

1. Conceptos introductorios

1.1 Clasificación de los suplementos nutricionales

1.1.1 Términos útiles (pH, mecanismos de absorción, Km de receptores, vida media)

Suplemento

La definición de suplemento del diccionario inglés Oxford es: “algo que se adiciona para suplir una deficiencia” (Burke, Castell & Stear, 2009, p. 728).

En el FCB, los suplementos son usados de manera común entre atletas y entrenadores para mejorar el rendimiento, para una recuperación más rápida y para mejorar la salud en general. Es importante tener en cuenta que raramente se necesita suplementos si la dieta del atleta es saludable, variada y equilibrada.

Hay excepciones en las que los suplementos pueden ayudar al rendimiento o la recuperación pero en cualquier caso éstos tendrían que ser consumidos para complementar una dieta saludable y equilibrada, nunca como sustitutivo. Así, por definición, los suplementos nutricionales deberían ser usados para suplementar la dieta, no para sustituirla (Jeukendrup & Gleeson, 2010).

El factor más importante, si se toma la decisión de suplementar, es que el enfoque elegido debe cumplir con el código de la Asociación Mundial Antidopaje (AMA) de conducta. Concretamente, se debe procurar que todos los suplementos estén libres de estas sustancias prohibidas.

Alimento deportivo

Los alimentos deportivos están conformados por los mismos nutrientes que los alimentos, esencialmente carbohidratos, proteínas y lípidos. No obstante, su portabilidad, presentación y composición los hacen muy prácticos para ser utilizados en momentos específicos de los diferentes deportes, con el objetivo de mejorar el rendimiento y favorecer la recuperación.

Ayuda ergogénica

De acuerdo con la **Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva** (International Society of Sport Nutrition, ISSN), una ayuda ergogénica es “cualquier técnica de entrenamiento, dispositivo mecánico, práctica nutricional, método farmacológico o técnica psicológica que puede incrementar la capacidad de rendimiento en el ejercicio y/o mejorar las adaptaciones al entrenamiento” (Kreider et al., 2004, p. 2).

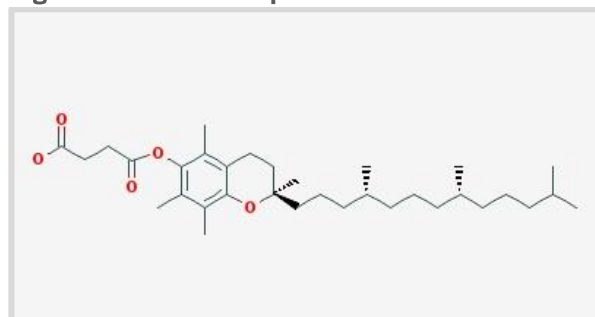
Se puede apreciar que la definición es bastante amplia y contempla una gran cantidad de aspectos. En el siguiente curso nos centraremos concretamente en las prácticas nutricionales y, específicamente en la suplementación, que permitirá no sólo incrementar el rendimiento en forma aguda y crónica, sino también tolerar mejor el entrenamiento, lo que a largo plazo puede implicar una mejora crónica del rendimiento. Probablemente lo más importante sea que esta mejora se logre en un marco de integridad del sistema inmune y buen nivel de recuperación, lo que implicará un mejor estado general de salud de los deportistas de diferente nivel, y así una disminución significativa de lesiones y fatiga.

Estructura química

La rama de la química que estudia los compuestos del carbono (cadenas carbonadas con diferentes grupos funcionales) se denomina **química orgánica** (Wade, 1993), y es a través del estudio de esta que se pueden analizar la mayor parte de las ayudas ergogénicas, compuestos químicos y nutrientes que serán revisados en estos módulos.

La estructura química de una molécula implica los átomos que la conforman, así como su distribución en el espacio. En el caso de la química orgánica, siempre se tienen cadenas carbonadas formadas por diferentes números de átomos de carbonos unidos entre sí y unidas a su vez a átomos diferentes o grupos funcionales, como los ácidos, aldehídos, amino, entre otros. Un ejemplo complejo de estructura química de una molécula (o macromolécula en este caso) es el de una proteína, para la cual su estructura primaria indica la secuencia de aminoácidos que la conforman. La estructura secundaria de una proteína implica el plegado de esa cadena de aminoácidos y su estructura terciaria implica finalmente la disposición en el espacio de toda la molécula. En la figura 1 se presenta la estructura química de la vitamina E (micronutriente).

Figura 1: Estructura química de la vitamina E



Fuente: Adaptado de National Institutes of Health, 2005. Recuperada de <https://goo.gl/yMxE6d>

Grupos funcionales

A la parte reactiva de una molécula se la denomina **grupo funcional**, porque es allí donde generalmente tienen lugar las reacciones (Wade, 1993). Entre los grupos funcionales de las moléculas orgánicas que son de interés para los tópicos que serán revisados, se pueden considerar, entre otros, a los siguientes:

- **Alcoholes:** son compuestos orgánicos que tienen al grupo funcional hidroxilo (—OH).
- **Éteres:** están formados por dos radicales (R) enlazados a un átomo de oxígeno (R—O—R').
- **Aldehídos y cetonas:** el grupo funcional es el grupo carbonilo (C=O).
- **Ácidos carboxílicos:** contienen al grupo carboxilo (—COOH).
- **Ésteres:** se forman a partir de la reacción de un ácido carboxílico con un alcohol (R—CO—O—R').
- **Amidas:** se forman a partir de la reacción de un ácido carboxílico con un grupo amino (—NH_2). Es importante destacar que este tipo de unión química es la que une a los diferentes aminoácidos en un péptido o proteína.

Propiedades fisicoquímicas

Entre las propiedades fisicoquímicas inherentes a cada molécula, se encuentran: el punto de fusión, el punto de congelamiento, la solubilidad, el peso molecular, la capacidad calorífica específica, entre otros. Describiremos aquí el peso molecular y algunos conceptos asociados.

Peso molecular: numéricamente, es igual a la masa molecular relativa de una molécula, expresada en daltons (Alberts et al., 1994).

El **dalton** es la unidad de masa molecular. Es aproximadamente igual a la masa de un átomo de hidrógeno ($1,66 \times 10^{-24}$ g). Un dalton equivale a una **unidad de masa atómica (uma)**. La masa molecular de una molécula de agua es de 18 daltons (16 del oxígeno y 2 de los átomos de hidrógeno que componen la molécula).

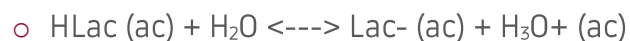
La **masa molecular relativa** es la masa de una molécula expresada como múltiplo de la masa de un átomo de hidrógeno, que es igual a un dalton o una uma. Así, la masa molecular del nitrógeno molecular (N_2) es de 28.

Introduciremos a continuación algunos conceptos relacionados al equilibrio ácido-base, a fin de comprender las características del medio donde ocurren todas las reacciones biológicas:

- **pKa y pKb:** antes de dar la definición de pKa y pKb es necesario introducir algunos conceptos previos.
- **pH:** por definición, constituye el logaritmo negativo de la concentración de protones en un sistema dado ($-\log (H^+)$). La concentración de protones ($[H^+]$) debe estar expresada en unidades de molaridad (M), esto es, número de moles de la especie (en este caso protones) por litro de solución.
- **pOH:** por definición, constituye el logaritmo negativo de la concentración de oxidrilos en un sistema dado ($-\log [OH^-]$). La concentración de oxidrilos ($[OH^-]$) debe estar expresada en unidades de molaridad (M), esto es, número de moles de la especie (en este caso oxidrilos) por litro de solución.
- **Kw:** es la constante de disociación del agua y se obtiene a partir del producto de la $[H^+]$ y la de $[OH^-]$. Tiene un valor constante de 10^{-14} . De este modo, para cualquier solución cuyo solvente sea agua, se tiene lo siguiente:
 - $K_w = [H^+].[OH^-] = 10^{-14}$.
- **pKw:** por definición, constituye el logaritmo negativo de la constante de disociación del agua ($-\log (K_w)$). Es importante señalar que $K_w=10^{-14}$, lo que implica que $pK_w=14$. Por otro lado, también cabe destacar que $pK_w = pK_a + pK_b$, para cualquier ácido débil y su base conjugada.
- **Ka y Kb:** la constante de disociación de un ácido (ácidos orgánicos de los sistemas biológicos, tales como el ácido láctico, pirúvico, acetoacético, entre otros), está definida del siguiente modo:
 - $K_a = [Base\ Conjugada\ del\ Ácido].[H_3O^+]/[Ácido\ sin\ disociar]$

Donde, $[\]$: concentración; H_3O^+ : molécula de agua que ha captado un protón.

En el caso del ácido láctico, se tiene:



Donde, (ac): en estado acuoso, HLac: ácido láctico sin disociar, Lac^- : ácido láctico disociado (lactato), $\rightleftharpoons$: La reacción puede transcurrir en una u otra dirección (esto indica que puede alcanzarse un equilibrio químico dinámico).

Por lo tanto, la constante de disociación ácida de una especie orgánica indica la tendencia que tendrá un ácido dado para disociarse en medio acuoso.

Así, por definición, el pK_a es el logaritmo negativo de la constante de disociación ácida ($-\log (\text{K}_a)$). Cabe destacar que, cuando el pH de un sistema dado es igual al pK_a de una especie dada, la concentración del ácido y su base conjugada son iguales.

Por otro lado, por definición, el pK_b constituye el logaritmo negativo de la constante de disociación básica de una dada especie química ($-\log (\text{K}_b)$). Cabe destacar que cuando el pOH de un dado sistema es igual al pK_b de una dada especie, la concentración de la base y su ácido conjugado son iguales.

Ecuación de Henderson-Hasselbalch

La ecuación de Henderson-Hasselbach puede derivarse a partir de la primera ecuación planteada en la sección de K_a y K_b .

En primer lugar, se toma logaritmo negativo en base 10 ($-\log$) a ambos términos de la ecuación:

- $-\log (\text{K}_a) = -\log ([\text{Base conjugada del ácido}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+] / [\text{Ácido sin disociar}])$.
Si se aplican propiedades de los logaritmos y se tiene en cuenta que $\text{pK}_a = -\log (\text{K}_a)$ y $\text{pH} = -\log ([\text{H}_3\text{O}^+])$, se tiene:
- $\text{pK}_a = -\log ([\text{Base conjugada del ácido}] / [\text{Ácido sin disociar}]) + \text{pH}$.

Pasando un término al otro lado de la ecuación se tiene:

- $\text{pH} = \text{pK}_a + \log ([\text{Base conjugada del ácido}] / [\text{Ácido sin disociar}])$.

Ésta efectivamente es la ecuación que derivaron Henderson y Hassellbach, y se aprecia que puede obtenerse a partir del planteo de la ecuación de la constante de equilibrio de un ácido orgánico débil.

Biosíntesis

Constituye el mecanismo a partir del cual una molécula dada es sintetizada en algún tejido del organismo.

En el caso de la creatina, por ejemplo, su biosíntesis, que de acuerdo a lo que está generalmente aceptado ocurre principalmente en el hígado en los humanos e implica dos reacciones sucesivas en donde intervienen dos enzimas (Greenhaff, 2000). La primera reacción es catalizada por la glicina transamidinasa e implica la transferencia de un grupo amidino desde la arginina a la glicina, para formar el ácido guanidoacético.

La segunda reacción implica la transferencia de un grupo metilo desde la S-adenosilmetionina, reacción que es catalizada por la guanidoacetato metiltransferasa, resultando en la metilación del guanidoacetato para formar ácido metil-guanidoacético o creatina. Es necesario aclarar que las dos reacciones mencionadas son reversibles.

Absorción intestinal

Existen dos clases de proteínas de transporte de membranas, a saber:

- **Proteínas transportadoras:** se unen al soluto específico que va a ser transportado y sufren una serie de cambios conformacionales que permiten la transferencia del soluto a través de la membrana.
- **Proteínas de canal:** no se unen al soluto, sino que forman poros hidrofílicos que atraviesan la bicapa lipídica que forma las membranas celulares. Cuando estos poros están abiertos permiten que determinados solutos puedan pasar a través de ellos, y por lo tanto, puedan atravesar así la membrana (Alberts et al., 1994).

Todas las proteínas de canal y muchas de transporte tan solo permiten que los solutos atraviesen la membrana de forma pasiva, proceso que es denominado **transporte pasivo o difusión facilitada**. Si la molécula transportada carece de carga eléctrica (p. ej., el colesterol o la acetona), la dirección del transporte pasivo viene determinada por la diferencia de concentración a ambos lados de la membrana (gradiente de concentración). Por otro lado, si el soluto tiene carga neta (por ejemplo, ion sodio o potasio), su transporte se ve influido tanto por su gradiente de concentración como por el gradiente eléctrico a través de la membrana (potencial de membrana). El gradiente eléctrico y el de concentración pueden combinarse, pudiéndose así calcular la fuerza

neta de dirección del flujo o gradiente electroquímico para cada soluto cargado (Alberts et al., 1994).

Las células precisan además, de proteínas de transporte que bombeen activamente ciertos solutos a través de la membrana en contra de su gradiente electroquímico. Este proceso, conocido como transporte activo, está siempre mediado por proteínas transportadoras y además está acoplado a una fuente de energía metabólica, tal como la que provee la hidrólisis del ATP o un gradiente iónico (Alberts et al., 1994).

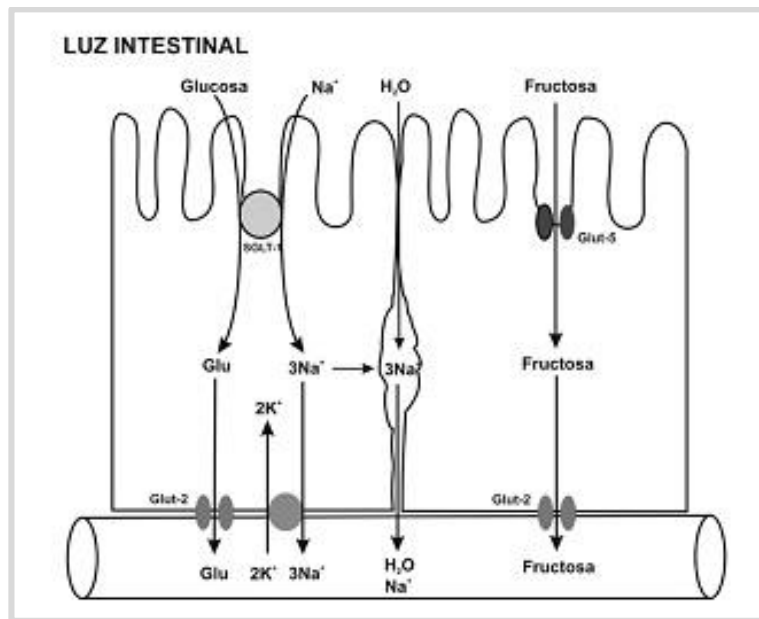
Carbohidratos

A continuación, se describen los transportadores de carbohidratos (CHO) del intestino.

