

Ingredientes ergogénicos y de soporte metabólico en nutrición deportiva de alto rendimiento

Bases fisiológicas, evidencia clínica, formulación tecnológica y control regulatorio de alimentos deportivos y suplementos para rendimiento, recuperación y adaptación

José M. López, MD, PhD *et al.*

Departamento Técnico - Científico de IntaBiotech

Resumen

La nutrición deportiva contemporánea ha evolucionado desde una lógica de suplementación centrada casi exclusivamente en culturismo, resistencia extrema y productos hiperproteicos hacia un ecosistema mucho más complejo, en el que convergen deportistas profesionales, atletas recreacionales, población activa, consumidores de “*active nutrition*”, personas mayores físicamente activas y usuarios que buscan salud metabólica, composición corporal, energía percibida o recuperación funcional. Esta expansión comercial, sin embargo, no debe confundirse con equivalencia científica. El rendimiento deportivo no mejora por acumulación indiscriminada de ingredientes, sino por la adecuación precisa entre demanda fisiológica, estado nutricional, tipo de deporte, fase de entrenamiento, tolerancia gastrointestinal, seguridad, legalidad antidopaje, calidad industrial y evidencia clínica aplicable.

Este artículo revisa de forma técnico-académica los principales ingredientes utilizados en nutrición deportiva de alto rendimiento, distinguiendo entre nutrientes fundamentales, alimentos deportivos, ayudas ergogénicas con evidencia consolidada, ingredientes de evidencia emergente y compuestos de uso comercial frecuente, pero soporte científico limitado o dependiente del contexto. Se analizan carbohidratos, proteínas, aminoácidos esenciales, creatina, cafeína, beta-alanina, bicarbonato sódico, nitratos, electrolitos, glicerol, HMB, colágeno, polifenoles, omega-3, probióticos, betaglucanos, carnitina, ribosa, ATP oral, arginina, citrulina y micronutrientes críticos. Finalmente, se abordan los criterios de diseño de producto, *claims* regulatorios, control de contaminantes, riesgo de dopaje involuntario y oportunidades industriales para matrices alimentarias y suplementarias de alto valor técnico.

Palabras clave: *nutrición deportiva; ayudas ergogénicas; creatina; cafeína; beta-alanina; nitrato; proteína; recuperación muscular; suplementos; antidopaje; alimentos funcionales.*

1. Introducción: de la suplementación deportiva clásica a la nutrición activa de precisión

La nutrición deportiva se ha convertido en un territorio de intersección entre fisiología del ejercicio, bioquímica energética, tecnología alimentaria, formulación industrial, regulación de declaraciones saludables y seguridad antidopaje. Tradicionalmente, los suplementos deportivos se asociaban a poblaciones relativamente delimitadas como culturistas, atletas de fuerza, corredores de fondo, triatletas y deportistas de élite. En la actualidad, la categoría se ha fragmentado y ampliado. El consumidor ya no busca únicamente “ganar músculo” o “tener más energía”, sino sostener entrenamientos frecuentes, mejorar la recuperación, preservar masa magra, reducir fatiga percibida, optimizar hidratación, modular inflamación, prevenir lesiones,

conservar función cognitiva bajo esfuerzo y mantener salud inmunitaria durante periodos de carga.

Esta ampliación plantea una cuestión técnica esencial, y esta no es otra que la de que la nutrición deportiva no debe evaluarse desde la promesa comercial del ingrediente, sino desde su capacidad real para modificar una variable limitante del rendimiento. En términos prácticos, un ingrediente solo tiene sentido si interviene de forma reproducible sobre alguno de los siguientes elementos determinantes:

1. disponibilidad energética durante el ejercicio;
2. resíntesis de ATP;
3. disponibilidad de glucógeno muscular y hepático;
4. hidratación y equilibrio electrolítico;
5. excitabilidad neuromuscular;
6. capacidad tampón intra- o extracelular;
7. síntesis proteica muscular y adaptación al entrenamiento;
8. reducción del daño muscular o de la inflamación excesiva;
9. mantenimiento de la función inmunitaria y gastrointestinal;
10. corrección de deficiencias nutricionales limitantes;
11. soporte del tejido conectivo y prevención de lesión;
12. tolerancia gastrointestinal, adherencia y practicidad.

Es claro que no todo ingrediente “activo” es ergogénico. Un suplemento puede ser nutricionalmente razonable, tecnológicamente interesante o comercialmente atractivo sin producir una mejora directa del rendimiento. Del mismo modo, una mejora estadísticamente significativa en condiciones experimentales no necesariamente se traduce en una ventaja competitiva relevante, especialmente en atletas de élite, donde la variabilidad individual, el margen de mejora y el contexto competitivo son determinantes.

2. Marco conceptual: rendimiento, recuperación y adaptación

Conviene diferenciar tres objetivos que en el mercado suelen mezclarse indebidamente.

2.1. Rendimiento agudo

Este concepto hace referencia a la mejora de una variable durante una sesión o competición concreta: tiempo hasta el agotamiento, potencia media, sprint repetido, fuerza máxima, tiempo de reacción, economía de carrera, percepción de esfuerzo o capacidad de sostener intensidad. Aquí se ubican ayudas como cafeína, carbohidratos intra-ejercicio, bicarbonato, nitrato, creatina en esfuerzos repetidos de alta intensidad y, en ciertos contextos, beta-alanina.

2.2. Recuperación

Incluye restauración de glucógeno, reparación de daño muscular, rehidratación, reducción de dolor muscular de aparición tardía, normalización de función inmune y recuperación del sistema nervioso. Intervienen carbohidratos, proteínas, aminoácidos esenciales, sodio, líquidos, sueño, polifenoles específicos, omega-3, colágeno en tejidos conectivos, probióticos en determinados perfiles y estrategias antiinflamatorias cuidadosamente dosificadas.

