

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS DE NUTRICIÓN

AUTORES

Itziar Abete^{1,2}, Marta Cuervo^{1,2}, Marta Alves^{1,3}, J. Alfredo Martínez^{1,2}

¹Instituto de Ciencias de la Alimentación de la Universidad de Navarra (ICAUN)

²Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética (FESNAD)

³Departamento de Nutrición y Dietética. Addenbrooke's Hospital. Cambridge. Reino Unido

1. INTRODUCCIÓN

La alimentación es un proceso educable que comprende un conjunto de actos voluntarios y conscientes que van dirigidos a la elección, preparación e ingestión de los alimentos, que son fenómenos muy relacionados con el medio sociocultural y económico y que determinan, al menos en gran parte, los hábitos dietéticos y los estilos de vida. La estrecha relación entre alimentación, nivel de salud y bienestar de un individuo o población, es una evidencia cada vez más documentada.

Los alimentos incorporados con la dieta sufren una serie de transformaciones en el organismo para obtener la energía y nutrientes necesarios para mantener un adecuado nivel de salud y una buena calidad de vida, lo que se conoce como proceso de nutrición. Muchas enfermedades y sus síntomas frecuentemente pueden ser prevenidas o aliviadas con una buena nutrición, por esto, la ciencia de la nutrición intenta entender diversos aspectos que influyen en la salud ¹.

El conocimiento de las características, funciones, aspectos metabólicos, fuentes alimentarias, requerimientos, así como los efectos relacionados con la deficiencia y toxicidad de los principales nutrientes que componen los alimentos son de importancia en la confección de dietas equilibradas nutricionalmente y saludables.

2. ENERGÍA Y MACRONUTRIENTES

El organismo tiene unas necesidades energéticas destinadas a mantener las funciones vitales, el crecimiento y el nivel apropiado de actividad física. La energía contenida en los alimentos es aportada por los macronutrientes denominados hidratos de carbono, grasas y proteínas, junto con el alcohol ².

2.1 Energía

Los requerimientos de energía de un individuo se han definido como el nivel de ingesta calórica procedente de los alimentos que equilibra el consumo de energía, cuando el individuo tiene una talla y una composición corporales compatibles con la buena salud a largo plazo, y que permite mantener la actividad física necesaria y socialmente deseable. En los niños y en las mujeres embarazadas o en período de lactancia, el requerimiento de calorías incluye las necesidades energéticas asociadas con la formación de tejidos o la secreción de leche en cantidades compatibles con una buena salud ³.

Cuando la ingesta de calorías es mucho más alta o baja que las necesidades de la persona, se produce un cambio en las reservas energéticas corporales. Así, cuando el desequilibrio entre

ingesta y consumo dura períodos prolongados, habrá cambios en el peso o la composición corporal, que tendrían efectos potencialmente adversos sobre la salud ⁴. Las necesidades energéticas de una persona sana están determinadas por su metabolismo basal, la actividad física y el efecto termogénico de los alimentos ⁵.

El metabolismo basal (MB) es la fracción del gasto energético, destinada al mantenimiento de los procesos vitales como la respiración, la circulación sanguínea, la síntesis de macromoléculas y constituyentes orgánicos, el bombeo de iones a través de las membranas, el mantenimiento de la temperatura, etc. Este componente constituye entre el 60-75% del gasto energético diario total y depende de varios factores como el tamaño y la composición corporal, la edad, el género, situaciones especiales como embarazo, lactancia materna, fiebre, algunas enfermedades, factores genéticos, actividad del sistema nervioso simpático y la función tiroidea ³.

El efecto termogénico de los alimentos es la fracción más pequeña del gasto energético, ya que con una dieta mixta no suele superar el 10% del gasto energético total. Este factor varía con el tamaño y la composición de la comida, siendo mayor tras el consumo de hidratos de carbono y proteínas que de grasa ⁵.

La energía consumida durante la actividad física es el componente más variable del consumo de energía. Este elemento del gasto energético fluctúa desde un mínimo de un 10% en la persona encamada hasta más del 50% del consumo total de energía en los atletas y personas activas ⁵.

o Fuentes de energía

Las demandas energéticas para cubrir las necesidades del organismo requieren la energía aportada por los alimentos y las bebidas de la dieta, fundamentalmente a través de los hidratos de carbono (4 kcal/g), las proteínas (4 kcal/g) y los lípidos (9 kcal/g). El alcohol (7 kcal/g) suministra también material combustible ⁶⁻⁸ al igual que la fibra alimentaria (2 kcal/g).

o Requerimientos

Las necesidades energéticas son relativas, ya que dependen de cada individuo en función de factores como altura, peso, género, edad, morfología individual, actividad y trabajo, clima, estado de salud y condiciones de vida ^{8, 10}. Existen numerosas aproximaciones prácticas para estimar los requerimientos basales de energía. Las más utilizadas son:

- Fórmula de Harris-Benedict para calcular en adultos el gasto energético basal (GEB) en kilocalorías por día ^{8, 10}:

$$\text{Hombres} = 66,47 + (13,75 \times \text{peso en kg}) + (5 \times \text{altura en cm}) - (4,68 \times \text{edad})$$

$$\text{Mujeres} = 655,1 + (9,6 \times \text{peso en kg}) + (1,85 \times \text{altura en cm}) - (4,68 \times \text{edad})$$

Estas ecuaciones están basadas en la calorimetría indirecta y son relativamente precisas para personas sanas, por lo que son ampliamente utilizadas⁹.

- Ecuaciones de la OMS/FAO: calculan el consumo de energía en reposo (CER), y su empleo también está muy generalizado^{8,9}.

Tabla 1: ecuaciones para el cálculo de energía en reposo.

Edad (años)	Mujeres	Hombres
0-3	$(61 \times P) - 51$	$(60,9 \times P) - 54$
4-10	$(22,5 \times P) + 499$	$(22,7 \times P) + 495$
11-18	$(12,2 \times P) + 746$	$(17,5 \times P) + 651$
19-30	$(14,7 \times P) + 496$	$(15,3 \times P) + 679$
31-60	$(8,7 \times P) + 829$	$(11,6 \times P) + 879$
>61	$(10,5 \times P) + 596$	$(13,5 \times P) + 487$

P peso en kg

A los requerimientos calculados se les debe añadir un número de kilocalorías correspondientes a la actividad física y el efecto termogénico de los alimentos (aproximadamente el 10% del CER en una dieta mixta). Los factores de actividad física que se recomiendan aplicar para su estimación son^{8, 10}:

Tabla 2: Factores de actividad física.

	Ligera	Moderada	Alta
Hombres	1,55	1,78	2,10
Mujeres	1,56	1,64	1,82

En el caso de pacientes desnutridos o muy obesos se debe emplear el peso corporal ajustado, ya que en los primeros se pueden infraestimar los requerimientos en un 20% y en los obesos sobreestimarlos en porcentajes similares. En pacientes enfermos se recomienda la corrección de la fórmula por un factor de estrés, variable en función del tipo y gravedad de la enfermedad^{11, 12}. En el embarazo, la OMS aconseja una ingesta adicional sobre la basal (si no existe

sobrepeso) de 150 kcal/día durante el primer trimestre y de 250-300 kcal/día en el resto. Durante la lactancia se propone un incremento en la ingesta de 300-500 kcal/día⁹.

2.2 Hidratos de carbono

También conocidos como carbohidratos o glúcidos, constituyen la principal fuente de energía de diferentes modalidades de alimentación: oral, enteral y parenteral¹³. Para las células, la glucosa proporciona la mayoría de la energía utilizable, aunque la glucosa libre raramente existe en los alimentos. Los hidratos de carbono presentan una importante función energética, poder edulcorante y de conservación de los alimentos, y algunos, moderado/elevado contenido en fibra. Este tipo de nutrientes se clasifican en dos grupos:

- Glucémicos: se absorben y tienen una función interna relacionada con la glucemia.
- No glucémicos: no se digieren, por lo que pasan al intestino grueso donde son fermentados por la flora intestinal, dando lugar a diversos compuestos. Este tipo de hidratos de carbono constituye lo que se denomina fibra alimentaria y en realidad no es un nutriente propiamente dicho, puesto que al no digerirse sustancialmente no va a desempeñar ninguna “función interna”. Hay dos tipos de fibra: fibra soluble e insoluble.

La fibra soluble esta formada por componentes (oligosacáridos y polisacáridos: inulina, pectinas, gomas y fructooligosacáridos), que captan mucha agua y son capaces de formar geles viscosos. Éstos son fermentables por los microorganismos intestinales, por lo que favorece el desarrollo de flora bacteriana y aumenta también el volumen de las heces y disminuye su consistencia. La fibra soluble, además de captar agua, es capaz de disminuir y ralentizar la absorción de grasas y azúcares de los alimentos, lo que contribuye a regular los niveles de colesterol y de glucosa en sangre¹⁴. Este tipo de fibra predomina en las legumbres, los cereales (avena y cebada) y en algunas frutas. La fibra insoluble está integrada por determinadas sustancias (celulosa, hemicelulosa, lignina y almidón resistente) que retienen poca agua y se “hinchon” habitualmente poco. Los componentes de este tipo de fibra son poco fermentables y resisten la acción de los microorganismos del intestino. El principal efecto de la fibra insoluble en el organismo es aumentar el volumen de las heces y disminuir su consistencia y su tiempo de tránsito a través del tubo digestivo. Como consecuencia, este tipo de fibra, al ingerirse diariamente, facilita las deposiciones y previene el estreñimiento¹⁴. La fibra insoluble predomina en alimentos como el salvado de trigo, granos enteros y algunas verduras.

o Utilización nutritiva

Por regla general los hidratos de carbono son absorbidos fácilmente, aunque la malabsorción de lactosa puede afectar a la mayoría en, como mínimo, cierto grado ¹⁵.

En el caso de los hidratos de carbono glucémicos, según el número de moléculas que los forman se clasifican en monosacáridos (glucosa, fructosa, galactosa...), disacáridos (sacarosa, lactosa...) y polisacáridos (glucógeno y almidón- dietéticamente se suelen llamar hidratos de carbono complejos-)¹⁶. El metabolismo de estos nutrientes comienza en la boca por acción de la ptialina o amilasa salival (que digiere parcialmente el almidón), la digestión continúa en el intestino delgado por acción de la amilasa pancreática, dando lugar a moléculas más pequeñas como glucosa, maltosa, maltotriosa y dextrinas límite. La glucosa entra al medio interno sin posteriores modificaciones y los demás productos continúan transformándose hasta sus monosacáridos constituyentes por acción de las enzimas del borde en cepillo ¹⁵. Una vez atraviesan las microvellosidades intestinales, gran parte de la glucosa se vierte de modo directo al torrente sanguíneo y se transporta a los diferentes órganos, especialmente al cerebro, músculos, riñones y tejido adiposo, en los que se absorberá gracias a la acción de la insulina. Otra parte de la glucosa comenzará la glucogénesis y se almacenará en forma de glucógeno en el hígado y músculo. Cuando todos los depósitos de glucógeno están llenos, la concentración de glucosa sobrante es transformada en ácidos grasos y triglicéridos (lipogénesis *de novo*), básicamente en hígado y tejido adiposo. Los triglicéridos formados en hígado son liberados al torrente circulatorio en forma de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) pasando posteriormente al tejido adiposo para su almacenamiento ¹⁷.

o Funciones

- Son normalmente la principal fuente de energía del organismo y aportan 4 kcal/g.
- Modulan y ahorran el consumo de proteínas y grasas.
- Forman parte de la estructura del RNA y DNA.
- La galactosa, durante el primer año de vida, es imprescindible para el correcto desarrollo cerebral y de la flora bacteriana del intestino (es una barrera natural indispensable).
- En el caso de la fibra dietética:
 - Previene el estreñimiento.
 - Produce saciedad.
 - Regula la absorción de glucosa y, por tanto, la glucemia.
 - Ralentiza y disminuye la absorción de colesterol.

- Aumenta la velocidad de tránsito intestinal, previniendo en cierta medida el riesgo de cáncer de colon.
- Favorece el desarrollo de la microbiota intestinal.
- Aporta hasta 2 kcal/g.

○ Fuentes alimentarias

Los cereales (arroz, pasta, pan, etc.) y las legumbres son buenas fuentes de hidratos de carbono complejos. Los hidratos de carbono simples, fundamentalmente, se encuentran en el azúcar, miel y todos los productos elaborados a partir de los mismos y, en menor cantidad, en leche, frutas y verduras.

○ Recomendaciones

Una dieta adecuada suele recomendar entre 50-60% de la ingesta diaria de energía en forma de carbohidratos, mayoritariamente hidratos de carbono complejos ^{8, 18, 19}. Con respecto a la fibra dietética se aconseja un consumo entre 25-30 g/día ^{8, 19}.

○ Deficiencias

El organismo comienza un proceso metabólico alternativo (gluconeogénesis) para producir glucosa con una ingesta de hidratos de carbono por debajo de 50 g/día. Este proceso se inicia con la disminución de la producción de insulina, que a su vez supone la liberación de ácidos grasos de las células adiposas. Estos ácidos grasos van al hígado donde producen acetyl-CoA, que va a dar lugar a gran cantidad de energía y cuerpos cetónicos; los cuales se liberan a la sangre (como ácido acético, ácido hidroxibutírico y acetona- esta última es la que produce mal aliento-) y originan cetogénesis. En caso de que esta situación se prolongue en el tiempo, el organismo tiene capacidad de emplear los cuerpos cetónicos para producir nuevamente energía; sin embargo, ésta no es la situación ideal ².

○ Toxicidad

No existe una cantidad máxima ni una toxicidad claramente definida respecto a los hidratos de carbono. Sin embargo, un consumo excesivo de hidratos de carbono glucémicos y especialmente sencillos se ha asociado con la formación de caries, desarrollo de diabetes e incluso obesidad. En el caso de la fibra, cantidades superiores a 60g/día, puede interferir con la absorción de ciertas vitaminas y minerales. Además, si no se acompaña de suficiente agua, puede endurecer las heces y producir estreñimiento ¹⁷.

2.3 Lípidos

Las grasas constituyen un grupo estructuralmente heterogéneo, pero con características físico-químicas similares de solubilidad, pues son inmiscibles en agua y solubles en disolventes orgánicos. Estos macronutrientes se pueden clasificar según su composición en simples (ácidos grasos- saturados o insaturados-, grasas neutras- triglicéridos- y ceras), compuestos (fosfolípidos y glucolípidos) y lípidos derivados (colesterol, esteroides, vitaminas A, D, E, K y sales biliares).

○ Utilización nutritiva

La digestión de las grasas se inicia en el estómago (mediante la acción de lipasas gástricas), aunque fundamentalmente tiene lugar en el duodeno donde por la acción de lipasas pancreáticas se digieren parcialmente y dan lugar a ácidos grasos, mono y diglicéridos, también se forman lisifosfolípidos y colesterol libre. Los ácidos grasos se absorberán posteriormente en el intestino (con la ayuda de sales biliares), y la mayor parte de éstos serán transportados mediante lipoproteínas al hígado. Una vez en sangre pueden acumularse como grasa de depósito (especialmente subcutánea y retroperitoneal), aunque también puede ser utilizada por las células ¹⁷.