- **Transportador SGLT1**

Es un cotransportador de monosacáridos y sodio (Na^+). Por cada molécula de glucosa transportada, son introducidos dos iones sodio (Na^+) en el epitelio celular. La glucosa se bombea hacia el interior de las células del epitelio intestinal a través del dominio apical de la membrana por un cotransporte unidireccional de glucosa impulsado por el Na^+ ; luego es enviada hacia el fluido extracelular, mediante difusión facilitada a través de una proteína transportadora de glucosa existente en los dominios basal y lateral (figura 2) (Alberts et al., 1994). El gradiente de Na^+ que impulsa el transporte acoplado unidireccional de glucosa (simporte) se mantiene mediante la actividad de la ATPasa de la membrana plasmática, que mantiene baja la concentración intracelular de Na^+ .

Figura 2: Transporte de glucosa y Na⁺ a través de las células del epitelio intestinal



Fuente: Bermúdez et al., 2007, p. 78.

Nótese la distribución asimétrica de las proteínas transportadoras en la membrana plasmática de la célula epitelial intestinal, que da lugar al transporte transcelular de glucosa a través del epitelio intestinal. Nótese también que las células adyacentes que conforman el epitelio intestinal están conectadas entre sí mediante uniones impermeables, llamadas uniones estrechas o estancas.

- **Transportador GLUT5**

El transportador por difusión facilitada e independiente de sodio (GLUT5) permite el transporte de la fructosa desde el lumen intestinal hacia las células del epitelio (Bermúdez et al., 2007).

En la cara basal de las células epiteliales, tal como se puede apreciar en la figura 2, se encuentra un tercer transportador para monosacáridos: el GLUT2, el cual transporta glucosa, fructosa y galactosa (Bermúdez et al., 2007).

Grasas

La absorción de los ácidos grasos de cadena larga (> 11 carbonos) a través de las membranas del epitelio intestinal, se da por difusión simple, debido a que son altamente solubles en las membranas lipídicas (Jeukendrup & Gleeson, 2010). En las células epiteliales, los ácidos grasos se reesterifican a triacilglicerol en el retículo endoplásmico, y luego se combinan con el colesterol y fosfolípidos para formar moléculas

llamadas quilomicrones. En estos, el lado apolar (con afinidad por los lípidos y no por el agua) de los fosfolípidos está orientado hacia el centro y el lado polar (con afinidad por el agua y no por los lípidos), hacia la superficie. Esto hace posible su transporte a través de la linfa y el plasma sanguíneo.

Los ácidos grasos de cadena media (8 a 10 carbonos) y corta (< 7 carbonos) son más solubles en agua que los de cadena larga, y por esto su ruta de absorción es diferente. Este tipo de ácidos grasos ingresan a las células epiteliales y sin ser reesterificados difunden directamente a través de la membrana basal hacia la vena porta, donde se unen a la proteína plasmática albúmina.

Probablemente, esta particularidad en su absorción, sumado a que su transporte a través de las membranas externa e interna de las mitocondrias no requiere su unión con la L-carnitina, ha estimulado el desarrollo de trabajos científicos para estudiar su potencial aplicación como ergogénicos durante el ejercicio de resistencia.

Aminoácidos

Los aminoácidos, dipéptidos y tripéptidos, son absorbidos por transporte activo, acoplado al transporte de sodio en el intestino delgado (Jeukendrup & Gleeson, 2010). Luego, son transportados al hígado a través de la vena porta hepática. Teniendo en cuenta que la mayoría de los aminoácidos son transportados al epitelio intestinal en contra de un gradiente de concentración, es necesaria una proteína transportadora para su captación. Los sistemas de transporte de la membrana luminal son sodio dependientes, mientras que los de la membrana contraluminal no lo son (Jeukendrup & Gleeson, 2010).

Vitaminas

La mayor parte de la absorción de las vitaminas se produce en el yeyuno y el íleon y es, en general, un proceso pasivo (por simple difusión, sin gasto energético) (Jeukendrup & Gleeson, 2010). Las vitaminas liposolubles (A, D, E, y K) son absorbidas junto con los ácidos grasos y luego incorporadas con los quilomicrones y transportadas hacia el hígado y otros tejidos a través del sistema linfático (Jeukendrup & Gleeson, 2010).

Las vitaminas hidrosolubles son principalmente absorbidas en el intestino delgado por difusión simple. Por caso, la mayor parte de la vitamina C es absorbida en la porción distal del intestino delgado; la tiamina y la vitamina B6 son principalmente absorbidas en el yeyuno; la biotina y la riboflavina son absorbidas principalmente en la parte proximal del intestino delgado; la niacina es parcialmente absorbida en

el estómago y principalmente en el intestino delgado; mientras que la vitamina B12 es principalmente absorbida en el íleon, siendo su absorción más compleja ya que implica la unión a una proteína específica llamada factor intrínseco (Jeukendrup & Gleeson, 2010).

Minerales

Es importante destacar que los minerales no son bien absorbidos en el intestino humano, por eso es que su ingestión debe exceder en mucho los verdaderos requerimientos (Jeukendrup & Gleeson, 2010). En el caso del hierro, aproximadamente el 15 % del hierro hem, que se encuentra dentro del anillo protoporfirínico de la hemoglobina, es absorbido en el intestino delgado, mientras que el hierro no hem, que es el hierro libre en sus estados de oxidación Fe^{2+} y Fe^{3+} , sólo es absorbido del 2 al 10 % (Jeukendrup & Gleeson, 2004).

En caso del calcio, se absorbe solo el 35 %, del magnesio, entre el 20 y 30 %, del zinc, entre el 14 y el 41 %, y del cromo, menos del 2 %. (Jeukendrup & Gleeson, 2010).

El sodio, tal como fue previamente señalado, se absorbe a través de difusión facilitada junto con la glucosa, y es la diferencia de concentración entre el lumen intestinal y las células epiteliales del intestino lo que determina su absorción.

Agua

La mayor parte de la absorción del agua se da en el intestino delgado, principalmente en el duodeno (72 %), por difusión simple. El agua se mueve desde el lumen intestinal hacia las células epiteliales por un gradiente osmótico. La osmolaridad de la mayor parte de los fluidos del organismo es de 290 mOsm/L. Así, cuando la osmolaridad del lumen intestinal es baja (< 280 mOsm/L), el agua ingresa a las células del epitelio intestinal, mientras que cuando la osmolaridad del quimo es alta (> 300 mOsm/L), el agua va desde las células epiteliales hacia el lumen. Con la absorción de solutos como la glucosa y el sodio, el gradiente osmótico cambia y arrastra agua hacia el epitelio intestinal.

Al parecer, por cada molécula de glucosa que se absorbe, se absorben en forma concomitante 260 moléculas de agua (Lambert, Lanspa, Welch & Shi, 2008), o puesto de otro modo, por cada gramo de glucosa, se absorben 26 g de agua.

Diferentes estudios sugieren que la máxima tasa de absorción de fluidos en el intestino, en reposo, es de aproximadamente 1.3 L/h (Noakes, 2001). Durante el ejercicio, han sido reportadas tasas de absorción de fluidos en los primeros 50 cm del intestino delgado, de 20 ml/cm/hora, lo que

implicaría absorciones mayores a 1 L/h, asumiendo que la longitud del intestino delgado es superior a 50 cm (Noakes, 2001). En realidad, esto es improbable, ya que la tolerancia a la ingestión de fluidos es diferente entre cada deportista.

Un hallazgo relativamente reciente es el de la existencia de un transportador específico de agua llamado acuaporina 1 (AQP1) o proteína de canal del agua (Noakes, 2001). Sin embargo, al parecer, hay humanos que no tienen este transportador. Es posible que las personas sin AQP1 o con cantidades bajas presenten una capacidad reducida para absorber fluidos durante el ejercicio, y de este modo serían más propensos a padecer náuseas cuando ingieren grandes cantidades de fluidos (Noakes, 2001), aunque esta hipótesis deberá ser testeada en estudios futuros.

Km de los receptores

El valor de **Km**, o **constante de Michaelis-Menten**, indica la concentración de sustrato necesaria para que se alcance la mitad de la velocidad máxima catalizada por una enzima o, en el caso de un transportador, la velocidad máxima de transporte del soluto a través de una membrana. El valor de Km indica la afinidad entre la enzima o el transportador por su sustrato. Valores elevados indican baja afinidad y valores bajos, alta afinidad. De este modo, se tiene que:

- $V = (V_{\text{máx}} \cdot [S]) / (K_m + [S])$.

Donde V: velocidad de la reacción o de transporte de un soluto a través de una membrana; V_{máx}: velocidad máxima; Km: constante de Michaelis-Menten, y [S]: concentración de sustrato. Por lo tanto, si se tiene lo siguiente:

- $V = 0,5 \cdot V_{\text{máx}}$.

Esto implica lo detallado a continuación:

- $[S] = K_m$.

Por lo tanto, cuando la concentración de sustrato es igual al Km, la reacción alcanza un medio de su velocidad máxima.

Así, el Km del transportador de glucosa SGLT1 es de 28 mM (Lambert et al., 2008). Si se tiene en cuenta que la concentración de glucosa de una bebida deportiva puede alcanzar 300 mM, se comprenderá que el transportador estará prácticamente saturado. Este hecho justifica la inclusión de otro tipo de carbohidratos como la fructosa, que es captada a través de un transportador diferente (GLUT 5).

Clasificación de los suplementos

Tal como habrá comprobado, existen en el mercado una enorme cantidad de suplementos disponibles en diferentes dosis y presentación. El dinero que se mueve anualmente en esta industria es realmente impresionante. Por caso, las ventas de suplementos con ginseng en Estados Unidos alcanzaron 10 millones de dólares en 1997 (Bahrke, 2000), lo que representa algo más del 2 % de las ventas del mercado de los suplementos.

Lo notable es que parece no haber evidencia contundente que indique que el ginseng tiene un efecto ergogénico (Bahrke, 2000). Este es solo un ejemplo, y así se podría continuar con la L-carnitina, el cromo, la coenzima Q, los factores liberadores hormonales, el tribulus terrestris, la dehidroepiandrosterona, entre otros.

Cabe aclarar que algunos suplementos disponibles en el mercado, tales como la L-carnitina, sí pueden ser beneficiosos o ergogénicos, pero con una aplicación diferente a la recomendada generalmente en el mercado. Es muy interesante también destacar que hay datos de trabajos que muestran una disociación entre el efecto buscado por los deportistas que ingieren un suplemento dado, y el efecto que ha sido probado y documentado para éste (Petróczi, Naughton, Mazanov, Holloway, & Bingham 2009).

De este modo, tanto el profesional que no tiene conocimientos específicos en nutrición, y particularmente en suplementación deportiva, y sobre todo el deportista, están expuestos a una cantidad muy grande de productos disponibles en el mercado, información de revistas científicas, libros de texto y otras fuentes, que pueden generarles confusión.

Es importante destacar que la mayor parte de los productos disponibles en el mercado son fuertemente publicitados por sus fabricantes, generalmente con imágenes de atletas exitosos pero sin suficiente evidencia científica que avale su utilización. Es también digno de mención que las empresas suelen contratar a profesionales para que colaboren con grupos de investigación independientes que realizan estudios que son apoyados también por las empresas.

Esto nos llama a la reflexión y a ser muy cuidadosos a la hora de interpretar los resultados de los estudios; a decir, que estos sean científicos no implica que sean completamente confiables, pues están también sujetos a sesgos, intereses de competencia y errores.

1.1.2 Clasificación del Instituto Australiano del Deporte (Australian Institute of Sport Nutrition)

Ante el escenario que acabamos de plantear, las clasificaciones de los suplementos como las que nos propone el **Instituto Australiano del Deporte (Australian Institute of Sport, AIS)** (tabla 1) son muy útiles para poder distinguir esos pocos suplementos que sí cuentan con evidencia de efectividad y que, apropiadamente utilizados, pueden beneficiar notablemente el rendimiento y la salud del deportista de todo nivel, de aquellos que no lo son.

Tabla 1: Clasificación de los suplementos nutricionales del Instituto Australiano del Deporte
GRUPO A

Características	Sub Categorías	Sustancias
Nivel de Evidencia: Se apoya su utilización en situaciones deportivas específicas Utilización en programas de Suplementación: Provisto o permitido para el uso por algunos atletas de acuerdo a los mejores protocolos de práctica.	Comidas Deportivas: Suplementos destinados a proveer una práctica fuente de nutrientes cuando se vuelve impráctico consumir alimentos tradicionales	Bebidas Deportivas
		Geles Deportivos
		Golosinas Deportivas
		Alimentos Líquidas
		Proteínas de Suero
		Barras deportivas
		Reemplazantes de electrolitos
	Suplementos Médicos: Utilizados para situaciones clínicas particulares como déficit en determinados nutrientes. Es de dosificación individualizada y bajo un control médico apropiado.	Hierro (Fe)
		Calcio (Ca)
		Multivitamínicos
		Vitamina D
		Pro bióticos
	Suplementos de Performance: Utilizados para aumentar de manera directa la el rendimiento del atleta. Debe individualizarse su provisión y ser controlada por personal médico especializado. A pesar de haber evidencia general al respecto de estos productos, podría requerirse investigación extra al respecto de su uso específico.	Cafeína
		B-alanina
		Bicarbonato
		Jugo de Remolacha
		Creatina

GRUPO B

Categorías	Subcategorías	Sustancias
Nivel de Evidencia: Necesitan de investigaciones futuras, pueden ser considerados para provisión a atletas bajo protocolos de investigación o monitoreo. Utilización en programas de suplementación: Provisto a atletas en situación de investigación o monitoreo clínico.	Poli fenoles de alimentos: Químicos de alimentos que contienen una determinada bioactividad, como ser antioxidantes y antiinflamatorios. Pueden ser consumidos a modo de comida o como elementos aislados.	Quercetina
		Jugo de Cerezas Ácidas
		Bayas exóticas (acai, goji, etc.)
		Curcumina
	Otros	Vitaminas C y E
		Carnitina
		HMB
		Glutamina
		Aceites de pescado
		Glucosamina

GRUPO C

Categorías	Sub-Categorías	Sustancias
Nivel de Evidencia: Poca evidencia significativa sobre efectos beneficiosos. Uso en programas de suplementación: No se proveen a atletas en protocolos de suplementación. Pueden ser aprobados para utilización en atletas solo a través de un panel oficial de suplementación.	Productos de categoría A o B suministrados fuera del protocolo de utilización aprobado.	Equivale a las listas de ejemplos para el grupo A y B.
	Si algún producto no califica para pertenecer a los grupos A, B o D, probablemente está en esta categoría.	Algunos suplementos de interés que pertenecen al grupo C pueden ser encontrados en la página de "Suplementos de A-Z" en la sección de nutrición deportiva del AIS en el sitio web del ASC.

GRUPO D

Categoría	Subcategoría	Sustancias
Nivel de Evidencia: Prohibidos o con alto riesgo de contaminación con sustancias que podrían terminar en resultados positivos de anti doping Usos en protocolos de suplementación: No deberían ser utilizados por atletas.	Estimulantes http://list.wada-ama.org/	Efedrina
		Estricnina
		Sibutramina
		Metilhexanamina (DMAA)
		Estimulantes herbarios
	Pro hormonas y estimulantes de hormonas http://list.wada-ama.org/	DHEA
		Androstenediona
		19-norandrostenediona
		Otras Prohormonas
		Trébulus Terrestre y otros estimulantes de la testosterona.
	Liberadores de GH y péptidos. http://list.wada-ama.org/ Técnicamente a pesar de ser vendidos como suplementos, suelen ser productos farmacéuticos no aprobados.	Polvo de raíz de maca
	Otros http://list.wada-ama.org/	Glicerol para estrategias de hiperhidratación, prohibido como expansor de plasma.
		Calostro bovino (no recomendado por la WADA debido a la inclusión de factores de crecimiento en su composición).

