cramer, J. T., Mielke, M. M., O'Kroy, J. A., Torok, D. J., & Zoeller, R. F. (2006). Effects of Twenty-Eight Days of Beta-Alanine and Creatine Monohydrate Supplementation on the Physical Working Capacity at Neuromuscular Fatigue Threshold. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 20(4), 928. <https://doi.org/10.1519/r-19655.1>
 18. Kerksick, C. M., Wilborn, C., Roberts, M. D., Smith-Ryan, A. E., Kleiner, S. M., Jäger, R., Collins, R., Cooke, M., Davis, J. N., Galván, E., Greenwood, M., Lowery, L., Wildman, R., António, J., & Kreider, R. B. (2018). ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *Journal Of The International Society Of Sports Nutrition*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>
 19. Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
 20. Howe, S. T., Bellinger, P., Driller, M., Shing, C. M., & Fell, J. C. (2013). The effect of Beta-Alanine supplementation on isokinetic force and cycling performance in highly trained

- cyclists. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 23(6), 562-570. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.23.6.562>
21. Chung, W., Baguet, A., Bex, T., Bishop, D., & Derave, W. (2014). Doubling of muscle carnosine concentration does not improve Laboratory 1-HR Cycling Time-Trial performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24(3), 315-324. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2013-0125>
 22. Glenn, J. M., Smith, K., Moyon, N. E., Binns, A., & Gray, M. (2015). Effects of acute Beta-Alanine supplementation on anaerobic performance in trained female cyclists. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 61(2), 161-166. <https://doi.org/10.3177/jnsv.61.161>
 23. Bellinger, P., & Minahan, C. (2015). The effect of B-alanine supplementation on cycling time trials of different length. *European Journal of Sport Science*, 16(7), 829-836. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1120782>
 24. Bellinger, P., & Minahan, C. (2016). Additive benefits of B-Alanine supplementation and Sprint-Interval training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(12), 2417-2425. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000001050>
 25. Da Silva, R. P., De Oliveira, L. F., Saunders, B., Kratz, C., De Salles Painelli, V., Da Eira Silva, V., Marins, J. C. B., Franchini, É., Gualano, B., & Artioli, G. G. (2018). Effects of B-alanine and sodium bicarbonate supplementation on the estimated energy system contribution during high-intensity intermittent exercise. *Amino Acids*, 51(1), 83-96. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2643-2>
 26. Perim, P., Gobbi, N., Duarte, B., De Oliveira, L. F., Costa, L. A. R., Sale, C., Gualano, B., Dolan, E., & Saunders, B. (2021). Beta-alanine did not improve high-intensity performance throughout simulated road cycling. *European Journal of Sport Science*, 22(8), 1240-1249. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1940304>
 27. Ávila-Gandía, V., Torregrosa-García, A., Pérez-Piñero, S., Ortolano, R., Abellán-Ruiz, M. S., & López-Román, F. J. (2021). One-Week High-Dose B-Alanine loading improves World Tour cyclists' Time-Trial performance. *Nutrients*, 13(8), 2543. <https://doi.org/10.3390/nu13082543>
 28. Robertson, R. J., Goss, F. L., Dubé, J., Rutkowski, J., Dupain, M., Brennan, C., & Andreacci, J. (2004). Validation of the Adult OMNI Scale of Perceived Exertion for Cycle Ergometer Exercise. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, 36(1), 102-108. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000106169.35222.8b>