

Nutrición clínica en la infancia

Editores

Dr. Oscar Brunser

*Instituto de Nutrición y Tecnología
de los Alimentos
(INTA)
Universidad de Chile
Santiago (Chile)*

Dr. Francisco R. Carrazza

*Instituto da Criança
Hospital das Clínicas
Universidade de São Paulo
São Paulo (Brasil)*

Dr. Michael Gracey

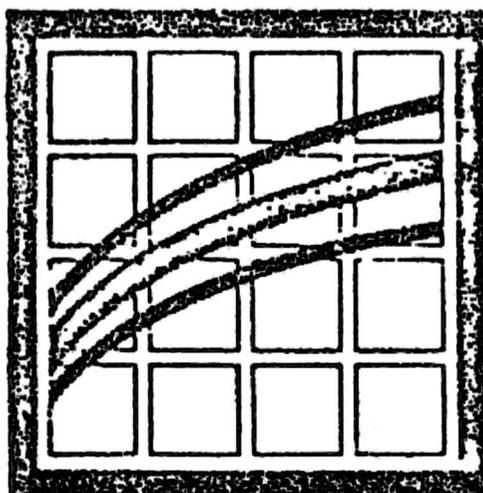
*Princess Margaret Children's
Medical Research Foundation, Inc.
Perth (Australia)*

Dr. Buford L. Nichols

*Baylor College of Medicine
Department of Pediatrics
Houston, Texas (United States of America)*

Dr. Jacques Senterre

*Département de Pédiatrie
Centre Hospitalier Universitaire
Liège (Belgique)*



NESTLÉ NUTRITION

Raven Press ■ New York

Proteínas: química, metabolismo y requerimientos nutricionales

Benjamín Torún, M.D., Ph.D.

*Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá
(INCAP), Ciudad de Guatemala, Guatemala*

Resumen

La dieta debe aportar proteínas ya que estas sirven como fuente de aminoácidos esenciales y de nitrógeno para la síntesis de aminoácidos no esenciales y de otros compuestos nitrogenados. Las proteínas se caracterizan por tener una estructura primaria, que generalmente determina la estructura tridimensional y muchas de las propiedades biológicas, una estructura secundaria (el plegado de la cadena polipeptídica) y una disposición tridimensional (la estructura terciaria). Cuando una proteína está formada por dos o más polipéptidos se dice que tiene una estructura cuaternaria. El metabolismo proteico involucra un conjunto metabólico (*pool*) de aminoácidos de origen alimenticio y endógeno. El *pool* representa una fuente dinámica de aminoácidos más que un depósito estático. El recambio proteico es regulado por la ingesta y los requerimientos de proteína y está bajo control hormonal. La digestión de las proteínas comienza con su desnaturalización por la acidez gástrica y con la hidrólisis péptica en el estómago y continúa en el intestino delgado, donde los aminoácidos libres son absorbidos mediante el concurso de transportadores específicos, o en forma de dipéptidos y a veces de tri y tetrapéptidos. Los péptidos son transportados activamente al citoplasma de las células intestinales donde son hidrolizados por peptidasas intracelulares. El balance nitrogenado "verdadero" se calcula sustrayendo del nitrógeno ingerido las pérdidas por la orina, las heces, el sudor y otros líquidos orgánicos. El balance "aparente" de nitrógeno se calcula sustrayendo de la ingesta total la excreción fecal y la pérdida urinaria de nitrógeno. La calidad de una proteína está relacionada con su patrón de aminoácidos y con su digestibilidad, en tanto que el valor nutritivo (definido por su contribución a la formación de tejidos nuevos) implica, además del concepto de calidad proteica, la cantidad total presente en los alimentos y su disponibilidad. El contenido proteico de una dieta se expresa como la proporción de la energía que es aportada por la proteína (relación P/E). Para evaluar la calidad de una proteína de la dieta

se compara la cantidad del aminoácido esencial limitante presente en dicha proteína con un patrón aminoacídico de referencia. La digestibilidad "aparente" de una proteína es la proporción del nitrógeno ingerido que no se excreta por las heces. La digestibilidad "real" se calcula sustrayendo del nitrógeno fecal total las pérdidas fecales obligatorias. Multiplicando el puntaje aminoacídico de una proteína por su digestibilidad real se obtiene la utilización proteica neta (UPN). Si bien existen muchos métodos para evaluar el valor nutritivo de las proteínas, estos solo permiten hacer predicciones aproximadas, la prueba definitiva de la calidad de una proteína es la demostración de su capacidad para mantener el estado de salud, el crecimiento y otras funciones corporales durante estudios a largo plazo. En el caso de los niños, las proteínas deben ser capaces de permitir que el organismo mantenga ritmos normales de formación de tejidos nuevos y de crecimiento. Como las necesidades en proteína son influenciadas por la ingesta de energía, el requerimiento proteico de un individuo debe definirse mientras el balance energético se mantiene en equilibrio con niveles moderados de actividad física. El nivel recomendado de ingesta de proteína para un grupo determinado de individuos (el nivel seguro de la ingesta proteica) sería la cantidad necesaria para cubrir las necesidades de aminoácidos esenciales y de nitrógeno, y para mantener la salud de casi todos los sujetos. Entre los factores que influyen en los requerimientos de proteína se encuentran la ingesta alimentaria de energía, la calidad y digestibilidad de dichas proteínas, las lesiones que pueda presentar el individuo, las intervenciones quirúrgicas y las infecciones. Al evaluar las necesidades en proteína de los niños de los países en los que la desnutrición es prevalente, deben tenerse en cuenta las necesidades para lograr un crecimiento de recuperación. Palabras clave: requerimientos de aminoácidos, puntaje químico, balance nitrogenado, relación proteína/energía, calidad proteica, requerimientos proteicos.

Las proteínas tienen características estructurales y funcionales que son esenciales para el mantenimiento de la vida y la salud. Se forman en el organismo por la unión de aminoácidos, algunos de los cuales son sintetizados a partir del nitrógeno de la dieta o los tejidos y de precursores hidrocarbonados (aminoácidos no esenciales). Otros aminoácidos deben ser ingeridos preformados en la dieta (aminoácidos esenciales). Por lo tanto, las proteínas de la dieta sirven como fuente de aminoácidos esenciales y del nitrógeno que se utilizará para la síntesis de los aminoácidos no esenciales y de otros compuestos necesarios para el funcionamiento del organismo

Además de servir como componentes de la estructura celular y tisular, algunas proteínas y derivados de los aminoácidos tienen funciones específicas importantes como enzimas, hormonas, proteínas transportadoras y hemoglobina. Por otra parte, la degradación de las proteínas provee energía a través de la oxidación de sus esqueletos hidrocarbonados. El conocimiento de la química y el metabolismo de las proteínas es importante para entender los procesos a través de los cuales las proteínas de la dieta se incorporan a los tejidos del organismo y se utilizan para mantener el crecimiento y otras funciones.

Química de los aminoácidos y las proteínas

Las proteínas son moléculas de alto peso molecular formadas por unidades llamadas aminoácidos. Las proteínas simples están formadas solamente por aminoácidos, en tanto que las más complejas incluyen en su estructura otros componentes

Los aminoácidos

Los aminoácidos tienen un radical amino y un carboxilo unidos al mismo átomo de carbono, que ocupa la posición alfa en la cadena hidrocarbonada. Aunque existen unos 300 aminoácidos en la naturaleza, sólo 20 participan en la síntesis de proteínas en los organismos vivos. Algunos otros aminoácidos, tales como la hidroxilisina, la 4-hidroxiprolina y la 3-metilhistidina, se encuentran en algunas proteínas pero se forman por hidroxilación o metilación de la lisina, la prolina y la histidina que ya formaban parte de la cadena peptídica de una proteína

Los aminoácidos que se usan para la síntesis de proteínas, excepto la glicina, tienen por lo menos un átomo de carbono asimétrico (es decir, un átomo de carbono al que están unidos cuatro átomos o radicales diferentes) y por lo tanto son ópticamente activos y rotan el plano de la luz polarizada. Aunque algunos son dextrógiros y otros levógiros, todos los aminoácidos que se encuentran en las proteínas tienen la configuración molecular espacial del L-gliceraldehído (es decir, el grupo OH está situado a la izquierda del átomo de carbono adyacente al alcohol

primario con que termina la cadena hidrocarbonada) y por lo tanto son L- α aminoácidos. La especie humana es capaz de transformar, por medio de reacciones de transaminación, algunos D-aminoácidos de la dieta, tales como la D-metionina y la D-fenilalanina, a formas L. Sin embargo, las formas D son utilizadas en forma menos eficiente que las formas L correspondientes (1)

Algunos aminoácidos (dispensables o no esenciales) pueden ser sintetizados en el organismo a partir de precursores nitrogenados y carbonados, en tanto que otros (indispensables o esenciales) deben ser ingeridos preformados en la dieta (tabla 1). La tirosina y la cisteína se llaman semiesenciales porque pueden ser sintetizados exclusivamente a partir de la fenilalanina y la metionina, respectivamente, cuando estos dos aminoácidos son ingeridos en cantidades adecuadas. Cuando la ingesta de tirosina y de cisteína es suficiente, los requerimientos alimentarios de fenilalanina y de metionina disminuyen

Péptidos y proteínas

La unión de dos o más aminoácidos por medio del enlace peptídico produce péptidos y proteínas. En los humanos vivos, la mayor parte de los péptidos y todas las proteínas se sintetizan en ribosomas citoplasmáticos. Los péptidos están formados por 2 a 100 aminoácidos. Las proteínas son moléculas de mayor tamaño. La línea divisoria entre los péptidos grandes y las proteínas pequeñas se coloca generalmente en los pesos moleculares de 8 000 a 10 000 (10 a 100 aminoácidos)

