



## ACTUALIZACIÓN SOBRE LA SUPLEMENTACIÓN CON BETA-ALANINA PARA ATLETAS

**Trent Stellingwerff, PhD** | Instituto Canadiense del Deporte- Pacífic, Victoria, British Columbia, Canadá; Departamento de Ciencias del Ejercicio, Educación Física y Salud, Universidad de Victoria, British Columbia, Canadá.

### PUNTOS CLAVE

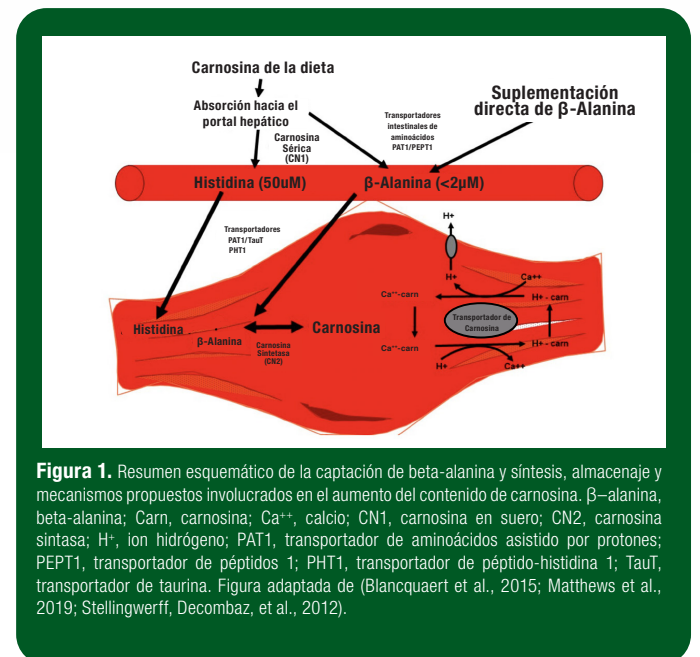
- La fatiga en eventos o deportes a alta intensidad que duren ~1-10 min es multifactorial, pero existen fundamentos sólidos de mecanismos que demuestran que la acidosis del músculo esquelético, a través de la acumulación de iones de hidrógeno ( $H^+$ ), es un limitante clave del rendimiento. En consecuencia, el músculo esquelético tiene varios mecanismos innatos de amortiguación intra y extracelulares para abordar la acidosis inducida por el ejercicio.
- La carnosina es un amortiguador intracelular clave debido a su anillo lateral imidazol que contiene nitrógeno, el cual puede aceptar (amortiguar)  $H^+$  y enlentecer la disminución del pH muscular durante el ejercicio intenso contribuyendo hasta ~15% en la capacidad amortiguadora total.
- Más allá de su función amortiguadora, también se ha demostrado que la carnosina es un intercambiador difusible de calcio ( $Ca^{2+}$ )/ $H^+$ , que devuelve  $Ca^{2+}$  al retículo sarcoplásmico y aleja  $H^+$  de la membrana celular, lo que sugiere que también podría mejorar la sensibilidad al  $Ca^{2+}$  muscular y la eficiencia de contracción.
- La carnosina se sintetiza en el músculo por la carnosina sintetasa, donde la concentración plasmática de beta-alanina es el sustrato limitante. Los datos demuestran consistentemente que ~3-6 g de beta-alanina durante al menos 4 semanas de suplementación pueden aumentar las reservas de carnosina muscular en un 30-60%.
- Varios meta-análisis han mostrado tamaños de efecto moderados para la capacidad de ejercicio y tamaños de efecto más pequeños para el rendimiento durante ~1-10 minutos de duración. Esto se traduce en beneficios de rendimiento de ~2-3% en sujetos no élite, pero aumentos de ~0.5-1% en sujetos de élite. Sin embargo, se requieren más datos en cohortes de atletas de élite.
- A pesar de los aumentos significativos en el conocimiento científico con respecto a los protocolos de suplementación de beta-alanina y su eficacia sobre el rendimiento desde 2006, aún prevalecen muchas preguntas y queda abierta la aplicación de futuras líneas de investigación.

### INTRODUCCIÓN

Los atletas que participan en deportes y eventos de alta intensidad (~1-10 min de esfuerzo máximo), o en actividades en las que se requiere realicen esfuerzos repetidos de alta intensidad, tienen determinantes de rendimiento únicas. Todos estos deportes utilizan grandes cantidades de producción de energía del adenosín trifosfato (ATP) de origen anaeróbico a partir de la fosfocreatina y la glucólisis anaeróbica, resultando esta última en una gran acumulación de lactato (>10 mmol/L). La diversidad de estos determinantes únicos de rendimiento de alta intensidad prevalece especialmente en los eventos basados en distancias medias/alta intensidad, que presentan una combinación de características aeróbicas, anaeróbicas y neuromusculares/mecánicas (Sandford & Stellingwerff, 2019) y muchas de estas determinantes están vinculadas a intervenciones nutricionales (Stellingwerff, Bovim y Whitfield, 2019). De hecho, los límites del rendimiento de alta intensidad son multifactoriales, pero un factor limitante importante es la capacidad para tolerar niveles cada vez mayores de acidosis muscular; tanto intra como extracelular. Para mejorar la amortiguación extracelular, se ha investigado y utilizado la carga de bicarbonato de sodio durante varias décadas.