○ Funciones ^{6,7}

- Son fuente de energía metabólica: 1g de lípido aporta 9 kcal.
- Aportan ácidos grasos esenciales: ácidos linoleico (ω_6) y α -linolénico (ω_3), así como sus derivados.
- Forman parte de la estructura de las membranas celulares.
- Favorecen la lubricación y acondicionamiento de las superficies corporales.
- Favorecen el mantenimiento de la reserva proteica, ya que en caso de déficit de glucosa el primer sustrato para producir energía son las grasas.
- Sirven de vehículo para el transporte y absorción de vitaminas liposolubles.
- Son precursores de hormonas y otras moléculas que intervienen en la señalización celular y en la regulación de la expresión de genes.
- El tejido adiposo actúa también como aislante térmico.
- Afectan a la palatabilidad de los alimentos.

○ Fuentes alimentarias

Estos macronutrientes se encuentran fundamentalmente en aceites, mantequillas y margarinas, y en menor cantidad en carnes, pescados grasos (y sus derivados), huevos, productos lácteos enteros (leche, quesos curados, postres lácteos...) y productos de bollería y repostería.

o Recomendaciones

El aporte energético de las grasas se aconseja normalmente que sea inferior al 30% del contenido calórico total y que los ácidos grasos saturados aporten <7% de la energía⁸. La ingestión de ácido linoleico debería representar entre el 2 y el 6% de la energía total, y la del ácido α -linolénico ⁸, entre el 0,5 y el 1% de la energía total. Además se ha fijado una ingesta razonable de colesterol (<300 mg/día) ^{8, 18}.

o Deficiencias

La deficiencia de ácidos grasos esenciales puede producir alteraciones en la piel (sequedad, agrietamiento o escamas), alteraciones hepáticas y también puede alterar la integridad de las membranas celulares y afectar a la formación de prostaglandinas y tromboxanos necesarios para la coagulación y vasodilatación de las arterias. Por otro lado, las diversas funciones de la grasa implican que la dieta deba contener al menos el 15% de la energía procedente de este nutriente que en el caso de mujeres en edad fértil asciende al 20% de la energía total de la dieta ².

o Toxicidad

Un exceso de lípidos en la dieta se asocia a obesidad, arterioesclerosis, pancreatitis, hepatitis y distintos tipos de cáncer ⁶.

2.4 Proteínas

Estos nutrientes están constituidos por secuencias lineales de aminoácidos con estructura y funciones biológicas diversas. En la naturaleza existen cientos de aminoácidos distintos, pero sólo una veintena integran las proteínas. Según su complejidad, hay proteínas simples (albúmina, globulinas, colágeno...), conjugadas e integradas con azúcares, metales, ácidos, etc. (lipoproteínas, glucoproteínas, mucoproteínas, metaloproteínas...) y proteínas derivadas. De los aminoácidos integrantes en proteínas, nueve son esenciales (histidina- sólo imprescindible en la infancia- isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina). De esta forma, una proteína que contiene todos los aminoácidos esenciales en cantidades que superan un patrón óptimo para el organismo se considera de “alta calidad” o “proteína de alto valor biológico”, en cambio, si presenta déficit en algún

aminoácido esencial (aminoácido limitante), tomando como referencia dicho patrón, se considera de “baja calidad” o “proteína de bajo valor biológico”⁶.

o Utilización nutritiva

La digestión de proteínas comienza en el estómago por la acción del ácido clorhídrico y enzimas proteolíticas (pepsinas), y continúa en el duodeno mediante la acción de tripsinas, quimiotripsinas pancreáticas y peptidasas mucosales. Los aminoácidos libres se absorben y se transportan al hígado donde sufren una serie de cambios metabólicos, pasando posteriormente al torrente sanguíneo de donde se dirigen a los tejidos y finalmente al riñón (allí serán eliminados en forma de urea).

o Funciones^{6, 7}

- Se utilizan para suministrar energía, en los casos en que las calorías aportadas por otros nutrientes no son suficientes. Cuando se produce la oxidación de 1 g de proteína se generan 4 kcal.
- Las proteínas desempeñan una función estructural.
- Son esenciales para el crecimiento siempre que haya un aporte adecuado de energía.
- Proporcionan los aminoácidos esenciales fundamentales en la síntesis tisular. El organismo experimenta constantemente recambio de las mismas (*turn-over*).
- Tienen funciones muy diversas en el organismo: digestivas (enzimáticas hidrolíticas), endocrinas (hormonas), inmunitarias (anticuerpos).
- Facilitan el transporte de ciertas sustancias: lípidos (lipoproteínas), oxígeno (hemoglobina), etc.
- Funcionan como elemento amortiguador (ácido-base, osmótico, etc.), ayudando a mantener el pH del medio interno de importancia en la homeostasis²⁰.

o Fuentes alimentarias

Las proteínas de alta calidad biológica están presentes en las carnes rojas, las aves, la carne de cerdo, el pescado, los productos lácteos y los huevos. Las proteínas del reino vegetal son consideradas a menudo incompletas porque, en ocasiones, no contienen todos los aminoácidos esenciales en cantidad suficiente. Sin embargo, las combinaciones entre los aminoácidos procedentes de diversos alimentos vegetales producen proteínas completas de alto valor biológico (complementación biológica), sin colesterol y con menos purinas².

o Recomendaciones

En el momento actual las recomendaciones son del orden 5-30% de la energía dependiendo del organismo o país en forma de proteínas, y deben asegurar una ingesta mínima de 0,8 g de proteínas por kg de peso y día (0,8-2 g/kg/día), si bien estas recomendaciones son mayores durante la infancia, adolescencia, gestación y lactancia ^{6, 8-10, 21}.

- o Deficiencias

Una insuficiente ingesta de proteínas puede dar lugar a dos tipos de desnutrición: proteica (Kwarsiorakor) o energético-proteica ^{6, 17}.

- o Toxicidad

Algunos estudios recientes asocian un alto consumo de proteínas con una mayor pérdida de calcio por la orina, otros tratan de analizar la implicación que un alto consumo de proteínas tiene sobre el riñón. Estas investigaciones arrojan unos resultados bastante contradictorios por lo que se considera que en general, en personas sanas, un alto consumo de proteínas no supone un daño renal significativo ¹⁷.

3. AGUA Y ELECTROLITOS

El agua y los electrolitos son nutrientes esenciales para el hombre. El agua es el medio donde se producen todas las reacciones del organismo y el porcentaje corporal es muy alto. Los electrolitos son determinantes del mantenimiento de la constancia del medio interno (osmolaridad) y de los compartimentos líquidos corporales. También tienen funciones importantes relacionadas con el funcionamiento del corazón y el sistema nervioso central y, en general, con la excitabilidad celular.

3.1 Agua

El agua es el componente más abundante del cuerpo humano, y representa entre la mitad y las cuatro quintas partes del peso corporal, dependiendo sobre todo del contenido graso del organismo ³. El contenido de agua varía mucho entre los diversos tejidos, siendo máximo en las células de músculos y vísceras, y mínimo en el tejido adiposo y tejidos calcificados ²².

El contenido total de agua presenta notables variaciones entre los individuos y viene determinado fundamentalmente por la edad, el género y la cantidad de tejido adiposo ²³. Así, cuanto mayor es la edad, menor es el contenido de agua de nuestro organismo. En los recién nacidos el contenido de agua es muy elevado, pudiendo llegar hasta un 80% del peso corporal, mientras que algunos ancianos tienen un contenido en agua tan bajo como un 45%, estando muy cercano al límite mínimo compatible con la función normal ²².

Por otro lado, cuanto mayor es la cantidad de grasa del organismo, menor es el porcentaje de agua total del mismo. De acuerdo con esto, las mujeres tienen, en promedio, una menor cantidad de agua que los varones, debido a que, también en promedio, su proporción de tejido adiposo es mayor ²³.

La renovación diaria normal de agua (a través de la ingesta de alimentos y bebidas, eliminación mediante la orina, heces y sudor, y agua procedente de la oxidación) es de aproximadamente el 4% del peso corporal total en los adultos, y mucho más alta, hasta el 15% del peso corporal, en los lactantes. Aproximadamente, la mitad se elimina a través de la llamada pérdida insensible de agua, es decir, el agua que se pierde por los pulmones y la piel (por transpiración). Todas estas pérdidas insensibles aumentan en determinadas circunstancias, incluyendo las temperaturas altas, residencia a gran altura y aire seco. El ejercicio en cualquiera de estas condiciones aumenta hasta diez veces la pérdida de agua por la piel y los pulmones. La diarrea eleva de forma espectacular la pérdida intestinal de agua ²².

o Funciones

- Función estructural, ya que forma parte de todas las células, tejidos y compartimentos del organismo.
- Función lubricante, para evitar el roce entre órganos, y amortiguadora.
- Actúa como disolvente, es un excelente disolvente para los compuestos iónicos y los solutos como glucosa y aminoácidos.
- Actúa también como medio de transporte de diversas sustancias.
- Función termorreguladora, ya que mantiene la temperatura corporal.
- Puede intervenir como reactivo en reacciones del metabolismo aportando hidrogeniones o hidroxilos al medio.

o Fuentes alimentarias

El suministro de agua no proviene solamente de la ingesta de líquidos, pues muchos alimentos sólidos contienen una gran cantidad de agua. También se produce agua en la oxidación metabólica de los principios inmediatos o macronutrientes ²³.

El agua consumida como tal es una fuente fundamental de líquido, aunque en algunas zonas del mundo, una parte importante del agua se toma en forma de otras bebidas.

o Deficiencias

Cuando la ingesta de agua es menor a la eliminación, se produce deshidratación. En los individuos sanos el consumo de agua es controlado fundamentalmente por la sed, que a su vez

está regulada de forma neuroendocrina en la que participa el eje hipotálamo-hipofisario y la aldosterona. Sin embargo, en lactantes, ancianos, personas tras un ejercicio intenso o en diversas enfermedades puede reducirse la sensación de sed, con lo que existe un posible riesgo de deshidratación ²². Los signos de deshidratación son: falta de turgencia y flacidez de la piel, orina muy concentrada, y con poco volumen, sequedad de mucosas, taquicardia, desorientación ³.

- Toxicidad

La intoxicación hídrica ocurre como resultado de un exceso de ingesta de agua con respecto a su eliminación, lo que lleva como consecuencia un aumento del volumen del líquido intracelular y una disminución de la osmolaridad de los líquidos corporales. El aumento del volumen celular en las neuronas produce síntomas tales como cefaleas, náuseas, vómitos, ceguera, contracciones musculares involuntarias, convulsiones y, a veces, la muerte del paciente ²².

3.2 Electrolitos

3.2.1 Sodio

El sodio es el principal catión del líquido extracelular. Del 30 al 40% del sodio corporal está fijado en el esqueleto, y su capacidad de intercambio con el de los líquidos corporales es muy baja ²³.

- Utilización nutritiva

El sodio se absorbe rápidamente y en una gran proporción en el intestino pasando al líquido extracelular. Se elimina fundamentalmente por los riñones en la orina, y también está sujeto a cierto control neuroendocrino (ADH, aldosterona, etc.).

- Funciones

Este catión es un regulador fundamental del líquido extracelular y, por tanto, del volumen de sangre así como de numerosos factores cardiovasculares como el gasto cardíaco o la presión arterial. Además del papel que desempeña en la regulación del líquido extracelular, el sodio tiene una función importante en la regulación de la osmolaridad, el equilibrio ácido-base y el potencial de membrana de las células. También participa en el transporte activo a través de las membranas celulares, y ha de ser bombeado hacia fuera en intercambio con el potasio, para mantener un medio ambiente intracelular apropiado ²³.

- Fuentes alimentarias

El contenido de sodio de los alimentos sin procesar es bajo y raramente puede cubrir las necesidades mínimas del ser humano. Las frutas y verduras prácticamente no contienen sodio, mientras que las carnes y los pescados contienen algo más. Sin embargo, la mayor parte del sodio ingerido proviene del cloruro sódico (sal de mesa común, 40% es sodio) que se añade a los alimentos durante su cocinado o preparación industrial. Los alimentos que contienen más sodio son aquellos que sufren procesos de salazón y curado, como jamones, cecinas, embutidos y pescados en salazón.

- Deficiencias

No es frecuente encontrar deficiencias de sodio debido a una ingesta baja, ni siquiera entre los individuos que consumen dietas pobres en este elemento. La sudoración relativamente intensa tampoco suele hacer necesarios los suplementos de sal. El cuerpo puede sufrir depleción de sodio en condiciones extremas de sudoración intensa y persistente, o cuando un traumatismo, la diarrea crónica o la enfermedad renal producen una incapacidad para retenerlo ²⁴.

- Toxicidad

La ingesta excesiva aguda de cloruro sódico produce un aumento del espacio extracelular, puesto que el agua sale de las células para mantener la concentración dentro de niveles normales. El resultado final es edema e hipertensión. Sin embargo, la posibilidad de toxicidad aguda por el sodio de la dieta no constituye normalmente un motivo de preocupación, puesto que si se cubren las necesidades de agua, el riñón excreta el exceso de sodio ²⁵.

3.2.2 Potasio

Este mineral es el principal catión del líquido intracelular, por lo que desempeña un papel fundamental en el mantenimiento del equilibrio osmótico de este compartimento. Alrededor de un 98% del potasio se encuentra dentro de la célula, mientras sólo un 2% está en el espacio extracelular ²³.

- Utilización nutritiva

El potasio presente en los alimentos se absorbe (casi en un 90%) mediante un proceso de difusión pasiva, para lo cual se acompaña de agua. Una vez en el torrente sanguíneo, las concentraciones se mantienen constantes fundamentalmente gracias a la regulación renal, que lo excreta o retiene según la situación fisiológica.

○ Funciones

- Es imprescindible para mantener el equilibrio ácido- base del organismo.
- Contribuye al mantenimiento hídrico del organismo.
- Interviene en la transmisión de impulsos nerviosos.
- Interviene en la contracción del músculo liso, esquelético y cardíaco.

○ Fuentes alimentarias

Es un mineral ampliamente distribuido en los alimentos, aunque especialmente se encuentra en legumbres (alubia blanca, garbanzo, lenteja, soja), patata, verduras y hortalizas (espinaca, acelga, col de Bruselas), frutas desecadas, frutos secos, aguacate y plátano, algunas carnes (cerdo y ternera), pescado y marisco.

○ Deficiencias

La deficiencia de potasio conlleva un alto riesgo para la salud, pues puede comenzar con sensación de pérdida de apetito, calambres musculares, confusión, estreñimiento y aumento de la excreción urinaria de calcio, que de mantenerse contribuyen a que el corazón disminuya su capacidad para bombear correctamente ¹⁷.

○ Toxicidad

Un consumo de potasio en cantidades excesivas puede producir molestias gastrointestinales, aunque no una toxicidad como tal, a no ser que los riñones no funcionen correctamente. En este último caso, se puede acumular potasio en el cuerpo alterándose la función cardíaca (ya que el latido cardíaco se ve disminuido) situación que de no tratarse puede ser letal ²³.