1.1.3 Clasificación de la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva (International Society of Sport Nutrition)

La otra clasificación que estudiaremos es la de la **Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva (International Society of Sport Nutrition, ISSN)**. Esta, constituye una herramienta clave para profesionales, entrenadores, deportistas y personas activas, de modo que puedan obtener información clara, basada en la evidencia y no sesgada, ni contaminada por intereses de algún tipo, acerca de la efectividad de diferentes suplementos, disponibles o no en el mercado. Este podría ser el primer paso antes de tomar decisiones respecto a si un suplemento dado podría ser efectivo en un determinado sujeto, en una condición específica dada y con un cierto objetivo particular.

De este modo, se presenta más abajo (tabla 2), la última clasificación de la ISSN (Kreider et al., 2010) sobre la efectividad de los suplementos nutricionales actualmente disponibles en el mercado o que están siendo estudiados en trabajos científicos.

Tabla 2: Clasificación de los suplementos nutricionales de la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva

Categoría	Suplementos para el desarrollo de la masa muscular	Suplementos para la pérdida de peso	Suplementos para mejorar el rendimiento
Aparentemente efectivos y generalmente seguros	Polvos para ganar peso, creatina, proteínas, aminoácidos esenciales (EAA).	Comidas bajas en calorías, polvos para el reemplazo de comidas y suplementos listos para beber. Efedra, cafeína y suplementos termogénicos que contienen salicina, ingeridos en dosis recomendadas en poblaciones apropiadas (la efedrina ahora prohibida por la FDA).	Agua y bebidas deportivas, carbohidratos, creatina, fosfato de sodio, bicarbonato de sodio, cafeína, β -alanina.

Posiblemente efectivos	HMB, en sujetos desentrenados que inician el entrenamiento. Aminoácidos de cadena ramificada (BCAA).	Dietas con mucha fibra, calcio, extracto de té verde, ácido linoleico conjugado.	CHO/PRO posejercicio, EAA, BCAA, HMB, Glicerol.
Muy pronto para concluir	Alfacetoglutarato, alfacetoisocaproato (KIC), ecdisteronas, péptidos liberadores de hormona del crecimiento y secretores. Ornitina- α -cetoglutarato, aspartato de zinc/magnesio (ZMA).	Gymnema sylvestre, quitosan, fosfatidil colina, betaína, coleus forskolin, DHEA, hierbas o nutrientes psicotrópicos.	Triacilglicéridos de cadena media.
Aparentemente no efectivos o peligrosos	Glutamina, Smilax, Isoflavones, Sulfopolisacáridos (inhibidores de la miostatina), boro, cromo, ácidos linoléicos conjugados (CLA), gamma oryzanol (ácido felúrico) prohormonas, trébol terrestres, vanadil sulfato (vanadio).	Piruvato de calcio Quitosan, cromo (no diabéticos), garcinia cambogia (HCA), L-carnitina, fosfatos, hierbas diuréticas.	Glutamina Ribosa Inosina

Fuente: Kreider et al., 2010, p. 16.

1.1.4 Contaminación y dopaje inadvertido

Algunas ayudas ergogénicas, como la creatina, se obtienen a partir de fuentes naturales. En el caso particular de este suplemento, se obtiene a partir de músculos de animales (Mesa, Ruiz, González-Gross, Sáinz & Castillo Garzón, 2002). Durante la producción industrial de creatina, se utilizan sarcocina y cianamida. De este modo, se generan cantidades variables de contaminantes, como la diciandiamida, dihidrotriazinas, iones, entre otros, y de este modo, sus concentraciones tolerables deben ser definidas y puestas a disposición del consumidor.

En los últimos años, han sido identificados un mayor número de suplementos dietarios con sustancias dopantes no declaradas (Geyer, Braun, Burke, Stear & Castell, 2011). Es importante destacar que la utilización de estos suplementos puede conducir a casos de doping positivo accidentales, lo que se conoce como doping inadvertido.

Los candidatos principales a producir un caso de doping son los productos que contienen efedrina y análogos, como la sibutramina y la metilhexanoamina (Fajans Floyd, Knopf & Conn, 1967). En el caso de los suplementos que contienen efedrina, las fuentes naturales de la efedrina como el Ma Huang o la efedra sínica frecuentemente se mencionan en la etiqueta en vez de los nombres de los ingredientes activos (efedrina, pseudoefedrina, metilefedrina, entre otros). Respecto a los suplementos enriquecidos con sibutramina, el ingrediente no se declara en la etiqueta y solo se proporciona la información de que el producto contiene “ingredientes herbarios puros” que supuestamente tienen la capacidad de inducir pérdida de peso. La sibutramina es una droga anorexígena sintética, solo aprobada para preparados farmacéuticos y disponible bajo prescripción médica. Debido a sus enormes efectos colaterales (riesgo de accidente cerebrovascular y ataque cardíaco para pacientes con historia de enfermedades cardiovasculares), la Agencia de Medicina Europea (European Medicines Agency) recomendó en enero de 2010 que esta droga sea quitada del mercado.

Desde 2008-2009, ha habido un alto riesgo de doping inadvertido con el estimulante metilhexanoamina, que ha sido incluido en la lista de sustancias prohibidas de la Agencia Mundial Antidopaje (World Antidoping Agency, WADA) desde 2009. Ha sido documentado (Geyer et al., 2011) que aproximadamente un 15% de los suplementos no hormonales, tales como vitaminas, minerales, proteínas y creatina contienen anabólicos esteroides androgénicos (principalmente prohormonas) no declarados en la etiqueta. La razón de la contaminación puede ser probablemente que los fabricantes de prohormonas (que fueron comercializadas legalmente como suplementos dietarios en Estados Unidos hasta 2004) también fabrican otros suplementos en la línea de producción sin la limpieza suficiente.

Desde 2002, han aparecido en el mercado suplementos dietarios a los que probablemente se les adicionan intencionalmente altas cantidades (más de 1 mg/g) de anabólicos esteroides clásicos, no declarados o declarados con nombres no aprobados en la etiqueta. A estos suplementos se los publicita como conducentes a incrementos enormes de la fuerza y la masa corporal magra (Geyer et al., 2011). Por lo tanto, el riesgo de doping inadvertido está predominantemente relacionado a suplementos dietarios que son publicitados agresivamente por sus efectos fisiológicos, por ejemplo, ganancia de masa muscular o pérdida de grasa, que no pueden ser atribuidos solo a tales productos. De este

modo, los atletas deberían comprar suplementos solo en fuentes de bajo riesgo, aunque estas fuentes todavía no pueden garantizar que los suplementos dietarios estén libres de contaminantes, aunque ofrecen una minimización del riesgo. Tales fuentes se establecen en países como Alemania (<http://www.colognelist.com>), Holanda (<http://antidoping.nl/nzvt>), Reino Unido (<http://www.hfl.co.uk>) y Estados Unidos (<http://www.nsf.org/certified/dietary>). Los suplementos nutricionales producidos por compañías farmacéuticas pueden representar también otra alternativa, ya que no se han encontrado que tales productos estuvieran contaminados con sustancias dopantes.

1.2 Nutrientes

En la actualidad, existe una gran cantidad de revistas científicas en donde mes a mes se presentan nuevos hallazgos relacionados a las ciencias del ejercicio. Parecería que se ha avanzado mucho en relación a métodos de entrenamiento y a la caracterización fisiológica de diferentes deportes como el ciclismo de montaña o el fútbol. Si bien las revistas y los trabajos apuntan en general a un tópico específico, a la hora de optimizar el rendimiento de deportistas de diferente nivel y objetivos, parece poco efectivo estudiar o analizar problemas por separado.

Por más de que un método de entrenamiento sea propuesto apropiadamente y sea realizado al pie de la letra, las adaptaciones inducidas no serán las mismas si el sujeto inicia su sesión de entrenamiento en un estado de deshidratación, bajos niveles de glucógeno muscular, inapropiada hidratación o si no lleva a cabo las estrategias de recuperación apropiadas después del desafío que implica el entrenamiento para los sistemas fisiológicos del organismo. Es decir, más allá de que el método de entrenamiento sea apropiado y se realice correctamente, todas estas variables tendrán repercusión en las adaptaciones inducidas.

Es así que la nutrición deportiva y específicamente la hidratación, nutrición y suplementación deberían ser integradas en el programa de entrenamiento. Se las debe tener en cuenta como un aspecto más, con la misma importancia que tiene una pausa, o el número de repeticiones de una serie, o el tiempo acumulado en una zona de entrenamiento de un microciclo.

Macronutrientes

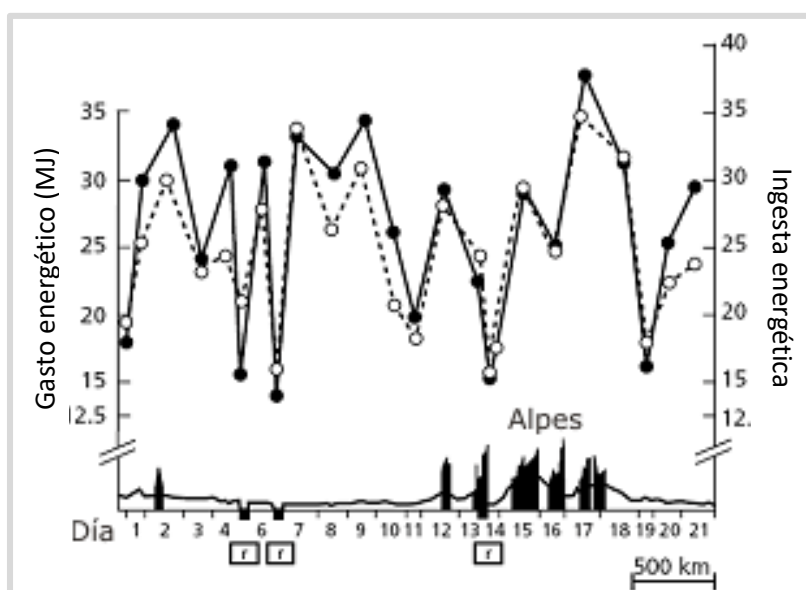
El primer componente para optimizar el entrenamiento y el rendimiento a través de la nutrición es asegurar que el atleta consuma las calorías suficientes para equiparar el gasto energético. Las personas que participan en programas de aptitud física generales (p. ej., 30-40 min de ejercicio por día, 3 veces por semana) pueden en general alcanzar sus necesidades nutricionales siguiendo una dieta normal (p. ej., 1800-2400 kJ.día⁻¹ o aproximadamente 25-35 kJ.kg⁻¹.día⁻¹ para sujetos de 50-80 kg), debido a que sus demandas calóricas no son muy grandes (por ejemplo, 200-400 kJ.sesión⁻¹) (Kreider et al., 2000).

Por otro lado, los atletas implicados en niveles moderados de entrenamiento de elevada intensidad (p. ej., 2-3 horas por día de ejercicio intenso, realizado 5-6 veces por semana) o entrenamiento de alta intensidad y volumen (p. ej., 3-6 horas por día de entrenamiento intenso en 1-2 sesiones durante 5-6 días por semana) pueden gastar 600-1200

kcal o más por hora durante el ejercicio. Es así que las necesidades calóricas pueden alcanzar $50\text{-}80 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ ($2500\text{-}8000 \text{ kcal} \cdot \text{día}^{-1}$ para atletas de $50\text{-}100 \text{ kg}$).

En el caso de los atletas de elite, el gasto energético durante el entrenamiento o la competición puede ser muy elevado (Kreider et al., 2000). Durante la carrera ciclista conocida como Tour de Francia, se ha estimado que el gasto energético puede llegar a $12000 \text{ kcal} \cdot \text{día}^{-1}$ o $150\text{-}200 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ para atletas de $60\text{-}80 \text{ kg}$. En la figura 3 se puede apreciar la ingesta y el gasto calórico durante varias etapas de la competición arriba mencionada. Se aprecia como la ingesta no equipara al gasto calórico en un ciclista en particular, lo que podría implicar una disminución de la masa corporal, y una potencial afección al sistema inmune. De acuerdo a la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva (Kreider et al., 2000), mantener una dieta energéticamente deficiente durante el entrenamiento puede conducir a una pérdida significativa de masa corporal (incluida masa magra), enfermedad, inicio de síntomas físicos y psicológicos de sobreentrenamiento y reducciones del rendimiento; por lo que es muy recomendable monitorear la masa y composición corporal de los deportistas en una base diaria.

Figura 3: Gasto (●) e ingesta (○) energética diaria, medidos en un ciclista durante el Tour de Francia



Fuente: Jeukendrup, 2000, p. 563.

El perfil de la carrera, así como la longitud de las etapas se indican en la parte de abajo de la figura, y r indica los días de descanso.

El análisis nutricional de las dietas de los deportistas ha revelado que muchos pueden ser susceptibles de mantener ingestas energéticas negativas durante el entrenamiento. Las poblaciones susceptibles incluyen a corredores, ciclistas, nadadores, triatletas, gimnastas, esquiadores, bailarines, luchadores, boxeadores y atletas que intentan perder peso muy rápidamente (Kreider et al., 2000). Además, ha sido

demostrado que las atletas tienen una alta incidencia de desórdenes alimentarios. Por lo tanto, es importante para el especialista en nutrición deportiva que trabaja con atletas, asegurarse de que estén bien alimentados y que consuman suficientes calorías para contrarrestar las grandes demandas energéticas del entrenamiento para mantener la masa corporal.

En relación a esto, es digno de mención que el entrenamiento intenso puede frecuentemente suprimir el apetito o alterar el patrón de hambre de los deportistas, por lo que muchos atletas no sienten deseo de comer. Además, en general, los deportistas comen algunas horas antes para evitar la sensación de estómago lleno o molestias intestinales. Los viajes hacia campamentos de entrenamiento o competiciones también pueden contribuir a alterar los hábitos normales de alimentación de los deportistas. Es así que el timing de nutrientes tiene que ser cuidadosamente planificado, al igual que cualquier otra variable del entrenamiento, de modo que los atletas tengan disponibilidad de alimentos energéticamente densos y nutritivos a lo largo del día.

Por estas razones, se recomienda que los atletas consuman 4-6 comidas por día y snacks entre las comidas con el objetivo de alcanzar las demandas energéticas. La utilización de barras energéticas densas en nutrientes y suplementos con carbohidratos y proteínas proporcionan una forma conveniente para los atletas de suplementar su dieta con el objetivo de mantener la ingesta energética durante el entrenamiento (Kreider et al., 2000).