Sin embargo, fue solo a mediados de la década de 2000 que el trabajo pionero del Prof. Roger Harris y colaboradores (2006) demostró que el aumento de la amortiguación intracelular (dentro del músculo) también era posible mediante la suplementación crónica (durante

varias semanas) de beta-alanina, que de manera significativa aumentó la carnosina muscular (b-alanil-L-histidina) y el rendimiento de alta intensidad (Hill et al., 2007) (Figura 1).



**Figura 1.** Resumen esquemático de la captación de beta-alanina y síntesis, almacenamiento y mecanismos propuestos involucrados en el aumento del contenido de carnosina.  $\beta$ -alanina, beta-alanina; Carn, carnosina;  $Ca^{2+}$ , calcio; CN1, carnosina en suero; CN2, carnosina sintetasa;  $H^+$ , ion hidrógeno; PAT1, transportador de aminoácidos asistido por protones; PEPT1, transportador de péptidos 1; PHT1, transportador de péptido-histidina 1; TauT, transportador de taurina. Figura adaptada de (Blancquaert et al., 2015; Matthews et al., 2019; Stellingwerff, Decombaz, et al., 2012).

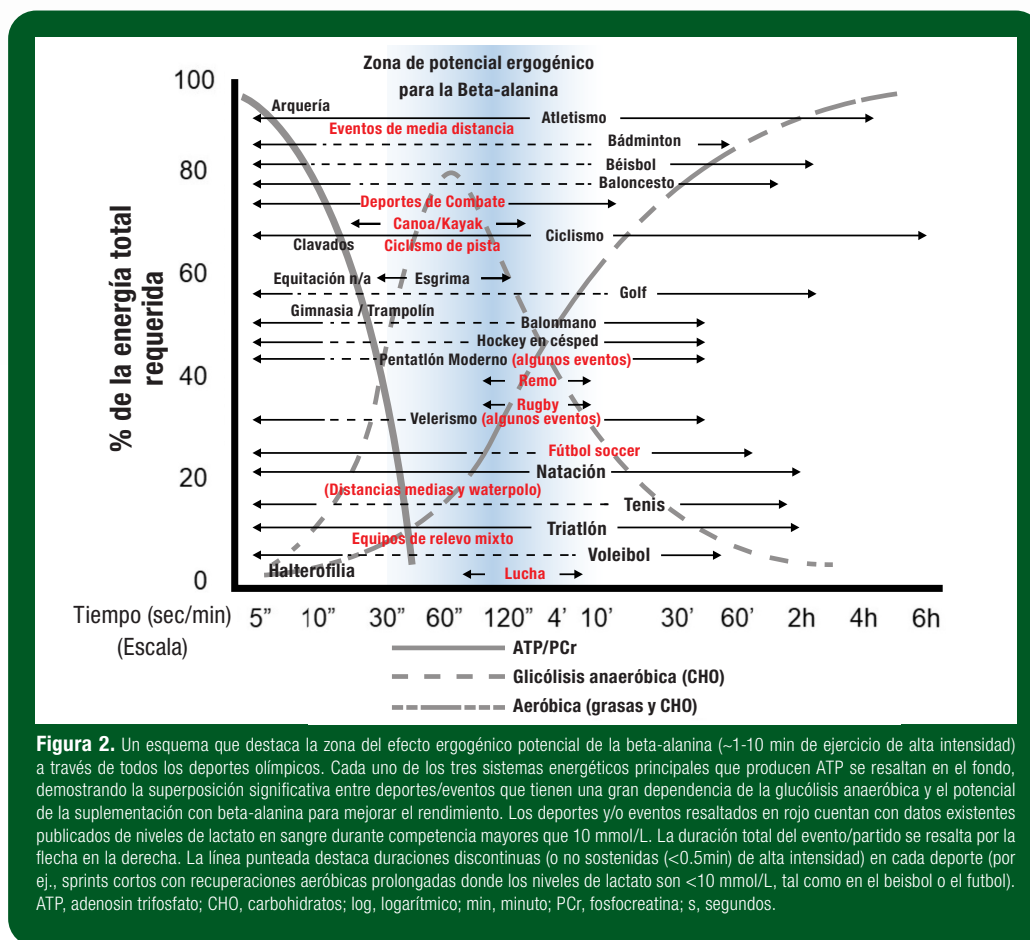
Desde entonces, ha habido una explosión de investigaciones que examinan la eficacia de la suplementación con beta-alanina para aumentar de manera óptima el contenido de carnosina muscular y mejorar el rendimiento. Por lo tanto, este artículo de Sports Science Exchange (SSE) primero examinará las limitaciones del rendimiento de alta intensidad, con énfasis en el metabolismo anaeróbico y los mecanismos de amortiguación asociados, y luego examinará la ciencia de los protocolos de suplementación de beta-alanina y sus efectos sobre el rendimiento.