El enlace peptídico se produce generalmente entre el grupo α -amino de un aminoácido y el α -carboxilo de otro. Esta reacción química, que supone el desprendimiento de una molécula de agua, se muestra simplificada en la figura 1

Todas las proteínas están formadas por cadenas polipeptídicas pero muchas de ellas además incluyen sustancias no aminoacídicas. El número y el tipo de aminoácidos presentes y el orden en que están unidos

TABLA 1 Clasificación de los aminoácidos de la dieta desde el punto de vista nutricional

Esenciales	Parcialmente esenciales	No esenciales
Histidina* (His)		Alanina (Ala)
Isoleucina (Ile)		Arginina (Arg)
Leucina (Leu)		Asparagina (Asn)
Lisina (Lis)		Ácido Aspártico (Asp)
Metionina (Met)	Cisteína (Cis)	Ácido glutámico (Glu)
Fenilalanina (Fen)	Tirosina (Tir)	Glutamina (Gln)
Treonina (Tre)	Taurina (Tau)	Glicina (Gli)
Triptófano (Trp)		Prolina (Pro)
Valina (Val)		Serina (Ser)

* Esencial para la nutrición de los lactantes, su condición de esencial no ha sido establecida con certidumbre para niños mayores y adultos

~~* Parcialmente esenciales en ciertas circunstancias. La nomenclatura acerca de este aminoácido que no participa en la síntesis proteica, se ha completado~~

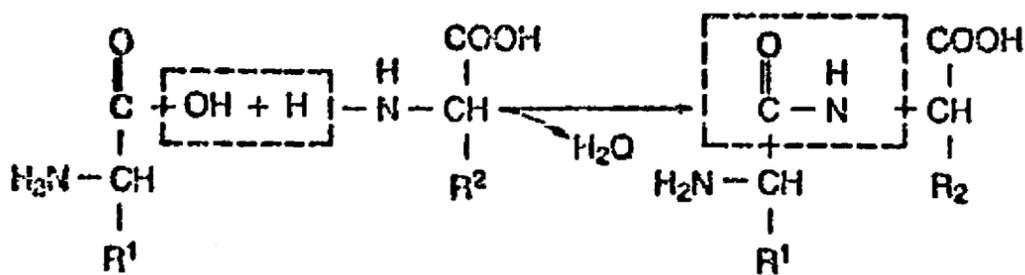


FIG. 1 Unión de dos aminoácidos por medio de un enlace peptídico

en la cadena polipeptídica constituyen la *estructura primaria* de la proteína. Por ejemplo, las porciones Ala-His-Ile-Gli-Ala y Ala-Ala-His-Ile-Gli tienen los mismos aminoácidos pero diferente estructura primaria. La estructura primaria generalmente determina la disposición tridimensional de la molécula y muchas de sus propiedades biológicas. La *estructura secundaria* de las proteínas se refiere a los pliegues de las cadenas de polipéptidos, debidos especialmente a la presencia de enlaces disulfuro o de hidrógeno entre distintas partes de la misma cadena. La *estructura terciaria* es la disposición tridimensional de diversas regiones y/o residuos de aminoácidos en una cadena polipeptídica y se mantiene por fuerzas interatómicas débiles, tales como enlaces de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals. La estructura terciaria determina, por ejemplo, si una cadena polipeptídica se pliega sobre sí misma, o si tiene una disposición helicoidal, o adquiere la forma de un bastón alargado.

Las proteínas formadas por dos o más cadenas polipeptídicas que no están unidas entre sí por uniones peptídicas o disulfuro forman una *estructura cuaternaria*. Las cadenas polipeptídicas individuales que forman este tipo de proteínas se llaman monómeros, protómeros o subunidades. Están unidas por enlaces de hidrógeno, electrostáticos o iónicos entre los residuos de las cadenas polipeptídicas, formando oligómeros con configuraciones espaciales específicas (por ejemplo, esferas huecas o espirales dobles).

La desnaturalización de una proteína consiste en la destrucción de su estructura original por mecanismos físicos, químicos o enzimáticos y generalmente resulta en modificaciones o pérdida de la actividad biológica. La ruptura de la estructura primaria de una cadena polipeptídica se llama desnaturalización final, degradación o hidrólisis.

Función de los aminoácidos y los péptidos

La mayor parte de los aminoácidos forma parte de las proteínas del organismo. Algunos aminoácidos, sin embargo, no son constituyentes de las proteínas sino que cumplen funciones metabólicas importantes o entran en la composición de moléculas esenciales, de naturaleza no proteica.

Muchos péptidos también cumplen funciones fisiológicas importantes. Algunos de ellos están formados por aminoácidos unidos por enlaces peptídicos entre grupos α -amino y α -carboxilo. Tal es el caso de

la bradikinina, que está compuesta por nueve aminoácidos y que es un agente hipotensor que actúa sobre el músculo liso, se forma a partir de algunas proteínas plasmáticas específicas cuando se las somete a la acción de la tripsina o de algunos venenos de serpiente. Otros péptidos, tales como el glutatión, que es requerido para el metabolismo de la insulina y la actividad de varias enzimas, tiene una unión peptídica atípica, no alfa.

Algunos polipéptidos pueden contener más de un segmento fisiológicamente activo. Por ejemplo, la β -lipotropina es una hormona hipofisiaria formada por 91 aminoácidos que estimula la liberación de ácidos grasos del tejido adiposo, contiene en su cadena la secuencia de la hormona melanocito-estimulante (β -MSH) en los 18 aminoácidos que se encuentran entre las posiciones 41 al 58, mientras que en las posiciones 61 al 91 se encuentran superpuestas las secuencias de la metionina-encefalina, de la α -endorfina, la γ -endorfina y la β -endorfina. Por lo tanto, es probable que este polipéptido de 91 aminoácidos, sería probablemente sea el precursor de los péptidos menores.

Metabolismo

El metabolismo proteico es complejo e involucra un conjunto (*pool*) de aminoácidos libres que se originan de alimentarias dietarias y endógenas (fig. 2). Este conjunto de aminoácidos, más que un compartimiento de almacenamiento, representa una fuente dinámica de aminoácidos que se utilizan para la síntesis de proteínas y otros compuestos. El exceso de aminoácidos que pudiera aportar la dieta no se almacena en cantidades significativas sino que se transforma en otros compuestos, tales como ácidos nucleicos, glucosa y cetonas, o son degradados y excretados. Se calcula que el conjunto de aminoácidos libres equivale a 0,7% de la proteína corporal del adulto (2).

La figura 2 también muestra que hay un reciclaje considerable de aminoácidos. Este proceso de degradación y síntesis simultáneos se conoce como recambio (*turnover*) proteico. En la síntesis proteica tienen mayor participación los aminoácidos endógenos, originados por la degradación de componentes tisulares, que los que provienen de la dieta. Durante la fase anabólica la síntesis de proteínas excede a la degradación, mientras que en la fase catabólica ocurre lo contrario. En este último caso, los aminoácidos se usan como fuente de energía y subproductos nitrogenados (fundamentalmente urea y amonio) se excretan por la orina. Las velocidades de síntesis y de degradación están reguladas por la ingesta y los requerimientos y se encuentran bajo control hormonal.

Digestión

La digestión proteica comienza con la desnaturalización y la hidrólisis enzimática en el estómago y