1.2.1 Carbohidratos

Las personas que realizan un programa de aptitud física general pueden, de manera característica, alcanzar sus necesidades de macronutrientes consumiendo una dieta normal (p. ej., 45-55 % de carbohidratos [$3.5 \text{ g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$], 10-15 % de proteínas [$0.8\text{-}1.0 \text{ g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$] y 25-35 % de grasas [$0.5\text{-}1.5 \text{ g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$]) (Kreider et al., 2000). No obstante, se debe tener en cuenta que los deportistas cuyos programas de entrenamiento implican volúmenes e intensidades moderados a altos, pueden requerir un mayor consumo tanto de carbohidratos como de proteínas. Los deportistas implicados en programas de entrenamiento con niveles moderados de intensidad (2-3 horas por día, 5-6 días por semana), necesitan consumir de manera característica 55-65 % de carbohidratos (p. ej., $5\text{-}8 \text{ g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$ o $250\text{-}1000 \text{ g.día}^{-1}$ para atletas de 50-150 kg) con el objetivo de mantener sus reservas de glucógeno muscular y hepático (Kreider et al., 2000).

Los atletas del BFC que realizan ejercicio duro tienen requisitos diarios de carbohidratos basados principalmente en las necesidades de energía del músculo que se pueden cuantificar según el tamaño del atleta y la duración/intensidad de su programa de ejercicio. Esto tiene sentido, y es

aconsejable, ser constante en describir el objetivo de la ingesta diaria de carbohidratos en términos de gramos por kg de la masa corporal del atleta. Esto permite al atleta y al profesional médico rápidamente calcular los carbohidratos que se necesitan en cada situación – p. ej., 7g /kg MC para un atleta de unos 70 kg equivale a 490g.

Se ha planteado (Kreider et al., 2000) que los atletas que están implicados en entrenamientos de alto volumen e intensidad (p. ej., 3-6 horas por día de entrenamiento intenso en 1-2 sesiones durante 5-6 días por semana) pueden necesitar consumir 8-10 g de carbohidratos por día (p. ej., 400-1500 g de carbohidratos por día para sujetos de 50-150 kg). La carga glucémica (definida como el producto del índice glucémico por la masa de carbohidratos de una dada porción del alimento en cuestión, dividido 100) de los alimentos tiene que ser controlada en función del timing de CHO. Inmediatamente después del ejercicio, cuando la respuesta insulínica favorecerá la rápida recuperación de las reservas de glucógeno, deberían ser ingeridos alimentos con carga glucémica elevada, mientras que en los momentos alejados del entrenamiento, la carga glucémica podría ser menor para evitar una respuesta insulínica marcada y el concomitante efecto de biosíntesis de lípidos e inhibición de su catabolismo.

Es importante señalar que puede ser difícil consumir una cantidad tan alta de carbohidratos (400-1500 g) cuando el atleta realiza un programa de alta intensidad o volumen, por lo que muchos especialistas en nutrición deportiva recomiendan que los atletas consuman jugos o bebidas concentrados en carbohidratos o suplementos nutricionales ricos en carbohidratos con el objetivo de alcanzar las demandas de estos.

Carbohidratos simples frente a complejos

Tradicionalmente, los alimentos que contenían cantidades significativas de CHO han sido categorizados de acuerdo a la clasificación estructural del CHO predominante. Esto ha conducido a una división simplista de los alimentos que contienen CHO en: **CHO simples** (mono, di y oligosacáridos) y **CHO complejos** (polisacáridos). Es importante tener en cuenta que esta clasificación implica muchas creencias erróneas que han traído confusión a la ciencia y práctica de la nutrición. Describir al pan o a la lasaña como carbohidratos, implica subestimar la naturaleza compleja de los alimentos y la variedad de sustancias químicas que cada uno posee. La descripción de alimentos ricos en CHO o que contienen CHO, reconoce mejor la heterogeneidad de cada alimento y la presencia de otros nutrientes.

Cabe destacar además, que hay poca correlación entre el tipo estructural de CHO en los alimentos y su verdadero efecto sobre los niveles de glucosa e insulina sanguíneas. Muchos alimentos ricos en CHO que

contienen predominantemente azúcares (p. ej., frutas y productos lácteos endulzados) producen una curva de la glucosa achatada cuando son ingeridos, mientras que otros alimentos que son ricos en carbohidratos complejos (el pan o la papa), producen una elevada respuesta de la glucosa sanguínea, similar a la de la ingestión de glucosa en si misma (Burke, 2000).

Tabla 3: Ejemplos de solapamiento entre la clasificación nutricional y estructural de los alimentos ricos en CHO

	Nutritivos	Menos nutritivos
Alimentos ricos en CHO simples	Frutas, jugos de frutas, frutas enlatadas, frutas secas, leche saborizada, yogur y otros productos lácteos endulzados (especialmente los de bajo contenido de grasa), suplementos para ingerir comidas líquidas, algunas barras energéticas.	Azúcar (sucrosa), miel, mermelada, almíbares, gaseosas, agua mineral saborizada, bebidas deportivas, suplementos para carga de carbohidratos, dulces, chocolates, gelatina, mousses y postres ricos en grasas, helado.
Alimentos ricos en CHO complejos	Pan, panecillo, bagel, cereales para el desayuno, pastas y fideos, arroz y otros cereales, vegetales amiláceos (papas, maíz), legumbres y pizzas.	Pasteles, papas fritas crujientes/horneadas, medialunas/croissants.
Alimentos ricos en CHO con una mezcla de CHO simples y complejos	Tortas y postres bajos en grasas, cereales para el desayuno endulzados y con frutas, porotos horneados, algunas frutas y vegetales (banana, calabaza), algunas barras energéticas.	Tortas ricas en grasas, pasteles, galletas, postres, barras de granola o muesli, algunas barras energéticas.

Fuente: Burke, 2000, p. 76.

Los alimentos nutritivos se definen como aquellos que proveen cantidades significativas de proteínas y macronutrientes, y que contribuyen con menos del 30 % de la energía a partir de las grasas (saturadas). Menos nutritivos se refiere a aquellos alimentos que proveen cantidades insignificantes de otros nutrientes, o tienen un contenido de grasas (saturadas) mayor al 30 % de la energía.

1.2.2 Proteínas y lípidos

Proteínas

Los requerimientos de proteínas para las diferentes poblaciones han originado debates. Inicialmente, no se aconsejaba que los atletas consumieran más proteínas que las recomendadas por las RDA (Recommended Dietary Allowances) esto es, 0.8 a 1 g. kg⁻¹.día⁻¹ para niños, adolescentes y adultos (Kreider et al., 2000).

Sin embargo, las investigaciones realizadas durante la última década han indicado que los atletas implicados en un programa de entrenamiento intenso necesitan ingerir aproximadamente 1.5-2 veces la RDA de proteínas en su dieta (1.5 a 2 g.kg⁻¹.día⁻¹) con el objetivo de mantener el balance de proteínas (Kreider et al., 2000). Hay evidencia que indica que si se ingiere una cantidad insuficiente de proteínas, el balance nitrogenado negativo puede incrementar el catabolismo proteico y retrasar la recuperación. A largo plazo, esto puede conducir a la pérdida de masa magra e intolerancia al entrenamiento (Kreider et al., 2000).

Los sujetos activos implicados en programas para mejorar la aptitud física pueden alcanzar en general sus requerimientos de proteínas con 0.8-1.0 g.kg⁻¹.día⁻¹. Por otro lado, los atletas implicados en cantidades moderadas de entrenamiento intenso deberían consumir 1-1.5 g.kg⁻¹.día⁻¹ (50-225 g.día⁻¹ para atletas de 50-150 kg), mientras que los atletas implicados en entrenamiento de elevada intensidad, deberían consumir 1.5-2 g.kg⁻¹.día⁻¹ (75-300 g.día⁻¹ para un atleta de 50-150 kg). Cuando tenemos, en cambio, atletas de mayor masa corporal, puede ser difícil alcanzar los requerimientos de proteínas anteriormente mencionados. Se debe tener en cuenta también, que algunos alimentos ricos en proteínas, tales como la carne de vaca o pollo, contienen una fracción de lípidos (ácidos grasos saturados) que también incrementará la energía aportada por las grasas en la dieta. No obstante, en relación a esto, es interesante destacar los resultados de algunos estudios (Tabatha et al., 2006) realizados en humanos en reposo, que realizaron mediciones para todo el cuerpo y utilizaron un modelo de multicomponentes llegando a determinar que la ingestión concurrente de grasas y sucrosa con proteínas de leche puede modificar la captación de aminoácidos en los tejidos periféricos.

Elliot A. Tabatha y sus colaboradores (2006), realizaron un trabajo de investigación con el objetivo de determinar la respuesta del balance neto de proteínas musculares luego del entrenamiento de la fuerza mediante la ingesta de aminoácidos provenientes de un alimento real (en este caso, la leche) y no de un suplemento. En el trabajo, 24 sujetos jóvenes, sanos y entrenados en fuerza, fueron asignados a uno de tres grupos, a

los que se les proporcionaron tres bebidas con leche luego de que realizaran 10 series de 8 repeticiones en el ejercicio de extensión de rodillas. Los tres grupos eran los siguientes: leche libre de grasa (FM), n=8; leche entera (WM), n=8; y leche isocalórica libre de grasa (IM). La composición de la leche ingerida por cada grupo se presenta en la tabla 4.

Tabla 4: Contenido de nutrientes de la leche consumida por cada grupo luego del entrenamiento de sobrecarga

	Energía (KJ)	CHO (g)	Grasas (g)	PRO (g)	PHE (mg)	THR (mg)
FM	377	12.3	0.6	8.8	420	390
WM	627	11.4	8.2	8.0	390	360
IM	626	20.4	1.0	14.5	696	647

Fuente: Tabatha et al., 2006, p. 669.

Referencias: FM, 237 g de leche libre de grasa; WM, 237 g de leche entera; IM, 393 g de leche libre de grasas; CHO, carbohidratos; PRO, proteínas; PHE, fenilalanina; THR, treonina.

Se encontró que el índice de fenilalanina captada o ingerida promedio para el grupo WM fue un 90 y 70 % mayor que para los grupos FM e IM, respectivamente. Sin embargo, estas diferencias no fueron significativas. Este mismo índice para la treonina fue un 312 % mayor para el grupo WM respecto al FM ($p < 0,05$), y un 91 % mayor respecto al grupo IM, aunque en este caso la diferencia tampoco fue significativa. Los autores del trabajo plantearon que estos datos sugieren que alguna propiedad de la WM mejoró la cantidad de treonina y posiblemente fenilalanina, utilizada para la síntesis de proteínas musculares. De ser así, no está claro qué propiedad de la WM fue responsable del incremento de la utilización. Si se analiza la tabla 4, se aprecia que al menos una de esas propiedades podría ser la combinación de proteínas y grasas.

Es importante destacar que no todas las proteínas son iguales. Estas difieren en base a la fuente de la cual las proteínas fueron ingeridas, el perfil de aminoácidos y los métodos para procesar o aislar la proteína (Kreider et al., 2000). Estas diferencias influyen la disponibilidad de aminoácidos y péptidos que se ha reportado que tienen actividad biológica (p. ej., α -lactoalbúmina, β -lactoglobulina, glicomacropéptidos, inmunoglobulinas, lactoperoxidasas, lactoferrina, etc.). Por lo tanto, se debe tener cuidado de que los deportistas y sujetos activos ingieran no solo la cantidad suficiente de proteínas, sino también que estas sean de alta calidad (tabla 5).

Tabla 5: Rankings de calidad de proteínas

Tipos de proteínas	Índice de eficiencia de la proteína	Valor biológico	Utilización neta de proteínas	Valor de digestibilidad de la proteína corregida para aminoácidos
Carne vacuna	2.9	80	73	0.92
Porotos/frijoles negros	0		0	0.75
Caseína	2.5	77	76	1.00
Huevo	3.9	100	94	1.00
Leche	2.5	91	82	1.00
Maní/cacahuete	1.8			0.52
Proteínas de soja	2.2	74	61	1.00
Gluten de trigo	0.8	64	67	0.25
Proteínas de suero	3.2	104	92	1.00

Fuente: Adaptado de Hoffman, 2004, p. 120.

Respecto a los diferentes índices para valorar la calidad de las proteínas, se incluye más abajo información acerca de cada uno.

Índice de eficiencia proteica

El índice de eficiencia proteica (PER) determina la efectividad de una proteína a través de la medición del crecimiento animal. Se considera que cualquier valor que exceda 2.7 constituye una fuente de proteínas excelente.

Valor biológico

El valor biológico mide la calidad de las proteínas a través del cálculo del nitrógeno usado en la formación de tejido, dividido por el nitrógeno que ha sido incorporado en los alimentos. Este producto se multiplica por 100 y se expresa como porcentaje de nitrógeno utilizado. El valor biológico proporciona una medida de cuan eficientemente el cuerpo utiliza las proteínas consumidas en la dieta.

Utilización neta de proteínas

La utilización neta de proteínas es similar al valor biológico, sólo que involucra una medida directa de retención de nitrógeno absorbido. La utilización neta de proteínas y el valor biológico miden los dos el mismo parámetro de retención de nitrógeno, sin embargo, la diferencia recae en que el valor biológico se calcula a partir del nitrógeno absorbido,

mientras que la utilización neta de proteínas se calcula a partir del nitrógeno ingerido.

Puntaje de aminoácidos corregidos por digestibilidad

En 1989, la Organización para la Agricultura y Alimentación y la Organización Mundial de la Salud (FAO y OMS), en una declaración de posición, establecieron que la calidad de la proteína podría ser determinada expresando el contenido del primer aminoácido esencial limitante de la proteína de prueba en forma de porcentaje del contenido del mismo aminoácido en relación a un patrón de referencia de aminoácidos esenciales (FAO y OMS, 1990). Los valores de referencia utilizados, se basaron en los requerimientos de aminoácidos esenciales de niños de edad preescolar. La recomendación de la declaración de FAO y OMS fue tomar este valor de referencia y corregirlo según la verdadera digestibilidad fecal de la proteína de prueba. El valor obtenido es el puntaje de aminoácidos corregidos por digestibilidad (PDCAAS). Este método se ha adoptado como el método preferido para medir el valor de la proteína en la nutrición humana (Hoffman, 2004).

En relación a la ingestión de proteínas, en una declaración de posición publicada hace algunos años, se destacaron los siguientes puntos:

- Una considerable cantidad de estudios apoyan la idea que los individuos implicados en entrenamiento de un modo regular requieren más proteínas en la dieta que los individuos sedentarios.
- Las ingestas de proteínas de $1.4\text{-}2.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ para los individuos activos no solo es segura, sino que puede mejorar las adaptaciones al entrenamiento inducidas por el ejercicio.
- Cuando forma parte de una dieta densa en nutrientes y balanceada, la ingesta de proteínas a este nivel no es perjudicial para la función de los riñones o el metabolismo óseo en personas sanas y activas.
- Mientras que es posible para los individuos físicamente activos obtener sus requerimientos de proteína a partir de una dieta regular y variada, la suplementación con proteínas en diferentes formas constituye una forma práctica para los atletas de asegurar una ingesta de proteínas adecuada y de calidad.
- Los diferentes tipos y calidades de proteínas pueden afectar la bioadaptabilidad de los aminoácidos luego

de la suplementación con proteínas. La superioridad de un tipo de proteína sobre otras, en términos de optimización de la recuperación o de las adaptaciones al entrenamiento, todavía debe ser demostrada de manera convincente.