## LIMITACIONES DEL RENDIMIENTO EN EL EJERCICIO DE ALTA INTENSIDAD Y LOS MECANISMOS DE ACCIÓN DE LA CARNOSINA MUSCULAR

Los deportes y eventos de alta intensidad (~1-10 min de esfuerzo máximo) son únicos, ya que se encuentran en una encrucijada del metabolismo y reciben grandes contribuciones de energía del metabolismo aeróbico y anaeróbico (Figura 2). Hay tres sistemas de energía primaria que simultáneamente (aunque a diferentes velocidades) proporcionan ATP para impulsar el ejercicio de alta intensidad, dos denominados sistemas anaeróbicos (también llamados fosforilación a nivel de sustrato): 1) degradación de fosfocreatina (PCr) y 2) glucólisis "anaeróbica"; y 3) metabolismo aeróbico (también llamado fosforilación oxidativa). Al inicio del ejercicio y durante

situaciones de ejercicio con intensidad creciente, la producción de ATP del metabolismo aeróbico no puede igualar la tasa de utilización de ATP (100% de los eventos de alta intensidad), y el déficit en el suministro de energía se compensa con el metabolismo anaeróbico. Esta energía la proporcionan los sistemas de glucólisis anaeróbica y PCr. Este último tiene una mayor capacidad de degradación que la PCr y proporciona ATP principalmente a través de la descomposición del glucógeno en la vía glucolítica, lo que da como resultado una producción excesiva de piruvato. Durante el ejercicio de intensidad extrema, la alta tasa de producción de piruvato excede la tasa a la que puede ser oxidado aeróbicamente por la piruvato deshidrogenasa en la mitocondria a través del ciclo del ácido tricarboxílico y la cadena de transporte de electrones (Spriet, Howlett y Heigenhauser, 2000), lo que lleva a niveles extremos de producción de lactato asociados con deportes de alta intensidad (en la competencia y el entrenamiento).

En consecuencia, los esfuerzos de alta intensidad que duran ~4 min se llevan a cabo a ~20 veces los valores de  $VO_2$  en reposo produciendo un lactato sanguíneo tan alto como ~25 mmol/L, y la producción de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) causa disminuciones en el pH del músculo esquelético humano de ~7.2 en reposo a 6.6 en agotamiento (Hermansen y Osnes, 1972). Aunque la fatiga es multifactorial, ciertamente existen fundamentos sólidos de mecanismos que demuestran que la acidosis muscular, a través de la acumulación de  $H^+$ ,



es un limitante clave del ejercicio sostenido de alta intensidad durante ~1-10 min (Allen, Lamb y Westerblad, 2008). También se sabe desde hace más de 80 años que la carnosina es un amortiguador intracelular clave debido a su anillo lateral de imidazol que contiene nitrógeno, que puede aceptar (amortiguar)  $H^+$  (Bate-Smith, 1938) y enlentecer la disminución del pH muscular durante ejercicio intenso (Baguet, Koppo, Pottier y Derave, 2010). Se ha sugerido que la contribución de los niveles normales de carnosina muscular a la capacidad amortiguadora total del músculo intracelular es ~6-7%, pero puede llegar a ~15% del total cuando se aumenta mediante suplementos de beta-alanina (Harris y Stellingwerff, 2013). Curiosamente, también se sabe desde hace 35 años que los velocistas y remeros tienen casi el doble de carnosina muscular que los corredores de maratón, y la carnosina se correlaciona fuertemente con el contenido de fibra muscular tipo II (Parkhouse, McKenzie, Hochachka y Ovalle, 1985). En conjunto, la acidosis metabólica severa es un limitante del rendimiento de alta intensidad del cual la carnosina muscular puede actuar como uno de los muchos amortiguadores intracelulares.

Más allá de la acidosis metabólica que limita la producción de ATP, también existen limitaciones biomecánicas y estructurales para el rendimiento de alta intensidad que a menudo no se consideran al dilucidar los límites del rendimiento de alta intensidad. Por ejemplo, muchos deportes de media distancia/potencia requieren adaptaciones morfológicas extremas (por ej., circunferencias de cuádriceps excepcionales en ciclismo de velocidad y remo) que dan como resultado una velocidad y una fuerza explosiva y/o potencia extraordinarias. Obviamente, los determinantes del rendimiento de estos deportes también deben considerarse desde un origen estructural y biomecánico (por ej., fuerza máxima absoluta, tasa de desarrollo de la fuerza, masa corporal, etc. (Weyand, Sandell, Prime y Bundle, 2010)). La velocidad de carrera sostenida a una velocidad casi máxima parece estar limitada por el tiempo mínimo necesario (tiempo de contacto con el suelo o tiempo bajo tensión) para aplicar grandes fuerzas, que de nuevo están relacionadas con el contenido de fibras musculares tipo II de contracción rápida (Weyand et al., 2010) y/o la capacidad del músculo para generar fuerza máxima repetidamente. La base de estos diversos determinantes estructurales y mecánicos del rendimiento son las fibras musculares Tipo II de contracción rápida (Tipo IIa y IIx) (Costill et al., 1976), que tienen casi el doble del contenido de carnosina muscular en comparación con las fibras musculares Tipo I de contracción lenta (Baguet et al., 2011; Parkhouse et al., 1985; Stellingwerff, Anwander, et al., 2012).