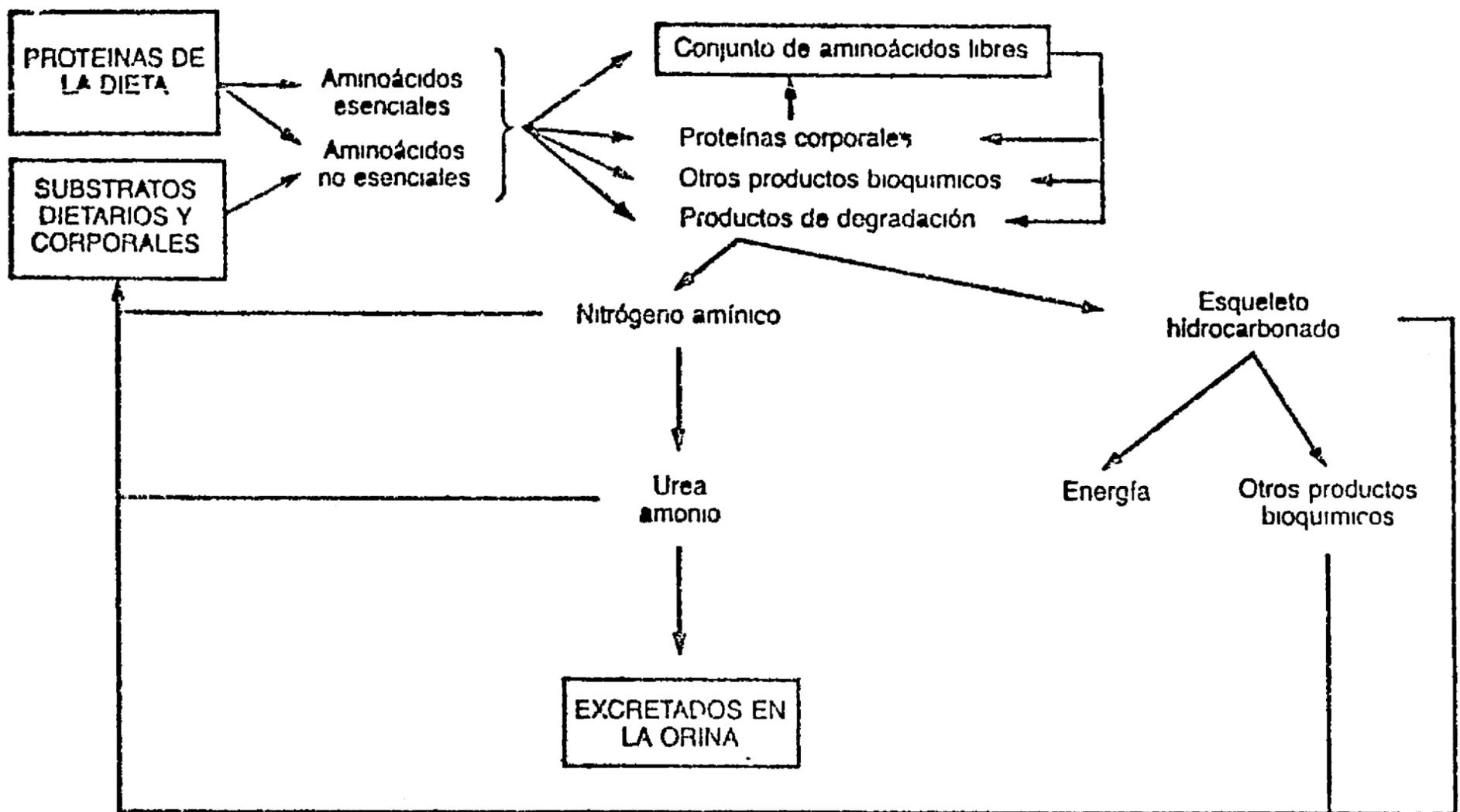


FIG. 2 Metabolismo de las proteínas y los aminoácidos. Los aminoácidos esenciales y no esenciales de los alimentos y de las proteínas corporales y los aminoácidos no esenciales que sintetiza el organismo forman parte de un conjunto metabólico (*pool*) de aminoácidos libres, la mayor parte del cual se destina a la síntesis de proteína y al reciclaje. Otros aminoácidos participan en la formación de productos como purinas, hormonas, neurotransmisores y creatina, o son degradados. En este último caso, el nitrógeno es excretado, principalmente como urea, o es utilizado para la síntesis de aminoácidos no esenciales. El esqueleto hidrocarbonado es oxidado como fuente de energía, participa en la síntesis de productos tales como glucosa o cuerpos cetónicos, o se usa para sintetizar aminoácidos no esenciales.

continúa en el intestino delgado, donde se absorben los aminoácidos y los péptidos. Las proteínas de la dieta deben ser hidrolizadas por las enzimas proteolíticas del tracto gastrointestinal, liberándose péptidos y aminoácidos. La tabla 2 muestra las diversas enzimas que participan, su sitio de producción, sus sustratos y productos o acciones finales. La cantidad de enzimas proteolíticas que secreta el páncreas es regulada por la presencia de proteínas de la dieta en el lumen intestinal (3).

No todas las proteínas que llegan al lumen intestinal provienen de la dieta. Las enzimas digestivas, otras secreciones intestinales y las células epiteliales que se descaman constantemente de la mucosa y que son reemplazadas por la actividad mitótica de las criptas de Lieberkuhn, aportan diariamente unos 70 g de proteína endógena en el caso de los adultos (2). La mayor parte de dicha proteína se absorbe. La pérdida fecal obligatoria de nitrógeno (es decir el nitrógeno que se pierde por las heces mientras se ingiere una dieta libre de proteína) equivale a sólo unos 3 a 5 g de proteína por día en el adulto (4,5) y a 1 a 2 g en los preescolares (6,7).

La digestión de las proteínas de origen animal es más fácil y más rápida que la de las de origen vegetal, probablemente porque estas últimas están frecuentemente encapsuladas por carbohidratos no digeribles. Las proteínas endógenas que se secretan al lumen intestinal también resisten más tiempo la digestión enzimática porque, en contraste con las

proteínas de la dieta, no han sido desnaturalizadas por el ácido clorhídrico gástrico y la mayoría están protegidas por la estructura de las células descamadas de las que forman parte. Las bacterias intestinales juegan un papel importante en la digestión de estas proteínas (8).

Algunas plantas contienen factores inhibidores de las enzimas proteolíticas. La antitripsina que se encuentra en la soja y en otras leguminosas es un ejemplo clásico. Cuando dichas leguminosas se ingieren sin un adecuado calentamiento o cocción previos, interfieren con la digestión y la absorción de las proteínas.

Absorción

Los aminoácidos se absorben en forma libre y a veces como di, tri y tetrapéptidos. Los péptidos son transportados activamente al citoplasma de las células epiteliales intestinales donde son hidrolizados por peptidasas intracelulares. El producto final de este proceso son aminoácidos libres que pasan al torrente sanguíneo.

La absorción de los aminoácidos es rápida en el duodeno y el yeyuno y mucho más lenta en el íleon. Los isómeros naturales de forma L son transportados de manera activa a través de la mucosa intestinal más rápidamente que las correspondientes formas D. Estas últimas aparentemente son transportadas por difusión pasiva.

TABLA 2 Enzimas proteolíticas que participan en la digestión de las proteínas en el ser humano

Sitio de producción	Enzima	Sustrato	Productos o acciones finales
Glándulas gástricas	Pepsina (pepsinógeno activado por HCl)	Proteínas Polipéptidos	Polipéptidos
	Gelatinasa	Gelatina	Licuefacción
	Rennina o quimosina (encontrada en el estómago de animales recién nacidos, probablemente ausente en el hombre)	Caseína de la leche	Coagulación
Páncreas	Tripsina (tripsinógeno activado por una enteropeptidasa intestinal)	Proteínas Polipéptidos	Polipéptidos Dipéptidos
	Quimotripsinas (quimotripsinógenos activados por la tripsina)	Proteínas Polipéptidos	Igual que la tripsina Coagulación
	Elastasa (proelastasa activada por la tripsina)	Elastina Otras proteínas	Igual que la tripsina Igual que la tripsina
	Carboxipeptidasas A y B (procarboxipeptidasas activadas por la tripsina)	Polipéptidos atacados desde el carboxilo libre de la cadena	Péptidos cortos Aminoácidos
Intestino delgado	Enteropeptidasa (enteroquinasa)	Tripsinógeno	Tripsina
	Aminopectidasa	Polipéptidos atacados desde el grupo amino libre de la cadena	Péptidos menores Aminoácidos
	Dipeptidasas	Dipéptidos	Aminoácidos
	Peptidasas	Di, tri y tetrapéptidos	Aminoácidos

Hay por lo menos tres sistemas separados para el transporte activo de los aminoácidos. Estos sistemas requieren energía. Los sistemas de transporte tienen cierta especificidad para los aminoácidos neutros, básicos y ácidos, y para la prolina, la hidroxiprolina y algunos otros compuestos. Los aminoácidos de cada clase compiten entre sí por el respectivo transportador. La absorción de los aminoácidos está acoplada al transporte de sodio y es facilitada por la presencia de concentraciones elevadas de este cation en el lado mucoso del epitelio intestinal. Algunos di, tri y tetrapéptidos se absorben intactos a las células epiteliales, donde las peptidasas citoplasmáticas los hidrolisan a aminoácidos libres. Los aminoácidos absorbidos y los que resultan de la hidrólisis intracelular se acumulan en el citoplasma desde donde se difunden a la sangre aparentemente en forma pasiva.

Los lactantes pequeños serían capaces de absorber por pinocitosis pequeñas cantidades de proteínas no digeridas. La absorción de proteínas extrañas puede inducir la formación de anticuerpos por parte del niño, los cuales pueden dar origen a reacciones alérgicas después de ingerir determinados alimentos.

Utilización de los aminoácidos

La síntesis proteica requiere la presencia de los ²⁰ aminoácidos que aparecen en la tabla 1. Por lo tanto, todos los aminoácidos son igualmente esenciales a

nivel celular, aun cuando desde el punto de vista nutricional sólo sean estrictamente esenciales aquellos que el organismo no es capaz de sintetizar. Estos últimos deben ser provistos por la dieta, en tanto que los no esenciales pueden ser proporcionados por la dieta o sintetizados por el organismo. Los aminoácidos no esenciales se sintetizan a partir de otros aminoácidos no esenciales o esenciales o de precursores tales como la glucosa y el amonio. La figura 3 resume las vías metabólicas para dichas síntesis. Tal como se muestra en la figura, algunas vías metabólicas pueden estar presentes sólo en ciertos tejidos (como por ejemplo la que conduce a la hidroxilación de la fenilalanina, que existe solo en el hígado), en tanto que algunos aminoácidos pueden seguir más de una vía metabólica.

Si un aminoácido esencial está presente en cantidades insuficientes, la síntesis proteica queda limitada y los demás aminoácidos no pueden ser utilizados por el organismo aunque estén presentes en cantidades adecuadas y, por lo tanto, son degradados, su componente amínico se excreta principalmente como urea y amonio y su esqueleto hidrocarbonado se oxida para formar cetoácidos. La mayor parte de estos cetoácidos entra al ciclo del ácido cítrico (o de Krebs) para completar su oxidación formar glucosa (aminoácidos glucogénicos), en tanto que otros dan origen a ácido acetoacético (aminoácidos cetogénicos) (tabla 3). La glucosa, el ácido pirúvico y el acetoacetato que se forman a partir de los aminoácidos sirven como fuentes importantes de energía para los tejidos.