- La ingesta de proteína en el momento apropiado constituye un componente importante de un programa de entrenamiento general, siendo esencial para una correcta recuperación, el mantenimiento de la función inmune, el crecimiento y mantenimiento de la masa corporal magra.
- Bajo ciertas circunstancias, los suplementos con aminoácidos específicos, tales como aminoácidos de cadena ramificada (BCAA) puede mejorar el rendimiento del ejercicio y la recuperación después del mismo.

(Campbell et al., 2007, p. 1).

Lípidos

El mantenimiento del balance energético, la restitución de las reservas intramusculares de triacilglicerol y el consumo adecuado de ácidos grasos esenciales presentan gran importancia entre los atletas y justifican una mayor ingesta de lípidos (Kreider et al., 2000). Es interesante destacar que las dietas con un mayor contenido de grasas parecen mantener mejor las concentraciones de testosterona circulante que las dietas bajas en grasas (Kreider et al., 2000). En general, se recomienda que los atletas consuman una cantidad moderada de grasas (aproximadamente el 30 % de su ingesta calórica diaria).

Para los atletas que buscan disminuir la grasa corporal, ha sido recomendado que ingieran de 0.5 a 1 g.kg⁻¹.día⁻¹ de grasas. El fundamento de esto es que algunos estudios relacionados a la pérdida de peso indican que las personas que más éxito tuvieron para perder peso y mantener el peso perdido fueron aquellas que ingirieron menos de 40 g de grasa por día en su dieta (Kreider et al., 2000).

En relación a los diferentes tipos de lípidos, debería disminuirse la ingestión de grasas saturadas (ácidos grasos de 14 y 16 carbonos), que tienen el potencial de incrementar la concentración de colesterol plasmático (Boyd & Cordain, 1997); e incrementar la ingestión de grasas poliinsaturadas, las cuales son esenciales para el organismo. En relación a estas últimas, es importante tener en cuenta la relación entre los ácidos grasos ω -3 y ω -6, ya que en la dieta del ser humano actual, la relación ω -

3 y ω -6 parece haber disminuido significativamente, lo que podría tener consecuencias adversas para el funcionamiento del organismo (Boyd & Cordain, 1997).

En relación a este tema y a los alimentos que fueron ingeridos por nuestros antepasados cazadores-recolectores, lo cual pueden haber determinado las adaptaciones que se produjeron en el genoma humano del hombre actual, se sugiere la revisión del trabajo de Boyd & Cordain (1997).

1.2.3 Micronutrientes

Vitaminas

Las vitaminas son compuestos orgánicos, cuya función es regular los procesos metabólicos, los sistemas de producción de energía, los procesos neurológicos y prevenir la destrucción de las células (Kreider et al., 2000).

Una clasificación principal las divide en hidrosolubles y liposolubles. Entre estas últimas se encuentran las vitaminas A, D, E y K, mientras que entre las primeras se encuentran la vitamina C y las del complejo B. Hay datos documentados que indican que ciertas vitaminas pueden proporcionar beneficios para la salud (vitamina E, niacina, ácido fólico, vitamina C, entre otras), aunque hay pocos reportes que indiquen que estas poseen un valor ergogénico (Kreider et al., 2000).

No obstante, es interesante destacar que algunas vitaminas, tales como la vitamina C y E, podrían ayudar a tolerar mejor el entrenamiento, reduciendo el estrés oxidativo inducido por este y manteniendo la integridad del sistema inmune (en el caso de la vitamina C). El grupo restante de vitaminas parece tener poco valor ergogénico en los atletas que consumen una dieta normal y con un aporte suficiente de nutrientes.

Por otro lado, conviene señalar que la Asociación Médica Americana ha evaluado recientemente la literatura médica disponible y ha recomendado que los norteamericanos consuman una dosis baja diaria de un multivitamínico, con el objetivo de promover la salud general. En la Tabla 6 se presenta la dosis diaria recomendada (RDA), el supuesto valor ergogénico y el resumen de los hallazgos de la literatura para las vitaminas hidrosolubles y liposolubles.

Tabla 6: Ayudas ergogénicas nutricionales propuestas: vitaminas

Nutriente	RDA	Valor ergogénico propuesto	Resumen de los hallazgos de las investigaciones
Vitamina A	Hombres: 900 µg/día Mujeres: 700 µg/día	Constituyente de la rodopsina (pigmento de la visión). Está implicada en la visión nocturna. Un suplemento podría mejorar la visión en el deporte.	Ningún estudio ha demostrado que la suplementación con vitamina A mejore el rendimiento en el ejercicio.
Vitamina D	5 µg/día (edad < 51 años)	Promueve el crecimiento y la mineralización del hueso. Mejora la absorción de calcio. La suplementación con calcio puede ayudar a prevenir la pérdida de hueso en poblaciones con osteoporosis.	La suplementación junto con calcio puede ayudar a prevenir la pérdida de hueso en atletas susceptibles de padecer osteoporosis. Sin embargo, la suplementación con vitamina D no mejora el rendimiento del ejercicio.
Vitamina E	15 mg/día	Como un antioxidante, ha sido demostrado que ayuda a prevenir la formación de radicales libres durante el ejercicio intenso y previene la destrucción de células rojas sanguíneas, mejorando y manteniendo el transporte de oxígeno a los músculos durante el ejercicio. Cierta evidencia sugiere que puede reducir el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares o disminuir la incidencia de ataque cardíaco recurrente.	Numerosos estudios demuestran que la suplementación con vitamina E puede disminuir el estrés oxidativo inducido por el ejercicio. Sin embargo, la mayoría de los estudios no ha mostrado efectos sobre el rendimiento en zonas que se encuentren al nivel del mar. A altitudes elevadas, la vitamina E puede mejorar el rendimiento del ejercicio. Se necesitan investigaciones adicionales para determinar si la suplementación a largo plazo puede ayudar a los atletas a tolerar mejor el entrenamiento.
		Importante en la coagulación de la	Ha sido reportado que la suplementación con vitamina K (10 mg/día) en atletas mujeres de elite incrementa la capacidad de unión al

Vitamina K	Hombres: 120 µg/día Mujeres: 90 µg/día	sangre. También hay cierta evidencia que indica que puede afectar el metabolismo óseo en la mujer posmenopáusica.	calcio de la osteocalcina y promueve un incremento de 15-20 % en los marcadores de formación de hueso y una disminución de 20-25 % en los marcadores de resorción ósea, sugiriendo que se produce una mejora del equilibrio entre la formación y la resorción.
Tiamina (B1)	Hombres: 1.2 mg/día Mujeres: 1.1 mg/día	Es una coenzima (pirofosfato de tiamina) en la eliminación de CO ₂ a partir de las reacciones de descarboxilación de piruvato a acetil-CoA y en el ciclo de los ácidos tricarboxílicos. Se plantea teóricamente que la suplementación mejora el umbral anaeróbico y el transporte de CO ₂ . Las deficiencias pueden disminuir la eficiencia de los sistemas energéticos.	La disponibilidad de tiamina en la dieta no parece afectar la capacidad de ejercicio cuando los atletas realizan una ingesta normal.
Riboflavina (B2)	Hombres: 1.3 mg/día Mujeres: 1.7 mg/día	Constituyente de las coenzimas nucleótidos de flavina implicadas en el metabolismo energético. Se plantea teóricamente que mejora la disponibilidad de energía durante el metabolismo oxidativo.	La disponibilidad de tiamina en la dieta no parece afectar la capacidad de ejercicio cuando los atletas realizan una ingesta normal.
Niacina (B3)	Hombres: 16 mg/día	Constituyente de las coenzimas implicadas en el metabolismo energético. Se plantea teóricamente que pueden atenuar el incremento de ácidos grasos durante el ejercicio, reducir el colesterol,	Los estudios indican que la suplementación con niacina (100-500 mg/día) puede ayudar a disminuir los niveles de lípidos sanguíneos e incrementar los niveles de homocisteína en pacientes con hipercolesterolemia. Sin embargo, ha sido reportado

	Mujeres: 14 mg/día	mejorar la termorregulación, y mejorar la disponibilidad de energía durante el metabolismo oxidativo.	que la suplementación con niacina (280 mg) disminuye la capacidad de ejercicio, a través de la disminución de la movilización de ácidos grasos.
Piridoxina (B6)	1.3 mg/día (edad < 51 años)	Ha sido señalada como un suplemento que incrementa la masa muscular, fuerza, y potencia anaeróbica en los sistemas del ácido láctico y de oxígeno. También puede tener un efecto calmante que ha sido relacionado a una mejora de la fuerza.	En atletas bien alimentados, la piridoxina falló en mejorar la capacidad aeróbica o la acumulación de ácido láctico. Sin embargo, cuando se combina con las vitaminas B1 y B12, se pueden incrementar los niveles de serotonina y mejorar las habilidades motoras finas, lo cual puede ser necesario en deportes como el tiro con pistola o la arquería.
Cianocobalamina (B12)	2.4 µg/día	Una coenzima implicada en la producción de ADN y serotonina. El ADN es importante para la síntesis de proteínas y células rojas sanguíneas. Teóricamente, incrementaría la masa muscular, la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre y disminuiría la ansiedad.	En atletas bien entrenados, no ha sido reportado ningún efecto ergogénico. Sin embargo, cuando se la combina con vitaminas B1 y B12, ha sido demostrado que la cianocobalamina mejora el rendimiento en el tiro con pistola. Esto puede deberse a un incremento de los niveles de serotonina, un neurotransmisor del cerebro que puede reducir la ansiedad.
Ácido fólico (folato)	400 µg/día	Funciona como una coenzima en la formación de ADN y células rojas sanguíneas. Un incremento en las células rojas sanguíneas podría mejorar el transporte de oxígeno a los músculos durante el ejercicio. Se piensa que es importante para ayudar a prevenir defectos en el nacimiento y puede ayudar a	Los estudios sugieren que incrementar la disponibilidad en la dieta de ácido fólico durante el embarazo puede disminuir la incidencia de defectos en el nacimiento. Además, puede disminuir los niveles de homocisteína (un factor de riesgo de ataque cardíaco). En atletas bien alimentados y deficientes en folato, el ácido fólico no mejoró el rendimiento del ejercicio.

		disminuir los niveles de homocisteína.	
Ácido pantoténico	5 mg/día	Actúa como una coenzima para el acetil-Coenzima A (Acetil-CoA). Esto puede beneficiar a los sistemas energéticos aeróbicos o dependientes de oxígeno.	Las investigaciones no han reportado mejoras en el rendimiento aeróbico con la suplementación con Acetil-CoA. Sin embargo, un estudio reportó una disminución en la acumulación de ácido láctico, sin un incremento en el rendimiento.
Beta-carotenos	Ninguna	Sirven como antioxidantes. Teóricamente ayudan a minimizar la peroxidación de los lípidos y el daño muscular inducidos por el ejercicio.	Las investigaciones indican que la suplementación con beta-caroteno con o sin otros antioxidantes puede ayudar a disminuir la peroxidación inducida por el ejercicio. A través del tiempo, esto puede ayudar a los atletas a tolerar el entrenamiento. Sin embargo, no está claro si la suplementación con antioxidantes afecta el rendimiento del ejercicio.
Vitamina C	Hombres: 90 mg/día Mujeres: 75 mg/día	Es utilizada en una serie de procesos metabólicos diferentes en el cuerpo. Está implicada en la síntesis de epinefrina, absorción de hierro, y es un antioxidante. Teóricamente, podría beneficiar al rendimiento durante el ejercicio, mejorando el metabolismo durante el ejercicio. También hay evidencia que indica que la vitamina C puede mejorar la función inmune.	En atletas bien alimentados, la suplementación con vitamina C no parece mejorar el rendimiento físico. Sin embargo, hay cierta evidencia que indica que la suplementación con vitamina C (por ejemplo, 500 mg/día) luego del ejercicio intenso puede disminuir la incidencia de infecciones del tracto respiratorio superior.

Fuente: Adaptado de Kreider et al., 2010, p. 12

Minerales

Los minerales son elementos inorgánicos esenciales para una serie de procesos metabólicos. Sirven como estructura de tejidos, se constituyen como componentes importantes de enzimas y hormonas y son reguladores metabólicos y del control nervioso. Ha sido demostrado que

algunos minerales se encuentran en déficit en algunos atletas o se vuelven deficientes como respuesta al entrenamiento o el ejercicio prolongado. En los deportistas que presentan un déficit en general se ha demostrado que la suplementación mejora la capacidad de ejercicio. Por tanto, algunos minerales parecen poseer un valor ergogénico o para la salud de los atletas bajo ciertas situaciones.

La suplementación con calcio en los atletas susceptibles a la osteoporosis prematura puede ayudar al mantenimiento de la masa magra y puede ayudar al control de la composición corporal. En el caso del hierro, ha sido demostrado que la suplementación en atletas con déficit de este mineral o anemia mejora el rendimiento. Además, hay evidencia (Kreider et al., 2000) que indica que una carga con fosfato de sodio puede incrementar el máximo consumo de oxígeno, el umbral del lactato y mejorar la capacidad del ejercicio de resistencia en un 8 a 10 %. En la tabla 7 se presentan la ingesta diaria recomendada (RDA), el valor ergogénico propuesto y los reportes de la literatura respecto al potencial efecto ergogénico de los diferentes minerales.

Tabla 7: Ayudas ergogénicas nutricionales propuestas: minerales

Nutriente	RDA	Valor ergogénico propuesto	Resumen de los hallazgos de las investigaciones
Boro	Ninguna	El boro ha sido vendido a los atletas como un suplemento dietario que puede promover el crecimiento muscular durante el entrenamiento de sobrecarga. El fundamento estuvo basado principalmente en un reporte inicial que indicó que la suplementación con boro (3 mg/día) incrementó significativamente los niveles β -estradiol y testosterona en mujeres posmenopáusicas que consumían una dieta baja en boro.	Los estudios que han investigado el efecto de 7 semanas de suplementación con boro (2.5 mg/día) durante el entrenamiento de sobrecarga sobre los niveles de testosterona, composición corporal y fuerza, no han reportado un valor ergogénico. En la actualidad no hay evidencia que la suplementación con boro promueva el crecimiento muscular durante el entrenamiento de sobrecarga.