3.2.3 Cloro

El cloro es el principal anión del líquido extracelular y, junto con el sodio, da cuenta de la mayor parte de la presión osmótica de este compartimento.

○ Utilización nutritiva

El cloro ingerido en la dieta se absorbe tanto en el estómago como en el intestino delgado, aunque es este último la fuente de absorción de cloro más importante. Este ión pasa a la circulación sanguínea donde se combina para formar el ácido clorhídrico, sustancia indispensable en las secreciones gástricas. No todo el cloro absorbido forma ácido clorhídrico, una parte importante es necesaria para los tejidos. La eliminación de cloro se hace

fundamentalmente por los riñones en la orina, aunque también pueden perderse cantidades importantes en la heces en caso de diarrea, y por la piel, en caso de sudoración muy intensa o prolongada ²³. La regulación metabólica está relacionada con la de sodio y agua.

○ Funciones

El cloro junto con el sodio, sulfato, fosfato y el bicarbonato mantienen el equilibrio ácido-base de los líquidos del organismo. Es además un elemento esencial de los jugos digestivos (gástricos) ²³.

○ Fuentes alimentarias

La mayor parte del cloro que se ingiere proviene de la sal de mesa, cloruro sódico (60% de cloruro), que se añade a los alimentos en sus diversas fases de preparación. La cantidad de cloro de los alimentos sin preparación es pobre. La cantidad de cloro que se ingiere con el agua, incluso aguas cloradas, es muy baja ²³. Los alimentos con mayores contenidos de cloruro son, entre otros, las algas marinas, el centeno, los tomates, la lechuga, el apio y las aceitunas ²⁶.

○ Deficiencias

En una dieta equilibrada es difícil que se produzcan situaciones de déficit de cloro. Las pérdidas de cloro suelen ser paralelas a las de sodio, por tanto, las condiciones asociadas con la depleción de sodio (sudoración intensa y persistente, diarrea o vómitos crónicos, traumatismo y enfermedad renal) producirán también la pérdida de cloro, provocando una alcalosis metabólica hipoclorémica ²⁶.

○ Toxicidad

La única causa dietética conocida de hipercloremia es la deshidratación por deficiencia de agua. La ingestión prolongada de grandes cantidades de cloro (en forma de sal) se ha asociado con hipertensión arterial en individuos predispuestos y en algunos modelos animales ²⁶.

4. MICRONUTRIENTES: MINERALES Y VITAMINAS

Los micronutrientes son elementos esenciales en la alimentación, que deben aportarse de forma regular y diaria. La ausencia de alguno de ellos produce enfermedades carenciales específicas, que suelen corregirse con la suplementación del mismo.

4.1 Minerales

4.1.1 Calcio

Es el mineral más abundante en el organismo y el 99% del calcio corporal se encuentra contenido en el hueso. La densidad ósea varía con la edad del individuo: aumenta con los primeros años de vida, y a partir del estado adulto, disminuye progresivamente. El resto del calcio corporal se encuentra en los líquidos intra y extracelulares, y desempeña procesos funcionales importantes ^{2,24}.

o Utilización nutritiva

El calcio se absorbe en la parte superior del intestino delgado, ya que requiere un pH < 6 y es en el duodeno donde el ácido del estómago se neutraliza parcialmente por el bicarbonato secretado por el páncreas. La absorción de este macromineral depende estrechamente de la hormona derivada de la vitamina D activa- 1,25 (OH)₂ D₃ o calcitriol-. Por lo general, se absorbe entre el 25-40% del calcio de los alimentos y en situaciones especiales (infancia o embarazo) esta absorción se incrementa considerablemente pudiendo ser de hasta el 60%. Los jóvenes absorben mayor cantidad que los mayores, especialmente las mujeres mayores de 70 años que son las que menos calcio absorben (aunque esta absorción se puede ver incrementada por la presencia de glucosa, lactosa o la propia motilidad intestinal). Una vez absorbido, el calcio pasa a sangre donde se verá regulado por diferentes hormonas como la PTH y la vitamina D activa y la calcitonina, pudiendo dirigirse a las diferentes células del organismo, hueso, dientes... Este catión se excreta fundamentalmente por las heces, aunque también se puede eliminar por la orina o a través de la piel ^{24,27}.

o Funciones

El calcio cumple numerosas e importantísimas funciones en el organismo, ya que participa en la formación y mantenimiento de los huesos y dientes, siendo esencial para la transmisión del impulso nervioso, la excitabilidad neuronal y la formación de neurotransmisores, para el adecuado funcionamiento del músculo cardíaco, el mantenimiento del tono del músculo esquelético y la contracción del músculo liso ^{28,29}. También es necesario para la coagulación sanguínea, participa en la regulación de los procesos de transporte en las membranas celulares

e intracelulares, en la secreción de jugos y hormonas, y en la liberación y activación de numerosas enzimas intracelulares y extracelulares, en la mitosis y en la fecundación³⁰.

o Fuentes alimentarias

En nuestra alimentación, la principal fuente de calcio es la leche y sus derivados (yogures, quesos, postres lácteos, etc.), éstos, además de calcio, contienen sustancias que favorecen su absorción (la vitamina D, proteínas o lactosa). Otros alimentos ricos en calcio son las conservas de pescado, pescados consumidos con espinas (por ejemplo, sardinas), algunas verduras (espinaca, brécol, acelga y col), legumbres (soja, garbanzo, alubia blanca y lenteja) y frutos secos oleaginosos (almendra, avellana, pistacho)^{22, 26, 30}, aunque no todo el calcio se absorbe en la misma proporción, ya que existen notables variaciones en cuanto a su disponibilidad.

o Deficiencias

La carencia de calcio puede ser ocasionada por el insuficiente aporte dietético de este mineral, por la deficiencia de vitamina D, por la muy baja relación Ca/P en la dieta, así como por unas elevadas pérdidas. El efecto de la carencia de calcio es una insuficiente mineralización de la matriz ósea u osteoporosis que en la etapa infantil y adolescente origina el raquitismo. También se asocia con osteomalacia, detención del crecimiento, hipertensión, aumento del riesgo de cánceres (especialmente de colon) e incluso convulsiones¹⁷.

o Toxicidad

En personas sanas es poco frecuente encontrar toxicidad frente a este mineral (aunque sí se observa en ciertos casos de enfermedad renal, no por la ingesta sino por la excreción), aunque puede tener cierta relación con los cálculos renales²⁶. Pueden producirse ingestiones excesivas de calcio por el consumo de suplementos de este mineral. Dosis superiores a 2 g/día pueden ocasionar hipercalcemia, la cual puede tener efectos más o menos graves dependiendo de la intensidad de la misma. Además de interferir en la absorción de otros cationes divalentes, tales como hierro, magnesio, manganeso y zinc, la hipercalcemia puede ocasionar estreñimiento, náuseas, poliuria y cálculos renales y, en situaciones extremas, la pérdida del tono muscular, el coma y la muerte²⁷.

4.1.2 Fósforo

El fósforo es el sexto mineral más abundante en el organismo (600-900 g), representando el 0,8-1,1% del peso total del cuerpo ³⁰. De su contenido corporal total, el 80% forma parte, junto con el calcio, de la estructura mineral del hueso y el diente; el resto, la mayoría se encuentra en los tejidos blandos, y en baja proporción (1%), disuelto en el líquido extracelular²⁷.

o Utilización nutritiva

El fósforo incorporado por los alimentos es asimilado en torno a un 70% mediante un mecanismo de absorción pasiva basado en la concentración de este mineral en la luz del intestino delgado y colon. Esta absorción se ve favorecida por la presencia de la vitamina D activa. Una vez en sangre, sus niveles sanguíneos y disponibilidad celular van a depender de la regulación que realicen los riñones ¹⁷.

o Funciones

- Tiene función estructural: el 80% del fósforo corporal se encuentra en huesos y dientes en forma de fosfato cálcico.
- Es necesario para multitud de reacciones en las que se requiere energía, siendo básico en la producción de moléculas energéticas como el ATP, fosfato de creatina y fosfoenolpirúvico.
- Forma parte de los ácidos nucleicos, DNA y RNA, y de varios fosfátidos que intervienen en numerosos procesos biológicos.
- Forma parte del tejido nervioso, siendo indispensable para su adecuado funcionamiento.
- Se encuentra en el AMP cíclico, que actúa como un segundo mensajero intracelular, y en otros nucleótidos libres.
- Es integrante de fosfolípidos de las membranas celulares y participa en la regulación del equilibrio ácido-base.

o Fuentes alimentarias

Este mineral se encuentra principalmente en quesos, legumbres (alubia blanca, lenteja, garbanzo, soja), pescado (sardina enlatada, rape, lubina, carpa), cereales de desayuno, frutos secos oleaginosos (piñón, pistacho, almendra, cacahuete, nuez), semillas de sésamo y pipas de girasol, germen de trigo, yema de huevo, vísceras (molleja, hígado, sesos y riñones) ³⁰.

○ Deficiencias

Una deficiencia crónica de este mineral puede producir: pérdida ósea, disminución del crecimiento, desarrollo dental deficiente y raquitismo. También se pueden producir algunos síntomas de deficiencia de fósforo en anorexia, pérdida de peso, debilidad, irritabilidad, articulaciones rígidas y dolor óseo ²⁷.

○ Toxicidad

Alcanzar niveles tóxicos de fósforo no suele ser habitual en personas sanas, sin embargo, es un mineral a controlar en pacientes con enfermedad renal, pues si no se elimina correctamente se favorece la formación de cálculos de fosfato cálcico en los tejidos del cuerpo. Además, altas concentraciones de este mineral inducen la liberación de la hormona paratifoidea, que contribuye a la pérdida ósea. El exceso de fósforo es responsable de síntomas fundamentalmente musculares, como la tetania ²⁶.

4.1.3 Magnesio

El magnesio es un mineral necesario para el transcurso de cientos de reacciones metabólicas en el organismo. Más de la mitad del magnesio corporal se encuentra unido al calcio y al fósforo formando parte de los huesos, mientras que el resto se distribuye por los distintos órganos y tejidos ³⁰.

○ Utilización nutritiva

Por lo general se absorbe aproximadamente un 40-60% del magnesio ingerido por la dieta mediante mecanismos de absorción pasiva y activa. Éstos tienen lugar en el intestino delgado y se ven favorecidos por la presencia de la vitamina D activa. Una vez en sangre, las concentraciones para este mineral se ven reguladas por los riñones y pueden o bien almacenarse en los huesos (o depositarse en cantidades más pequeñas en otros tejidos - por ejemplo, músculo-), o bien eliminarse en orina ^{17,30}.

○ Funciones

- Proporciona consistencia al hueso (interviene en el metabolismo del hueso y contribuye a la estructura ósea).
- Interviene en diversas funciones enzimáticas.
- Participa en la función nerviosa y cardíaca.
- Está implicado en la regulación de la presión arterial.

- Fuentes alimentarias

El magnesio se encuentra en legumbres (alubia blanca, garbanzo y soja), cereales (arroz, trigo y cereales de desayuno), verduras de hoja verde (acelga, espinaca), queso, frutos secos oleaginosos (piñón, pistacho, almendra, cacahuete, nuez), semillas de sésamo y pipas de girasol, germen de trigo y chocolate negro ³⁰.

- Deficiencias

Las deficiencias de magnesio provocan taquicardias que se acompañan en ocasiones de debilidad, espasmos musculares, desorientación, náuseas, vómitos y convulsiones ³⁰.

- Toxicidad

En personas sanas no suele producirse, sin embargo, en personas con insuficiencia renal, una ingesta excesiva de este mineral puede provocar diarrea y debilidad ¹⁷.

4.1.4 Hierro

El hierro es un oligoelemento necesario para una amplia variedad de funciones biológicas ³¹. La cantidad de hierro presente en el organismo varía de 3 a 5 gramos. La deficiencia de hierro sigue siendo el déficit nutricional más frecuente en países industrializados a pesar de las mejoras de la dieta. Diariamente nuestra dieta nos aporta de 10 a 20 mg de hierro, que puede estar tanto en forma inorgánica como orgánica. El hierro inorgánico son las sales férricas o Fe^{3+} y sales ferrosas o Fe^{2+} , el hierro orgánico se refiere al que está contenido en los grupos hemo. El hierro inorgánico procedente de la dieta ha de ser convertido en Fe^{2+} ya que el organismo es capaz de utilizar las sales ferrosas pero no las férricas.

- Utilización nutritiva

Los depósitos de hierro tienen una fuerte influencia reguladora sobre la cantidad de hierro absorbido. La absorción de hierro aumenta lentamente a medida que disminuyen los depósitos y demuestra una pronunciada elevación cuando los depósitos se agotan ³².

El contenido de hierro del organismo se halla regulado principalmente por cambios en la cantidad de hierro absorbido por la mucosa intestinal. La absorción de hierro se halla regulada por las células de la mucosa en la parte proximal del intestino delgado y se produce principalmente en el duodeno y en el yeyuno proximal. El hierro hemo y no hemo es absorbido por medio de mecanismos diferentes. El hierro hemo es más biodisponible y se absorbe en cantidad apreciable (40% del ingerido). La absorción del hierro no hemo es muy

variable (del 10 al 50% del ingerido) y puede verse favorecida por varios factores, que incluyen el ambiente ácido (de la vitamina C, ácido cítrico, ácido láctico, ácido clorhídrico y aminoácidos) y la presencia de proteínas animales. Los inhibidores de la absorción del hierro no hemo comprenden fitatos, ácido oxálico, polifenoles, calcio, menor acidez gástrica y antiácidos magnesados ³².

En el primer caso, la absorción es directa, después de que el hierro se libera de la proteína a la que suele ir asociado (hemoglobina y mioglobina). En el segundo, el hierro no hemo debe pasar a la forma hemo y posteriormente se absorbe también de forma directa. Una vez absorbido, se une a una proteína (apoferritina) y forma ferritina, que es el modo como se almacena en las células- en este caso intestinales-. Según las necesidades, se transporta en sangre mediante la transferrina y va al hígado donde puede acumularse (en forma de hemosiderina) o enviarse a otros órganos y tejidos para ser utilizado.

o Funciones

- El hierro interviene en el transporte sanguíneo de oxígeno en la sangre (hemoglobina) y los tejidos (mioglobina).
- Es integrante de enzimas que regulan algunos de los procesos de detoxificación de fármacos, excreción de carcinógenos en hígado, etc.
- Es necesario para la síntesis de ADN.
- Forma parte de enzimas que intervienen en procesos redox (catalasas, peroxidasas, citocromos...) para la obtención de energía metabólica en forma de ATP, y a su vez actúa como cofactor de algunas reacciones.
- Es imprescindible para el crecimiento tisular y es responsable de las capacidades de trabajo, memoria y concentración.
- Interviene en la regulación de la temperatura corporal, ya que es constituyente de algunas de las enzimas que regulan este proceso.

o Fuentes alimentarias

De hierro hemo, las principales fuentes alimentarias son: vísceras, carnes rojas, pescados (sardina, lubina, bacalao y caballa), marisco (berberecho, sepia, almeja, mejillón, ostra, langostino y gamba). El hierro no hemo (el más abundante) se encuentra fundamentalmente en: legumbres (lenteja, garbanzo, soja, alubia blanca y guisante), cereales integrales y verduras (espinacas y acelga), frutos secos y semillas oleaginosas (pistacho, piñón, almendra, avellana, semillas de sésamo y pipas de girasol), germen de trigo y harina de soja. Además, actualmente se comercializan bastantes productos enriquecidos en este mineral ²⁶.