2.3. Adaptación al entrenamiento

La adaptación no equivale a “recuperarse rápido a cualquier precio”. La inflamación, el estrés oxidativo y la señalización mecano-metabólica forman parte del estímulo adaptativo. Por ello, el uso indiscriminado de antioxidantes potentes, antiinflamatorios naturales o estrategias de recuperación agresiva puede ser contraproducente si atenúa señales necesarias para hipertrofia, biogénesis mitocondrial o remodelado tisular. En deporte de alto rendimiento, la intervención nutricional debe periodizarse: no todo lo que reduce dolor o fatiga de forma aguda mejora la adaptación a medio plazo.

3. Jerarquía de evidencia en ingredientes deportivos

Una revisión rigurosa debe separar ingredientes con evidencia sólida de ingredientes de soporte circunstancial o de bajo respaldo. Una clasificación operativa puede organizarse de acuerdo con la Tabla que exponemos a continuación:

Categoría	Criterio	Ejemplos principales	Comentario técnico
Evidencia alta y uso contextual claro	Múltiples ensayos, revisiones y consensos; protocolos definidos	Carbohidratos, proteínas, creatina monohidrato, cafeína, beta-alanina, bicarbonato, nitrato, electrolitos	No son universales; dependen del deporte, dosis, timing y tolerancia
Evidencia moderada o emergente	Mecanismo plausible y algunos datos positivos, pero heterogeneidad	HMB, colágeno/gelatina + vitamina C, polifenoles de cereza o frutos rojos, probióticos, omega-3, citrulina	Útiles en subgrupos, fases de carga, recuperación o lesión
Evidencia limitada o muy dependiente del diseño	Resultados preliminares, extrapolaciones o estudios pequeños	ATP oral, ribosa, carnitina en atletas no deficientes, arginina, glutamina aislada	Deben formularse con claims prudentes
Riesgo alto o no recomendable	Sustancias prohibidas, adulterantes, estimulantes no declarados, mezclas opacas	DMAA/DMHA, SARMs, prohormonas, DHEA, “fat burners” agresivos	Riesgo legal, sanitario y antidopaje

Esta jerarquía no pretende ser estática. La evidencia cambia con nuevos ensayos, metaanálisis, revaluaciones regulatorias y datos de seguridad. No obstante, constituye una guía industrial y científica para evitar el error frecuente de formular productos con ingredientes “de moda” pero bajo impacto real.

4. Carbohidratos: el principal combustible operativo del rendimiento de resistencia e intermitente

Los carbohidratos siguen siendo el eje de la nutrición deportiva cuando el rendimiento depende de intensidades moderadas-altas, esfuerzos prolongados, deportes intermitentes o competiciones repetidas. La depleción de glucógeno muscular y hepático se asocia con fatiga periférica, alteración del *pacing*, reducción de potencia, deterioro cognitivo y aumento de percepción de esfuerzo.

4.1. Antes del ejercicio

En competiciones o sesiones superiores a 60 - 90 minutos, la comida previa debe aportar carbohidratos suficientes para optimizar glucógeno, mantener glucemia y evitar molestias gastrointestinales. En términos prácticos, se emplean rangos de 1 - 4 g/kg de carbohidrato en las 2 - 4 horas previas, modulados por duración, intensidad, tolerancia individual y oportunidad de alimentación.

4.2. Durante el ejercicio

La ingesta intra-ejercicio busca aportar sustrato exógeno, preservar glucógeno y mantener función del sistema nervioso central. En esfuerzos de 1 - 2,5 horas se recomiendan habitualmente 30 - 60 g/h de carbohidratos. En esfuerzos superiores a 2,5 horas puede alcanzarse 90 g/h o más en atletas entrenados gastrointestinalmente, utilizando carbohidratos de transporte múltiple, típicamente glucosa/maltodextrina combinada con fructosa.

La diferencia entre un gel técnicamente correcto y uno mediocre no está solo en el contenido de carbohidrato. Importan la osmolalidad, tipo de carbohidrato, ratio glucosa/fructosa, velocidad de vaciado gástrico, sabor bajo fatiga, ausencia de molestias digestivas, facilidad de apertura, estabilidad, textura y compatibilidad con hidratación.

4.3. Después del ejercicio

La reposición de glucógeno es prioritaria cuando hay sesiones separadas por menos de 24 horas. En este escenario, se emplean estrategias de 1,0 - 1,2 g/kg/h durante las primeras horas, o cantidades inferiores combinadas con proteína cuando el objetivo también incluye reparación muscular. Cuando la recuperación no es urgente, el total diario de carbohidratos y la distribución de comidas pueden ser suficientes.

4.4. Implicación tecnológica

Las matrices comerciales más utilizadas son bebidas isotónicas, geles, *chews*, barritas, polvos reconstituidos y preparados líquidos. En productos para alto rendimiento debe evitarse una formulación excesivamente “saludable” si compromete funcionalidad: fibras, polioles, grasas o proteínas en exceso pueden ralentizar vaciado gástrico y aumentar molestias intestinales durante el ejercicio. En cambio, en productos de recuperación o nutrición activa diaria sí pueden tener sentido matrices más completas con proteína, micronutrientes y fibras tolerables.

5. Hidratación y electrolitos: más allá del agua

La pérdida de agua y sodio por sudor puede afectar termorregulación, volumen plasmático, gasto cardíaco, percepción de esfuerzo y función neuromuscular. La hidratación deportiva no consiste en “beber cuanto más mejor”, sino en sostener una reposición ajustada a tasa de sudoración, duración, temperatura, humedad, aclimatación, acceso a líquidos y concentración de sodio en sudor.