A la carnosina también se le han propuesto numerosas funciones fisiológicas, aunque la mayor parte de los mecanismos que la respaldan se han generado a través de cultivos celulares y la investigación con roedores. Sin embargo, muchas de estas funciones *in vitro* también pueden jugar un papel durante el descanso y el ejercicio en humanos. Todos estos posibles roles fisiológicos han sido recientemente revisados por Matthews y colaboradores (2019) siendo el mecanismo ergogénico predominante más fuerte para explicar el aumento de la

carnosina en atletas la mejora en la amortiguación del pH intracelular. Los mecanismos secundarios también incluyen: (1) manejo de calcio ( $Ca^{2+}$ ), incluyendo liberación, recaptación y sensibilidad al  $Ca^{2+}$ ; (2) intercambiador citoplásmico de  $Ca^{2+}$ - $H^+$  descrito como el "transbordador de carnosina" (Figura 1); (3) potencial para regular la bioenergética que conduce a un aumento del flujo glucolítico; (4) supresor de especies reactivas de oxígeno que alteran el estrés oxidativo; y (5) formación de conjugados estables para evitar que se produzcan aldehídos reactivos y peroxidación lipídica (desintoxicación no enzimática de aldehídos reactivos).

Un mecanismo emergente interesante es la hipótesis del transbordador de carnosina (Figura 1). En apoyo a esta hipótesis, en datos recientes en miocitos cardíacos se ha demostrado que la carnosina no es solo un amortiguador, sino que también participa en la manipulación de  $Ca^{2+}$  y  $H^+$  desde el retículo sarcoplásmico como un tipo de "transbordador de carnosina" (Figura 1; revisado por Blancquaert, Everaert y Derave, 2015; Matthews, Artioli, Turner y Sale, 2019), pero requiere confirmación en el músculo esquelético humano.

## SUPLEMENTACIÓN DE BETA-ALANINA Y SÍNTESIS DE CARNOSINA

La carnosina es producida en el músculo por la carnosina sintetasa, siendo la concentración plasmática de beta-alanina el sustrato limitante. La concentración plasmática es  $<2 \mu M$  y la  $K_m$  (concentración necesaria para una tasa de reacción que es 50% del máximo) para su captación en el músculo es ~1.0–2.3 mM. Por el contrario, la L-histidina está presente en concentraciones mucho más altas en plasma (50  $\mu M$ ) y músculo y tiene una  $K_m$  mucho menor (16.8  $\mu M$ , Figura 1). En 2006, Harris y colaboradores (2006) fueron los primeros en demostrar que la ingestión oral de 3.2 ó 6.4 g/día de beta-alanina (o una cantidad isomolar de carnosina suplementada (13.0 g/día)) aumentó un 40-60% la carnosina muscular en humanos.

A partir de este trabajo histórico, en todos los estudios que midieron la carnosina muscular (ya sea mediante biopsia muscular o espectroscopia de resonancia magnética), donde se suplementó una cantidad significativa de beta-alanina (por ej., ~3-6 g de beta-alanina/día durante al menos 4 semanas), se ha mostrado un aumento significativo en el contenido de carnosina muscular (para revisiones ver, Perim et al., 2019; Stellingwerff, Decombaz, Harris, & Boesch, 2012). En promedio, esto ha llevado a un aumento significativo ~30-50% en el contenido de carnosina muscular con ~3-6 g de beta-alanina suplementada/día durante 4-6 semanas. La limpieza de la carnosina elevada en el músculo esquelético después de la finalización de la suplementación con beta-alanina es muy lenta, con un tiempo de limpieza estimado de ~14 a 15 semanas después de un aumento de ~50% en la carnosina muscular (Baguet et al., 2009; Stellingwerff, Anwander, et al., 2012). El factor que más contribuye a la síntesis de carnosina es la dosis y la duración de la suplementación con beta-alanina, ya que los estudios han demostrado que duplicar la dosis diaria de beta-alanina produce aproximadamente el doble de

la cantidad de carnosina sintetizada (y reduce a la mitad el tiempo para llegar al mismo aumento) (Church et al., 2017; Stellingwerff, Anwander, et al., 2012).

En datos actuales también se han mostrado varias formas potenciales de aumentar la eficiencia de la síntesis de carnosina con la suplementación de beta-alanina, ya que solo ~5% de la beta-alanina ingerida se puede considerar en el músculo como carnosina, y el resto tiene un destino metabólico desconocido. Estos incluyen: (1) tomar beta-alanina con una comida (aprovechando el efecto de la insulina), ya que esto resultó en una mayor síntesis de carnosina en el sóleo, pero no en el músculo gastrocnemio (Stegen et al., 2013); (2) usar beta-alanina de liberación lenta, en comparación con la forma pura, produce una mayor síntesis de carnosina (Varanoske et al., 2019); y (3) realizar entrenamiento/ejercicio mientras se suplementa (Bex, Chung, Baguet, Achten y Derave, 2015). Sin embargo, más allá de la dosis y la duración de la suplementación con beta-alanina para afectar la síntesis de carnosina, otros factores que influyen requieren una validación más científica. Además, en un estudio básico reciente de Saunders y colaboradores (2017a) en el cual se implementaron 24 semanas de suplementación con 6.4 g/día de beta-alanina en 25 sujetos, se informó una gran variabilidad individual para la síntesis de carnosina. Cinco sujetos tuvieron un contenido máximo de carnosina muscular en la semana 24, pero otros 5 sujetos ya tenían su contenido máximo de carnosina muscular en las primeras 12 semanas (Saunders, Painelli, et al., 2017). Finalmente, parece que una vez que se eleva la carnosina muscular con una fase de carga de beta-alanina, la suplementación continua con tan solo 1.2 g/día mantendrá elevadas las reservas de carnosina (Stegen et al., 2014). Obviamente, nuestro entendimiento de los determinantes de la respuesta individual a la suplementación con beta-alanina está lejos de ser completo (Tabla 1).