Calcio	1000 mg/día (edad: de 19 a 50 años)	Está implicado en la formación de los dientes, coagulación de la sangre y transmisión nerviosa. Estimula el metabolismo de las grasas. La dieta debería contener cantidades suficientes especialmente en niños y adolescentes en crecimiento, atletas de sexo femenino y mujeres posmenopáusicas. La vitamina D es necesaria para ayudar a su absorción.	La suplementación con calcio podría ser beneficiosa en poblaciones susceptibles de padecer osteoporosis. Además, ha sido demostrado que la suplementación con calcio promueve el metabolismo de las grasas y ayuda a controlar la composición corporal. La suplementación con calcio no provee un efecto ergogénico sobre el rendimiento del ejercicio.
Cromo	Hombres: 35 µg/día Mujeres: 25 µg/día (edad: 19 a 50 años)	El cromo, vendido comúnmente como picolinato de cromo, ha sido comercializado con afirmaciones que indican que el suplemento incrementa la masa muscular y disminuye los niveles de grasa corporal.	Las investigaciones con animales indican que la suplementación con cromo incrementa la masa corporal magra y reduce la grasa corporal. Las primeras investigaciones con humanos reportaron resultados similares, sin embargo, estudios más recientes, bien controlados, reportaron que la suplementación con cromo (200 a 800 µg/día) no incrementa la masa corporal magra o reduce la grasa corporal.
Hierro	Hombres: 8 mg/día Mujeres: 8 mg/día (edad: 19 a 50 años)	Los suplementos con hierro son usados para incrementar el rendimiento aeróbico en deportes que utilizan el sistema de oxígeno. El hierro es un componente de la hemoglobina en las células rojas sanguíneas, el cual es un transportador de oxígeno.	La mayoría de las investigaciones acerca del hierro indican que este no parece incrementar el rendimiento aeróbico a menos que el atleta esté en una condición de agotamiento de hierro o tenga anemia.
Magnesio	Hombres: 420 mg/día Mujeres: 320 mg/día	Activa enzimas implicadas en la síntesis de proteínas. Está implicado en las reacciones del ATP. Los niveles séricos disminuyen con el ejercicio. Algunos sugieren que la suplementación con magnesio puede mejorar el metabolismo energético o disponibilidad de ATP.	La mayoría de las investigaciones bien controladas indican que la suplementación con magnesio (500 mg/día) no afecta el rendimiento del ejercicio en atletas a menos que haya una deficiencia.
	700 mg/día	El fosfato ha sido estudiado por su capacidad de mejorar los	Estudios de investigación bien controlados realizados

Fósforo (sales de fosfato)		tres sistemas energéticos, principalmente el sistema del oxígeno o capacidad aeróbica.	recientemente reportaron que la suplementación con fosfato de sodio (4 g/día por 3 días) mejoró el sistema del oxígeno en tareas de resistencia. Parece que hay poco valor ergogénico para otras formas de fosfato (como fosfato de calcio o fosfato de magnesio). Son necesarias más investigaciones para determinar el mecanismo por el que se produce la mejora.
Potasio	2000 mg/día	Electrolito que ayuda a regular el equilibrio de fluidos, la transmisión nerviosa y el equilibrio ácido-base. Algunos sugieren que el incremento o disminución excesiva del potasio puede predisponer a los atletas a los calambres.	Aunque la pérdida de potasio durante el ejercicio intenso en la transpiración ha sido asociada anecdóticamente con calambres musculares, la etiología de los calambres es desconocida. No está claro si la suplementación con potasio en los atletas disminuye la incidencia de calambres. No ha sido reportado ningún efecto ergogénico.
Selenio	55 µg/día	Es vendido como un suplemento para el rendimiento en el ejercicio aeróbico. Trabajando de cerca con la vitamina E y la glutatión peroxidasa (un antioxidante), el selenio puede destruir la producción destructiva de radicales libres de lípidos durante el ejercicio aeróbico.	Aunque el selenio puede reducir la peroxidación de los lípidos durante el ejercicio aeróbico, no han sido demostradas mejoras en la capacidad aeróbica.
Sodio	500 mg/día		Durante los primeros días de entrenamiento intenso en el calor, se pierde una mayor cantidad de sodio a través del sudor. Además, el ejercicio de ultraendurance puede disminuir los niveles de sodio, conduciendo a hiponatremia. Ha sido demostrado que el incremento de la disponibilidad de sal durante el entrenamiento intenso en el calor ayuda a mantener el balance de fluidos y prevenir la hiponatremia.

Vanadil sulfato (vanadio)	Ninguna	El vanadio puede estar implicado en reacciones en el cuerpo que producen efectos similares a los de la insulina sobre el metabolismo de las proteínas y la glucosa. Debido a la naturaleza anabólica de la insulina, esto ha atraído la atención hacia el vanadio como un suplemento para incrementar la masa muscular e incrementar la fuerza y la potencia.	Investigaciones limitadas han demostrado que los diabéticos tipo 2 pueden mejorar su control de la glucosa, sin embargo, no hay ninguna prueba de que el vanadil sulfato tenga algún efecto sobre la masa muscular, la fuerza o la potencia.
Zinc	Hombres: 11 mg/día Mujeres: 8 mg/día	Constituyente de las enzimas implicadas en la digestión. Asociado con la inmunidad. En teoría, puede reducir la incidencia de infecciones del tracto respiratorio superior en atletas implicados en entrenamiento intenso.	Los estudios indican que la suplementación con zinc (25 mg/día) durante el entrenamiento, minimiza los cambios inducidos por el ejercicio en la función inmune.

Fuente: Adaptado de Kreider et al., 2010, p. 14.

1.2.4 Fitoquímicos y agua

Fitoquímicos

Los fitoquímicos o fitonutrientes son ciertos componentes orgánicos de las plantas que se piensa que promueven la salud humana, pero no son nutrientes (Jeukendrup & Gleeson, 2010). Difieren de las vitaminas porque no son considerados nutrientes esenciales, pero pueden ser beneficiosos para la salud. A través de diferentes mecanismos, ejercen una función antioxidante, mejoran la respuesta inmune y la comunicación célula a célula; alteran el metabolismo de estrógenos, metabolizan carotenos a vitamina A, generan la muerte de células cancerígenas y reparan ADN dañado.

Entre los fitoquímicos son ampliamente conocidos los carotenoides, que se encuentran en el brócoli, las verduras de hoja verde y las verduras amarillas, así como los polifenoles, que se encuentran en los frutos rojos y el vino tinto.

Las recomendaciones actuales indican que se debe ingerir unas cinco porciones de frutas y vegetales para asegurar el aporte de fitoquímicos y sus efectos beneficiosos para la salud.

Agua

Los organismos vivos, y por tanto el cuerpo del ser humano, presentan un contenido elevado de agua. Desde un punto de vista químico, el cuerpo humano podría dividirse en minerales, carbohidratos, proteínas, grasa y agua, en donde esta última representaría 40 % de la masa total (Wilmore, 1996).

El mayor volumen de agua en el organismo se encuentra dentro de las células, en lo que se denomina compartimiento intracelular. En este se puede encontrar aproximadamente el 70 % del agua corporal total (Robergs, 2006). Por otro lado, en la sangre se encuentra aproximadamente un 6 % del agua corporal total (compartimiento vascular) y entre las células (compartimiento intersticial), se encuentra un 24 % del agua corporal total.

En el humano que realiza ejercicio y se deshidrata, la mayor pérdida de agua corporal se produce en el componente intracelular, por lo que si se pierden 3 litros de sudor durante el esfuerzo, el 50 % de la pérdida provendrá del compartimiento intracelular (Robergs, 2006).

Es digno de mención que, mientras las pérdidas por sudor de un humano en reposo a lo largo de un día pueden representar un volumen tan bajo como 200 ml, tal como demostraremos más adelante, el humano que realiza ejercicio puede perder 3, 4, 5 litros o incluso más, durante el esfuerzo. Esta pérdida de masa corporal está explicada prácticamente en su totalidad por agua corporal que se pierde en forma de sudor.

Hidratación preesfuerzo

Teniendo en cuenta que bajo determinadas condiciones climáticas (clima cálido y húmedo), fisiológicas (deportistas con tasas elevadas de sudoración) y deportivas (eventos de larga duración, como p. ej., mayores a 90 min.) la deshidratación puede alcanzar grados elevados (> 2 %), producto de los aspectos anteriormente señalados (con el agravante de que en algunos deportes la disponibilidad de líquidos puede estar restringida), la prehidratación adquiere una gran importancia. Son interesantes los resultados de Ahumada, Barale y Zóccola (2010) respecto del nivel de deshidratación que pueden alcanzar deportistas de medio rendimiento durante entrenamientos en diferentes condiciones climatológicas. Este escenario, claramente, es muy adverso para el deportista, que sufrirá una pérdida del rendimiento muy marcada y puede poner en peligro su salud. Es así que el inicio de la práctica

deportiva en una condición de euhidratación es clave, así como podría serlo iniciar el ejercicio en una condición de hiperhidratación.

El agente hiperhidratante del cual se obtuvieron resultados muy alentadores es el glicerol. Para una revisión exhaustiva acerca del metabolismo, aplicaciones, usos médicos y mecanismos de acción de esta sustancia lo invitamos a revisar el trabajo de Robergs y Griffin (1998). Lamentablemente, en el presente año, esta sustancia fue incluida en la lista de sustancias prohibidas de la Agencia Mundial Anti-Dopaje (WADA), ya que el glicerol tendría aplicaciones como agente enmascarante, al incrementar la osmolaridad del plasma, expandir el volumen plasmático y diluir la concentración de posibles sustancias prohibidas que sean utilizadas. Al parecer, se están estudiando otras sustancias capaces de inducir un efecto de hiperhidratación. Como se analizará en una sección posterior, las bebidas con una concentración de sodio elevada, de 50-70 mM (la cual es similar a la del sudor) tienen el potencial de inducir hiperhidratación. No obstante, la gran concentración de sodio de una bebida afecta su palatabilidad.

En relación a la hiperhidratación, en términos prácticos puede ser interesante utilizar una serie de ecuaciones desarrolladas por Eric Goulet (2009) para calcular el volumen de fluidos con los cuales hidratar al deportista.

La primera ecuación tiene como objetivo determinar el nivel de deshidratación alcanzado durante un ejercicio dado:

Porcentaje de deshidratación (%) = [(tasa de sudoración (L/h) – ingesta de fluidos (L/h)) * duración del ejercicio (h)] / masa corporal (kg).

La segunda ecuación tiene como objetivo valorar el volumen de fluidos que deberían ser ingeridos durante la hiperhidratación para alcanzar un nivel de deshidratación deseada durante el ejercicio, por ejemplo, 2 % de la masa corporal.

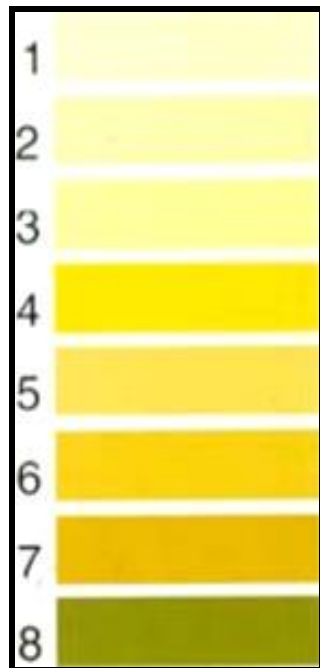
Volumen de fluidos (L) = [(resultado de la ecuación 1/100) * peso corporal (kg)] - [peso corporal (kg) * (% de deshidratación deseado/100)].

Así, el resultado indica el volumen de fluidos con el que se debería hacer la hiperhidratación. Goulet (2009) planteó que solo estaría justificada la hiperhidratación, cuando el resultado de la ecuación 1 fuera $\rightarrow$ 2 %. Esta ecuación fue pensada para ser aplicada a un protocolo de hiperhidratación con glicerol. Si bien una bebida deportiva no será igual de efectiva que el glicerol para este fin, aun si fuera isotónica, esta es una opción práctica para determinar el volumen de fluidos requeridos específicamente por un deportista en una condición determinada ya que

la tasa de sudoración dependerá, por supuesto, del sujeto, pero además, de las condiciones climáticas.

Una herramienta útil para valorar el nivel de hidratación y asegurar que el deportista inicie el ejercicio en un estado euhidratado es la escala de color de la orina (figura 4) desarrollada por Lawrence Armstrong et al. (1994). Mientras el color de la orina esté entre 1 y 3 esto indica que el deportista se encuentra euhidratado.

Figura 4: Escala de color de la orina



Fuente: adaptado de Armstrong et al., 1994, p. 274.

Hidratación intraesfuerzo

En esta sección, además del aporte de fluidos, también se presentarán datos acerca del aporte de carbohidratos, ya que ese aspecto no fue discutido en la sección anterior dedicada al estudio de estos macronutrientes.

Si bien hay fundamentos sólidos que apoyan el aporte de carbohidratos durante el ejercicio para mejorar el rendimiento y atenuar la fatiga, son dignos de mención los resultados de una revisión a la literatura de Coombes y Hamilton (2000).

Después de revisar una serie de trabajos, los autores encontraron que los beneficios de las bebidas deportivas son más fácilmente observados en individuos que sufren agotamiento de sus reservas de glucógeno. Los estudios realizados fueron con sujetos que se encontraban en esta

condición, pero claramente esta no es la situación en la que se encuentran los deportistas antes de una competición.

Los trabajos de Coombes y Hamilton que apoyan la idea de que el aporte de carbohidratos retrasa la fatiga y mejora el rendimiento, se basan en los trabajos de Coyle (1983; 1986), y Coggan y Coyle (1987; 1988; 1989). En todos estos estudios, los sujetos realizaron un ayuno de 12 a 16 horas antes del ejercicio. Cabe aclarar además, que las bebidas con carbohidratos que consumieron los sujetos durante el ejercicio tenían una concentración de carbohidratos del 50 %, lo cual resultó en una dosis de carbohidratos de entre 2 y 12 g.h⁻¹.kg⁻¹. Consideramos que este nivel de concentración resulta difícil de tolerar en ejercicio intenso. Para lograr un aporte similar de carbohidratos con bebidas deportivas al 8 %, se requeriría un consumo de por lo menos 1750 mL.h⁻¹. Esta ingestión de fluidos es impráctica y hace difícil relacionar los hallazgos de rendimiento usando bebidas con elevado contenido de carbohidratos con las bebidas deportivas comercialmente disponibles (Coombes y Hamilton, 2000). De los 69 estudios citados en la revisión, solo 16 utilizaron bebidas comercialmente disponibles.

Teniendo en cuenta esto, en general la evidencia sugiere que la ingestión de CHO durante el ejercicio de resistencia es una estrategia bien establecida para sostener los niveles de glucosa, ahorrar glucógeno y potencialmente promover mayores niveles de rendimiento (Kerksick et al., 2009).

Está bien aceptado que las tasas pico de oxidación de un solo tipo de CHO (glucosa) están aproximadamente cerca de 1 g.min⁻¹, esto es 60 g.h⁻¹. De algún modo, esto explica la concentración de 6 % en algunas bebidas deportivas mundialmente reconocidas, tales como Gatorade. Así, idealmente se debería alcanzar este aporte de CHO por hora, lo que con una bebida comercialmente disponible, aseguraría también el aporte de alrededor de 1 L.h⁻¹ de fluidos. Es importante tener en cuenta que esta tasa de ingesta de fluidos puede ser muy inferior a la tasa de sudoración de algunos deportistas (Ahumada, Barale & Zóccola, 2010), la que, dependiendo de la duración del esfuerzo (ver las ecuaciones anteriormente presentadas), puede implicar un nivel de deshidratación importante (> 2 %).

Parecería además, que la mayor tasa de vaciado gástrico estaría en aproximadamente 1200 mL.h⁻¹ o 20 mL.min⁻¹ (Ryan et al., 1998), lo cual implica que cuando la tasa de sudoración de un sujeto dado sobrepase este valor, estará asegurado un nivel dado de deshidratación y una concomitante pérdida de rendimiento.