5.1. Sodio

El sodio es el electrolito crítico en la mayoría de los escenarios de resistencia prolongada, calor o sudoración intensa. Favorece retención hídrica, estimula sed, ayuda a mantener volumen extracelular y reduce riesgo de hiponatremia por exceso de agua. Las soluciones carbohidrato-electrolito empleadas en deporte suelen formularse con rangos de sodio compatibles con reposición y absorción intestinal. En términos regulatorios europeos, las soluciones con carbohidratos y electrolitos destinadas a declaraciones autorizadas deben cumplir condiciones composicionales específicas.

5.2. Potasio, magnesio y calcio

El potasio participa en excitabilidad neuromuscular, pero sus pérdidas por sudor suelen ser menores que las de sodio. Magnesio y calcio son relevantes para contracción muscular y

metabolismo, pero la suplementación aguda no corrige calambres si no existe deficiencia o desequilibrio. La atribución simplista de los calambres a “falta de magnesio” es técnicamente pobre: intervienen fatiga neuromuscular, intensidad, historia previa, temperatura, hidratación, sodio y entrenamiento.

5.3. Bebidas isotónicas, hipotónicas e hipertónicas

Una bebida hipotónica favorece rápida hidratación con baja carga de carbohidratos. Una bebida isotónica busca equilibrio entre hidratación y energía. Una hipertónica puede aportar alta densidad energética, pero aumenta riesgo de enlentecimiento gástrico y molestias digestivas si se usa durante ejercicio intenso. La selección depende del objetivo: hidratar, aportar energía o recuperar.

6. Proteínas y aminoácidos: síntesis proteica, masa magra y recuperación

La proteína es un eje central en adaptación muscular, reparación tisular y mantenimiento de masa magra. En deportistas, la recomendación habitual se sitúa alrededor de 1,4 - 2,0 g/kg/día, pudiendo requerirse más en fases de restricción energética, pérdida de grasa, alta carga de entrenamiento, deportes de fuerza o poblaciones veteranas.

6.1. Cantidad total y distribución

El total diario es el primer determinante. La distribución en tomas de 20 - 40 g de proteína de alta calidad, o aproximadamente 0,25 - 0,40 g/kg por toma, facilita alcanzar umbrales de aminoácidos esenciales y leucina. En personas mayores o deportistas con resistencia anabólica, puede requerirse una dosis superior por toma.

6.2. Calidad proteica

La calidad depende de digestibilidad, perfil de aminoácidos indispensables, contenido de leucina, velocidad de absorción, matriz alimentaria y tolerancia. El suero lácteo presenta alta densidad de leucina y rápida cinética de amino-acidemia. La caseína ofrece liberación más sostenida y puede tener interés nocturno. Las proteínas vegetales - soja, guisante, arroz, patata, haba - requieren diseño más cuidadoso para igualar perfil de aminoácidos, digestibilidad y textura.

La proteína de patata, por ejemplo, tiene interés industrial creciente por su alto contenido proteico, buena funcionalidad y potencial en productos *plant-based*, aunque su disponibilidad, coste, sabor y solubilidad pueden condicionar aplicación. En formulaciones veganas de alto rendimiento, la combinación de fuentes vegetales y la corrección con aminoácidos esenciales puede ser más racional que declarar simplemente “*plant protein*”.

6.3. Aminoácidos esenciales y BCAA

Los aminoácidos esenciales pueden estimular síntesis proteica si la dieta total es insuficiente o si se busca una opción ligera, rápida y baja en calorías. Sin embargo, los BCAA aislados son inferiores a una proteína completa o a un perfil completo de EAA, porque la síntesis proteica requiere todos los aminoácidos indispensables. La leucina actúa como señal, pero no construye músculo en ausencia de sustrato completo.

6.4. Hidrolizados proteicos

Los hidrolizados pueden mejorar velocidad de absorción, solubilidad o tolerancia en ciertas aplicaciones, pero no siempre ofrecen ventajas prácticas frente a proteínas intactas de calidad si el total diario está cubierto. Su valor industrial puede estar en bebidas claras, matrices RTD, fórmulas clínicas-deportivas, recuperación rápida o productos de fácil digestión.

7. Creatina monohidrato: el estándar de referencia en fuerza, potencia y esfuerzos repetidos

La creatina monohidrato es una de las ayudas ergogénicas más estudiadas y con mejor relación eficacia-coste. Su función principal es aumentar las reservas musculares de creatina y fosfocreatina, facilitando la resíntesis rápida de ATP durante esfuerzos breves e intensos.

7.1. Aplicaciones

Tiene mayor utilidad en:

- fuerza máxima y potencia;
- *sprints* repetidos;
- deportes de equipo con esfuerzos intermitentes;
- entrenamiento de resistencia con objetivo de hipertrofia;
- fases de alta carga;
- población mayor combinada con entrenamiento de fuerza;
- deportistas con baja ingesta dietética de creatina, como veganos o vegetarianos.

Su impacto es menos directo en resistencia pura de baja intensidad, aunque puede ayudar en cambios de ritmo, sprint final, capacidad de entrenamiento o preservación de masa magra.

7.2. Dosis

El protocolo clásico incluye fase de carga de aproximadamente 0,3 g/kg/día durante 5 - 7 días, seguida de 3 - 5 g/día de mantenimiento. Alternativamente, 3 - 5 g/día sin carga durante 3 a 4 semanas alcanza saturación progresiva. La carga acelera el efecto, pero no es imprescindible.