○ Deficiencias

La deficiencia de hierro surge cuando la cantidad ingerida no satisface las necesidades del organismo, debido a una ingesta dietética insuficiente, una absorción deficiente o un exceso en las pérdidas fisiológicas. La deficiencia de hierro se manifiesta mediante anemia ferropénica (también conocida como ferropriva), en la que los niveles de hemoglobina permanecen muy por debajo de los valores normales. Esta anemia se caracteriza por microcitosis e hipocromia. La palidez es el signo más común observado en esta deficiencia, aunque puede estar acompañada de esplenomegalia y la curva de peso tendida.

○ Toxicidad

En personas sanas no suele ser habitual, pues el organismo tiene un bloqueo mucoso para evitar la absorción excesiva de este mineral. No obstante, se puede producir toxicidad cuando se padece hemocromatosis (enfermedad genética) y/o si se realizan infusiones de sangre repetidas, pues en ambos casos esta protección se ve afectada ¹⁷.

4.1.5 Zinc

Es un oligoelemento esencial, que en los últimos años ha cobrado importancia por su relación con el mantenimiento de la salud de personas sanas ^{31,33}.

○ Utilización nutritiva

Este mineral se absorbe totalmente en el intestino delgado (concretamente duodeno distal y yeyuno proximal) mediante captación y unión a la mucosa y posterior liberación al torrente sanguíneo. La biodisponibilidad de este mineral se ve afectada por sus niveles corporales, grado de digestión de los alimentos, tiempo de tránsito intestinal y factores alimentarios como las proteínas animales y los aminoácidos, que favorecen su absorción, y el ácido fítico que la disminuye ³⁴. Una vez absorbido, el zinc pasa a la circulación portal y se transporta, mediante albúmina, con rapidez al hígado. Éste a su vez lo libera a la circulación general unido a otras proteínas (principalmente globulinas). Generalmente se elimina mediante la orina y el sudor¹⁷.

○ Funciones

Constituyente de enzimas, que afectan de forma directa o indirecta en algún proceso o estructura del organismo ²⁶. De esta forma interviene en:

- Procesos de catálisis o estabilización enzimática (más de 200 sistemas enzimáticos).
- Regulación de la expresión genética, metabolismo del alcohol y proteico.

- Crecimiento y desarrollo del organismo.
- Es imprescindible para las funciones de diversos tejidos y especialmente para el inmunitario.

- o Fuentes alimentarias

El zinc se encuentra ampliamente distribuido en los alimentos, sin embargo, las principales fuentes alimentarias son: vísceras, carne (cordero, ternera), marisco (ostra cruda, bogavante, mejillón), legumbres (soja, lenteja, alubia blanca), germen de trigo, quesos curados, cereales de desayuno ricos en fibra, frutos secos oleaginosos, semillas oleaginosas (piñón, cacahuete, almendra, nuez, semillas de sésamo, pipas de girasol), brócoli, coliflor y yema de huevo ³⁵.

- o Deficiencias

Una deficiencia de zinc afecta de manera distinta a las diferentes funciones. Se sabe que una deficiencia grave en humanos puede producir detención considerable del crecimiento, alteraciones en la inmunocompetencia, sensibilidad gustativa deficiente (hipogeusia) y deterioro de la función sexual en varones ³⁶.

- o Toxicidad

Cuando se superan los 40 mg/día, interfiere con el cobre disminuyendo algunas actividades enzimáticas. Si se superan los 100 mg/día puede causar diarrea, calambres, náuseas, vómitos y depresión del sistema inmunitario ³⁶. Estos niveles son alcanzables con la ingesta de algunos preparados de vitaminas y minerales que contienen zinc.

4.1.6 Yodo

La ingesta de este micronutriente es el más fácil de monitorizar mediante la determinación de la concentración de hormonas tiroideas T₃ y T₄ y la hormona hipofisaria estimulante del tiroides (TSH) por radioinmunoensayo. Las hormonas tiroideas desempeñan un papel muy básico en la biología, actuando sobre la transcripción genética para regular la tasa metabólica basal. La deficiencia total de hormonas tiroideas puede reducir la tasa metabólica basal hasta un 50%, mientras que la producción excesiva de hormonas tiroideas puede incrementar el metabolismo basal hasta un 100%.

- o Utilización nutritiva

La mayor parte de este anión se absorbe como yoduro, de forma rápida y casi completa en el estómago y duodeno. El yodo que se añade en la sal yodada- cada vez más utilizada para

prevenir posibles deficiencias- se encuentra en forma de yodato y se absorbe en el duodeno. Una vez en sangre, se transporta principalmente en forma de iones libres y en menor cantidad también puede ir unido a proteínas. La mayor parte se dirige a la glándula tiroides y otros compartimentos extracelulares del organismo para sintetizar hormonas tiroideas y se excreta fundamentalmente a través de la orina y la saliva ¹⁷.

o Funciones

- Síntesis de hormonas tiroideas: tiroxina (T₄) y triiodotironina (T₃) de gran importancia para el metabolismo ².
- La T₄ actúa como un precursor de la T₃, la cual es (con algunas excepciones menores) la hormona biológicamente activa, cuya acción es indispensable para el crecimiento y maduración del sistema nervioso central en la etapa prenatal y los primeros años de vida del ser humano, además de su crecimiento y desarrollo somático ulterior, junto con diversas funciones celulares.

o Fuentes alimentarias

Las principales fuentes alimentarias de yodo son los pescados de origen marino, mariscos, algas marinas, sal común y yodada, algunas verduras (acelga, espárrago, puerro, berro, zanahoria), leche y derivados, embutidos curados (salchichón, chorizo, jamón curado, jamón cocido), soja en grano, patata, huevo y frutos secos oleaginosos (cacahuete, avellana) ²⁶.

o Deficiencias

Las deficiencias en este mineral pueden producir bocio endémico (glándula tiroides hipertrofiada) o, si tiene lugar durante el desarrollo fetal, puede dar lugar a retraso mental y físico de los niños (cretinismo) ¹⁷. Algunos alimentos contienen sustancias bociógenas.

o Toxicidad

La toxicidad de este mineral puede asociarse a una alteración inmunológica que conduce a una producción excesiva de hormonas tiroideas, las cuales no permiten el funcionamiento fisiológico de la glándula tiroides, o también por un consumo excesivo de yodo a través de alimentos ricos en yodo como las algas o suplementos dietéticos utilizados para promover la pérdida de peso que son altos en yodo. Los síntomas incluyen: aumento de la tasa metabólica basal, apetito voraz, sed, pérdida de peso, debilidad general, intolerancia al calor, nerviosismo, problemas cardíacos entre otros ³¹.

4.1.7 Selenio

Este mineral interesa por sus acciones antioxidantes, contribuye a la producción de hormonas tiroideas y tiene posibles aplicaciones para la prevención del cáncer ²⁶.

○ Utilización nutritiva

El selenio se encuentra presente en diversas formas iónicas; sin embargo, el contenido en los alimentos suele estar unido a derivados de metionina y cisteína. La biodisponibilidad de este mineral se ha estimado entre un 50-100% del selenio ingerido y este proceso parece no estar regulado por ningún mecanismo fisiológico conocido. En cuanto a su transporte, solamente se conoce que este elemento está disponible para utilizarse cuando se cataboliza el aminoácido al que se encuentra unido. De ahí se incorpora a macromoléculas, que o bien se transportan a los diferentes órganos, o bien se excretan por orina o heces ¹⁷.

○ Funciones

- Interviene en el funcionamiento de la glándula tiroides.
- Es antioxidante, ayuda a neutralizar los radicales libres.
- Estimula el sistema inmunológico.
- Constituye la selenocisteína y selenometionina (aminoácidos incorporados en ciertas enzimas).

○ Fuentes alimentarias

Se encuentra principalmente en vísceras (hígado, riñón), pescado, carne, huevos, cereales, pan y semillas.

○ Deficiencias

La deficiencia de selenio es relativamente rara, pero puede darse en pacientes con disfunciones intestinales severas o con nutrición exclusivamente parenteral, así como en poblaciones que dependan de alimentos cultivados en suelos pobres en selenio. Los síntomas típicos de deficiencia son dolores, desgastes musculares y cardiomiopatía (daño cardíaco) ²⁶.

○ Toxicidad

Un exceso dietético de selenio puede resultar tóxico. Así un consumo regular de más de 400 µg puede provocar selenosis. Los signos más característicos son (además de una concentración sanguínea elevada) pérdida de pelo, que a veces se asocia con halitosis, náuseas, diarrea, fatiga y alteración de las uñas ²⁶.

4.1.8 Cobre

El cobre es un oligoelemento esencial para la vida de plantas y animales ³⁷. Se encuentra presente en el organismo (100-150 mg), y el 90% de esta cantidad se localiza en músculos, huesos e hígado.

o Utilización nutritiva

La absorción de cobre ocurre en el duodeno y yeyuno. Una pequeña fracción es absorbida en el estómago. La fracción de cobre absorbido varía entre un 15 y un 80% (más frecuentemente entre 40 y 60%). La forma química en la que el cobre se encuentra en el lumen intestinal afecta marcadamente su absorción. A medida que la solubilidad es mayor, la absorción es más eficiente. El pH gástrico asume una función importante al facilitar la solubilidad del cobre y modular la interacción con ligandos y otros componentes del bolo alimenticio. Una vez absorbido el cobre, es transportado desde la mucosa intestinal a la sangre portal unido principalmente a la albúmina, y en menor proporción unido a transcupreína, aminoácidos (histidina, treonina, cisteína) o péptidos que contienen estos aminoácidos ³⁷.

El hígado desempeña un papel central en la excreción de cobre y el control del metabolismo de este mineral. El tejido hepático utiliza el cobre atrapándolo en proteínas quelantes de este mineral, las cuales lo transfieren a cuproenzimas y a la ceruloplasmina. Una proporción del mismo es almacenada en el hígado unida a la metalotioneína, superóxido dismutasa y otras proteínas gigantes, mientras que el exceso es excretado hacia la bilis.

La eliminación del cobre ocurre principalmente por el tracto gastrointestinal, sea por la excreción biliar, sea como cobre no absorbido. Las pérdidas por el sudor, menstruación u orina son mínimas.

En la sangre el cobre se distribuye principalmente entre los eritrocitos y el plasma. Alrededor de un 60% del cobre eritrocitario se localiza en la superóxido dismutasa, mientras que el 40% remanente se halla unido laxamente a otras proteínas y aminoácidos.

En el plasma, alrededor de un 90-95% del cobre aparece ligado firmemente a la ceruloplasmina, y el 5-10% remanente se encuentra unido menos firmemente a la albúmina, transcupreína, y otros componentes de bajo peso molecular ³⁷.

o Funciones

El cobre contribuye a la formación de glóbulos rojos y al mantenimiento de los vasos sanguíneos, nervios, sistema inmunológico y huesos, además se encuentra en algunas enzimas

como la citocromo c oxidasa, la lisil oxidasa y la superóxido dismutasa, es necesario para el metabolismo del colesterol, contractilidad del miocardio, metabolismo de la glucosa y desarrollo cerebral ³⁷.

- Fuentes alimentarias

El cobre se encuentra en una gran cantidad de alimentos tales como ostras, mariscos, legumbres, vísceras (especialmente el hígado), nueces y semillas entre otros, además del agua potable ²⁶.

- Deficiencias

Es muy raro que se produzca una deficiencia de cobre en el organismo. Puede producirse deficiencia de cobre en niños con una dieta pobre en calcio, especialmente si presentan diarreas o desnutrición. También hay enfermedades que disminuyen la absorción de cobre, como la enfermedad celiaca, la fibrosis quística o el seguimiento de dietas restrictivas. Entre las manifestaciones se hallan la anemia, neutropenia y desmineralización ósea intensa ³⁷.

- Toxicidad

El desequilibrio de cobre en el organismo cuando se produce en forma excesiva ocasiona una alteración hepática conocida como enfermedad de Wilson, cuyo origen es hereditario; aparte del trastorno hepático que provoca también daña al sistema nervioso. En todo caso se trata de una enfermedad poco común ²⁶.

La toxicidad crónica de origen ambiental es aún más infrecuente. Ésta suele ocurrir en conglomerados en áreas geográficas específicas. La ingestión de niveles altos de cobre puede producir náuseas, vómitos y diarrea. Un exceso de cobre en la sangre puede dañar el hígado y los riñones, e incluso causar la muerte³⁷.

4.1.9 Flúor

El flúor es un oligoelemento que se encuentra en el organismo en cantidades que varían entre los 2,6 y los 4 g, se localiza en dientes, piel, tiroides, huesos, plasma, linfa y vísceras ³⁰.

- Utilización nutritiva

La principal vía de incorporación del fluoruro al organismo es la digestiva. La absorción de este elemento se lleva a cabo por difusión simple y ocurre fundamentalmente en el intestino delgado (75-80%) y en menor proporción en el estómago (20-25%). El fluoruro del agua de bebida se absorbe casi en su totalidad (95-97%), y en una menor proporción, el procedente de

la dieta (60-70%). Una vez absorbido pasa a la sangre y de ahí a los restantes tejidos, fijándose específicamente en los huesos y dientes, con los que tiene gran afinidad.

o Funciones

El flúor participa en la asimilación del calcio, previene la calcificación de la aorta (arteria), caries dental, forma parte del esmalte dental y reduce la osteoporosis por sus efectos beneficiosos sobre el tejido óseo, aumentando la dureza de la estructura ósea y haciendo al hueso menos sensible a la resorción ³⁰.

o Fuentes alimentarias

La principal fuente exógena de fluoruro es el agua de bebida, sobre todo las aguas potables fluoradas, sin olvidar que algunos alimentos también contribuyen al aporte de este mineral, como son los pescados de origen marino y el té y, en menor proporción, carnes, huevos, cereales, verduras y frutas ³⁰.

o Deficiencias

La carencia de fluoruro se suele presentar en individuos que viven en lugares donde el agua de bebida contiene menos de 1 mg/l, manifestándose su déficit por la aparición de caries dental ²⁶.

o Toxicidad

El flúor, como todos los oligoelementos, es tóxico cuando se consume en cantidades excesivas. La toxicidad crónica conocida como fluorosis afecta a la salud ósea produciendo una pigmentación amarillenta de la dentadura, debilita el esmalte y los huesos provocando más caries, descalcificación y osteoporosis, también afecta la función renal, y posiblemente las funciones muscular y nerviosa. El exceso de flúor o fluorosis es irreversible y produce trastornos en el cerebro (debilita las facultades mentales y provoca un efecto mental sedante continuo) junto con fragilidad de los huesos.