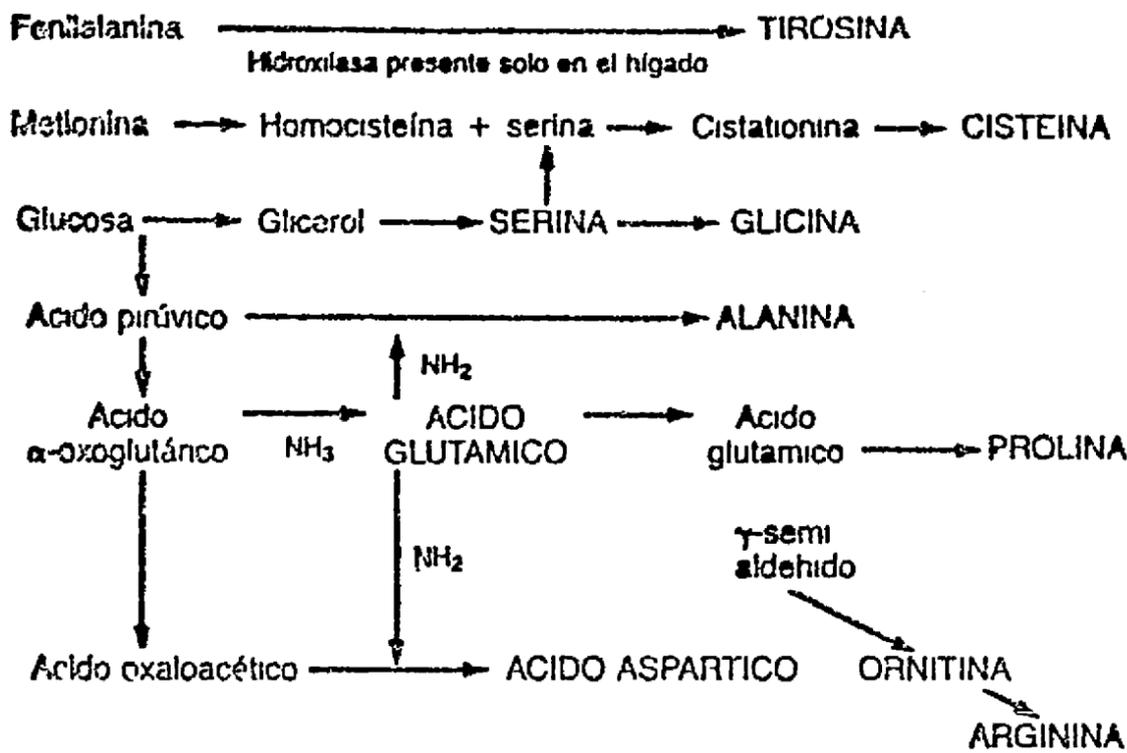


FIG. 3 Vías metabólicas para la síntesis de aminoácidos no esenciales (Tomado de Munro, ref 1)

Recambio proteico

Las proteínas del organismo están sometidas a un proceso constante de degradación y de síntesis que se denomina recambio (*turnover*) proteico. Los aminoácidos liberados durante la degradación proteica, los que se sintetizan *de novo* a partir de precursores carbonados y nitrogenados y los que son proporcionados por la alimentación forman un conjunto o masa metabólica (*pool*) de aminoácidos libres disponible para la formación de polipéptidos. La concentración tisular de estos aminoácidos libres es unas 150 a 200 veces menor que la de los aminoácidos ligados a las proteínas (2).

El recambio diario de proteínas corporales varía entre 250 y 340 g en el hombre adulto. Esta cifra es varias veces mayor que la ingesta proteica diaria, que usualmente oscila entre 75 y 125 gramos. La diferencia entre el recambio diario y la ingesta indica que la reutilización de los aminoácidos liberados por la degradación tisular es un componente importante del metabolismo proteico. La reutilización de aminoácidos como parte del recambio diario sugiere que el organismo puede compensar fluctuaciones de corta duración en la ingesta de proteínas. Los aminoácidos que no se reutilizan para la síntesis de péptidos o de proteínas son degradados. La figura 4 resume las vías de degradación de los aminoácidos. El ácido glutámico y el amonio que se producen en estas

reacciones se excretan eventualmente como urea. La figura 5 muestra la vía metabólica de la síntesis de este último compuesto.

La velocidad de recambio de las proteínas varía en los diferentes tejidos, es sumamente rápida en las células intestinales, en tanto que en el colágeno es muy lenta. El recambio proteico total es influido por diversos factores metabólicos y hormonales relacionados con condiciones fisiológicas y patológicas. En el estado de equilibrio la síntesis y la degradación son iguales. En los niños que están creciendo la velocidad de ambos componentes del metabolismo proteico está aumentada pero predomina la síntesis. También se produce una acumulación grande de proteínas durante el crecimiento rápido de recuperación después de un episodio de desnutrición, infección o traumatismo. Por el contrario, la adaptación a ingestas inadecuadamente bajas de proteínas induce una disminución de la velocidad del recambio y catabolismo proteico.

Pérdidas obligatorias de nitrógeno

La síntesis y la degradación de las proteínas continúan aún cuando el individuo se alimente con una dieta libre de proteínas. En estas condiciones la reutilización de los aminoácidos se vuelve sumamente eficiente y sólo se degrada una cantidad muy pequeña de ellos (figuras 4 y 5). Aunque en la orina se excretan otras sustancias nitrogenadas, de origen no proteico, como la creatinina y el ácido úrico, el nitrógeno urinario representa el catabolismo proteico. La cantidad de nitrógeno que aparece en la orina cuando no se ingiere proteína se denomina nitrógeno urinario obligatorio o metabólico. Existe una excreción fecal obligatoria de nitrógeno que se hace evidente cuando la dieta está totalmente desprovista de proteínas. La pérdida de nitrógeno que se produce en estas circunstancias se llama nitrógeno fecal obligatorio o endógeno. Este nitrógeno se origina de la descamación del epitelio intestinal, de las secreciones digestivas y de las bacterias.

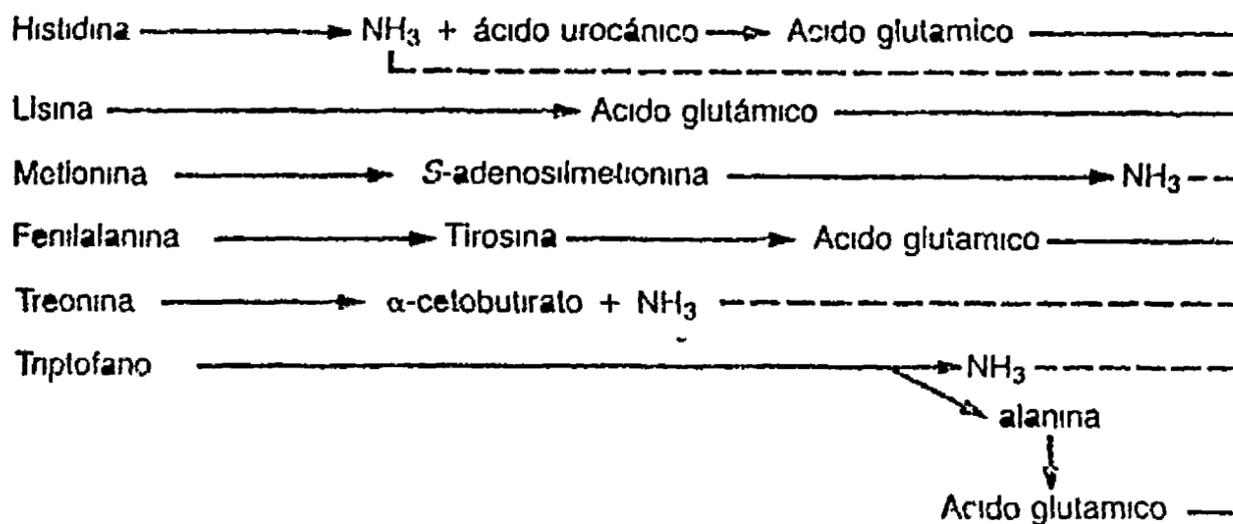
También se producen pérdidas de nitrógeno a través de la piel, ya que es un componente del sudor

TABLA 3 Capacidad glucogénica y cetogénica de aminoácidos sometidos a deaminación oxidativa

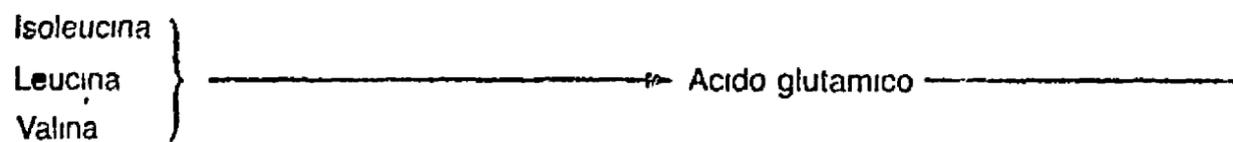
Glucogénicos		Cetogénicos	Glucogénicos y cetogénicos
Ala	Gli	Leu	Ile
Arg	Hls		Lis
Asn	Met		Pen
Asp	Pro		Trp
Cla	Ser		Tir
Gln	Tre		
Glu	Val		