7.3. Seguridad y forma química

La forma con mayor respaldo es creatina mono hidrato. Formas “avanzadas” -*buffered*, *ethyl ester*, nitrato, HCl- no han demostrado de forma consistente superioridad práctica frente al monohidrato. El principal efecto secundario esperado es aumento de peso por agua intracelular y, ocasionalmente, molestias gastrointestinales. En personas con patología renal o medicación relevante, su uso exige supervisión clínica.

8. Cafeína: ergogénico neuromodulador, no simple “energizante”

La cafeína actúa principalmente como antagonista de receptores de adenosina, modulando percepción de esfuerzo, alerta, vigilancia, dolor, excitabilidad neuromuscular y disponibilidad de calcio intracelular. Su efecto ergogénico se observa en resistencia, deportes intermitentes, fuerza, potencia, sprint, habilidades cognitivas y toma de decisiones bajo fatiga.

8.1. Dosis y timing

El rango clásico eficaz es 3 - 6 mg/kg aproximadamente 45 - 60 minutos antes del ejercicio. Dosis menores pueden ser útiles en individuos sensibles o cuando se busca evitar alteraciones del sueño. Dosis altas, alrededor de 9 mg/kg, incrementan riesgo de efectos adversos sin mejorar necesariamente el rendimiento.

8.2. Variabilidad individual

La respuesta depende de genética, habituación, ansiedad, sueño, microbiota, sexo, fase hormonal, hora del día, tolerancia y tipo de deporte. En deportistas con ansiedad competitiva o problemas de sueño, la cafeína puede empeorar el resultado global pese a mejorar algún marcador agudo.

8.3. Formas de aplicación

Puede formularse como cápsula, bebida, gel, chicle, *spray* oral o combinación con carbohidratos. Los chicles y formatos buco-dispersables pueden acelerar absorción parcial. En productos comerciales debe controlarse estrictamente la dosis por unidad para evitar consumo acumulativo accidental.

9. Beta-alanina: tampón intracelular para esfuerzos de alta intensidad

La beta-alanina aumenta la síntesis muscular de carnosina, un tampón intracelular relevante en esfuerzos donde la acumulación de H⁺ contribuye a fatiga. Su utilidad es mayor en actividades de alta intensidad de aproximadamente 30 segundos a 10 minutos, aunque el rango más favorable suele situarse en esfuerzos de 1 - 4 minutos o deportes intermitentes con alta carga glucolítica.

9.1. Dosis

Los protocolos habituales emplean 4-6 g/día durante 4-10 semanas, repartidos en varias tomas para reducir parestesias. Las formas de liberación sostenida mejoran tolerancia. No es un suplemento de efecto agudo; requiere acumulación.

9.2. Limitaciones

No debe venderse como “pre-entreno instantáneo” salvo que el producto esté diseñado para uso crónico. La parestesia es benigna, pero puede afectar adherencia. La respuesta puede ser menor o más variable en atletas muy entrenados o en deportes donde la limitación principal no sea acidosis muscular.

10. Bicarbonato sódico: tampón extracelular eficaz, limitado por tolerancia gastrointestinal

El bicarbonato sódico aumenta la capacidad tampón extracelular, favoreciendo la salida de H⁺ desde el músculo y retrasando fatiga en esfuerzos intensos. Tiene evidencia especialmente en pruebas de 30 segundos a 12 minutos, *sprints* repetidos, remo, natación, deportes de combate y esfuerzos intermitentes.

10.1. Dosis

La dosis efectiva se sitúa habitualmente en 0,2 - 0,3 g/kg, con 0,3 g/kg como referencia ergogénica frecuente. Dosis mayores elevan incidencia de molestias gastrointestinales sin necesariamente mejorar rendimiento.

10.2. Problemas prácticos

El bicarbonato puede producir náuseas, diarrea, distensión abdominal y malestar, lo que limita su uso competitivo. Estrategias como administración con comida, fraccionamiento, cápsulas entéricas o protocolos individualizados pueden mejorar tolerancia. Debe considerarse también la carga de sodio, especialmente en personas hipertensas o con restricciones médicas.

11. Nitrato dietético y zumo de remolacha: vía nitrato-nitrito-óxido nítrico

El nitrato dietético aumenta la disponibilidad de óxido nítrico a través de la vía nitrato-nitrito-NO, favoreciendo eficiencia mitocondrial, vasodilatación, perfusión y economía del ejercicio. La remolacha concentrada es la matriz más utilizada.

11.1. Dosis y timing

Los protocolos habituales emplean 6 - 8 mmol de nitrato, equivalentes aproximadamente a 350 - 500 mg, unas 2 - 3 horas antes del ejercicio. También pueden aplicarse cargas de varios días.

11.2. Aplicaciones

Puede mejorar economía del ejercicio y rendimiento en resistencia, esfuerzos sub-máximos, deportes intermitentes y situaciones de hipoxia. La respuesta puede ser más marcada en individuos recreacionales o moderadamente entrenados que en élite altamente adaptada.

11.3. Factores limitantes

El uso de colutorios antibacterianos puede reducir la conversión oral de nitrato a nitrito. La variabilidad en contenido real de nitrato de productos vegetales es crítica. Las matrices deben estandarizar dosis, controlar sabor terroso, estabilidad, color, nitratos/nitritos, contaminantes y tolerancia gastrointestinal.

12. Glicerol: hiperhidratación controlada y controversias prácticas

El glicerol puede aumentar retención de líquidos y favorecer hiperhidratación en contextos de calor, ejercicio prolongado o acceso limitado a fluidos. Su uso debe ser muy controlado, porque puede causar molestias gastrointestinales, cefalea o variaciones de peso corporal. Es una herramienta situacional, no un ingrediente universal para bebidas deportivas.