4.1.10 Cromo

El cromo es un elemento esencial para mantener el metabolismo normal de la glucosa ³⁸. Se ha sugerido que la forma biológicamente activa del cromo, denominada factor de tolerancia a la glucosa (GTF), es un complejo de Cr^{3+} , ácido nicotínico y posiblemente los aminoácidos glicina, glutamato y cisteína.

○ Utilización nutritiva

Una vez absorbido, el cromo se transporta, muy probablemente, unido a la misma proteína plasmática que transporta el hierro, la transferrina. Se desconoce si el factor de tolerancia de glucosa (GTF), al pasar a la sangre, después de absorberse en el intestino delgado, se transporta como tal GTF, o si también se une a la transferrina. La mayor parte del cromo absorbido se acumula en el hígado, y en los hepatocitos se utiliza para producir GTF. El hígado secreta al plasma ciertas cantidades de GTF, a fin de facilitar la acción de la insulina. El GTF estimula la acción de la insulina, y después se elimina mayoritariamente por el riñón, con pequeñas cantidades en el sudor, pelo y bilis.

○ Funciones

Potencia la acción de la insulina, influyendo en el metabolismo de los hidratos de carbono, los lípidos y las proteínas ^{38, 39}.

○ Fuentes alimentarias

Los alimentos más ricos en cromo son las levaduras de cerveza, pimienta negra, jugo de uva (mosto). Sin embargo, las verduras y carnes no tienen concentraciones tan altas de cromo como los alimentos citados. La levadura de cerveza, hígado y pimienta negra son especialmente interesantes en cuanto que el cromo que contienen favorece la acción biológica de GTF ²⁶.

○ Deficiencias

Las poblaciones de países desarrollados que consumen alimentos refinados son las mayores candidatas a presentar deficiencia de cromo. Un estado deficiente de cromo puede ser responsable, al menos en parte, de algunos casos de intolerancia a la glucosa, hiperglucemia, hipoglucemia, glucosuria y resistencia a la insulina e hipercolesterolemia ³⁹⁻⁴¹. También se han encontrado signos de deficiencia en cromo en sujetos sometidos a nutrición parenteral total con bajos niveles de cromo durante largos períodos de tiempo, que se traduce en una alteración de la tolerancia a la glucosa, pérdida de peso, trastornos neurológicos, aumento de las concentraciones de ácidos grasos libres en el plasma, anormalidades en el metabolismo del nitrógeno y depresión respiratoria ^{26, 40}.

○ Toxicidad

La toxicidad por ingestión oral del Cr^{3+} , forma predominante en los alimentos, es poco plausible, ya que su absorción es escasa. Este elemento puede tener un efecto inductor de fallo renal crónico. La toxicidad por cromo ocurre en los ambientes industriales bajo la forma de Cr^{6+} en los que el contacto con la piel de este elemento y su inhalación es frecuente. La exposición crónica a este micromineral tiene un efecto cancerígeno a nivel pulmonar en el ser humano y puede provocar dermatosis ²⁶.

4.1.11 Molibdeno

El molibdeno puede existir en varios estados de oxidación (+3, +4, +5 y +6) y, como consecuencia, funciona como facilitador de las reacciones de transferencia de electrones. Se encuentra sobre todo en hígado, riñón, piel y huesos.

○ Utilización nutritiva

El molibdeno se encuentra en cantidades muy pequeñas en el cuerpo, se absorbe con facilidad en el tracto gastrointestinal, tanto por transporte pasivo como activo. La absorción del molibdeno se inhibe por el cobre, y unas concentraciones elevadas de molibdeno y azufre disminuyen las concentraciones séricas de cobre ³². El molibdeno es transportado a la sangre fijado a la α_1 -macroglobulina y se asocia laxamente con los hematíes durante el transporte. Se concentra básicamente en hígado, riñón, piel y huesos. Se excreta principalmente a través de la orina (90%) y en menor cantidad en la bilis (10%) ³².

○ Funciones

- Es indispensable en el metabolismo del hierro. A nivel intestinal favorece su absorción. También moviliza el hierro a partir de las reservas que hay en el hígado y ayuda a la formación de glóbulos rojos. Así pues, puede ser recomendable en algunas anemias.
- Actúa como cofactor para varias enzimas, entre ellas la xanteno oxidasa, la aldehído oxidasa y la sulfito oxidasa, que intervienen en el proceso de desintoxicación de compuestos nitrosados.
- Favorece un crecimiento y un desarrollo normales.
- Al igual que el flúor, ayuda a prevenir las caries.

- Fuentes alimentarias

El molibdeno presenta una amplia distribución en alimentos de uso común. Los alimentos más ricos en molibdeno son la leche y los productos lácteos, las legumbres, judías, carne, huevos, vísceras (hígado y riñón), los cereales integrales, sus derivados y las nueces ⁴².

- Deficiencias

La deficiencia de este oligoelemento produce acidosis, trastornos de la boca y las encías, aceleración del ritmo cardíaco, respiración rápida, ceguera nocturna e irritabilidad, hipouricemia, hiperoxipurinemia, trastorno mental y coma ³². Su déficit podría favorecer algunas disfunciones sexuales masculinas, como, por ejemplo, la impotencia.

- Toxicidad

El exceso de molibdeno y sus compuestos es altamente dañino. Entre los efectos observados relacionados con su toxicidad destacan disfunción hepática con hiperbilirubinemia, dolores en las articulaciones, manos, pies, deformidades en las articulaciones, gota, eritemas, y edema de las zonas de articulación ⁴².

4.1.12 Manganeseo

El manganeseo es un oligoelemento sobre el que todavía se ha de investigar más para entender mejor sus efectos tanto por carencia como por exceso. Se encuentra en el organismo en poca cantidad y está relacionado con la actividad de muchas enzimas.

- Utilización nutritiva

Es relativamente poco lo que se conoce de la absorción del manganeseo por el ser humano: sabemos que es muy baja, alrededor del 6%, y oscila entre el 1 y el 16%. La absorción de manganeseo es inhibida por el hierro, y parece que la fibra dietética y sobre todo el ácido fítico ejercen un efecto negativo sobre la biodisponibilidad del manganeseo ⁴². Una vez absorbido, el manganeseo se fija a la α_2 -macroglobulina y es transportado hasta el hígado donde una porción de él se oxida a Mn^{3+} , desde donde es exportado fijado a la transferrina a los tejidos periféricos y captado por un sistema mediado por receptores. Su principal vía de excreción es la bilis, apareciendo sólo una pequeña porción en la orina. Tanto los niveles plasmáticos como los de orina no parecen afectarse por las variaciones de ingesta ⁴².

o Funciones

- Se considera que el manganeso se halla implicado en la activación enzimática como componente de varias metaloenzimas, entre ellas; la arginasa, que es una enzima importante del ciclo de la urea, la piruvato carboxilasa, que es una enzima clave en el proceso gluconeogénico, y la superóxido dismutasa mitocondrial, que es una enzima fundamental en el sistema de defensa antioxidante celular ⁴².
- La fosfoenolpiruvato carboxikinasa, la acetil-CoA carboxilasa y la tirosina sulfotransferasa entre otras enzimas también requieren manganeso.
- Como componente de varias enzimas, el manganeso interviene en la liberación de energía, síntesis de ácidos grasos y del colesterol, liberación de lípidos del hígado, y producción de fibras de procolágeno y de precursores para la cicatrización de las heridas ³².

o Fuentes alimentarias

El manganeso se encuentra fundamentalmente en frutos secos como las nueces, los cereales integrales, las semillas de girasol y de sésamo, el salvado y germen de trigo, la yema de huevo, las legumbres y las verduras de hoja verde. El té también es buena fuente de manganeso, pero los taninos que contiene forman con el mineral complejos no absorbibles, su biodisponibilidad es limitada. También afectan a su aprovechamiento de modo negativo minerales como el hierro, el magnesio y el calcio.

o Deficiencias

Las descripciones de deficiencia de manganeso en humanos no son concluyentes. Algunos de los síntomas descritos comprenden disfunción neuromuscular, dermatitis e hipocolesterolemia, crecimiento lento de uñas y cabellos, cambios en la coloración del pelo, pérdida de peso, náuseas y vómitos, pudiendo disminuir incluso la tolerancia a la glucosa ³².

o Toxicidad

El manganeso es aparentemente poco tóxico cuando se ingiere por vía oral. En el hombre no se tiene constancia de intoxicaciones asociadas a una elevada ingesta dietética, aunque sí se conoce la intoxicación de personas sobreexpuestas a altos niveles en el aire y humos. El umbral de toxicidad es desconocido, pero cuando se inhala en cantidades elevadas da lugar a alteraciones psiquiátricas denominadas globalmente como la “locura del manganeso”. La progresión de la toxicidad provoca alteraciones permanentes muy similares a las de la enfermedad de Parkinson ⁴².

4.2 Vitaminas hidrosolubles

4.2.1 Tiamina (vitamina B₁)

El nombre de este micronutriente procede de “*thio*”, que significa azufre, y “*amine*”, que se refiere a los grupos de nitrógeno que contiene ¹¹. Esta vitamina también conocida como “antineurética” desempeña un papel fundamental en el metabolismo de los hidratos de carbono a través de la formación de su derivado coenzimático tiamina pirofosfato (TPP) ⁴³.

o Utilización nutritiva

La tiamina se absorbe fundamentalmente en el intestino delgado mediante un sistema regulado por su transportador. Una vez en sangre, se puede distribuir bien como tal, o bien en forma de coenzima unida a los glóbulos rojos. La excreción de la vitamina B₁ suele realizarse rápidamente a través de la orina ¹⁷.

o Funciones

- Interviene en procesos de metabolismo de los hidratos de carbono y aminoácidos de cadena ramificada (leucina, isoleucina y valina).
- Participa de manera específica en la descarboxilación de α -cetoácidos y la acción de la enzima transcetolasa.

o Fuentes alimentarias

Esta vitamina se encuentra fundamentalmente en la carne de cerdo y derivados (lomo embuchado, jamón curado, bacón ahumado, jamón cocido, salchichón y chistorra), vísceras, legumbres secas (alubia blanca, lenteja, garbanzo), germen de trigo, cereales para el desayuno, pipas de girasol y frutos secos oleaginosos (cacahuete, piñón, pistacho, avellana, nuez).

o Deficiencias

La deficiencia clásica de esta vitamina es el *beriberi*, enfermedad que se puede manifestar de dos formas distintas (húmeda o seca) en función de si es edematosa o neurológica. En general, las personas que la padecen se encuentran muy débiles, con mala coordinación y presentan un deterioro funcional de los sistemas cardiovascular, muscular, nervioso y gastrointestinal ⁴⁴.

En personas con alcoholismo, puede producirse el síndrome de Wernicke-Korsakoff en el cual la absorción de tiamina está disminuida, mientras que la eliminación se encuentra aumentada. Ello causa alteraciones en la visión (visión doble, ojos cruzados, movimientos oculares rápidos), marcha tambaleante y trastornos en las funciones mentales.

- Toxicidad

No se asocia con ninguna toxicidad, pues se elimina fácilmente ⁴⁴.

4.2.2 Riboflavina (vitamina B₂)

La riboflavina pertenece al grupo de pigmentos vegetales amarillos fluorescentes llamados flavinas ¹⁷. Esta vitamina es un micronutriente de fácil absorción, desempeña un papel importante en el metabolismo energético, y es requerida en el metabolismo de grasas, carbohidratos y proteínas.

- Utilización nutritiva

Esta vitamina se absorbe en el intestino delgado mediante transporte activo o facilitado. Una vez en sangre, se transporta unida a proteínas y, posteriormente -en la mayor parte de los tejidos, aunque especialmente en intestino delgado, corazón, hígado y riñón-, se convierte en sus dos formas de coenzimas flavin mononucleótido (FMN) y flavin adenosin dinucleótido (FAD). En estos dos últimos casos, el hígado puede acumular una pequeña cantidad de riboflavina, cuyo exceso se va a eliminar por orina (confiriéndole un color amarillento) ¹⁷.

- Funciones

- Integrante de coenzimas como el FMN y FAD que intervienen en las reacciones redox (reducción y oxidación de sustancias), imprescindibles en el metabolismo energético ¹⁷.
- Es necesaria para la integridad de la piel, las mucosas y de forma especial para la córnea, por su actividad oxigenadora, siendo imprescindible para la buena visión.
- Otra de sus funciones consiste en desintoxicar el organismo de sustancias nocivas, además de participar en el metabolismo de otras vitaminas.

- Fuentes alimentarias

La vitamina B₂ está ampliamente distribuida en los alimentos, sin embargo, se encuentra especialmente en vísceras (hígado y riñón), cereales para el desayuno, carne (ternera y pato), pescado azul (caballa, sardina, boquerón), leche en polvo, quesos (queso de cabra, camembert, azul, brie, cheddar), levadura fresca, paté, *foie-gras* germen de trigo, yema de huevo y almendra ⁴⁴.

o Deficiencias

Los signos y síntomas observados en la deficiencia de riboflavina (ariboflavinosis) incluyen labios agrietados y rojos, inflamación de la lengua (glositis), agrietamiento en los ángulos de la boca (queilitis angular), úlceras en la boca y garganta dolorida. La deficiencia también puede causar piel seca, fluidos en las membranas mucosas y anemia por deficiencia de hierro. A nivel de los ojos puede sentirse sensación de quemazón y prurito ocular, así como fotosensibilidad. La deficiencia de riboflavina está clásicamente asociada con el síndrome oral-ocular-genital, queilitis angular, fotofobia y dermatitis seborreica, que son signos característicos ⁴⁴.

o Toxicidad

Existe consenso general en que una ingesta alimentaria excesiva de riboflavina carece de toxicidad demostrable ¹⁷.