AMINOACIDOS ESENCIALES

HIGADO



MUSCULO, RIÑON, CEREBRO



AMINOACIDOS NO ESENCIALES

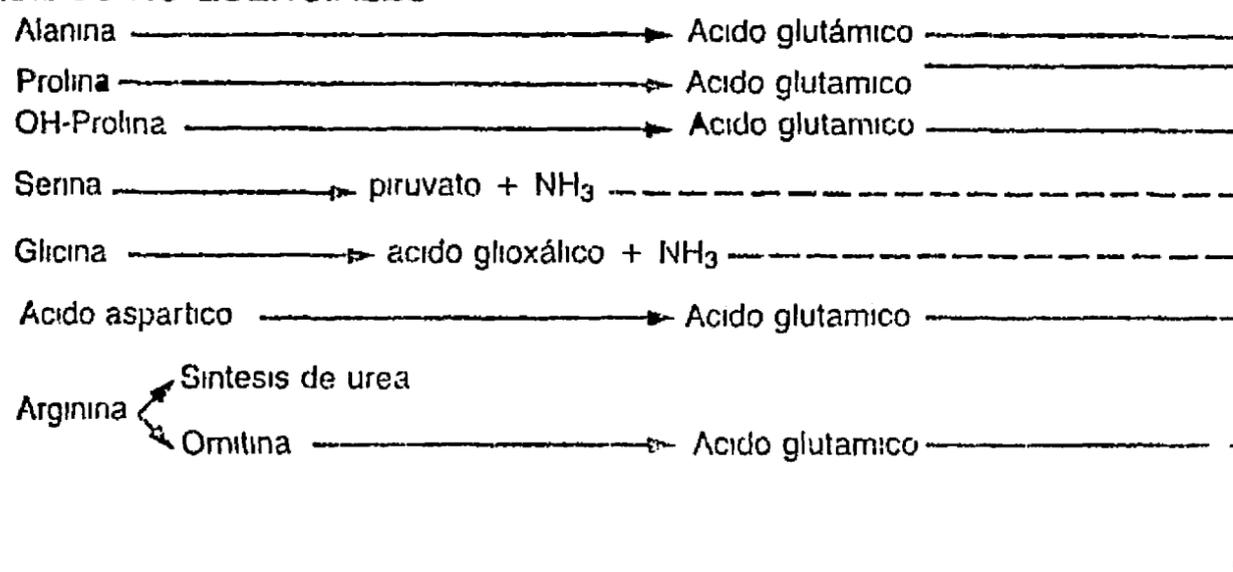


FIG. 4 Vías degradativas del metabolismo de los aminoácidos (Modificado de Munro y Crim, ref 2)

y de las células descamadas de la epidermis y porque se incorpora a las uñas y el cabello. Las pérdidas obligatorias de nitrógeno por la piel son pequeñas a menos que se produzca sudoración profusa.

Las pérdidas obligatorias totales deben tomarse en consideración para la correcta interpretación de los resultados de los balances de nitrógeno y en el cálculo de los requerimientos proteicos por el método factorial.

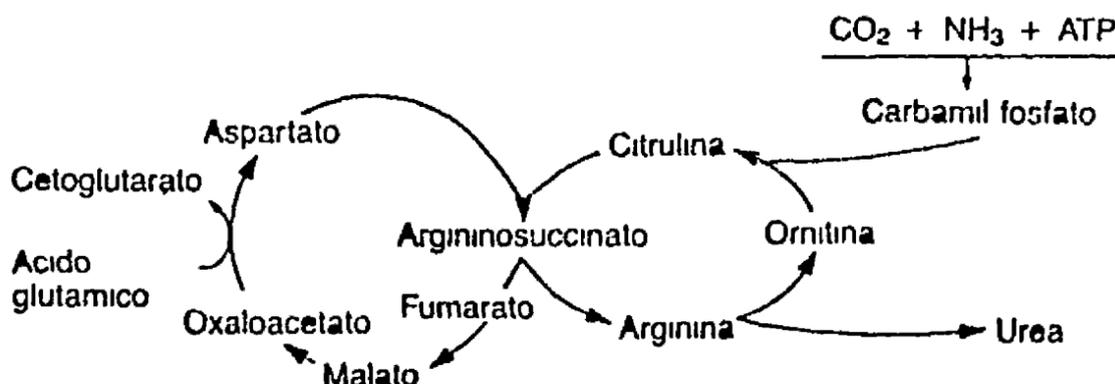
Balance de nitrógeno

El cálculo del balance de nitrógeno, que es la diferencia entre la ingesta y las pérdidas de nitrógeno, es la

forma más común de evaluar el metabolismo proteico. Cuando la ingesta supera a las pérdidas existe un balance positivo, que es un índice de anabolismo proteico. El balance negativo, en el que las pérdidas exceden a la ingesta, indica el predominio del catabolismo. Como las proteínas contienen en promedio 16% de nitrógeno, 1 g de nitrógeno aportado por una dieta mixta representa 6,25 g de proteína alimentaria. Casi todo el nitrógeno que se excreta por la orina, las heces, la piel, la sudoración y otros líquidos orgánicos se deriva ya sea de aminoácidos y proteínas exógenos (de la dieta) o endógenos (del organismo).

Debido a la complejidad que supone la medición de las pérdidas de nitrógeno por otras vías, el balance

FIG. 5 Aminoácidos que participan en la síntesis de la urea. La conversión de la ornitina en citrulina y después en arginina, a partir de la cual se forma urea y se regenera ornitina, se llama ciclo de la urea o de Krebs-Henselheit.



nitrogenado se calcula generalmente sustrayendo de la ingesta total el nitrógeno fecal y el urinario. Este es el llamado *balance nitrogenado aparente*. El *balance verdadero*, en cambio, toma en cuenta otras pérdidas. El balance nitrogenado aparente se puede transformar en verdadero restando 5 mg/kg/día de nitrógeno en los adultos (9) y 8 mg/kg/día de nitrógeno en lactantes y preescolares (6,10).

El balance nitrogenado verdadero debería estar próximo al equilibrio (balance nitrogenado en cero) en los adultos no embarazados. Los niños deben estar en balance verdadero positivo ya que necesitan retener nitrógeno para sintetizar las proteínas que se requieren para el crecimiento (tabla 4)

Valor nutritivo de las proteínas de la dieta

Los alimentos consisten principalmente en tejidos de origen animal o vegetal que contienen concentraciones variables de proteínas, péptidos y aminoácidos libres. Estas sustancias son absorbidas y utilizadas por el cuerpo humano en proporciones variables. El grado en que una proteína de la dieta contribuye a formar proteína tisular nueva define su valor nutritivo. Esta expresión se usa frecuentemente como sinónimo de *calidad proteica*. Sin embargo, esta última está relacionada con el contenido y el patrón de aminoácidos y con su digestibilidad, en tanto que el concepto de *valor nutritivo* implica, además del concepto de *calidad proteica*, el de contenido total y la biodisponibilidad. Cuando se evalúa una fuente alimentaria de proteínas, se deben tomar en cuenta varios factores: a) el contenido total de proteína y/o de nitrógeno, b) su patrón de aminoácidos, c) su digestibilidad, d) la biodisponibilidad de los aminoácidos que forman parte de ella.

Contenido total de nitrógeno de los alimentos

El procedimiento estándar que se emplea para determinar la cantidad de proteína en un alimento o una

TABLA 4 Retención de nitrógeno para el crecimiento

Edad	Retención de nitrógeno* (mg/kg/día)
6-8 meses	80
9-12 meses	64
13-18 meses	41
19-24 meses	31
2-3 años	28
3-5 años	22
5-10 años	17

* Calculada después de agregar 50% al incremento teórico de la masa corporal y de corregir por una eficiencia de utilización de las proteínas de la dieta del 70%.

Adaptado de OMS (13)

dieta mixta es la medición química del nitrógeno total. El resultado se multiplica por 6,25. Sin embargo, cuando se examina con mayor detalle la calidad de las proteínas de un alimento cualquiera, se puede observar que dicho contenido de nitrógeno puede ser diferente del 16% (por ejemplo, se debe multiplicar por 6,37 para la leche de vaca y por 5,18 para las almendras (11).

Densidad proteica y relación proteína/energía

La densidad proteica se expresa como gramos de proteína por 100 g de alimento. Este criterio ayuda a describir si un alimento tiene un contenido alto o bajo de proteínas. Como los alimentos contienen cantidades variables de agua y como las dietas humanas contienen sustancias no proteicas que reducen la densidad proteica, se prefiere expresar el contenido proteico de una dieta como la proporción de la energía total de dicho alimento que es proporcionada por las proteínas. Esta proporción se conoce como la *relación proteína/energía* o *relación P/E*. Una dieta que provee 100 g de proteína (4 kcal/g) y 3000 kcal por día tiene una relación proteína/energía de 13,3%.

La relación proteína/energía es más adecuada que la densidad proteica como indicador de la calidad de una fuente alimentaria de proteínas ya que las necesidades de energía de los individuos determinan la cantidad de alimentos que se ingieren. La mayor parte de las dietas que consumen habitualmente los seres humanos tiene una relación P/E que varía entre el 7 y el 15%. La tabla 5 enumera algunos alimentos de consumo habitual clasificados de acuerdo con esta relación.

Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas de la dieta

El aminoácido esencial presente en concentración más baja en relación a los requerimientos se denomina *aminoácido limitante*. La limitación en la calidad proteica de una dieta mixta para humanos usualmente se debe sólo a unos cuantos aminoácidos: la lisina, los aminoácidos azufrados (metionina y cisteína), la treonina y el triptofano.

Las proteínas de origen animal tienen generalmente concentraciones relativamente altas de aminoácidos esenciales. La calidad de las proteínas de la mayor parte de los vegetales, en cambio, está limitada por uno o más aminoácidos. Tal es el caso del trigo y el maíz, que contienen cantidades bajas de lisina. La soja y las variedades genéticamente mejoradas de maíz, sorgo y cebada, con alto contenido en lisina, constituyen excepciones notorias (12).