13. HMB: recuperación y anti-catabolismo con indicación selectiva

El *beta-hidroxi-beta-metilbutirato* es un metabolito de la leucina relacionado con la modulación del recambio proteico muscular. Ha sido propuesto para reducir daño muscular, apoyar masa magra y mejorar recuperación. Su evidencia es más convincente en sujetos no entrenados, personas mayores, fases de inmovilización, déficit energético o situaciones catabólicas que en deportistas entrenados con dieta proteica suficiente.

La dosis habitual es 3 g/día, en forma de sal cálcica o ácido libre. Debe formularse con prudencia: no sustituye a proteína, energía suficiente ni entrenamiento bien programado. En atletas avanzados, su beneficio incremental puede ser pequeño.

14. Colágeno, gelatina y vitamina C: soporte del tejido conectivo

El colágeno hidrolizado o la gelatina enriquecida con vitamina C se han investigado como soporte de síntesis de colágeno en tendón, ligamento, cartílago y matriz extracelular. La hipótesis es especialmente relevante en deportes con alta carga tendinosa, saltos, carreras, cambios de dirección o fases de rehabilitación.

14.1. Racional fisiológico

El tejido conectivo responde a estímulo mecánico y disponibilidad de aminoácidos específicos -glicina, prolina, hidroxiprolina- junto con vitamina C como cofactor de hidroxilación. La estrategia más citada consiste en ingerir colágeno o gelatina con vitamina C antes de una sesión de carga tendinosa o rehabilitación.

14.2. Limitaciones

No debe presentarse como solución autónoma para lesiones. Su utilidad depende de combinarse con estímulo mecánico adecuado, fisioterapia, control de carga, sueño y aporte proteico total. La evidencia es prometedora, pero todavía inferior a la de creatina, cafeína o carbohidratos.

15. Polifenoles, antioxidantes y recuperación: el equilibrio entre protección y adaptación

Los polifenoles de cereza ácida, granada, uva, cacao, té, frutos rojos o manzana pueden modular estrés oxidativo, inflamación, función endotelial y dolor muscular. Su uso más razonable se orienta a recuperación en periodos de competición densa, torneos, viajes, descenso de carga o cuando se prioriza rendimiento inmediato frente a adaptación.

El error técnico consiste en formular dosis altas de antioxidantes de forma crónica durante bloques de entrenamiento adaptativo. El estrés oxidativo forma parte de la señal de adaptación mitocondrial y muscular. Por ello, la intervención antioxidante debe periodizarse, no utilizarse de manera indiscriminada.

16. Omega-3: membrana, inflamación y función neuromuscular

EPA y DHA tienen interés en salud cardiovascular, modulación inflamatoria, fluidez de membrana, función cognitiva y potencial reducción de dolor muscular. En deporte, su papel es

más de soporte crónico que de ayuda ergogénica aguda. Puede ser relevante en deportistas con baja ingesta de pescado azul, inflamación persistente, riesgo cardiovascular o fases de recuperación.

La formulación exige controlar oxidación lipídica, índice de peróxidos, anisidina, metales pesados, microencapsulación, sabor y estabilidad. En matrices deportivas, los omega-3 son más apropiados para cápsulas, emulsiones estabilizadas o polvos micro-encapsulados que para bebidas ácidas o productos con larga vida útil sin protección antioxidante.

17. Probióticos, prebióticos y betaglucanos: inmunidad, intestino y continuidad del entrenamiento

La enfermedad respiratoria y los problemas gastrointestinales son causas frecuentes de pérdida de sesiones y reducción de rendimiento. En este contexto, probióticos, prebióticos y betaglucanos se investigan como estrategias de soporte inmunitario y barrera intestinal.

17.1. Probióticos

Los efectos son cepa-específicos. No existe “el probiótico deportivo” como categoría universal. Algunas cepas pueden reducir incidencia, duración o severidad de síntomas respiratorios altos y mejorar tolerancia gastrointestinal en periodos de carga. La evidencia es heterogénea y depende de dosis, duración, cepa, población y *endpoint*.

17.2. Betaglucanos

Los betaglucanos de levadura se han estudiado por su interacción con inmunidad innata. Pueden tener interés en formulaciones para fases de alta carga, viajes, estrés competitivo o invierno. Deben evitarse *claims* excesivos de “refuerzo inmune” si no están permitidos en el mercado de destino.

17.3. Prebióticos

Fibras prebióticas como inulina, FOS, GOS, acacia o almidones resistentes pueden modular microbiota, pero en deportistas deben usarse con cautela por tolerancia digestiva. En productos intra-ejercicio, una fibra fermentable mal elegida puede ser contraproducente.

18. Carnitina, ribosa, ATP oral, arginina y citrulina: revisión crítica

18.1. L-carnitina

La carnitina participa en transporte mitocondrial de ácidos grasos. Comercialmente se ha asociado a “quema de grasa”, pero en sujetos sanos y deportistas no deficientes la suplementación aguda no aumenta automáticamente oxidación lipídica ni rendimiento. Algunos estudios sugieren que la carga crónica combinada con carbohidratos puede aumentar carnitina muscular y modificar metabolismo, pero su aplicabilidad práctica es limitada por dosis, tiempo y carga energética.

18.2. D-ribosa

La ribosa participa en síntesis de nucleótidos y recuperación de ATP, pero su valor ergogénico en atletas sanos es limitado y no comparable a creatina o carbohidratos. Puede tener

interés teórico en fatiga o situaciones clínicas específicas, pero no debe formularse como ingrediente principal de alto rendimiento sin evidencia directa del producto final.