4.2.3 Niacina (vitamina B₃)

Con el término genérico de “niacina” se entiende el ácido nicotínico, su amida (la nicotinamida) y todos los derivados biológicos que se pueden transformar en compuestos biológicamente activos. Por lo general, se define la actividad de la niacina en los alimentos como concentración de ácido nicotínico formado por la conversión del triptófano (1:60), contenido en los alimentos, en niacina. Esta vitamina es biológicamente precursora de dos coenzimas que intervienen en casi todas las reacciones de óxido-reducción: el nicotín adenín dinucleótido (NAD⁺) y el nicotín adenín dinucleótido fosfato (NADP⁺), las cuales ejercen su actividad bien como coenzimas que intervienen en casi todas las reacciones de óxido-reducción, o bien con función no coenzimática, participando en reacciones anabólicas y catabólicas de carbohidratos, proteínas y grasas ^{17,31}.

o Utilización nutritiva

El hígado puede sintetizar niacina a partir del aminoácido esencial triptófano, pero la síntesis es extremadamente ineficiente; 60 mg de triptófano son requeridos para sintetizar 1 mg de niacina. Diferentes formas de niacina están contenidas en los alimentos (origen animal y vegetal) encontrándose como niacinamida, ácido nicotínico; son absorbidas en el intestino delgado, posteriormente pasan a la circulación y a partir de ellas se sintetiza NAD y NADP, formas activas de la vitamina. Éstas se almacenan como NAD y NADP principalmente en

hígado y eritrocitos. Según las necesidades se transporta a todos los tejidos, y se elimina principalmente por la orina ⁴⁴.

o Funciones

- Integrante de coenzimas NAD y NADP que intervienen en las reacciones redox (reducción y oxidación de sustancias), imprescindibles en el metabolismo energético.
- Mantiene el buen estado del sistema nervioso junto a otras vitaminas del mismo complejo, la piridoxina (B₆) y la riboflavina (B₂).
- Mejora el sistema circulatorio, permite el perfecto fluido sanguíneo, ya que relaja los vasos sanguíneos otorgándoles elasticidad.
- Mantiene la piel sana, junto con otras vitaminas del complejo B, al igual que mantiene sanas las mucosas digestivas.
- Contribuye a estabilizar la glucosa en sangre.

o Fuentes alimentarias

En los alimentos, puede encontrarse como vitamina o aminoácido de triptófano (que puede convertirse en niacina en el organismo). Las mejores fuentes de niacina son: el pescado azul (atún, bonito, caballa, pez espada y salmón ahumado), hígado, carne (ternera, conejo y pollo), cereales para el desayuno, setas (níscolo y champiñón), marisco (pulpo y sepia), embutidos (lomo embuchado, jamón curado, chorizo, bacón ahumado, jamón cocido), cacahuete y crema de cacahuete ⁴⁴.

o Deficiencias

La deficiencia de niacina produce pelagra, enfermedad caracterizada por una serie de lesiones cutáneas (úlceras cutáneas escamosas), alteraciones gastrointestinales (diarrea), y trastornos mentales (confusión mental y alucinaciones) ⁴⁴.

o Toxicidad

Cuando se ingiere niacina en cantidades elevadas puede provocar disminución de los niveles de LDL colesterol y aumento de HDL colesterol. De hecho, cantidades casi cien veces superiores a las recomendaciones se han empleado como fármacos. Estos medicamentos deben tener una cubierta de liberación programada ya que un exceso puede producir ciertos efectos adversos como alteraciones en la piel (enrojecimiento, prurito), molestias gastrointestinales (náuseas, vómitos) y daño hepático ¹⁷.

4.2.4 Ácido pantoténico (vitamina B₅)

El ácido pantoténico tiene dos derivados coenzimáticos de gran importancia biológica. La ACP (proteína transportadora de acilos) forma parte del complejo enzimático utilizado para la síntesis de los ácidos grasos, por lo que resulta imprescindible en la lipogénesis. El coenzima A se necesita para activar metabólicamente todos los restos acilo, incluyendo tanto los ácidos grasos como los metabolitos ácidos originados en el catabolismo de los hidratos de carbono y de algunos aminoácidos. Resulta, por tanto, esencial en el aprovechamiento energético de todo tipo de macronutrientes ⁴³.

o Utilización nutritiva

El ácido pantoténico se encuentra en los alimentos fundamentalmente en forma de sus derivados activos, ACP y coenzima A, que son hidrolizados en el intestino. La vitamina se absorbe sobre todo en el yeyuno por un proceso de transporte activo ⁴⁵. La circulación plasmática se hace en forma de vitamina libre, que es captada y transformada en sus formas activas por los tejidos. No existe metabolismo degradativo hepático, por lo que el ácido pantoténico se excreta como tal, especialmente por vía urinaria, aunque en parte también por las heces ⁴³.

o Funciones

Tanto la coenzima A como la ACP se unen a los ácidos grasos por su grupo tiólico terminal originando tioésteres muy reactivos que facilitan su metabolización posterior. La ACP interviene exclusivamente en la biosíntesis de ácidos grasos, formando parte del complejo multienzimático de la sintetasa correspondiente ⁴⁶.

Los acil-CoA son las formas activas de cualquier ácido graso o metabolito ácido para todas las demás vías metabólicas: degradación, síntesis de triglicéridos y lípidos complejos, formación de cuerpos cetónicos, síntesis de colesterol, síntesis de porfirinas, etc.

o Fuentes alimentarias

El ácido pantoténico se encuentra prácticamente en todos los alimentos. De hecho, su nombre alude precisamente a esta circunstancia (*panthos*: todas partes). En cualquier caso, es destacable que la carne, los cereales y las leguminosas son muy ricos en ácido pantoténico. Las frutas y verduras contienen menos cantidad de esta vitamina ⁴³.

- Deficiencias

Dada su abundancia en la naturaleza, es excepcional la deficiencia grave de ácido pantoténico. Las carencias sólo se producen en los casos de desnutrición generalizada junto a otros déficit vitamínicos. Los signos y síntomas clínicos de la deficiencia se han obtenido de voluntarios tratados con antagonistas de la vitamina, el ácido ω-metilpantoténico. Consisten en malestar general, trastornos gastrointestinales, calambres musculares y alteraciones neurológicas ⁴³.

- Toxicidad

No hay casos descritos de toxicidad cuando se utilizan dosis altas de esta vitamina.

4.2.5 Piridoxina (vitamina B₆)

La vitamina B₆ es en realidad un grupo de tres compuestos químicos llamados piridoxina (o piridoxol), piridoxal y piridoxamina. Los derivados fosforilados del piridoxal y la piridoxina - fosfato de piridoxal (PLP) y fosfato de piridoxamina (PMP), respectivamente- desempeñan funciones de coenzima. Participan en muchas reacciones enzimáticas del metabolismo de los aminoácidos y su función principal es la transferencia de grupos amino ^{17, 31}.

- Utilización nutritiva

Los distintos compuestos se absorben en el intestino delgado por difusión pasiva, y mediante la circulación portal se dirigen al hígado donde se fosforilan dando lugar a PLP. Esta forma activa pasa a la circulación general y se transporta unida a proteínas (principalmente albúmina). Su primer sitio de almacenamiento es el músculo y un exceso se elimina por orina ³¹.

- Funciones

- La vitamina B₆ interviene en la formación de neurotransmisores como la serotonina, pudiendo ayudar, en algunas personas, en casos de depresión, estrés y alteraciones del sueño.
- Es necesaria para la formación de anticuerpos y eritrocitos (glóbulos rojos).
- Es muy importante para una adecuada absorción de la vitamina B₁₂ y del magnesio.
- Interviene en el metabolismo de los hidratos de carbono.
- Interviene en la formación de vitaminas, participando en la conversión del triptófano a niacina.

- Interviene en el metabolismo de aminoácidos (transmisores) para formar aminoácidos no esenciales.
- Interviene en la síntesis del grupo hemo, sustancia compuesta por hierro y protoporfirina e imprescindible para formar hemoglobina.
- Favorece la absorción del hierro.
- Interviene en la síntesis de ADN y ARN.
- Mantiene el funcionamiento de las células nerviosas.
- Interviene en la formación de mielina.

o Fuentes alimentarias

En cualquiera de sus formas, la vitamina B₆ es muy abundante en los alimentos, especialmente en el hígado, leguminosas, frutos secos y plátanos. En los vegetales predominan la piridoxina y la piridoxamina, mientras que en los animales, el piridoxal ⁴³.

o Deficiencias

Las deficiencias de piridoxina no son frecuentes y originan especialmente problemas neurológicos, pueden causar también retraso del crecimiento, anemia hipocrómica, dermatitis seborreica, glositis, depresión y convulsiones ^{17, 43}.

o Toxicidad

La piridoxina es una de las vitaminas con mayor empleo terapéutico, dadas sus implicaciones metabólicas, especialmente en la síntesis de aminas biógenas. La utilización excesiva de piridoxina (dosis entre 2 y 4 g diarios) puede producir efectos tóxicos, concretamente neuropatía periférica ⁴³.

4.2.6 Biotina (vitamina B₇)

La biotina es una vitamina con azufre, esencial para varias especies animales y para los seres humanos, que se halla en varios alimentos y es sintetizada por las bacterias del tracto gastrointestinal inferior y por algunos hongos. Entre todas las vitaminas del subgrupo con funciones coenzimáticas generales en el metabolismo, la biotina es la única que se comporta como coenzima sin necesidad de modificaciones estructurales ^{43, 47}.

o Utilización nutritiva

La biotina se encuentra generalmente unida a proteínas en los alimentos. Una vez hidrolizadas estas proteínas, los restos oligopeptídicos que contienen biotina son hidrolizados por medio de

una enzima pancreática específica, la biotidinasas, que ataca el enlace amídico de la biocitina. La biotina libre es absorbida por un proceso de transporte activo a nivel de yeyuno e íleon proximal. Los tejidos más ricos en biotina son el hígado, el riñón y el sistema nervioso central. La biotina circula en el plasma de forma libre y ligada a proteínas. Esta vitamina hidrosoluble se excreta fundamentalmente inalterada por vía urinaria ⁴³.

o Funciones

La biotina unida por enlaces covalentes a las proteínas enzimáticas interviene siempre en reacciones de carboxilación que afectan al funcionamiento del ciclo de krebs, la litogénesis y la degradación de algunos aminoácidos ^{47, 48, 49}.

o Fuentes alimentarias

La biotina se encuentra abundantemente en casi todos los alimentos y es sintetizada en parte por la microbiota intestinal. Los alimentos más ricos en biotina son el hígado y la yema de huevo, la harina de soja, los cereales y la levadura. La biodisponibilidad de la biotina es muy variable y depende de que se encuentre en forma libre utilizable, como sucede en la mayoría de los alimentos, o en forma copulada no utilizable, como en el trigo ^{48, 50}.

o Deficiencias

Las deficiencias en biotina son muy raras, dada la existencia de esta vitamina en la mayoría de los alimentos y el aporte suplementario de la microbiota intestinal. Las consecuencias clínicas de la deficiencia son fundamentalmente acidosis metabólica, alteraciones digestivas, hipotonía, alopecia, lesiones en piel y en membranas mucosas, y cansancio general ⁵¹.

o Toxicidad

No se han publicado casos de toxicidad por sobredosificación de esta molécula ⁴³.

4.2.7 Cianocobalamina (vitamina B₁₂)

La vitamina B₁₂ es una vitamina hidrosoluble a la que se le conoce por diversos nombres entre los que cabe destacar: cianocobalamina, sus dos formas de coenzimas (metilcobalamina y 5-desoxiadenosilcobalamina), antiperniciosa y factor extrínseco. Esta molécula puede sintetizarse por bacterias, hongos y algas, aunque algunos mamíferos rumiantes, como es el caso de las vacas y ovejas, la obtienen endógenamente mediante síntesis bacteriana en distintos compartimentos del organismo ¹⁷.

○ Utilización nutritiva

La vitamina B₁₂ se une a una proteína de la saliva llamada proteína R (sintetizada previamente en las glándulas salivales), se forma un complejo R+B₁₂ hasta llegar a la luz del estómago. Las células parietales de las glándulas fúndicas del estómago sintetizan ácido clorhídrico y factor intrínseco (FI). Este factor intrínseco es una glicoproteína que se secreta en las células de las paredes estomacales en respuesta a la presencia de histamina, gastrina y pentagastrina, que normalmente se encuentran en los alimentos. En el duodeno hay enzimas que favorecen la ruptura del complejo R+B₁₂ y la unión de la vitamina B₁₂ al factor intrínseco. La vitamina B₁₂ o cianocobalamina se absorbe por endocitosis en las células del íleon terminal, donde los enterocitos tienen receptores para el factor intrínseco. La absorción de B₁₂ puede ser activa, mediada por el FI o pasiva independiente del FI.

Una vez absorbida y dentro de los vasos sanguíneos, viaja unida a proteínas plasmáticas llamadas transcobalaminas II para llegar a las células de la médula ósea y a las hepáticas, donde se almacena. Al interior de las células para todo el complejo transcobalamina II-B₁₂ para después separarse por la acción de lisozimas y ser ya totalmente utilizable por la célula. Generalmente, la mayor parte de la vitamina B₁₂ acumulada se secreta con la bilis y comienza a formar parte de la circulación enterohepática, aunque también puede captarse por la médula ósea y los glóbulos rojos. Su excreción urinaria es casi mínima ¹⁷.

○ Funciones

- Interviene en la síntesis de ADN, ARN y proteínas.
- Interviene en la formación de glóbulos rojos.
- Mantiene la vaina de mielina de las células nerviosas.
- Participa en la síntesis de neurotransmisores.
- Es necesaria en la transformación de los ácidos grasos en energía.
- Ayuda a mantener la reserva energética de los músculos.
- Interviene en el buen funcionamiento del sistema inmune.
- Necesaria para el metabolismo del ácido fólico.

○ Fuentes alimentarias

Los alimentos ricos en B₁₂ son las vísceras como el hígado, riñones y, en general, las carnes, huevos y lácteos. De los pescados podemos nombrar el atún, las sardinas y también las almejas. Esta vitamina se encuentra presente de forma natural sólo en el reino animal. En el reino vegetal, la presencia de vitamina B₁₂ es casi nula, por lo tanto, los vegetarianos estrictos

presentan carencia o déficit de esta vitamina, y, como consecuencia de ello, necesitan complementar su dieta con suplementos vitamínicos. En la actualidad existen productos vegetales enriquecidos, como los cereales fortificados.

- Deficiencias

La falta de cobalamina o de sus derivados, metil y cianocobalamina, conduce a un déficit en el transporte de metilos que incide negativamente en la síntesis de purinas (componentes del ADN) y, por lo tanto, a una deficiencia en el proceso de multiplicación celular. Esta deficiencia afecta principalmente a la médula ósea, donde se produce la eritropoyesis o formación de las células sanguíneas, de manera que puede causar un serio cuadro denominado anemia perniciosa ¹⁷.

Otra alteración derivada de la deficiencia de esta vitamina es la degeneración nerviosa, que puede llegar a ser mortal, y producir alteraciones sensoriales en piernas, hormigueo y entumecimiento, también pérdida de concentración o memoria, desorientación y demencia. La vitamina B₁₂ se almacena en el hígado y, por tanto, su deficiencia puede aparecer meses después de que exista una ingesta baja o muy baja, a diferencia de otras vitaminas hidrosolubles.

- Toxicidad

No se han establecido efectos adversos de la ingesta excesiva de vitamina B₁₂ o cobalamina debido a su bajo riesgo de toxicidad ⁶.

4.2.8 Ácido fólico (vitamina B₉)

Su nombre deriva del latín *folium*, que significa hoja, pues principalmente se encuentra en verduras de hoja oscura. Se denomina folato o folatos, se emplea como nombre genérico para esta vitamina y hace referencia a las distintas formas que, de manera natural, se encuentran en los alimentos. Se sabe que las bacterias intestinales son capaces de sintetizar folato, el cual probablemente se pierde por las heces ¹⁷. Por el contrario, el ácido fólico, hace referencia a la forma de la vitamina que se encuentra en suplementos y productos enriquecidos ^{17, 31}.

- Utilización nutritiva

Para absorberse, requiere una hidrólisis inicial que forme monoglutamato capaz de pasar de forma activa a través de la pared intestinal (aunque, en los suplementos, el ácido fólico también puede absorberse por difusión pasiva). Mediante la circulación portal, el monoglutamato se dirige al hígado y se convierte en poliglutamato. Éste, a su vez, puede

almacenarse o dirigirse bien a la vesícula biliar para formar parte de la bilis -en cuyo caso puede reabsorberse mediante la circulación enterohepática-, o bien dirigirse a la circulación general y de ahí a otros órganos. Un exceso se excreta por orina.

o Funciones

Esta vitamina es necesaria para la producción y mantenimiento de nuevas células. Esto es especialmente importante durante períodos de división y crecimiento celular rápido como en la infancia y embarazo. El folato es necesario para la replicación del ADN. Por esto, la deficiencia de folato dificulta la síntesis y división celular, afectando principalmente la médula ósea, un sitio de recambio celular rápido.