### Beta-alanina: Preguntas relevantes y futuras pautas de investigación aplicada

¿Cuáles son las razones mecanicistas, más allá de la carnosina inicial, para la gran respuesta individual a la síntesis de carnosina debido a la suplementación con beta-alanina? (Saunders, Painelli, et al., 2017)

Dado que la carnosina depende del tipo de fibra, ¿existen respuestas específicas del tipo de fibra a los resultados de rendimiento o al potencial ergogénico de la beta-alanina en función del contenido de carnosina inicial (y, por extensión, del tipo de fibra)?

¿Existe alguna implicación (por ejemplo, enzimática, proteica o atenuación del transportador) debido a la suplementación a largo plazo con beta-alanina? (>24 semanas, (Saunders, Painelli, et al., 2017)).

¿La hipótesis del transportador de carnosina (Fig. 1), desarrollada principalmente en modelos de cultivos celulares, también ocurre en humanos vía aumento del H<sup>+</sup> y/o el Ca<sup>2+</sup>? ¿Cómo estos mecanismos separados, pero relacionados, impactan el rendimiento en humanos?

Se requieren más estudios que examinen la eficacia de la adaptación al entrenamiento debido al aumento de la carnosina producido por la suplementación con beta-alanina: ¿el aumento de "trabajo" causa un aumento de las adaptaciones al entrenamiento o la atenuación potencial de H<sup>+</sup>/acidosis afecta la adaptación?

Dado que la evaluación de carnosina del músculo esquelético humano a través de mediciones no invasivas de espectroscopia de resonancia magnética de protones se puede utilizar para estimar el tipo de fibras de los atletas (Baguet et al., 2011), ¿existen diferencias en los distintos tipos de fibra en los aspectos del entrenamiento y la recuperación? ¿Cómo afecta la suplementación con beta-alanina estos parámetros?

¿Hay cambios en el juicio del ritmo (teloanticipación) que se produzcan al alterar el contenido de carnosina muscular que necesiten una consideración cuidadosa debido a sus efectos en pruebas de contrarreloj durante el ciclismo, la natación y el remo?

**Tabla 1.** Preguntas relevantes y futuras pautas de investigación aplicadas en relación a la eficacia de la suplementación con beta-alanina para mejorar el rendimiento del ejercicio de alta intensidad y/o las adaptaciones al entrenamiento.

Cuando se suplementa la beta-alanina en niveles superiores a 800 mg/dosis, se produce parestesia leve en la mayoría de los sujetos ("hormigueo" leve, vasodilatación de la piel y enrojecimiento durante ~60-120 min). Sin embargo, se produjo comercialmente una tableta de beta-alanina de liberación lenta que ha demostrado una menor pérdida por la orina y un aplanamiento de la curva plasmática máxima (la misma área bajo la curva), y ninguno de los sujetos informó síntomas de parestesia en comparación con el control (Decombaz, Beaumont, Vuichoud, Bouisset y Stellingwerff, 2012). Aparte de una sub-regulación del gen muscular transportador de beta-alanina y su proteína posterior TauT (Saunders, Painelli, et al., 2017), no se han demostrado otros efectos secundarios o cambios en las mediciones de sangre o cambios agudos de peso corporal con la suplementación de beta-alanina (Harris et al., 2006; Stellingwerff, Anwander, et al., 2012).

### SUPLEMENTACIÓN CON BETA-ALANINA Y AUMENTO DE LA CARNOSINA: EFECTOS SOBRE EL RENDIMIENTO

El primer estudio sobre rendimiento humano con beta-alanina se publicó en 2007 y demostró que un aumento en la carnosina muscular (a través de la suplementación con beta-alanina) produjo aumentos de dosis-respuesta en el tiempo total de trabajo realizado hasta el agotamiento (TTE por sus siglas en inglés) al 110% de la potencia máxima (W<sub>máx</sub>) en la semana 4 (+12% TTE) y la semana 10 (+16% TTE) en comparación con los datos iniciales (Hill et al., 2007). En los años siguientes, en gran cantidad de estudios sobre el rendimiento se ha demostrado la eficacia de la suplementación con beta-alanina para mejorar el rendimiento de alta intensidad, que incluyen: (1) la carnosina muscular inicial previa a la suplementación se correlaciona con ~16 s, ~1.5 min, y ~6.5 min de rendimiento de remo (Baguet, Bourgois, Vanhee, Achten y Derave, 2010), mostrando la importancia de la carnosina muscular para el rendimiento de alta intensidad, (2) mejoró significativamente el rendimiento del sprint de 30 s (+5% de potencia media) después de 110 min de ciclismo prolongado (Van Thienen et al., 2009); y (3) mejores resultados en pruebas de Wingate repetidas (trabajo total realizado en 4 pruebas) tanto en sujetos entrenados como desentrenados (de Salles Painelli et al., 2014). Sin embargo, en algunos estudios no se han demostrado beneficios de rendimiento después de la suplementación con beta-alanina en comparación con el control, pero generalmente esto ocurre en cualquier suplementación con menos de ~150 g de beta-alanina total (Derave et al., 2007; Smith et al., 2009) o con protocolos de rendimiento explosivos muy cortos de menos de ~30 segundos de duración (por ej., 1 repetición máxima o hacer un sprint), donde la acidosis no será limitante (Kendrick et al., 2008; Sweeney, Wright, Glenn Brice y Doberstein, 2010).