Para evaluar la calidad de las proteínas de la dieta en base a su composición aminoacídica, se compara la cantidad del aminoácido más limitante en un alimento, expresada en miligramos por gramo de proteína, con una proteína patrón de referencia. La tabla 6 muestra patrones de referencia para diversos grupos de edad (13). La calidad proteica de una

TABLA 5 Contenido de proteína de algunos alimentos, expresado como la proporción de la energía provista por las proteínas (relación P/E)

Alimento	Relación P/E (%)
Malo	
Mandioca, casava (<i>Manihot dulcis</i>)	3,0
Plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)	4,0
Batata, camote (<i>Ipomea batatas</i>)	4,5
Adecuado	
Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	8,0
Papa, pelada (<i>Solanum tuberosum</i>)	8,8
Maíz (<i>Zea mays</i>) grano, harina, tortilla, arepa	8,5-10,4
Sorgo (<i>Sorghum vulgare</i>)	10,3
Harina de trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	12,5
Bueno	
Maní, cacahuate (<i>Arachis hypogaea</i>)	19,1
Leche de vaca (3,5% de grasa)	20,3
Porotos negros, frijoles (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	26,1
Huevo de gallina	30,5
Carne de vacuno, medianamente grasosa (18% de grasosa)	30,7
Soja (<i>Glycine max</i>) poroto, harina integral	34,7
Pescado fresco	65-80

Calculado a partir de INCAP (19)

dieta (puntaje químico o aminoacídico) se puede calcular a partir de estos patrones si se conoce la composición de aminoácidos de los alimentos. Por ejemplo, una dieta basada fundamentalmente en alimentos vegetales podría tener la siguiente concen-

tración de aminoácidos esenciales, expresada en miligramos por gramo de proteína: lisina, 39, metionina más cisteína, 28, treonina, 26, y triptofano, 10. Si se administra esta dieta a preescolares, la calidad proteica sería (39/58) multiplicado por 100, o 67% en comparación con lo sugerido en la tabla 6 y considerando a la lisina como el aminoácido limitante. Este puntaje debe corregirse tomando en cuenta la digestibilidad de la proteína.

Mejoría del puntaje químico

La calidad proteica de una dieta que incluye uno o más aminoácidos limitantes puede mejorarse a través de la fortificación o de la complementación aminoacídica. La fortificación consiste en el agregado de aminoácidos puros a los alimentos, como por ejemplo, la adición de lisina a la harina de trigo. La complementación aminoacídica, por otra parte, resulta de la combinación de proteínas que están limitadas respecto a un aminoácido específico con otras proteínas que contienen cantidades relativamente altas del mismo aminoácido. La figura 6 muestra este procedimiento. De esta manera, la mezcla de proporciones adecuadas de maíz y de porotos negros da como resultado una dieta cuya calidad proteica es alta (14,15), por cuanto el bajo contenido de lisina del maíz es compensado por las altas concentraciones de este aminoácido en la leguminosa. Por otro lado, el contenido relativamente bajo en metionina del poroto negro es balanceado por la concentración más alta de este aminoácido en el maíz. Este principio ha sido aplicado en la formulación de mezclas industriales de alta calidad proteica basadas en proteínas vegetales.

Digestibilidad de las proteínas

Una proteína puede tener un puntaje aminoacídico alto pero si su absorción es limitada, su valor nutritivo

TABLA 6 Patrones sugeridos de aminoácidos esenciales (en miligramos por gramo de proteína) basados en los requerimientos de aminoácidos y en los niveles seguros de digesta de proteína para diferentes grupos de edad

Aminoácido	Composición promedio de la leche de vaca, huevos de gallina y la carne vacuna			
	Lactantes	Preescolares 2-5 años	Escolares 10-12 años	Adultos
Histidina	26	—	—	—
Isoleucina	46	28	29	13
Leucina	93	66	44	19
Lisina	66	58	53	16
Metionina + cisteína	42	25	24	17
Fenilalanina + tirosina	72	63	24	18
Treonina	43	34	32	9
Triptofano	17	11	8*	5
Valina	55	35	29	13

* Contenido promedio de triptofano en los patrones para preescolares y adultos

Calculados a partir de OMS (13,20), INCAP (23,24) y NRC/NAS (25)

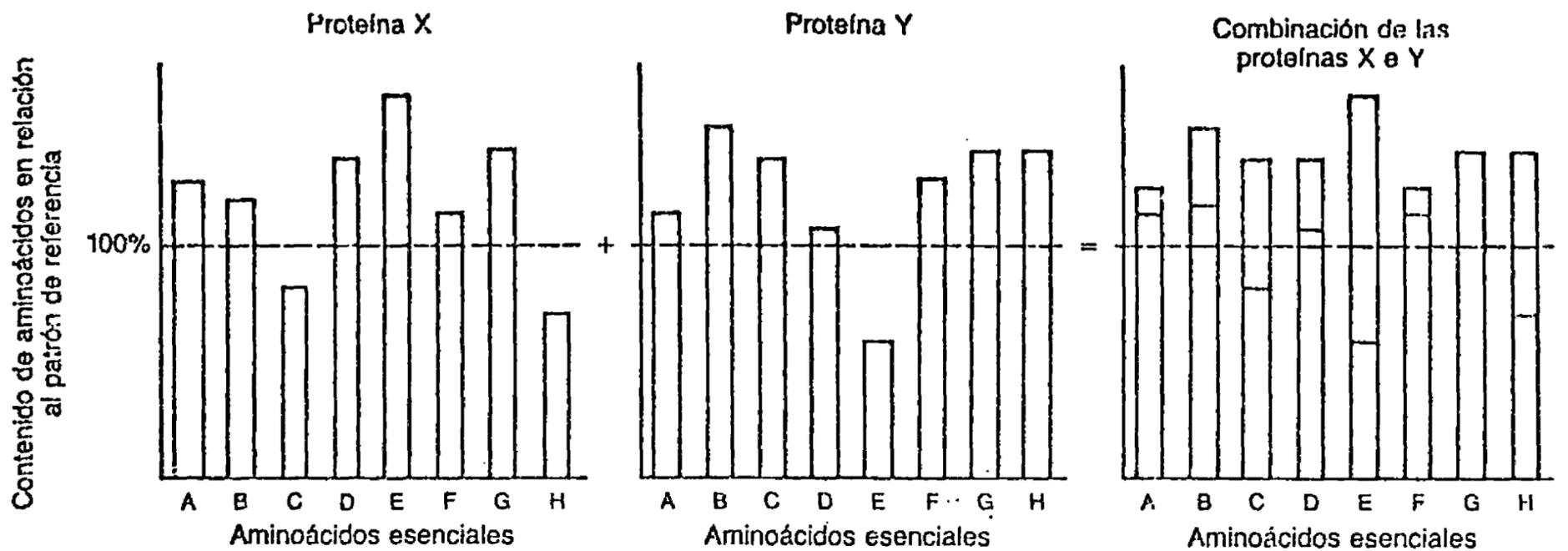


FIG. 6 Complementación aminoacídica a través de la combinación de dos proteínas que tienen diferentes aminoácidos limitantes. La proteína X compensa la deficiencia del aminoácido E en la proteína Y; la proteína Y compensa el déficit de los aminoácidos C y H en la proteína X.

es bajo. El puntaje químico o aminoacídico de una proteína debe corregirse por su digestibilidad, que es su absorción basada en la medición del nitrógeno alimentario y del que se excreta en las heces.

La *digestibilidad aparente* de una proteína es la proporción del nitrógeno ingerido que no se excreta por las heces. Se calcula según la fórmula (nitrógeno alimentario - nitrógeno fecal)/nitrógeno alimentario. Pero como no todo el nitrógeno fecal se deriva de la dieta, la *digestibilidad verdadera* de las proteínas se calcula sustrayendo las pérdidas obligatorias del nitrógeno fecal total:

$$\text{Digestibilidad verdadera (\%)} = \frac{N \text{ alimentario} - (N \text{ fecal} - N \text{ obligatorio})}{N \text{ alimentario}} \times 100$$

En los preescolares las pérdidas obligatorias de nitrógeno fecal son cercanas a 20 mg N/kg/día (7,8), mientras que en adultos son de 12 mg/kg/día (5,6). Para escolares y adolescentes se puede usar un valor intermedio: 16 mg N/kg/día.

Multiplicando el puntaje aminoacídico de una proteína por su digestibilidad verdadera se obtiene un valor aproximado de su utilización proteica neta (UPN):

$$\text{UPN aproximado} = \text{puntaje aminoacídico} \times \frac{\% \text{ de la digestibilidad verdadera}}{100}$$

La digestibilidad proteica de las dietas puede ser diferente debido a que las cualidades intrínsecas de sus proteínas son distintas (por ejemplo, las proteínas animales se digieren mejor que las de origen vegetal), a la existencia de componentes que interfieren con la digestión (inhibidores de la tripsina, polifenoles, fibra alimentaria) y a alteraciones en la liberación de los aminoácidos como resultado de la acción de las enzimas digestivas (debido, por ejemplo, a la formación de complejos entre las proteínas y otras sustancias de la dieta). Por lo tanto, es importante llegar a conocer la digestibilidad real de la

dieta. Para evaluar la calidad proteica se usan como patrones de referencia fuentes de proteínas de alta calidad biológica, tales como la leche, el huevo, la carne o el pescado. La tabla 7 resume datos acerca de la digestibilidad verdadera de varias proteínas y dietas, calculadas en varias publicaciones (4,13,16).

Un enfoque alternativo a la necesidad de determinar experimentalmente la digestibilidad consiste en asignar porcentajes estándar de digestibilidad a distintas dietas: 75 a 80% para aquellas basadas en cereales integrales y vegetales, 95% para las que están basadas en cereales refinados y proteínas animales y 85 a 90% para las dietas mixtas, que incluyen ambos tipos de alimentos. Se puede calcular la digestibilidad de una dieta mixta en base a la digestibilidad ponderada de sus componentes. Usando los datos de la tabla 7, la digestibilidad proximada de una dieta en que el 40% de la proteína proviene del arroz, el 35% de porotos, el 15% de trigo integral y el 10% de leche y huevos sería:

$$(0,40 \times 88) + (0,36 \times 61) + (0,15 \times 86) + (0,10 \times 95) = 79\%$$

Comparada con una proteína de referencia, la digestibilidad sería: 79/0,95, o 83%.