Debido a que la síntesis de ARN y proteínas no se obstaculiza completamente, aparecen células sanguíneas grandes o sin forma regular llamadas megaloblastos, resultando en anemia megaloblástica. Tanto niños como adultos necesitan folato para producir células sanguíneas normales y prevenir la anemia ¹⁷.

o Fuentes alimentarias

Las mejores fuentes alimentarias, por cantidad y biodisponibilidad, son: el hígado, *foie-gras*, legumbres (alubia blanca, garbanzo, lenteja), verduras de hoja verde (espinacas, col de Bruselas, espárrago, endibia, brécol y escarola), cereales de desayuno, levadura fresca, germen de trigo, harina de soja, cacahuete, castaña, huevo de gallina.

o Deficiencias

Las deficiencias para esta vitamina pueden aparecer por ingesta deficiente, por alcoholismo (pues el alcohol interfiere en la absorción enterohepática), o porque tiene lugar un aumento de los requerimientos (lo que ocurre durante el embarazo). La principal enfermedad asociada a la deficiencia de folatos es la anemia megaloblástica, con la consecuente disminución de la función inmunitaria. Si la deficiencia tiene lugar durante el embarazo, pueden producirse defectos en el tubo neural del feto, como por ejemplo, espina bífida y anencefalia (ausencia de cerebro) ¹⁷.

o Toxicidad

No existe ninguna registrada ^{6, 17}.

4.2.9 Vitamina C

Esta vitamina hidrosoluble, también llamada ácido ascórbico o vitamina antiescorbútica, hace referencia tanto a esta forma como a su forma oxidada, ácido deshidroascórbico.

○ Utilización nutritiva

La absorción de esta vitamina tiene lugar en el intestino delgado mediante transporte activo (en el caso del ácido ascórbico) y difusión facilitada (para el deshidroascórbico). Una vez en sangre, se transporta en forma libre y va a tender a acumularse en diferentes órganos internos, fundamentalmente pituitaria, glándulas adrenales, cristalino, leucocitos, glándula linfática, cerebro y en menor cantidad también en plasma y saliva. El exceso se elimina por orina ¹⁷.

○ Funciones

- Agente reductor específico que dona electrones a iones metálicos, como hierro y cobre.
- Interviene en la síntesis de colágeno.
- Actividad antioxidante, dona electrones a radicales libres.
- Favorece la absorción del hierro.
- Interviene en la síntesis de ciertos compuestos vitales como la carnitina y neurotransmisores como noradrenalina y adrenalina.
- Función inmunitaria, pues se encuentra en gran cantidad en los glóbulos blancos.

○ Fuentes alimentarias

Todas las frutas y verduras aportan vitamina C, aunque hay algunas que la contienen en mayores cantidades como el pimiento rojo y verde, col de Bruselas, brécol, frutas (fresón, naranja, limón, mango, kiwi, lima, guayaba, papaya, mandarina, grosella, melón), verduras y hortalizas crudas (col, coliflor, berro, espinaca y tomate).

○ Deficiencias

La carencia de esta vitamina produce escorbuto, enfermedad que se inicia con síntomas de fatiga, hemorragias puntiformes en la parte posterior de brazos, piernas, articulaciones y encías (todo ello signo clásico de alteraciones en la síntesis de colágeno) ¹⁷.

○ Toxicidad

Los principales efectos adversos relacionados con un consumo muy alto de esta vitamina son alteraciones gastrointestinales, náuseas, cólicos abdominales y diarrea ¹⁷. También se ha descrito formación de cálculos renales.

4.3 Vitaminas liposolubles

4.3.1 Vitamina A

Es una molécula liposoluble también conocida como vitamina antixeroftálmica. La vitamina A hace referencia, por una parte a retinoides preformados, que pueden encontrarse de tres formas distintas (retinol, retinal y ácido retinoico) y, por otra, engloba a carotenoides de provitamina A, fundamentalmente β -carotenoide, ya que otros carotenoides naturales no presentan la actividad de esta vitamina en el ser humano ¹⁷.

o Utilización nutritiva

El retinol de los alimentos se encuentra en forma de ésteres de retinilo. En el intestino delgado, la bilis facilita la hidrólisis que separa el retinol del ácido graso al que iba unido. Una vez liberado, casi el 90% del retinol se absorbe por las células intestinales. En el caso de los carotenoides, se absorben directamente (y mucho más lenta) después de que en el intestino delgado se segmenten, produzcan retinal y de ahí retinol, que es la forma que se absorbe ⁵².

Una vez absorbido, se vuelve a unir a un ácido graso, formando nuevamente ésteres de retinilo que junto con otros lípidos se incorporan en los quilomicrones. Éstos pasan a la linfa dirigiéndose a los tejidos de almacenamiento (principalmente hígado). Cuando otros tejidos requieren esta vitamina (por ejemplo, tejido adiposo, riñones, médula ósea, testículos y ojos), los retinoides pasan a la circulación general mediante una proteína de unión al retinol. Una vez en circulación, esta proteína se une a su vez a la prealbúmina minimizando las pérdidas renales por filtración glomerular y aumentando la estabilidad del retinol. En ocasiones, el hígado también libera vitamina A en forma de retinoides, que pasan a la circulación unidos a lipoproteínas de baja densidad (VLDL).

La excreción de vitamina A sin metabolizar es bastante limitada, ya que únicamente se excreta una pequeña cantidad por orina.

o Funciones

- Es necesaria para el crecimiento y desarrollo de huesos.
- Es esencial para el crecimiento, mantenimiento y reparación de las células de las mucosas, epitelios, piel, visión, uñas, cabello y esmalte de dientes.
- Estimula las funciones inmunológicas tales como la respuesta de los anticuerpos y la actividad de varias células producidas por la médula ósea que intervienen en la

defensa del organismo como fagocitos y linfocitos. Por ello, promueve la reparación de tejidos infectados y aumenta la resistencia a la infección.

- Interviene en la función normal de reproducción, contribuyendo a la producción de esperma así como también al ciclo normal reproductivo femenino. Debido a su rol vital en el desarrollo celular, la vitamina A ayuda a que los cambios que se producen en las células y tejidos durante el desarrollo del feto se desenvuelvan normalmente.
- Es fundamental para la visión, ya que el retinol contribuye a mejorar la visión nocturna, previniendo de ciertas alteraciones visuales como cataratas, glaucoma, pérdida de visión, ceguera crepuscular, también ayuda a combatir infecciones bacterianas como conjuntivitis.
- Tiene función antioxidante ya que previene el envejecimiento celular y la aparición de cáncer, eliminando los radicales libres y protegiendo al ADN de los agentes mutagénicos.

o Fuentes alimentarias

Las principales fuentes alimentarias de vitamina A total son el hígado, aceite de hígado de bacalao, zanahoria, anguila, espinaca, boniato, paté, *foie-gras*, margarina, mantequilla, albaricoque seco, yema de huevo, caviar, mango y quesos.

En el caso de los carotenoides, se encuentran en verduras y hortalizas (zanahoria, espinaca, calabaza, escarola, acelga, pimiento, berro, tomate), boniato, níscolo, frutas (mango, melón, albaricoque y níspero).

o Deficiencias

La deficiencia de esta vitamina constituye uno de los problemas fundamentales de salud pública en los países en vías de desarrollo. La principal enfermedad derivada de la carencia de esta vitamina en la dieta es la ceguera nocturna, que finalmente puede producir ceguera permanente. En ocasiones, una deficiencia también puede producir xeroftalmia (queratinización del tejido ocular) ⁵². También se relaciona con la xerosis y diversos problemas cutáneos y de inmunocompetencia.

o Toxicidad

La toxicidad de esta vitamina se llama hipervitaminosis A. Puede ser de tres tipos: aguda (debida a una ingesta muy excesiva), crónica (consumo elevado mantenido en el tiempo) y teratógena, pudiendo causar, durante el embarazo, aborto espontáneo o defectos de nacimiento.

En casos crónicos, se evidencia dolor óseo y muscular, pérdida de apetito, trastornos en la piel, cefalea, piel seca, pérdida de pelo, daño hepático, visión doble, hemorragia, vómitos, fractura de cadera e incluso coma. Es importante destacar que los cuadros tóxicos sólo se producen con el uso de la vitamina A preformada, retinoides, como la proveniente del hígado, mientras que las formas carotenoides, como los betacarotenos encontrados en las zanahorias, no generan tales síntomas.

En el caso de toxicidad aguda, se pueden producir molestias gastrointestinales, cefalea, visión borrosa e incoordinación muscular ⁵².

4.3.2 Vitamina D

A la vitamina D o colecalciferol se la conoce también como vitamina antirraquítica ya que su déficit provoca raquitismo. La condición de esta sustancia es un poco ambigua, ya que en presencia de la luz solar, las células epiteliales son capaces de sintetizarla a partir de un derivado de colesterol (7-dehidrocolesterol) producido en el hígado y exportado a la piel ⁵³. En consecuencia, tanto los animales como el hombre pueden sintetizar vitamina D₃, y simplemente con una exposición suficiente a la luz solar o a radiación ultravioleta-B se puede evitar la deficiencia de esta vitamina ⁵³.

o Utilización nutritiva

Aproximadamente el 80% de la vitamina D ingerida con los alimentos se incorpora a las micelas en el intestino delgado para absorberse. Al ser una vitamina liposoluble, se transporta en quilomicrones por el sistema linfático hasta el hígado. En dicho órgano es hidroxilada, dando lugar a la 25(OH) vitamina D₃ (colecalciferol). Ésta es una forma inactiva que pasa a la circulación general unida a proteínas y se dirige a los riñones donde es nuevamente hidroxilada para formar el 1 α ,25(OH)₂ vitamina D₃, también llamada calcitriol, que es la forma más activa de la vitamina. El calcitriol pasa nuevamente a la circulación general y se dirige al tejido adiposo, donde puede acumularse y usarse posteriormente, o vuelve al hígado, donde se almacena en su forma inactiva.

La excreción de vitamina D tiene lugar principalmente por las heces y en pequeñas cantidades también por orina ⁵³.

o Funciones

- Mantiene los niveles de calcio y fósforo normales. Estimula la absorción intestinal de calcio y fósforo y su reabsorción en los riñones.
- Participa en el crecimiento y maduración celular.

- Fortalece al sistema inmune ayudando a prevenir infecciones.
- Junto con la hormona paratiroidea, calcitonina (producida por la glándula tiroides) y los estrógenos, la vitamina D mantiene los niveles del calcio.
- La vitamina D al regular los niveles de calcio en la sangre tiene un papel importante en el funcionamiento saludable de nervios y músculos, ya que los niveles de calcio son esenciales para la transmisión del impulso nervioso y la contracción muscular.

- o Fuentes alimentarias

Los principales alimentos que la contienen son: el aceite de hígado de bacalao, pescado azul (bonito, arenque y salmón), caviar, níscolo y champiñón, huevo, margarina y cereales de desayuno.

- o Deficiencias

Cuando la exposición solar es insuficiente para producir la cantidad necesaria de esta vitamina, la ingesta dietética de vitamina D es esencial. Cuando ésta también falla, en niños se puede producir raquitismo, cuyos signos característicos son que la cabeza, articulaciones y caja torácica se encuentran crecidas, mientras que la pelvis y las piernas se encuentran curvadas (estevadas). En adultos se produciría osteomalacia (debilidad de los huesos) e incluso osteoporosis ⁵³.

- o Toxicidad

Es una sustancia bastante tóxica. Una ingesta excesiva de esta vitamina puede producir hipercalcemia (niveles elevados de calcio en sangre), sed, anorexia, niveles elevados vitamina D en su forma inactiva, riesgo de calcificación de tejidos blandos y formación de piedras en el tracto urinario ².

4.3.3 Vitamina E

En realidad es una familia de ocho compuestos naturales (cuatro tocoferoles -alfa, beta, gamma y delta- y otros cuatro tocotrioles -alfa, beta, gamma y delta-) con diferente actividad biológica y capacidad antioxidante. La forma más activa de esta vitamina es el isómero “d” del α - tocoferol, además ésta es la forma más repartida en la naturaleza y la que se suele emplear en los suplementos vitamínicos ¹⁷.

- o Utilización nutritiva

La absorción de esta vitamina se realiza como el del resto de moléculas liposolubles, aunque se sabe que está estrechamente ligada a la cantidad de grasa total de la dieta y suele ser bastante limitada (por lo que una gran cantidad se elimina por las heces). En el intestino delgado se incorpora en las micelas, y mediante la bilis y la acción de enzimas pancreáticas se facilita su absorción. Posteriormente, a través de los quilomicrones se dirige por el sistema linfático al hígado y otros tejidos (fundamentalmente tejido adiposo y músculo esquelético) donde puede almacenarse. Finalmente, pasa al torrente sanguíneo y acaba situándose en las membranas celulares unida a fosfolípidos. Se excreta a través de heces y orina ⁵⁴.

o Funciones

La vitamina E tiene función antioxidante, impide la propagación de las reacciones en cadena causada por los radicales libres y evita los daños en las membranas celulares ya que protege de la oxidación a los lípidos (AGP).

o Fuentes alimentarias

La principal fuente alimentaria de esta vitamina son los aceites vegetales (por ejemplo, de girasol, de grano de uva, de maíz, de cacahuete, de soja, de colza, de oliva virgen), frutos secos oleaginosos y semillas oleaginosas (pipas de girasol, avellana, piñón, almendra, cacahuete), germen de trigo, margarina vegetal, mayonesa elaborada con aceite de girasol y crema de chocolate con avellanas.

o Deficiencias

La deficiencia de esta vitamina en humanos es bastante rara; sin embargo, puede producirse en personas fumadoras (pues se ha visto que el tabaco destruye con facilidad a esta vitamina), personas que realizan ingestas deficientes en lípidos o presentan malabsorción para las grasas, o también en casos en que exista una anomalía genética en la síntesis de lipoproteínas. Los efectos derivados de esta deficiencia no están totalmente probados en humanos, aunque se sugiere la asociación a anemia ⁵⁴.

o Toxicidad

La vitamina E está clasificada como una sustancia prácticamente no tóxica. No se ha observado hipervitaminosis ni siquiera después de la administración de dosis elevadas durante muchos años ⁵⁴.