Se han realizado dos meta-análisis definitivos que examinan los efectos sobre el rendimiento de la suplementación crónica con beta-alanina. El primero se publicó en 2012 e incluyó 15 estudios (n=360 sujetos), con un resultado general donde la beta-alanina mejoró las medidas de resultados en ejercicio en comparación con el control (p=0.002 con

un tamaño del efecto global (ES por sus siglas en inglés) de 0.374) y la mayoría de los efectos sobre el rendimiento se demuestran durante 1 a 4 minutos de ejercicio de alta intensidad (Hobson, Saunders, Ball, Harris y Sale, 2012). Sin embargo, este meta-análisis estuvo dominado por los protocolos de capacidad de ejercicio/TTE (n=13 estudios;  $p=0.013$ , ~2-3% de mejora) en comparación con los protocolos de rendimiento en el ejercicio/prueba contrarreloj (TT por sus siglas en inglés) (n=2 estudios;  $p=0.204$ ). Es importante tener en cuenta que los tamaños del efecto tienden a ser mayores en los protocolos de TTE basados en la duración, en comparación con los TT en los que el ritmo intrínseco también puede desempeñar un papel en los resultados de rendimiento. En 2017 se realizó un meta-análisis de seguimiento con 40 estudios (n=1461 sujetos), donde el tamaño del efecto general fue 2.1 veces menor (ES= 0.18) en comparación con el meta-análisis de 2012 (Saunders, Elliott-Sale, et al., 2017). Curiosamente, el ES para la capacidad de ejercicio/TTE fue 0.4998, que fue similar al meta-análisis de 2012, pero el ES para los resultados de rendimiento/TT fue solo de 0.1078. Nuevamente, en el análisis de meta-regresión se mostró que la duración del ejercicio de ~1-10 min demostró los mayores beneficios de rendimiento con la suplementación con beta-alanina ( $p=0.004$ ; Figura 2).

Finalmente, han habido algunos datos recientes que sugieren efectos totales sobre el rendimiento más pequeños (~0.5-1% de mejoría) de la suplementación con beta-alanina en sujetos bien entrenados en comparación con sujetos no entrenados (Bellinger, Howe, Shing y Fell, 2012; Saunders, Elliott-Sale, et al., 2017). Esto se ha demostrado en otros meta-análisis en el pasado y probablemente representa un efecto de techo biológico del rendimiento encontrado con atletas de élite que se acercan a un cenit genético. La Figura 2 destaca los diversos sistemas de energía y el "punto óptimo" de rendimiento de ~1-10 minutos de duración y los diversos deportes olímpicos que, en consecuencia, podrían beneficiarse de la suplementación con beta-alanina. La beta-alanina es una de las pocas ayudas que se enumeran como potencialmente ergogénicas (cuando se usa con el protocolo correcto en eventos/deportes ideales) como parte del reciente consenso de suplementos del Comité Olímpico Internacional (Peeling, Binnie, Goods, Sim y Burke, 2018).

## CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS

Desde que Harris y sus colegas demostraron por primera vez en 2006 que la suplementación crónica con beta-alanina aumentó significativamente el contenido de carnosina muscular en los seres humanos, han habido grandes avances en nuestro conocimiento con respecto a los protocolos de suplementación y los resultados subsiguientes del rendimiento. No obstante, la Tabla 1 destaca algunas de nuestras inquietudes predominantes sobre las futuras direcciones de la investigación aplicada.

Más allá de estas limitaciones sobresalientes en la comprensión, las aplicaciones prácticas actuales y las recomendaciones para la suplementación de beta-alanina incluyen:

- Los datos respaldan la ingesta de ~3-6 g de beta-alanina / día (por lo general, dosis de 800 mg a 1.6 g cada 4 horas con una comida) durante al menos 4 semanas de suplementación para aumentar las reservas de carnosina (30-60%) y demostrar beneficios de rendimiento.
- Existe evidencia de que este protocolo de dosificación se puede optimizar para el peso corporal (~0.05-0.06 g/kg de masa corporal/día) y que la beta-alanina de liberación lenta, tomada con alimentos y ejercicio, mejorará aún más la síntesis de carnosina (Stegen et al., 2014). Sin embargo, a las 24 semanas de suplementación, algunos atletas aún pueden estar aumentando su contenido de carnosina muscular.
- Dos meta-análisis han respaldado que los deportes/eventos de alta intensidad (~1-10 min de duración, con niveles de lactato en sangre significativamente altos (>10mmol/L, Figura 2)) parecen beneficiarse más del potencial ergogénico de la suplementación de beta-alanina.
- Se han reportado efectos de rendimiento pequeños a moderados con beta-alanina en eventos sostenidos de alta intensidad, con aumentos del rendimiento del 2-3% en atletas recreativos y ~0.5-1.0% en atletas de élite.