18.3. ATP oral

El ATP oral ha sido propuesto para aumentar flujo sanguíneo, señalización purinérgica o recuperación. La evidencia es todavía insuficiente para ubicarlo al nivel de ayudas ergogénicas consolidadas. Su uso puede explorarse en fórmulas experimentales, pero con *claims* prudentes.

18.4. Arginina y citrulina

La arginina es precursora de óxido nítrico, pero su biodisponibilidad oral se limita por metabolismo intestinal y hepático. La citrulina eleva arginina plasmática de forma más eficaz y puede tener interés en vasodilatación, bombeo muscular y fatiga, aunque la evidencia de rendimiento es variable. En muchos escenarios, el nitrato dietético tiene una base ergogénica más sólida que arginina.

19. Micronutrientes críticos: corregir deficiencias, no mega-dosificar

La suplementación con vitaminas y minerales mejora rendimiento cuando corrige una deficiencia o insuficiencia funcional. En sujetos repletos, mega-dosificar rara vez mejora rendimiento y puede introducir riesgos.

19.1. Hierro

El hierro es crítico para transporte de oxígeno, mioglobina, enzimas mitocondriales y rendimiento de resistencia. La deficiencia, con o sin anemia, es frecuente en mujeres deportistas, corredores, adolescentes, vegetarianos y deportes con pérdidas gastrointestinales, menstruación o hemólisis por impacto. La suplementación debe basarse en analítica: ferritina, hemoglobina, saturación de transferrina, PCR y contexto clínico.

19.2. Vitamina D y calcio

Vitamina D y calcio son relevantes para hueso, contracción muscular e inmunidad. En deportistas *indoor*, latitudes altas, baja exposición solar o piel oscura puede existir insuficiencia. Su interés es especialmente alto en prevención de lesiones óseas por estrés, RED-S y salud musculoesquelética.

19.3. B12, folato, zinc y magnesio

La vitamina B12 es crítica en dietas veganas. El Zinc, por otro lado, participa en inmunidad y reparación tisular. El Magnesio interviene en metabolismo energético y función neuromuscular, pero su suplementación solo tiene sentido si la ingesta es insuficiente o hay pérdidas aumentadas. El uso indiscriminado de multivitamínicos no compensa baja disponibilidad energética ni mala dieta.

20. Deportista femenina, RED-S y nutrición deportiva de precisión

La nutrición deportiva histórica ha extrapolado demasiados datos masculinos a mujeres. Esto es metodológicamente insuficiente. En deportistas femeninas deben considerarse disponibilidad

energética, ciclo menstrual, anticonceptivos, riesgo de deficiencia de hierro, salud ósea, síntomas gastrointestinales, composición corporal, embarazo/lactancia cuando aplique y riesgo de RED-S.

La baja disponibilidad energética compromete eje hormonal, hueso, inmunidad, recuperación, estado de ánimo y rendimiento. Ningún suplemento corrige una planificación energética insuficiente. En este sentido, la industria debe evitar mensajes de “lean performance” o “*fat burner*” que favorezcan conductas restrictivas en poblaciones vulnerables.

21. Formulación industrial: del ingrediente activo al producto eficaz

Un ingrediente con evidencia puede fracasar si se formula mal. El diseño industrial debe integrar:

1. dosis eficaz por ración realista;
2. estabilidad durante vida útil;
3. compatibilidad con pH, agua, oxígeno, luz y temperatura;
4. textura y palatabilidad bajo fatiga;
5. biodisponibilidad;
6. tolerancia gastrointestinal;
7. ausencia de interacciones negativas;
8. cumplimiento regulatorio;
9. control de alérgenos;
10. riesgo antidopaje mínimo;
11. etiquetado transparente;
12. coste por dosis efectiva, no coste por kilogramo.

21.1. Bebidas listas para consumir (RTD)

Adecuadas para hidratación, carbohidratos, electrolitos, cafeína baja-moderada, aminoácidos o proteína clara. Sus retos son estabilidad microbiológica, sabor residual, sedimentación, interacción con minerales, pH y conservación.

21.2. Polvos

Permiten dosis altas de creatina, proteína, carbohidratos o electrolitos. Deben controlar higroscopicidad, fluidez, apelmazamiento, solubilidad, dispersabilidad, sabor y estabilidad de aromas.

21.3. Geles y *chews*

Útiles para resistencia. Su exigencia principal es tolerancia digestiva. Deben evitar exceso de polioles, fibra o viscosidad que dificulte ingesta. El envase y la facilidad de consumo son variables funcionales, no solo comerciales.

21.4. Cápsulas y comprimidos

Adecuados para cafeína, creatina en dosis moderadas, beta-alanina, nitrato concentrado, electrolitos o extractos. Su limitación es el número de unidades necesarias para dosis altas, como bicarbonato o creatina en carga.

21.5. Barritas y snacks

Útiles como alimentos deportivos de conveniencia. Su diseño debe diferenciar entre barra energética, proteica, de recuperación o *meal replacement*. Una barra muy rica en fibra y grasa puede ser adecuada para saciedad, pero no para consumo inmediato antes o durante competición.

22. Seguridad, adulteración y riesgo antidopaje

El riesgo de dopaje involuntario es uno de los puntos más críticos de la nutrición deportiva. La contaminación cruzada, adulteración intencionada, presencia de estimulantes no declarados, SARMS, prohormonas o sustancias prohibidas puede destruir la carrera de un atleta. El principio de responsabilidad objetiva implica que el deportista es responsable de lo que aparece en su muestra biológica.