En relación a la tasa de oxidación de carbohidratos, la combinación de dos tipos de carbohidratos (glucosa y fructosa) puede incrementar en un 40 % los niveles de oxidación pico de carbohidratos, pudiéndose

alcanzar $1.5 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$ (Kersick et al., 2009). De este modo, una bebida que aporte estos dos carbohidratos, en una concentración de alrededor de 90 g en 1200 mL de fluido, maximizaría la tasa de oxidación de carbohidratos, preservando así el glucógeno hepático y atenuando la disminución de la glucemia. Esto tendría una aplicación práctica crucial para pruebas de muy larga duración tales como un Ironman, una ultramaratón, o pruebas similares.

Es importante mencionar que la deshidratación puede incrementar el riesgo de que se produzca un golpe de calor, reduciendo el flujo sanguíneo a la piel y disminuyendo la tasa de sudoración (Ryan et al., 1998). A este respecto, ha sido reportado un incremento de $0.1\text{--}0.4^\circ\text{C}$ de la temperatura central por cada pérdida de 1 % de masa corporal (Ryan et al., 1998). No obstante, también es importante destacar que podría haber un umbral de deshidratación a partir del cual se produce este incremento y podría corresponder a un 2-3 % de pérdida de la masa corporal (Cheuvront & Haymes, 2001). Además, hay datos que indican que un nivel de deshidratación del 4 %, con una temperatura central elevada ($\sim 39^\circ\text{C}$), afecta al vaciado gástrico (Ryan et al., 1998). Así, esto indica que la pérdida excesiva de agua corporal no solo incrementa el almacenamiento de calor del cuerpo durante el ejercicio, sino que puede afectar la capacidad del individuo de restituir sus necesidades de fluidos, carbohidratos y sales (Ryan et al., 1998).

Es importante mencionar que el patrón de ingesta de fluidos puede afectar marcadamente la velocidad de vaciado gástrico. Al parecer, la ingestión repetida de pequeños volúmenes de fluido puede mantener una tasa elevada de vaciado gástrico en comparación a hacer una sola ingesta voluminosa. Por lo tanto, esto puede incrementar la tasa de transporte de fluidos y carbohidratos hacia el intestino (Ryan et al., 1998). Cabe destacar también que hay evidencia que indica que la ingesta repetitiva de fluidos, quizás a través de la estimulación del reflejo orofaríngeo, puede atenuar las reducciones del flujo sanguíneo a la piel y la tasa de sudoración asociadas con la deshidratación térmica.

Más allá de los aspectos anteriormente planteados, en la actualidad sabemos que en las competiciones reales, y específicamente en los deportes de endurance, como el maratón, el triatlón o el mountain bike, cuando los deportistas beben a voluntad (y sabemos que los mejores atletas así lo hacen), alcanzan niveles de deshidratación elevados (3, 4, 5 % e incluso mayores niveles de deshidratación). A pesar de esto son capaces de lograr muy buenos rendimientos, sin daño muscular significativo, manteniendo su ritmo y finalizando con temperaturas centrales seguras ($< 40^\circ\text{C}$). Las condiciones del deporte realizado al aire libre son muy diferentes a las de los laboratorios donde han sido realizados muchos estudios de referencia de la literatura científica. Analizar este tópico en detalle escapa al alcance del presente curso.

Hidratación postesfuerzo

Los dos factores principales que influyen en el proceso de rehidratación son el volumen y la composición de los fluidos consumidos.

El volumen consumido va a estar influenciado por muchos factores, incluida la palatabilidad y su efecto sobre el mecanismo de la sed (Shirreffs, 2000).

La ingestión de agua sola en el período postejercicio resulta en una rápida caída en la concentración del sodio plasmático y una caída en la osmolaridad del plasma. Estos cambios tienen el efecto de reducir la estimulación a beber (sed) e incrementar la producción de orina, y ambos factores van a perjudicar el proceso de rehidratación (Atkinson, Davidson, Jeukendrup & Passfield, 2003). Solo puede ser alcanzada una rehidratación completa después del ejercicio si son restituidos tanto el sodio como el agua, perdidos en la transpiración. Para alcanzar un estado de euhidratación, la ingesta de sodio debe ser superior a su pérdida. La ingestión de una bebida que contenga sodio no solo va a promover una rápida absorción de fluidos en el intestino delgado, sino que permitirá que la concentración de sodio plasmático se mantenga elevada durante el período de rehidratación y ayude a mantener la sed, mientras que retrasa la estimulación de la producción de orina. Se piensa que la inclusión de potasio en la bebida consumida después del ejercicio mejora la restitución de agua intracelular y así promueve la rehidratación, pero actualmente hay poca evidencia experimental para apoyar esto (Atkinson et al., 2003).

Respecto a la concentración de sodio, se ha propuesto que las bebidas utilizadas para la rehidratación postejercicio deberían tener una concentración de sodio similar a la del sudor (Shirreffs, 2000), pero teniendo en cuenta que el contenido del electrolito en el sudor muestra una variación considerable entre sujetos y en el tiempo, sería imposible prescribir una sola fórmula para cada sujeto o para cada situación. Un estudio realizado por Shirreffs (2000) con el fin de investigar la relación entre las pérdidas de sodio de todo el cuerpo y la efectividad para la rehidratación de bebidas con diferentes concentraciones de sodio parece confirmar que la rehidratación óptima es alcanzada con una bebida con una concentración de sodio similar a la del sudor. No obstante, es importante mencionar que en términos prácticos una bebida deportiva con estas características muy probablemente no tendrá buena palatabilidad, ya que su concentración de sodio debería ser más del doble (dependiendo del sujeto y la condición) que la de una bebida deportiva comercialmente disponible. Así, la ingestión de alimentos sólidos como sopas o pizzas cuya concentración de sodio suele ser elevada, puede constituir una opción apropiada. De hecho, esto está

documentado en la literatura, en donde se compara la ingestión de un alimento más agua con una bebida deportiva (en donde el volumen de agua igualó al de bebida deportiva). En estos trabajos, la orina producida fue menor en el caso de la ingesta del alimento y agua. Al parecer, la mayor eficacia del alimento y el agua para restituir el balance de agua corporal se debió al mayor contenido de sodio y potasio.

Shirreffs et al. (2000) investigaron además la influencia del volumen de bebida sobre la efectividad de la rehidratación luego de una deshidratación del 2% inducida por ejercicio. Los volúmenes de las bebidas fueron igual al 50, 100, 150 y 200 % de las pérdidas de sudor durante el ejercicio. Para investigar una posible interacción entre el volumen de bebida y su contenido de sodio, se compararon una bebida con una baja concentración de sodio (23 mM) y una bebida con una elevada concentración de electrolitos (61 mM). Con ambas bebidas, la producción de orina estuvo relacionada al volumen de bebida consumida. Sin tener en cuenta la composición de la bebida, los sujetos no restituyeron su nivel de hidratación cuando consumieron un volumen equivalente (100 %) o de solo la mitad del sudor perdido durante el ejercicio. Cuando fue consumido un volumen de bebida igual al 150 % del sudor perdido, los sujetos estuvieron ligeramente hipohidratados 6 horas después de consumir la bebida de prueba cuando ésta tenía una baja concentración de sodio, una condición similar a cuando ingirieron la misma bebida en un volumen del doble del sudor perdido. En el caso de la bebida con elevada concentración de sodio, fue retenida una cantidad de fluido suficiente para alcanzar un estado de hiperhidratación 6 horas después de la ingestión del 150 o el 200 % del sudor perdido en la bebida de prueba. Como aplicación práctica, se podría plantear que con una bebida deportiva con una concentración mínima de 23 mM, a condición de que se ingiera el 150 % del fluido perdido durante el ejercicio, se puede alcanzar un nivel de hidratación cercano al normal en un período de 6 horas.

Es muy importante tener en cuenta también que la tasa a la cual es ingerido el fluido perdido puede influenciar la tasa de producción de orina, y así la efectividad de la rehidratación. Prolongar el período de rehidratación puede ser más efectivo para alcanzar antes un nivel de euhidratación. Así, la ingestión del 150 % de los fluidos perdidos podría extenderse por 120-150 minutos.

En general las bebidas deportivas tienen concentraciones de 10 a 25 mM de sodio, lo que constituye un aporte de entre 250 y 500 mg de sodio por litro de solución. El sudor del ser humano puede tener una concentración de sodio que duplica estos valores, aunque ha sido reportado que esto es muy variable. De este modo, 10 litros de sudor podrían implicar la pérdida de 29 g de cloruro de sodio (Atkinson et al., 2003) lo cual ilustra la importancia de la ingesta de sólidos en el período postejercicio.

Respecto al rol del sodio en el proceso de hidratación postesfuerzo, una revisión publicada recientemente (Shirreffs, 2011) plantea que después del ejercicio, el reemplazo del sodio y la restitución de su equilibrio es un prerrequisito para una restitución y mantenimiento efectivo de la euhidratación, ya que ningún otro electrolito juega un rol significativo en este proceso. En esta revisión, también se plantea que las investigaciones de los últimos años han destacado la importancia de no realizar una rehidratación muy rápida después del ejercicio, de modo de evitar la diuresis y alcanzar y mantener la euhidratación. El retraso de la aparición en la circulación del fluido de rehidratación puede alcanzarse alterando el patrón de ingesta de fluidos o retrasando el vaciado gástrico de la bebida desde el estómago al intestino, por medio de, por ejemplo, incrementar el contenido de carbohidratos de la bebida. Así, este es el momento en el cual es apropiada la utilización de una bebida hipertónica, con carbohidratos, proteínas y sodio.

Finalmente, destacamos que la alteración del equilibrio de fluidos y la temperatura no solo pueden afectar al rendimiento sino también a la salud (Shirreffs, 2000). Por lo tanto, excepto en situaciones en las que no se haya producido una disminución del agua corporal, el principal objetivo de la recuperación postejercicio debe ser restituir el déficit de fluidos. Luego, debería dársele prioridad al aporte de carbohidratos para llenar las reservas de glucógeno y al aporte de proteínas para contrarrestar el catabolismo proteico y favorecer la recuperación.

***Timing* de nutrientes**

Respecto a la nutrición, no solo es importante la composición y cantidad de macronutrientes, sino también el momento en los cuales son ingeridos, a eso nos referimos con *timing*. La nutrición en el momento adecuado será clave para la optimización del rendimiento y la mejora de la salud.

Antes del ejercicio

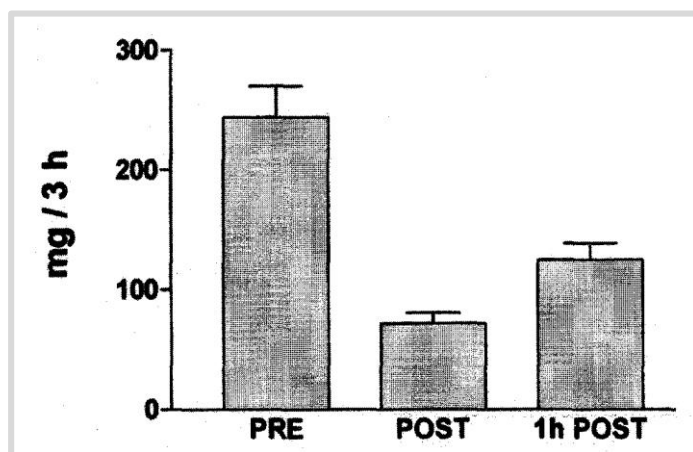
En función del volumen, intensidad, nivel de entrenamiento y objetivos, se recomienda una dieta alta en CHO con el objetivo de mantener los niveles de glucógeno (Kerksick et al., 2009), mientras que, incrementar la fracción de CHO hasta aproximadamente el 70 % en los 5 a 7 días previos a la competición, constituye un medio de maximización de las reservas de glucógeno muscular y hepático, lo que permitirá sostener los niveles de glucosa sanguínea durante el ejercicio (Kerksick et al., 2009). De este modo, recientemente se concluyó que la ingesta de $7-10 \text{ g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$ de carbohidratos debería ser suficiente para repletar completamente las reservas de carbohidratos y permitir un rendimiento óptimo (Atkinson et al., 2003). Es interesante señalar también que se pueden alcanzar

máximos niveles de glucógeno después de solo 1 a 3 días de consumir una dieta rica en CHO si se minimiza el volumen del ejercicio realizado (Kerksick et al., 2009). En general, las investigaciones que implican la ingestión de CHO dentro de una hora antes del ejercicio han demostrado resultados equívocos respecto a los cambios en el rendimiento. A este respecto, es interesante señalar que la ingesta de carbohidratos y sus mayores niveles estimulan la movilización y oxidación de estos, e inhiben el metabolismo de lípidos, aunque parecería que la mayor oxidación es compensada por su disponibilidad incrementada.

En relación a las proteínas y aminoácidos, en la literatura hay publicados una gran cantidad de datos, muchos de los cuales han sido obtenidos por el grupo de Kevin D. Tipton, en la Universidad de Texas. Este investigador encontró que cuando un grupo de sujetos ingirió una solución que consistía en 6 g de aminoácidos esenciales y 35 g de carbohidratos, ya sea inmediatamente antes o después de un ejercicio de sobrecarga, la respuesta del balance neto de proteínas musculares fue considerablemente mayor cuando la bebida fue ingerida inmediatamente antes que cuando fue ingerida inmediatamente o una hora después del ejercicio (Tipton & Wolfe, 2001) (figura 5). Se estudia la captación de fenilalanina, ya que este aminoácido no puede ser oxidado en el músculo, por lo que su captación neta implica su utilización para un proceso de síntesis de proteínas. De acuerdo a lo que plantean Tipton y Wolfe (2001), la mayor respuesta anabólica observada cuando los nutrientes son consumidos antes del ejercicio, probablemente refleja un mayor transporte de aminoácidos hacia el músculo, permitiendo así que una mayor proporción de aminoácidos sean captados por los músculos.

Los lineamientos generales recomiendan la ingestión de 1-2 g de CHO.kg⁻¹ y 0.15-0.25 g de proteínas.kg⁻¹, de 3 a 4 horas antes de la competición o el ejercicio (Kerksick et al., 2009).

Figura 5: Captación de fenilalanina por el músculo



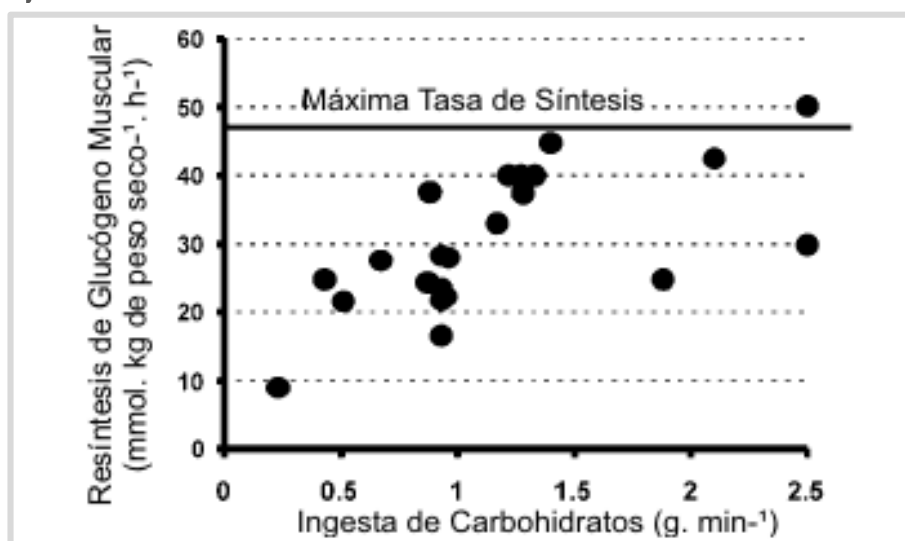
Fuente: Tipton y Wolfe, 2001, p. 122.