Disminución de la biodisponibilidad de los aminoácidos de la dieta

Bajo ciertas circunstancias la disponibilidad de los aminoácidos de las proteínas de la dieta puede ser menor que la que sugiere su composición química. Ya se han mencionado algunos de los factores que reducen la digestibilidad. La biodisponibilidad de algunos aminoácidos también puede disminuir como consecuencia del almacenamiento de los alimentos en condiciones inadecuadas o debido a su procesamiento industrial. Muchos aminoácidos dejan de estar disponibles cuando las proteínas son sometidas a calentamiento intenso, especialmente en presencia de azúcares o lípidos oxidados. En estas condiciones

TABLA 7 Valores promedio de digestibilidad "verdadera" de las proteínas en diversos alimentos y dietas

Fuente de proteína	Digestibilidad verdadera (%)	Digestibilidad en relación a la proteína animal (%)
Leche, huevo, carne, pescado	95	100
Porotos o frijoles	61	64
Productos de maíz	85	89
Mijo	79	83
Harina de avena	86	91
Arroz pulido	88	93
Aislado de soja	94	99
Harina de soja	86	91
Trigo entero	86	91
Harina refinada de trigo	96	101
Arroz + soya + leche	91	96
Dieta mixta brasilera	78	82
Dieta mixta china	94	99
Dieta mixta filipina	88	93
Dieta guatemalteca de maíz y frijol negro	72	76
Dieta mixta guatemalteca rural	79	83
Dieta india de arroz	77	81
Dieta india de arroz y porotos	78	82
Dieta india de arroz y leche	87	92
Dieta mixta estadounidense	96	101

Calculados a partir de Torún y colaboradores (4), OMS (13) y Rand y colaboradores (16).

las proteínas pueden volverse resistentes a la acción de las enzimas digestivas.

Cuando una proteína y un azúcar reductor, tal como la glucosa o la lactosa, se calientan o se almacenan en condiciones de temperatura y humedad elevadas se produce la reacción llamada de "pardeamiento" o de Maillard. En esta reacción el azúcar reacciona con las cadenas laterales libres de la lisina. Como consecuencia, hasta un 30% de la lisina no puede ser utilizado por el organismo. Esta reacción puede ocurrir durante el procesamiento industrial de la leche o al almacenar leche en polvo en forma inadecuada o prolongada.

La lisina y la cisteína pueden ser destruidas por el tratamiento intenso de las proteínas con álcalis. La metionina puede quedar no disponible para el

metabolismo cuando las proteínas se tratan con agentes oxidantes.

Evaluación de la calidad proteica y valor nutritivo

La evaluación de la calidad y del valor nutritivo de una proteína comienza con la determinación de su composición química y de su biodisponibilidad y termina con la determinación de su capacidad para satisfacer los requerimientos nutricionales del ser humano a diferentes edades. Esto último requiere pruebas clínicas y de alimentación que son caras; engorrosas y muy largas. Algunos de estos estudios pueden requerir meses de observación, como cuando se desea determinar si un alimento o una dieta son capaces de promover un ritmo adecuado de crecimiento.

Se han usado muchos procedimientos para evaluar la calidad de las proteínas y tanto sus ventajas como sus limitaciones han sido discutidas extensamente en algunas publicaciones (17,18). Entre estos métodos se incluyen determinaciones químicas, pruebas biológicas en animales, balances nitrogenados y estudios de digestibilidad en seres humanos y pruebas de alimentación en grupos de población.

Las pruebas basadas en estudios en animales y el balance nitrogenado en el hombre permiten calcular diversos indicadores acerca de la calidad de las proteínas. Los que se usan con mayor frecuencia son:

1. Índice de eficiencia proteica (protein efficiency ratio, PER) es la relación entre la ganancia de peso de un animal y la cantidad de proteína que se ingiere en un cierto lapso. Se mide generalmente en ratas a las que se alimenta con una dieta que contiene la proteína de prueba en una concentración del 9,1%.

$$PER = \frac{\text{ganancia ponderal}}{\text{ingesta de nitrógeno} \times 6,25}$$

2. Valor biológico (VB) es la proporción del nitrógeno absorbido que se retiene para el crecimiento y el mantenimiento de la estructura tisular, es decir, N retenido dividido por N absorbido o

$$VB = \frac{N \text{ retenido}}{N \text{ absorbido}} \times 100$$

donde N absorbido = N alimentario - (N fecal - N fecal obligatorio) y N retenido = N absorbido - (N urinario - N urinario obligatorio).

3. La utilización proteica neta (UPN) toma en cuenta las pérdidas de nitrógeno durante la digestión y es la proporción del nitrógeno ingerido que es retenida por el organismo; se expresa por la relación N retenido/N ingerido. También puede calcularse como el producto de VB multiplicado por la digestibilidad. El UPN se mide determinando el contenido de nitrógeno en el cuerpo de ratas jóvenes muertas que fueron alimentadas con una dieta sintética que contiene 10% de la proteína cuya utilización se investiga (UPN estandarizado). También puede calcularse

suministrando en su forma natural el alimento cuya utilización se está evaluando (UPN operacional). La UPN también se puede calcular en el hombre a partir de datos del balance nitrogenado. Finalmente, y como se mencionara anteriormente, la UPN se puede estimar a partir del puntaje aminoacídico de una proteína, corregido por su digestibilidad (UPN aproximado).

4. Índices del balance de nitrógeno (IBN) son las pendientes o coeficientes de regresión que correlacionan el balance de nitrógeno (y) con el nitrógeno absorbido o con el nitrógeno ingerido (x). El primero de estos términos es equivalente al BV y el segundo al UPN.

El puntaje aminoácido o químico es el método más práctico para estimar la calidad proteica. El aminoácido más limitante determina el puntaje químico. Este se multiplica por la digestibilidad de la proteína. La composición aminoacídica de una proteína se puede establecer por procedimientos químicos o puede derivarse a partir de información ya publicada (11). A su vez, la digestibilidad puede determinarse por medio de balances, hidrólisis *in vitro* o a partir de datos publicados en la literatura, como los que se muestran en la tabla 7.

Cualquiera que sea el método que se use para determinar la calidad de una proteína y su valor nutritivo, al interpretar los resultados se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. La extrapolación al ser humano de datos experimentales originados en estudios en animales o *in vitro* tiene limitaciones.
2. La biodisponibilidad y la utilización de las proteínas de la dieta puede ser afectada por otros alimentos o componentes de la dieta.
3. Los resultados clínicos de estudios de corta duración no son necesariamente equivalentes a los que se obtienen en estudios a largo plazo.
4. Todos los métodos de que se dispone son predictores aproximados del valor nutritivo de las proteínas. La prueba definitiva sólo se obtiene evaluando su influencia sobre la salud, el crecimiento y las demás funciones del organismo a largo plazo.

Requerimientos de proteínas y aminoácidos

Definiciones

El requerimiento de un adulto es la cantidad más baja de proteína que debe aportar la dieta para compensar las pérdidas de nitrógeno del organismo. En los niños y en las mujeres embarazadas o que están amamantando, el cálculo de la ingesta debe tener en cuenta, además, la necesidad de formar nuevos tejidos y de mantener velocidades de crecimiento compatibles con una buena salud. Como las necesidades de proteína son influidas por la ingesta de energía, el requerimiento de proteína de un indi-

viduo debe definirse mientras que dicho sujeto está en balance de energía y mantiene niveles moderados de actividad física.

Los requerimientos de proteína de un grupo de individuos de la misma edad y sexo siguen una distribución normal; aproximadamente la mitad de los individuos tiene necesidades de proteína que exceden el promedio y una proporción similar se sitúa por debajo de dicho parámetro. La ingestión de cantidades insuficientes de proteínas tiene efectos negativos sobre la salud. En cambio, no se han detectado efectos indeseables en individuos sanos cuando la ingesta sobrepasa considerablemente los requerimientos. El nivel de ingesta proteica recomendado para un grupo específico de población es la cantidad de proteína necesaria para cubrir las necesidades y mantener la salud de casi todas las personas y no las individuo promedio. Dicha cantidad de proteína se denomina nivel seguro de ingesta proteica y es realmente el requerimiento proteico de ese grupo de individuos. Desde el punto de vista operacional se lo define como el requerimiento promedio más dos desviaciones estándar (13,20). Dicho nivel de ingesta satisfará las necesidades de proteína del 97,5% de los individuos de esa edad y sexo.

Determinación de los requerimientos

En 1971, un comité de expertos establecido por la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y por la Organización Mundial de la Salud (OMS) calculó requerimientos de proteína por el método factorial (20). Este método se basa en el cálculo de las pérdidas obligatorias de nitrógeno y de las cantidades requeridas para la síntesis de proteína, corregidas por la ineficiencia de la utilización de las proteínas de la dieta. Datos que se originaron posteriormente de investigaciones efectuadas acerca del balance nitrogenado y las pérdidas obligatorias demostraron la falta de precisión del método factorial para el cálculo de los requerimientos de proteína. Un grupo de expertos convocado por las dos entidades antes nombradas más la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) (Comité FAO/OMS/UNU) que se reunió en 1981 (13), usó como base para sus estimaciones la medición de la cantidad de nitrógeno que se requiere para mantener el balance de nitrógeno y la velocidad de crecimiento a un ritmo satisfactorio, en estudios a corto y a largo plazo en niños y en adultos. Los requerimientos de los lactantes se calcularon usando como base la medición de los volúmenes de leche materna que son capaces de mantener velocidades de crecimiento consistentes con los patrones aceptados.

Los requerimientos de aminoácidos esenciales han sido determinados experimentalmente en lactantes, preescolares, escolares y adultos (tabla 8). Tal como se expresara anteriormente, los requerimientos de los lactantes se han estimado a partir de los volúmenes de ingesta de leche materna o de fórmulas lácteas que permiten que el crecimiento se mantenga a ritmos que se estiman satisfactorios (21,22).