22.1. Ingredientes y categorías de mayor riesgo

Las categorías más problemáticas suelen ser:

- pre-entrenos hiper-estimulantes;
- *fat burners*;
- productos de ganancia muscular rápida;
- mezclas “*proprietary blend*”;
- extractos botánicos con alcaloides estimulantes;
- productos importados sin trazabilidad;
- fórmulas con *claims* hormonales;
- sustancias tipo SARM o *prohormonales*;
- productos vendidos online sin certificación.

22.2. Criterios industriales mínimos

Un producto deportivo serio debe incorporar:

1. proveedores homologados;
2. especificaciones completas;
3. análisis por lote;
4. control de contaminantes;
5. certificación antidopaje por terceros cuando se dirija a atletas federados;
6. trazabilidad completa;
7. separación de líneas si se fabrican productos de riesgo;
8. prohibición de mezclas opacas;
9. revisión continua de la lista WADA;
10. *claims* verificables y conservadores.

La certificación no elimina el riesgo al 100%, pero lo reduce y demuestra diligencia técnica.

23. Marco regulatorio: Unión Europea y Estados Unidos

23.1. Unión Europea

En la UE, los suplementos alimenticios se regulan dentro del marco de alimentos, no de medicamentos, salvo que por composición, presentación o *claims* crucen la frontera terapéutica. La Directiva 2002/46/CE establece el marco de complementos alimenticios, mientras que el Reglamento 1169/2011 regula información alimentaria al consumidor. Las declaraciones nutricionales y saludables se rigen por el Reglamento 1924/2006 y por el registro de declaraciones autorizadas.

Esto tiene consecuencias prácticas importantes:

- no puede afirmarse “mejora el rendimiento” salvo que exista *claim* autorizado aplicable;
- las declaraciones deben respetar condiciones de uso;
- los *claims* de enfermedad están prohibidos para alimentos;
- los botánicos siguen en una situación regulatoria compleja en varios Estados miembros;
- los nuevos ingredientes pueden requerir evaluación como *Novel Food*;
- el etiquetado debe cumplir alérgenos, información nutricional, dosis diaria, advertencias y condiciones de uso.

La creatina, por ejemplo, dispone de declaraciones autorizadas bajo condiciones específicas. Las soluciones carbohidrato-electrolito también pueden utilizar *claims* concretos si cumplen parámetros composicionales. No basta con que un ingrediente tenga literatura científica: debe existir autorización legal para comunicar el beneficio en el mercado objetivo.

23.2. Estados Unidos

En EE. UU., los suplementos dietéticos están regulados por la FDA bajo DSHEA. El fabricante es responsable de seguridad y etiquetado antes de comercialización, mientras que la FDA actúa principalmente post-mercado frente a productos adulterados o mal etiquetados. Las *structure/function claims* no requieren aprobación previa, pero deben ser veraces, no engañosas, notificarse cuando corresponda y acompañarse de la advertencia reglamentaria. La FTC supervisa publicidad y exige evidencia científica competente y fiable para *claims* de salud, seguridad o eficacia.

Desde el punto de vista empresarial, el error frecuente es asumir que “legal en EE. UU.” equivale a “legal en la UE”. No es así. La arquitectura de *claims*, ingredientes autorizados, *novel foods*, dosis máximas nacionales y enfoque de *enforcement* difiere sustancialmente.

24. Crítica al modelo comercial de “ingrediente milagro”

El mercado de nutrición deportiva tiende a sobredimensionar ingredientes novedosos mediante tres mecanismos: extrapolación mecanística, selección de estudios favorables y uso de *endpoints* indirectos. Que un ingrediente aumente un biomarcador no implica que mejore rendimiento competitivo. Que mejore rendimiento en sujetos no entrenados no implica utilidad en élite. Que tenga efecto agudo no implica beneficio crónico. Que reduzca inflamación no implica mejor adaptación.

La formulación racional debe partir de preguntas concretas:

1. ¿Qué limitante fisiológica se pretende modificar?

2. ¿En qué deporte y fase de entrenamiento?
3. ¿El atleta tiene deficiencia, alta demanda o necesidad específica?
4. ¿Existe evidencia humana con dosis aplicable?
5. ¿La matriz permite entregar esa dosis?
6. ¿El beneficio esperado supera riesgos y coste?
7. ¿El claim es legal en el mercado objetivo?
8. ¿Existe riesgo antidopaje?
9. ¿Se ha probado tolerancia en entrenamiento?
10. ¿Puede medirse el resultado?

25. Oportunidades de innovación para la industria alimentaria y nutracéutica

La oportunidad real no está en añadir más ingredientes, sino en diseñar productos con precisión funcional.

25.1. Recuperación avanzada

Productos con carbohidrato + proteína de alta calidad + electrolitos + creatina + micronutrientes críticos pueden tener sentido post-entreno, siempre que dosis y *claims* sean correctos. La clave es diferenciar recuperación rápida de adaptación muscular crónica.

25.2. Nutrición deportiva *plant-based*

Existe oportunidad en proteínas vegetales de alta calidad, combinaciones de guisante/arroz/patata/haba, corrección con EAA, mejora sensorial y reducción de notas terrosas o amargas. El consumidor vegano deportivo necesita perfil aminoacídico, digestibilidad y solubilidad, no solo *storytelling* vegetal.

25.3. Bebidas claras proteicas

Las *clear protein drinks* permiten una alternativa menos densa que batidos lácteos clásicos. Exigen dominio de hidrólisis, filtración, estabilidad ácida, astringencia, turbidez y aromas.

25.4. Fórmulas de hidratación personalizadas

La personalización por tasa de sudoración, sodio en sudor, clima y duración abre una línea de productos con diferentes concentraciones de sodio y carbohidrato, alejadas del isotónico genérico único.