Este SSE ofrece una actualización sobre la ciencia aplicada a la suplementación con beta-alanina, su impacto en el contenido de carnosina muscular y sus efectos sobre el rendimiento en el ejercicio. Aunque quedan muchas preguntas (Tabla 1), la explosión de conocimiento en los últimos 15 años ha hecho de la beta-alanina uno de los pocos suplementos con potencial ergogénico cuando se utiliza con un protocolo de dosificación óptimo en eventos sostenidos de alta intensidad.

Las opiniones expresadas pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente la posición o la política de PepsiCo, Inc.

## REFERENCIAS

- Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological reviews*, 88(1), 287-332. doi:10.1152/physrev.00015.2007
- 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. doi:10.1152/jappphysiol.00141.2010
- Baguet, A., Everaert, I., Hespel, P., Petrovic, M., Achten, E., & Derave, W. (2011). A new method for non-invasive estimation of human muscle fiber type composition. *PLoS ONE*, 6(7), e21956. doi:10.1371/journal.pone.0021956
- Baguet, A., Koppo, K., Pottier, A., & Derave, W. (2010). Beta-alanine supplementation reduces acidosis but not oxygen uptake response during high-intensity cycling exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 108(3), 495-503. doi:10.1007/s00421-009-1225-0
- Baguet, A., Reyngoudt, H., Pottier, A., Everaert, I., Callens, S., Achten, E., & Derave, W. (2009). Carnosine loading and washout in human skeletal muscles. *Journal of Applied Physiology*, 106(3), 837-842. doi:10.1152/jappphysiol.91357.2008
- Bate-Smith, E. C. (1938). The buffering of muscle in rigor: protein, phosphate and carnosine. *Journal of Physiology*, 92(3), 336-343.
- Bellinger, P. M., Howe, S. T., Shing, C. M., & Fell, J. W. (2012). Effect of combined beta-alanine and sodium bicarbonate supplementation on cycling performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(8), 1545-1551. doi:10.1249/MSS.0b013e31824cc08d