Referencias: captación de fenilalanina por el músculo por 3 horas cuando fue ingerida una solución con carbohidratos y aminoácidos inmediatamente antes (PRE), inmediatamente después (POST) y una hora después del ejercicio (1h POST). Todos los valores son estadísticamente diferentes unos de los otros ($p < 0,05$).

Después del ejercicio

Los atletas que ingieren 1.5 g de CHO por kg de peso corporal dentro de los 30 min después del ejercicio, experimentan una mayor tasa de resíntesis de glucógeno que cuando la suplementación es retrasada por dos horas. Esto se debe en gran parte a la mayor sensibilidad del músculo a la insulina (Kerksick et al., 2009). Tal como se aprecia en la figura 6, esta masa de CHO por kg parece ser el límite en cuanto a ingesta de CHO para alcanzar la máxima velocidad de resíntesis (Atkinson et al., 2003).

Figura 6: Máximas tasas de síntesis de glucógeno después de la ingestión de diferentes cantidades de carbohidratos en las primeras horas después del ejercicio



Fuente: Atkinson, 2003, p. 780.

Las formas líquidas y sólidas de CHO promueven niveles similares de resíntesis de glucógeno (Kersick et al., 2009). Retrasar la ingesta de CHO en solo 2 horas puede disminuir la tasa de resíntesis de glucógeno en un 50 %. Se sugiere ingerir 1.0 g de CHO.kg⁻¹ durante los primeros 30 min y cada 2 horas durante 4 a 6 horas, con el objetivo de restituir las reservas de glucógeno (Kersick et al., 2009). Del mismo modo, las más altas tasas de síntesis de glucógeno muscular han sido reportadas en estudios en los cuales los carbohidratos fueron proporcionados en intervalos regulares (cada 15 a 30 min) (Atkinson et al., 2003). Esto es probablemente debido al mantenimiento de altas concentraciones de glucosa sanguínea e insulina. Así, comer comidas pequeñas frecuentemente parece tener un beneficio extra sobre comer menos veces más comida. Adicionalmente, comer menos comida reduce probablemente el riesgo de sufrir molestias gastrointestinales.

Tal como planteamos previamente, hay evidencia que indica que la ingestión de alimentos sólidos permitiría atenuar la producción de orina, lo que finalmente implica una mayor retención de fluidos y así de agua corporal (Atkinson et al., 2003). Esto permitiría alcanzar la euhidratación en menos tiempo. Los alimentos sólidos, tales como las pizzas, pastas, etcétera, tienen en general una mayor concentración de sodio que los fluidos. Es interesante mencionar que en general las bebidas deportivas tienen concentraciones de 10 a 25 mM de sodio, lo que constituye un aporte de entre 250 y 500 mg de sodio por litro de solución. El sudor del ser humano puede tener una concentración del doble, aunque ha sido reportado que esto es muy variable. De este modo, 10 litros de sudor podrían implicar la pérdida de 29 g de cloruro de sodio (Atkinson et al., 2003). Esto ilustra la importancia de la ingesta de sólidos en el período postejercicio.

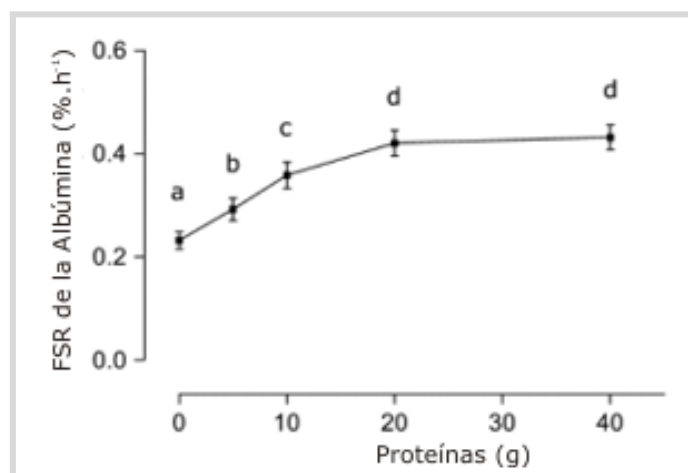
En relación a la ingestión de alimentos que aporten todos los macronutrientes, es interesante destacar los resultados de un estudio de John Ivy y sus colaboradores (Kersick et al., 2009). Los investigadores instruyeron a un grupo de ciclistas para que completaran 2,5 h de ciclismo y luego ingieran un suplemento con ya sea CHO + PRO + grasas (80 g de CHO, 28 g de PRO, y 6 g de grasas), pocos CHO (80 g de CHO, y 6 g de grasas) o muchos CHO (108 g de CHO, y 6 g de grasas), inmediatamente después del ejercicio y 2 horas después del mismo. Los autores concluyeron en que el suplemento con CHO + PRO + grasas fue más efectivo para restituir el glucógeno muscular, debido a que provoca una respuesta insulínica más pronunciada (Kersick et al., 2009).

En relación a la ingesta de proteínas y aminoácidos, es importante señalar que la disponibilidad de aminoácidos esenciales luego del ejercicio, especialmente los aminoácidos de cadena ramificada (valina, leucina e isoleucina) influencia la recuperación, optimizando la síntesis de PRO, así como la de glucógeno después del ejercicio (Kersick et al.,

2009). Es conveniente tener en cuenta que, ya sea que el entrenamiento tenga como objetivo incrementar la fuerza muscular a través del entrenamiento de sobrecarga, el máximo consumo de oxígeno a través del ciclismo, o el incremento del umbral del lactato en pedestrismo, los procesos de recuperación y adaptación, tales como el incremento de las proteínas contráctiles del músculo, la capilarización, el incremento del número y tamaño de las mitocondrias, y el incremento de la actividad enzimática, implican síntesis proteica, por lo que tal como es indicado por los hallazgos de Ivy y sus colaboradores (Kersick et al., 2009), después del ejercicio, no sólo es importante la ingesta de CHO.

Para el entrenamiento de sobrecarga, la dosis ideal de aminoácidos esenciales y CHO necesaria para optimizar el balance de proteínas no es conocida actualmente, aunque los hallazgos de Daniel Moore et al. (2009) son alentadores respecto a la dosis de proteínas necesaria para maximizar la síntesis de las proteínas musculares (figura 7). Estos investigadores encontraron que la síntesis de proteínas alcanzaba un máximo con una dosis de 20 g de proteínas (232 mg.kg⁻¹) después del entrenamiento de la fuerza en sujetos jóvenes y entrenados.

Figura 7: Síntesis fraccional de la proteína albúmina plasmática (FSR) después de un ejercicio de sobrecarga en respuesta a cantidades incrementales de proteínas dietarias



Fuente: Moore et al., 2009, p. 165.

Los valores medios (con diferentes letras) son significativamente diferentes unos de otros (p< 0,01; n=6).

Cabe destacar también que los estudios que usaron técnicas similares para medir la cinética de proteínas durante el entrenamiento de sobrecarga han usado 6 g de aminoácidos esenciales (AAE) solamente, 6 g de aminoácidos esenciales más 6 g de aminoácidos no esenciales (AANE), 12 g de aminoácidos esenciales solamente, 17.5 g de proteínas de suero, 20 g de caseína, 20 g de proteínas de suero, 40 g de una mezcla de aminoácidos y 40 g de aminoácidos esenciales solamente, y todos han encontrado incrementos similares en la síntesis y balance de

proteínas (Kerksick et al., 2009). Mientras que la relación entre CHO y PRO requiere investigaciones adicionales, un enfoque práctico que es frecuentemente utilizado implica consumir suplementos que contengan CHO + PRO en una relación 3:1 o 4:1 dentro de los 30 min después del ejercicio, lo que se traduce en 1.2 a 1.5 g de CHO por kg (p. ej., dextrosa, sacarosa, maltodextrina, glucosa) con 0.3-0.4 g de PRO de calidad por kg, que contenga todos los aminoácidos esenciales (Kersick et al., 2009).

Referencias

Ahumada, F., Barale, A., y Zóccola, A. (2010). Percepción subjetiva de la deshidratación: ¿hay una relación entre la deshidratación real y la percibida?

Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., y Watson, J. (1994) *Biología Molecular de la Célula*. Barcelona: Omega.

Armstrong, L., Maresh, C., Castellani, J., Bergeron, M., Kenefick, R., LaGasse, K., y Riebe, D. (1994). *Urinary Indices of Hydration Status. International Journal of Sport Nutrition*.

Atkinson, G., Davidson, R., Jeukendrup, A., y Passfield, L. (2003). Science and cycling: current knowledge and future directions for research. *Journal of Sports Sciences*.

Bahrke, M., y William P. (2000) Evaluation of the Ergogenic Properties of Ginseng, an Update. *Sports Med*.

Bermúdez, V., Bermúdez, F., Arraiz, N., Leal, E., Linares, S., Mengual, E. (2007) Biología molecular de los transportadores de Glucosa: Clasificación, Estructura y Distribución. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*.

Boyd, S., y Cordain, L. (1997) Evolutionary Aspects of Diet: Old Genes, New Fuels. Nutritional Changes Since Agriculture. En Simopoulos AP (ed): *Nutrition and Fitness: Evolutionary Aspects, Children Health's, Programs and Policies*. World Review of Nutrition and Dietetics, 81.
Burke L. (2000). Dietary Carbohydrates. En R. Maughan (Ed), *Nutrition in Sport*, pp. 73-84. Oxford: Blakwell Science.

Burke L., y Stear, C. (2009). A-Z of supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance, Part 1. *British Journal of Sports Medicine*.

Campbell, B., Richard, K., Ziegenfuss, T., La Bounty, P., Roberts, M., Burke, B. y Antonio, J. (2007). International Society of Sports Nutrition position stand: protein and exercise. *Journal of Nutrition*.

Cheuvront, S., y Haymes, E. (2001). Thermoregulation and Marathon Running. Biological and Environmental Influences. *Sports Med*.

Coggan, A., y Coyle, E. (1987). Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. *Journal of Applied Physiology*.

Coggan, A., y Coyle E. (1988). Effect of carbohydrate feedings during high-intensity exercise. *Journal of Applied Physiology*.

Coggan, A., y Coyle, E. (1989). Metabolism and performance following carbohydrate ingestion late in exercise. *Medicine Science Sports Exercise*.

Coombes, J., y Hamilton, K. (2000). The Effectiveness of Commercially Available Sports Drinks. *Sports Med*.

Coyle, E., Hagberg, J., Hurley, B., Martin WH, Ehsani AA, Holloszy JO (1983). Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *Journal of Applied Physiology*.

Coyle, E., Coggan, A., Hemmert, M., Ivy JL. *Journal of Applied Physiology*.

Fajans, S., Floyd, J. Jr., Knopf, J., y Conn, J. (1967). Effect of amino acids and proteins on insulin secretion in man. *Recent Progress in Hormone Research*.

Geyer, H., Braun, H., Burke, L, Stear, S., y Castell, L. (2011). A-Z of Nutritional Supplements: Dietary Supplements, Sports Nutrition Foods and Ergogenic Aids for Health and Performance – Part 22. *British Journal of Sports Medicine*.

Goulet, E. (2009). *Pre-Exercise Hyperhydration to Improve Exercise Endurance Performance: Why, When, How and Possible Side Effects*.

Greenhaff, P. (2000) Creatine. En R. Maughan (Ed.), *Nutrition in Sport*. Oxford: Blackwell Science.

Hoffman Jay R. and Michael J. Falvo. Proteins - *Which is best?*. Journal of Sports Science and Medicine; 3, 118-130, 2004.

Jeukendrup, A. (2000) Cycling. En R. Maughan (Ed.), *Nutrition in Sport*, pp. 562-573. Oxford, Blackwell Science.

Jeukendrup, A., y Gleeson, M. (2010). *Nutrition Supplements. Sport Nutrition - And Introduction to Energy Production and Performance*. Champaign. Champaign, Illinois, Human Kinetics Publishers.

Kerksick, C., Harvey, T., Stout, J., Campbell, B., Wilborn, C., Kreider, B., ...y Antonio, J. (2009). *Declaración de Posición de la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva: Timing de Nutrientes*.

Kreider, R., Almada, A., Antonio, J., Broeder, J., Earnest, C., Greenwood, M., ...y Ziegenfuss, T. (2004). ISSN Exercise & Sport Nutrition Review: Research & Recommendations. *Sports Nutrition Review Journal*.

Kreider, R., Wilborn, C., Taylor, L., Campbell, B., Almada, A., Collins, R.,... and Antonio, J. (2004). ISSN exercise & sports nutrition review: research & recommendations. *Journal International Society of Sports Nutrition*.

Kreider, R., Wilborn, C., Taylor, L., Campbell, B., Almada, A., Collins, R.,... and Antonio, J. (2010). ISSN exercise & sports nutrition review: research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*.

Lambert, G., Lanspa, S., Welch R., y Shi, X. (2008). Combined Effects of Glucose and Fructose on Fluid Absorption from Hypertonic Carbohydrate-Electrolyte Solutions. *JEPonline*.

Moore D., Meghann J., Robinson, J., Fry, L., Tang, J., Glover, E.,... y Phillips, S. (2009) Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *The American Journal of Clinical Nutrition*.

Noakes, T. (2001). Temperature Regulation During Exercise. Noakes T. Lore of Running. Champaign. Human Kinetics Publishers.

Petróczi, A., Naughton, D., Mazanov, J., Holloway, A., y Bingham, J. (2009). Incremento del Rendimiento con Suplementos: Incongruencia entre los Fundamentos y la Práctica.

Robergs, R. (2006). *The Importance of Hydration*.

Robergs, R. and Griffin, S. (1998). Glycerol Biochemistry, Pharmacokinetics and Clinical and Practical Applications. *Sports Med*.

Ryan A., Lambert, G., Shi, X., Chang, T., Summers, R., y Gisolfi, C. (1998). Efecct of Hypohydration on Gastric Emptying and Intestinal Absortion during Exercise. *Journal of Applied Physiology*.

Shirreffs, S. (2000). Rehydration and Recovery after Exercise. En R. Maughan (Ed.), *Nutrition in Sport*. *Blakwell Science*.

Tabatha, E., Cree, M., Sanford, S. Robert, R. Wolfe, y Tipton, D. (2006). Milk Ingestion Stimulates Net Muscle Protein Synthesis following Resistance Exercise. *Medicine Science Sports Exercise*.

Tipton K., y Wolfe, R. (2001). Exercise, Protein Metabolism, and Muscle Growth. *International Journal Sport Nutrition Exercise Metabolism*.

Wade, L. (1993). Introducción y repaso. *En Química Orgánica*. Ciudad de México: Prentice Hall Hispanoamericana.



Wilmore, J. (1996). Composición corporal y reservas de energía del cuerpo. En RJ Shepard y PA Astrand (Ed.), La resistencia en el deporte. Barcelona: Paidotribo.