4.3.4 Vitamina K

La vitamina K o vitamina antihemorrágica pertenece al grupo de las vitaminas liposolubles, ayuda al mantenimiento del sistema de coagulación de la sangre. Las formas naturales son la vitamina K₁ (filoquinona o fitomenadiona), de origen vegetal, y la vitamina K₂ (menaquinona), de origen microbiano. La vitamina K₃ (menadiona y el menadiol) es de origen sintético, pero duplica el poder de las anteriores. Ésta, se suministra a personas que no metabolizan adecuadamente las vitaminas K naturales. La filoquinona, la menaquinona y la menadiona son liposolubles. Son estables al calor, pero se degradan por efecto de la luz ⁴³.

o Utilización nutritiva

La cantidad de vitamina K que puede absorberse en el intestino delgado es muy variable (puede oscilar entre el 10 y el 70%), y depende de la presencia de sustancias grasas en la dieta y de la acción emulsionante de los ácidos biliares. La que procede de la dieta lo hace preferentemente en la parte alta del intestino por un proceso de transporte activo, mientras que la menaquinona sintetizada por las bacterias intestinales se absorbe a nivel de íleon y colon por difusión simple. Una vez en los enterocitos, estas formas se incorporan a los quilomicrones y alcanzan el hígado con las partículas remanentes. Las vitaminas K son transportadas a los tejidos por las lipoproteínas (VLDL y LDL). Su almacenamiento corporal es escaso, siendo algo mayor en el hígado. La eliminación se realiza fundamentalmente por vía biliar, pero también aparecen metabolitos en la orina ⁴³.

o Funciones

- Coagulación sanguínea: la vitamina K en el hígado participa en la síntesis de algunos factores que forman parte de la llamada cascada de la coagulación (factores II, VII, IX, X, proteína S, C, S y Z). La cascada de la coagulación se refiere a una serie de eventos cuyo fin es detener la hemorragia de los vasos sanguíneos dañados mediante la formación del coágulo. Por ello también es llamada vitamina antihemorrágica ⁵⁵.
- Metabolismo óseo: la vitamina K también participa en el metabolismo del hueso ya que una proteína ósea llamada osteocalcina requiere vitamina K para su maduración. Es decir, promueve la formación ósea en nuestro organismo. Existen estudios que sugieren que la vitamina K ayudaría a aumentar la densidad ósea y evitaría fracturas en personas con osteoporosis ⁵⁵. De todos modos, hacen falta más investigaciones para

confirmar el papel de la vitamina K en relación con la prevención y tratamiento de la osteoporosis ⁵⁶.

o Fuentes alimentarias

Existen cantidades muy variables de vitamina K (30 a 400 µg/100 g) en la leche y productos lácteos, carne, huevos, hígado, cereales integrales, fruta, vegetales verdes (espinacas, col verde o rizada, brócoli, lechuga, perejil, espárragos, repollo) y aceites vegetales (soja, canola, semillas de algodón, oliva).

o Deficiencias

Las deficiencias de vitamina K son poco frecuentes debido a su abundancia en la alimentación y al aporte de la microbiota intestinal. En el caso de producirse, trae como consecuencia una coagulación sanguínea pobre o deficiente que provoca sangrado espontáneo o prolonga el tiempo de hemorragia. Algunas circunstancias en las que podría llegar a producirse una deficiencia son: casos de nutrición parenteral total sin suplementación vitamínica, presencia de problemas de absorción (por resección intestinal, obstrucción biliar...), ingesta de medicamentos antagonistas de la vitamina K, tratamiento con antibióticos que destruyan la microbiota intestinal, los laxantes y la sobredosificación con vitamina A o E, ya que inhiben la absorción de vitamina K ⁴³.

La deficiencia de vitamina K es más probable en recién nacidos, especialmente aquellos que son prematuros, que sólo se alimentan de leche materna o cuyas madres tomaron medicación anticonvulsiva. La leche materna contiene una proporción de vitamina K relativamente baja en comparación con las fórmulas infantiles. Además los intestinos del recién nacido aún no se han colonizado con las bacterias que sintetizan menaquinonas (vitamina K₂) y el ciclo de la vitamina K puede no funcionar en plenitud en los prematuros. La deficiencia de vitamina K en recién nacidos puede causar una alteración llamada enfermedad hemorrágica del recién nacido. Ocurre durante los primeros días de vida (2 a 5 días). Se manifiesta con sangrado en las heces del bebé, en la orina, y también alrededor del cordón umbilical. A veces se puede presentar hemorragia intracraneal, que sucede súbitamente, lo cual provoca graves lesiones o la muerte del bebé ⁴³.

o Toxicidad

A pesar de ser una vitamina liposoluble, no hay casos descritos de toxicidad por sobredosificación para las formas naturales. La menadiona, en cambio, parece más peligrosa,

especialmente en los recién nacidos, en los que puede producir anemia hemolítica e hiperbilirrubinemia⁴³.

5. BIBLIOGRAFÍA

- 1- Varela Mosquera G y Varela Moreiras G Introducción a la historia de la Nutrición. En Gil Hernández A, editor. Tratado de Nutrición. Tomo I. Acción Médica. Madrid, 2005.
- 2- Mann J, Truswell S: Essentials of human nutrition. 3ª edición. Oxford University Press. Great Britain, 2007.
- 3- Nacional Research Council. Raciones Dietéticas Recomendadas. 1ª ed. Española de la 10ª edición original de: Recommended Dietary Allowances. Consulta. Barcelona, 1989.
- 4- Goran MI. Energy metabolism and obesity. Med Clin North Am. 2000;84(2):347-62.
- 5- Martínez JA y Russolillo G. Alimentación en el sobrepeso y la obesidad. En: Consejo General de Colegios Oficiales de Farmacéuticos, editor. Plan Nacional de Formación Continuada. Alimentación y Nutrición. Módulo II. Acción Médica. Madrid, 2006.
- 6- Martínez JA. Fundamentos teórico-prácticos de nutrición y dietética. Mc Graw-Hill. Madrid, 2004.
- 7- Mataix Verdú J. Nutrientes y sus funciones. En: Serra Majem L, Aranceta J, Mataix J, editores. Nutrición y Salud Pública. 2ª ed. Elsevier-Masson. Barcelona, 2006.
- 8- Moreiras O, Carbajal A, Cabrera L, Cuadrado C. Ingestas recomendadas de energía y nutrientes para población española. Departamento de Nutrición. Universidad Complutense de Madrid. Tablas de composición de alimentos. 10ª edición. Pirámide. Madrid, 2006.
- 9- Carral F. Nutrición equilibrada. En: Bellido D, De Luis DA. (editores). Manual de nutrición y metabolismo. Díaz de Santos. Madrid, 2006:13-24.
- 10- Cuervo M, Corbalán M, Baladía E, Cabrerizo L, Formiguera X, Iglesias C, Lorenzo H, Polanco I, Quiles J, Romero de Avila MD, Russolillo G, Villarino A, Martínez JA. Comparison of dietary reference intakes (DRI) between different countries of the European Union, The United States and the World Health Organization. Nutr Hosp. 2009;24(4):384-414.
- 11- Arencibia T. Recomendaciones actuales sobre la dieta a seguir por la población general. En: Oliveira G (editor). Manual de nutrición Clínica. Díaz de Santos. Madrid, 2000:3-20.
- 12- World Health Organization. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Geneva, WHO, 1985 (Technical Series 724). Disponible en <http://www.fao.org>

- 13- Galgani J, Ravussin E. Energy metabolism, fuel selection and body weight regulation. *Int J Obes (Lond)*. 2008;32:109-19.
- 14- Brown L y Rosner B. Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 1999;69(1):30-42.
- 15- Fredstrom S. Hidratos de carbono. En: Matarese LE y Gottschlich MM (editores). *Nutrición clínica*. 2ª edición. Elsevier. Madrid, 2004:112-118.
- 16- Mataix Verdú J. *Nutrición para educadores*. 2ª ed. Díaz de Santos. Madrid, 2005.
- 17- Wardlaw G. M, Hampl J.S, DiSilvestro R.A. *Perspectivas en nutrición*. 6ª ed. Mc Graw – Hill. México, 2004.
- 18- Food and Agriculture Organization. Carbohydrates in human nutrition. Report of a joint FAO/WHO expert consultation. Roma, FAO, 1997. Disponible en <http://www.fao.org>
- 19- Serra L., Ribas L., Román B. Recomendaciones sobre la ingesta de hidratos de carbono en la población española. En: SENC. *Guías alimentarias para la población española*. IMε,SA. Madrid, 2001:239-248.
- 20- See-Young L and Stoll S. Proteínas y aminoácidos. En: Matarese LE y Gottschlich MM (editores). *Nutrición Clínica Práctica*. 2ª edición. Elsevier. Madrid. 2004:100-111.
- 21- WHO/FAO/UNU Expert Consultation. Protein and amino acid requirements in human nutrition. *World Health Organ Tech Rep Ser*. 2007;(935):1-265.
- 22- Jéquier E, Constant F. Water as an essential nutrient: the physiological basis of hydration. *Eur J Clin Nutr*. 2009 (en prensa).
- 23- López Novoa JM. Metabolismo hidromineral. En: Gil Hernández A, editor. *Tratado de Nutrición. Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición*. Tomo I. Acción médica. Madrid, 2005.
- 24- Linder MC. Nutrición y metabolismo de los elementos mayoritarios. En: Linder MC, editor. *Nutrición: Aspectos bioquímicos, metabólicos y clínicos*. Eunsa. Pamplona, 1988.
- 25- Ayus JC. Transtornos de la osmolaridad de los líquidos orgánicos. Alteraciones del sodio. En: Hernando Avedaño L, editor. *Nefrología clínica*. Editorial Médica Panamericana, SA. Madrid, 2003.
- 26- Insel P, Turner RE, Ross D. *Discovering nutrition*. 3rd ed. Jones and Bartlett Publishers. Sudbury, 2003.

- 27- Pérez Llamas F, Garaulet Aza M, Gil Hernández A, Zamora Navarro S. Calcio, fósforo, magnesio y flúor. Metabolismo óseo y su regulación. En: Gil Hernández A, editor. Tratado de Nutrición. Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. Tomo I. Acción médica. Madrid, 2010.
- 28- Krey JF, Dolmetsch RE. Molecular mechanisms of autism: a possible role for Ca²⁺ signaling. *Curr Opin Neurobiol.* 2007;17(1):112-9.
- 29- Lohmann C. Calcium signaling and the development of specific neuronal connections. *Prog Brain Res.* 2009;175:443-52.
- 30- Bergman C, Gray-Scott D, Chen JJ, Meacham S. What is next for the Dietary Reference Intakes for bone metabolism related nutrients beyond calcium: phosphorus, magnesium, vitamin D, and fluoride?. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2009;49(2):136-44.
- 31- Bowman B, Russell R. Conocimientos actuales sobre nutrición. Publicación científica y técnica n° 592. Organización Panamericana de la Salud. Washington DC, 2003.
- 32- DeBiasse-Fortin M. Minerales y Oligoelementos. En: Matarese LE y Gottschlich MM (editores). *Nutrición Clínica Práctica.* 2ª edición. Elsevier. Madrid, 2004:182-183.
- 33- Sun Q, van Dam RM, Willett WC, Hu FB. Prospective study of zinc intake and risk of type 2 diabetes in women. *Diabetes Care.* 2009;32(4):629-34.
- 34- Hambidge KM, Miller LV, Westcott JE, Krebs NF. Dietary reference intakes for zinc may require adjustment for phytate intake based upon model predictions. *J Nutr.* 2008;138(12):2363-6.
- 35- Vasanthi HR, Mukherjee S, Das DK. Potential health benefits of broccoli- a chemico-biological overview. *Mini Rev Med Chem.* 2009;9(6):749-59.
- 36- Cummings JE, Kovacic JP. The ubiquitous role of zinc in health and disease. *J Vet Emerg Crit Care (San Antonio).* 2009;19(3):215-40.
- 37- Olivares Grohnert M, Castillo Durán C, Arredondo Olguín M, Uauy Dagach-Imbarack R. Cobre y Zinc en nutrición. En: Gil Hernández A, editor. *Tratado de Nutrición. Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición.* Tomo I. Acción médica. Madrid, 2010.
- 38- Anderson RA. Chromium and insulin resistance. *Nutr Res Rev.* 2003;16(2):267-75.
- 39- Anderson RA. Chromium, glucose tolerance, and diabetes. *Biol Trace Elem Res.* 1992;32:19-24.

- 40- Anderson RA. Chromium in the prevention and control of diabetes. *Diabetes Metab.* 2000;26(1):22-7.
- 41- Anderson RA. Chromium and polyphenols from cinnamon improve insulin sensitivity. *Proc Nutr Soc.* 2008;67(1):48-53.
- 42- Navarro-Alarcón M, Gil Hernández F, Gil Hernández A. Selenio, Manganeso, Cromo, Molibdeno, Yodo y otros oligoelementos minoritarios. En: Gil Hernández A, editor. *Tratado de Nutrición. Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. Tomo I. Acción médica.* Madrid, 2005.
- 43- Sánchez de Medina Contreras F. Vitaminas con función de coenzimas. En: Gil Hernández A, editor. *Tratado de Nutrición. Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. Tomo I. Acción médica.* Madrid, 2005.
- 44- Stanfield PS y Hui YH. *Nutrition and Diet therapy. Shelf-Instructional Modules.* 4th ed. Jones and Bartlett Publishers. Sudbury, 2003.
- 45- Said HM, Mohammed ZM. Intestinal absorption of water-soluble vitamins: an update. *Curr Opin Gastroenterol.* 2006;22(2):140-6.
- 46- Thompson J. Vitamins, minerals and supplements: part two. *Community Pract.* 2005;78(10):366-8.
- 47- Zempleni J, Mock DM. Biotin biochemistry and human requirements. *J Nutr Biochem.* 1999;10(3):128-38.
- 48- Mock DM. Biotin. In: Rucker B, Suttie J, McCormick D, Machlin L, eds. *Handbook of Vitamins.* Marcel Dekker. New York, 2001:397-426.
- 49- Staggs CG, Sealey WM, McCabe BJ, Teague AM, Mock DM. Determination of the biotin content of select foods using accurate and sensitive HPLC/avidin binding. *J Food Compos Anal.* 2004;17(6):767-776.
- 50- Gerber M. Biofactors in the Mediterranean diet. *Clin Chem Lab Med.* 2003;41(8):999-1004.
- 51- Mock DM. Skin manifestations of biotin deficiency. *Semin Dermatol.* 1991;10(4):296-302.
- 52- Ortega Anta RM, Mena Valverde MC, Carvajales PA. Vitamina A. En: Gil Hernández A, editor. *Tratado de Nutrición. Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. Tomo I. Acción médica.* Madrid, 2005.

53- Martínez-Augustin O, Puerta Fernández V, Suárez Ortega MD. En: Gil Hernández A, editor. Tratado de Nutrición. Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. Tomo I. Acción médica. Madrid, 2005.

54- Ramírez-Tortosa MC, Quiles JL. Vitamina C, vitamina E y otros antioxidantes de origen alimentario. En: En: Gil Hernández A, editor. Tratado de Nutrición. Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. Tomo I. Acción médica. Madrid, 2005.

55- Pearson DA. Bone health and osteoporosis: the role of vitamin K and potential antagonism by anticoagulants. Nutr Clin Pract. 2007;22(5):517-44.

56- Kaneki M, Hosoi T, Ouchi Y, Orimo H. Pleiotropic actions of vitamin K: protector of bone health and beyond?. Nutrition. 2006;22(7-8):845-52.