- Bex, T., Chung, W., Baguet, A., Achten, E., & Derave, W. (2015). Exercise training and Beta-alanine-induced muscle carnosine loading. *Front Nutr*, 2, 13. doi:10.3389/fnut.2015.00013
- Blancquaert, L., Everaert, I., & Derave, W. (2015). Beta-alanine supplementation, muscle carnosine and exercise performance. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, 18(1), 63-70. doi:10.1097/MCO.0000000000000127
- Church, D. D., Hoffman, J. R., Varanoske, A. N., Wang, R., Baker, K. M., La Monica, M. B., . . . Stout, J. R. (2017). Comparison of Two beta-Alanine Dosing Protocols on Muscle Carnosine Elevations. *J Am Coll Nutr*, 36(8), 608-616. doi:10.1080/07315724.2017.1335250
- Costill, D. L., Daniels, J., Evans, W., Fink, W., Krahenbuhl, G., & Saltin, B. (1976). Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *Journal of Applied Physiology*, 40(2), 149-154. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/129449>
- de Salles Painelli, V., Saunders, B., Sale, C., Harris, R. C., Solis, M. Y., Roschel, H., . . . Lancha, A. H., Jr. (2014). Influence of training status on high-intensity intermittent performance in response to beta-alanine supplementation. *Amino Acids*, 46(5), 1207-1215. doi:10.1007/s00726-014-1678-2
- Decombaz, J., Beaumont, M., Vuichoud, J., Bouisset, F., & Stellingwerff, T. (2012). Effect of slow-release beta-alanine tablets on absorption kinetics and paresthesia. *Amino Acids*, 43(1), 67-76. doi:10.1007/s00726-011-1169-7
- Derave, W., Ozdemir, M. S., Harris, R. C., Pottier, A., Reyngoudt, H., Koppo, K., . . . Achten, E. (2007). beta-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. Retrieved from [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=17690198](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=17690198)
- Harris, R. C., & Stellingwerff, T. (2013). Effect of beta-alanine supplementation on high-intensity exercise performance. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser*, 76, 61-71. doi:10.1159/000350258
- Harris, R. C., Tallon, M. J., Dunnett, M., Boobis, L., Coakley, J., Kim, H. J., . . . Wise, J. A. (2006). The absorption of orally supplied beta-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids*, 30(3), 279-289.
- Hermansen, L., & Osnes, J. B. (1972). Blood and muscle pH after maximal exercise in man. *Journal of Applied Physiology*, 32(3), 304-308. doi:10.1152/jappl.1972.32.3.304
- Hill, C. A., Harris, R. C., Kim, H. J., Harris, B. D., Sale, C., Boobis, L. H., . . . Wise, J. A. (2007). Influence of beta-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids*, 32(2), 225-233. Retrieved from [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=16868650](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=16868650)
- Hobson, R. M., Saunders, B., Ball, G., Harris, R. C., & Sale, C. (2012). Effects of beta-alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. *Amino Acids*, 43(1), 25-37. doi:10.1007/s00726-011-1200-z
- Kendrick, I. P., Harris, R. C., Kim, H. J., Kim, C. K., Dang, V. H., Lam, T. Q., . . . Wise, J. A. (2008). The effects of 10 weeks of resistance training combined with beta-alanine supplementation on whole body strength, force production, muscular endurance and body composition. *Amino Acids*, 34(4), 547-554. Retrieved from [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=18175046](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=18175046)
- Matthews, J. J., Artioli, G. G., Turner, M. D., & Sale, C. (2019). The Physiological Roles of Carnosine and beta-Alanine in Exercising Human Skeletal Muscle. *Medicine and science in sports and exercise*, 51(10), 2098-2108. doi:10.1249/MSS.0000000000002033
- Parkhouse, W. S., McKenzie, D. C., Hochachka, P. W., & Ovalle, W. K. (1985). Buffering capacity of deproteinized human vastus lateralis muscle. *Journal of Applied Physiology*, 58(1), 14-17. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3968004>
- Peeling, P., Binnie, M. J., Goods, P. S. R., Sim, M., & Burke, L. M. (2018). Evidence-Based Supplements for the Enhancement of Athletic Performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 28(2), 178-187. doi:10.1123/ijnsnem.2017-0343
- Perim, P., Martcorena, F. M., Ribeiro, F., Barreto, G., Gobbi, N., Kerkisick, C., . . . Saunders, B. (2019). Can the Skeletal Muscle Carnosine Response to Beta-Alanine Supplementation Be Optimized? *Front Nutr*, 6, 135. doi:10.3389/fnut.2019.00135
- Sandford, G. N., & Stellingwerff, T. (2019). 'Question your categories': the misunderstood complexity of middle-distance running profiles with implications for research methods and application. *Front. Sports Act. Living*. doi:<https://doi.org/10.3389/fspor.2019.00028>
- Saunders, B., Elliott-Sale, K., Artioli, G. G., Swinton, P. A., Dolan, E., Roschel, H., . . . Gualano, B. (2017). beta-alanine supplementation to improve exercise capacity and performance: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*, 51(8), 658-669. doi:10.1136/bjsports-2016-096396
- Saunders, B., Painelli, V. D. S., Oliveira, L. F., Silva, V. D. E., Silva, R. P., Riani, L., . . . Gualano, B. (2017). Twenty-four Weeks of beta-Alanine Supplementation on Carnosine Content, Related Genes, and Exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 49(5), 896-906. doi:10.1249/MSS.0000000000001173
- Smith, A. E., Moon, J. R., Kendall, K. L., Graef, J. L., Lockwood, C. M., Walter, A. A., . . . Stout, J. R. (2009). The effects of beta-alanine supplementation and high-intensity interval training on neuromuscular fatigue and muscle function. *European Journal of Applied Physiology*, 105(3), 357-363. doi:10.1007/s00421-008-0911-7
- Spriet, L. L., Howlett, R. A., & Heigenhauser, G. J. (2000). An enzymatic approach to lactate production in human skeletal muscle during exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(4), 756-763. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10776894>
- Stegen, S., Bex, T., Vervaet, C., Vanhee, L., Achten, E., & Derave, W. (2014). beta-Alanine dose for maintaining moderately elevated muscle carnosine levels. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(7), 1426-1432. doi:10.1249/MSS.0000000000000248
- Stegen, S., Blancquaert, L., Everaert, I., Bex, T., Taes, Y., Calders, P., . . . Derave, W. (2013). Meal and beta-alanine coingestion enhances muscle carnosine loading. *Medicine and science in sports and exercise*, 45(8), 1478-1485. doi:10.1249/MSS.0b013e31828ab073
- Stellingwerff, T., Anwander, H., Egger, A., Buehler, T., Kreis, R., Decombaz, J., & Boesch, C. (2012). Effect of two beta-alanine dosing protocols on muscle carnosine synthesis and washout. *Amino Acids*, 42(6), 2461-2472. doi:10.1007/s00726-011-1054-4
- Stellingwerff, T., Bovim, I. M., & Whitfield, J. (2019). Contemporary Nutrition Interventions to Optimize Performance in Middle-Distance Runners. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 29(2), 106-116. doi:10.1123/ijnsnem.2018-0241
- Stellingwerff, T., Decombaz, J., Harris, R. C., & Boesch, C. (2012). Optimizing human in vivo dosing and delivery of beta-alanine supplements for muscle carnosine synthesis. *Amino Acids*, 43(1), 57-65. doi:10.1007/s00726-012-1245-7
- Sweeney, K. M., Wright, G. A., Glenn Brice, A., & Doberstein, S. T. (2010). The effect of beta-alanine supplementation on power performance during repeated sprint activity. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 24(1), 79-87. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c63bd5
- Van Thienen, R., Van Proeyen, K., Vanden Eynde, B., Puype, J., Lefere, T., & Hespel, P. (2009). Beta-alanine improves sprint performance in endurance cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(4), 898-903. doi:10.1249/MSS.0b013e31818db708
- Varanoske, A. N., Hoffman, J. R., Church, D. D., Coker, N. A., Baker, K. M., Dodd, S. J., . . . Stout, J. R. (2019). Comparison of sustained-release and rapid-release beta-alanine formulations on changes in skeletal muscle carnosine and histidine content and isometric performance following a muscle-damaging protocol. *Amino Acids*, 51(1), 49-60. doi:10.1007/s00726-018-2609-4
- Weyand, P. G., Sandell, R. F., Prime, D. N., & Bundle, M. W. (2010). The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *J Appl Physiol* (1985), 108(4), 950-961. doi:10.1152/japophysiol.00947.2009

## TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Stellingwerff, T. (2020). An update on beta-alanine supplementation for athletes. *Sports Science Exchange*, Vol. 29, No. 208, 1-6, por el M.Sc. Pedro Reinaldo García.