25.5. Soporte tendinoso y articular

Colágeno/gelatina + vitamina C + minerales + protocolos de uso asociados a ejercicio de carga puede convertirse en categoría técnica para corredores, deportes de salto, veteranos y rehabilitación. Debe evitar *claims* médicos.

25.6. Nutrición deportiva femenina

Hay espacio para productos basados en hierro, vitamina D, calcio, proteína, carbohidrato suficiente, omega-3 y educación de disponibilidad energética. La industria debe evitar el sesgo estético y centrarse en rendimiento, salud ósea, ciclo, fuerza y recuperación.

26. Propuesta de matriz de decisión para desarrollo de producto

Objetivo	Ingredientes prioritarios	Formato probable	Riesgo técnico
Energía durante resistencia	Carbohidratos múltiples, sodio, cafeína opcional	Gel, bebida, chew	GI, osmolalidad, sabor
Fuerza/potencia	Creatina, proteína, carbohidrato si procede	Polvo, cápsulas, RTD	Dosis insuficiente, claims
Esfuerzo 1–4 min	Beta-alanina crónica, bicarbonato agudo	Cápsulas, polvo	Parestesia, GI
Resistencia submáxima	Nitrato, carbohidratos, cafeína	Shot, gel, bebida	Variabilidad, sabor, nitrato real
Recuperación rápida	Carbohidrato + proteína + sodio	Shake, RTD, polvo	Estabilidad, densidad
Dolor muscular/torneos	Polifenoles específicos, proteína, carbohidrato	Shot, bebida, cápsulas	Atenuar adaptación si abuso
Tejido conectivo	Colágeno/gelatina + vitamina C	Polvo, shot, barrita	Claims médicos, dosis
Inmunidad de soporte	Probióticos cepa-específicos, beta-glucanos, vitamina D si baja	Cápsulas, sticks	Claims, viabilidad cepas
Deportista vegano	Proteína vegetal optimizada, B12, hierro si bajo, creatina	Polvo, barrita	Aminoácidos limitantes, sabor
Senior activo	Proteína, creatina, vitamina D/calcio, omega-3	RTD, polvo, cápsulas	Sarcopenia, medicación

27. Conclusiones

La nutrición deportiva de alto rendimiento exige abandonar el enfoque de “ingredientes de moda” y adoptar un modelo de intervención fisiológica, clínicamente verificable, tecnológicamente viable y legalmente comunicable. Los ingredientes con evidencia más robusta siguen siendo relativamente pocos: carbohidratos, proteínas, creatina monohidrato, cafeína, beta-alanina, bicarbonato, nitrato y estrategias de hidratación/electrolitos. Su eficacia depende de dosis, timing, contexto deportivo y respuesta individual.

Ingredientes como HMB, colágeno, polifenoles, probióticos, omega-3, citrulina o beta-glucanos pueden tener valor, pero generalmente como soporte específico, no como núcleo universal del rendimiento. Otros compuestos de presencia comercial frecuente, como ATP oral, ribosa, arginina o carnitina en atletas no deficientes, requieren prudencia y no deberían sostener *claims* ambiciosos.

Desde la perspectiva industrial, la ventaja competitiva no reside en construir fórmulas largas, sino en diseñar productos con dosis efectivas, matriz adecuada, buena tolerancia, respaldo científico real, seguridad antidopaje, trazabilidad y *claims* regulatorios defendibles. En el mercado actual, la credibilidad técnica puede ser más diferencial que la agresividad publicitaria.

Bibliografía seleccionada

- Maughan, R. J., Burke, L. M., Dvorak, J., et al. (2018). IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *British Journal of Sports Medicine*, 52, 439–455.
- Thomas, D. T., Erdman, K. A., & Burke, L. M. (2016). *Nutrition and Athletic Performance*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(3), 543–568.
- Jäger, R., Kerksick, C. M., Campbell, B. I., et al. (2017). *International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise*. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14, 20.
- Kreider, R. B., Kalman, D. S., Antonio, J., et al. (2017). *International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine*. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14, 18.

- Guest, N. S., VanDusseldorp, T. A., Nelson, M. T., et al. (2021). *International Society of Sports Nutrition position stand: caffeine and exercise performance*. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18, 1.
- Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Stout, J. R., et al. (2015). *International Society of Sports Nutrition position stand: beta-alanine*. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12, 30.
- Grgic, J., Rodriguez, R. F., Garofolini, A., et al. (2021). *International Society of Sports Nutrition position stand: sodium bicarbonate and exercise performance*. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18, 61.
- Jones, A. M. (2014–2024). *Dietary nitrate and exercise performance: reviews and applied sport nutrition summaries*.
- Shaw, G., Lee-Barthel, A., Ross, M. L., Wang, B., & Baar, K. (2017). *Vitamin C-enriched gelatin supplementation before intermittent activity augments collagen synthesis*. *American Journal of Clinical Nutrition*, 105, 136–143.
- Łagowska, K., Bajerska, J., & Jamka, M. (2021). *Probiotic supplementation and respiratory infection in athletes: systematic review and meta-analysis*. *Sports Medicine*.
- European Parliament and Council. Regulation (EC) No 1924/2006 on nutrition and health claims made on foods.
- European Parliament and Council. Directive 2002/46/EC on food supplements.
- European Parliament and Council. Regulation (EU) No 1169/2011 on the provision of food information to consumers.
- World Anti-Doping Agency. *The Prohibited List, current annual edition*.
- U.S. Food and Drug Administration. *Dietary Supplements: regulatory information for industry and consumers*.
- Federal Trade Commission. *Health Products Compliance Guidance*.