TABLA 8 Estimación de los requerimientos de aminoácidos esenciales para diferentes edades (mg/kg/día)

Aminoácidos	Lactantes ^a	Preescolares 2-5 años ^b	Escolares 10-12 años ^c	Adultos ^d
Histidina	28	—	—	—
Isoleucina	70	31	29	10
Leucina	161	73	44	14
Lisina	103	64	52	12
Metionina + cisteína	58	27	24	13
Fenilalanina + tirosina	125	69	24	14
Treonina	87	37	32	7
Triptofano	17	12,5	3,8	3,5
Valina	93	38	29	10
Aminoácidos esenciales totales, sin histidina	714	351,5	237,6	83,5

^a Calculado de Holt y Snyderman (21) y Fomon y Filer (22)

^b Tomado de Pineda y colaboradores (23) y Torun y colaboradores (24)

^c Promedio de OMS (20) y de NRC/NAS (25)

^d Tomado de OMS (13)

Los requerimientos de proteína según la edad y el sexo (tabla 9) se expresan en gramos de proteína por kilogramo de peso corporal. El mismo criterio es válido para expresar los requerimientos de aminoácidos esenciales. La cantidad de proteína que debe administrarse en el tratamiento de niños desnutridos debe calcularse en base al peso ideal para la edad y la talla y no en términos proporcionales al peso actual.

Factores que influyen los requerimientos de proteína

Factores de la dieta

INGESTIÓN DE ENERGÍA La absorción, la síntesis y la degradación de las proteínas son procesos que consumen energía y por lo tanto son vulnerables a privación de energía. De esto se desprende que la utilización de las proteínas de la dieta es influida por

el balance de energía. A cualquier nivel de ingesta proteica, la adición de energía a la dieta mejora el balance nitrogenado hasta que se llega a un valor máximo que no puede ser sobrepasado por más que se aporte energía adicional. Esto se debe a que la energía estimula la síntesis proteica y reduce la oxidación tisular de aminoácidos. El nivel de energía aportado por la dieta tiene implicaciones importantes en la determinación de los requerimientos de proteína de poblaciones cuya ingesta de proteína es marginal o deficiente.

CALIDAD PROTÉICA Y DIGESTIBILIDAD La medición experimental de los requerimientos de proteína se ha efectuado tradicionalmente empleando dietas basadas en proteínas de origen animal, de alta calidad (proteína de referencia). Cuando se usan otros alimentos, los requerimientos deben ajustarse de acuerdo a su valor nutritivo. Así, por ejemplo, la satisfacción de los requerimientos de proteína por medio de una dieta que tiene un valor proteico de 80% con respecto a la proteína de la leche o el huevo debe calcularse usando la fórmula:

$$\text{Requerimiento de proteína en base a una dieta mixta} = \frac{\text{Requerimiento de proteína de huevo o leche}}{0,80}$$

Las dietas basadas en los alimentos que consumen los grupos de bajos ingresos de muchos países en vías de desarrollo pueden satisfacer las necesidades de proteína, ya sea preparándolas en sus formas tradicionales o haciéndoles algunas modificaciones simples, especialmente cuando se las administra a niños. Estas modificaciones incluyen cambios en la proporción de ciertos alimentos en la dieta para obtener un patrón de aminoácidos más satisfactorio por complementación (por ejemplo, aumentando la proporción de porotos en relación al maíz de la dieta), aumento de la densidad energética (mediante el agregado de aceite o de azúcar), agregado ocasional

TABLA 9 Requerimientos de proteína, incluyendo un margen de seguridad para niños

Edad	Requerimientos de proteínas ^a (g/kg/día)
3-6 meses	1,85
6-9 meses	1,65
9-12 meses	1,50
1-2 años	1,20
2-3 años	1,15
3-5 años	1,10
5-7 años	1,00
7-10 años	1,00

^a Como equivalente en proteína de leche, huevo o carne. Estos valores deben ajustarse al usar proteínas procedentes de otros alimentos.

Adaptado de OMS (13)

pero periódico de cantidades relativamente bajas de alimentos de alta calidad proteica (por ejemplo, una taza de leche o un huevo)

Lesiones o intervenciones quirúrgicas

La excreción de nitrógeno urinario aumenta después de lesiones más o menos extensas o de intervenciones quirúrgicas y el balance de nitrógeno se puede volver negativo. Durante la convalecencia, las pérdidas de nitrógeno generalmente se compensan sin necesidad de efectuar grandes modificaciones en la dieta. En sujetos que han sufrido lesiones intensas, tales como quemaduras extensas, puede ser necesario aumentar la ingesta de proteínas.

Infecciones

Las infecciones frecuentemente hacen que el balance de nitrógeno se torne negativo a consecuencia de la anorexia, los vómitos y las prácticas inadecuadas de alimentación. Se producen pérdidas adicionales de nitrógeno debido a los procesos catabólicos que se desencadenan y, en el caso de la diarrea aguda, a la disminución de la absorción intestinal. Sin embargo, no se pueden hacer generalizaciones respecto a las cantidades de proteína que se consideran adecuadas para compensar los efectos negativos de una infección. Las pérdidas excesivas de proteínas no pueden prevenirse pero pueden ser compensadas parcialmente mediante dietas ricas en proteína y energía mientras persiste la infección. Dichas pérdidas deben ser compensadas completamente durante la convalecencia.

Crecimiento rápido de recuperación

Este es un factor importante en la determinación de las necesidades de proteína en los niños de los países en vías de desarrollo, en los que la desnutrición, los episodios de diarrea aguda, las infecciones de las vías respiratorias y de otros sistemas son muy comunes. Cuando estos cuadros son tratados en forma adecuada pueden ser seguidos por una fase de crecimiento de recuperación que es más rápido que el habitual. El déficit de peso puede ser corregido más rápidamente que el déficit de talla, que en muchos casos nunca llega a desaparecer.

Referencias

- Munio HN. Evolution of protein metabolism in mammals. En: Munio HN, editor. *Mammalian protein metabolism*, vol 3. Nueva York: Academic Press, 1969,133-82.
- Munio HN, Crum MC. The proteins and aminoacids. En: Goodhart RS y Shils ME, editores. *Modern nutrition in health and disease*, 6ª edición, Filadelfia: Lea and Febiger, 1980,51-98.
- Green GM, Olds BA, Matthews G, Lyman RL. Protein as a regulator of pancreatic enzyme secretion in the rat. *Proc Soc Exp Biol Med* 1973,142:1162-7.
- Torún B, Young VR, Rand WM, editores. *Protein-energy requirements of developing countries: evaluation of new data*. Tokyo: UNU Food Nutr Bull (Suplemento 5), 1981.
- Uauy R, Yañez E, Ballester D y cols. Obligatory urinary and faecal nitrogen losses in young Chilean men fed two levels of dietary energy. *Br J Nutr* 1982,47:11-20.
- Huang PC, Lin CP, Hsu JY. Protein requirements of normal infants at the age of about 1 year: maintenance nitrogen requirements and obligatory nitrogen losses. *J Nutr* 1980,110:1727-35.
- Torún B, Cabrera-Santiago MI, Viteri FE. Protein requirements of preschool children: obligatory nitrogen losses and nitrogen balance measurements using cow's milk. *Arch Latinoam Nutr* 1981,31:571-85.
- Loesche WJ. Accumulation of endogenous protein in the cecum of the germ-free rat. *Proc Soc Exp Biol Med* 1968,129:380-4.
- Calloway DH, Odell ACF, Margen S. Sweat and miscellaneous nitrogen losses in human balance studies. *J Nutr* 1971,101:775-86.
- Viteri FE, Martínez C. Integumental nitrogen losses of preschool children with different levels and sources of dietary protein intake. En: Torún B, Young VR, Rand WM, editores. *Protein-energy requirements of developing countries: evaluation of new data*. Tokyo: UNU Food Nutr Bull (Suplemento 5), 1981,164-8.
- Organización para La Alimentación y la Agricultura (FAO). *Amino acid content of foods and biological data on proteins*. FAO Nutritional Studies, Nº 24, Roma: FAO, 1970.
- Corn Industries Research Foundation. *Proceedings of High Lysine Corn Conference*. Washington, DC: Corn Refiners Association, Inc., 1966.
- Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS/UNU). *Energy and protein requirements*. OMS Tech Rep Ser 724. Ginebra: OMS, 1985.
- Viteri FE, Torún B, Arroyave G, Pineda O. Use of corn-bean mixtures to satisfy protein requirements of pre-school children. En: Torún B, Young VR, Rand WM, editores. *Protein-energy requirements of developing countries: evaluation of new data*. Tokyo: UNU Food Nutr Bull (Suplemento 5), 1981,202-9.
- Torún B, Viteri FE. Energy requirements of preschool children and effects of varying energy intakes on protein metabolism. En: Torún B, Young VR, Rand WM, editores. *Protein-energy requirements of developing countries: evaluation of new data*. Tokyo: UNU Food Nutr Bull (Suplemento 5), 1981,229-41.
- Rand WM, Uauy R, Scrimshaw NS, editores. *Protein-energy requirement studies in developing countries: results of international research*. Tokyo: UNU Food Nutr Bull (Suplemento 10), 1981.
- Pellett PL, Young VR, editores. *Nutritional evaluation of protein foods*. Tokyo: UNU Food Nutr Bull (Suplemento 4), 1980.
- Bodwell CI, Adkins JS, Hopkins DT, editores. *Protein quality in humans: assessment and in*

- vitro estimation Westport, Ct. Avi Publishing Co., 1981.
- 19 Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina. Guatemala: INCAP, 1961.
 - 20 Organización Mundial de la Salud Informe de un Comité Conjunto ad hoc de Expertos FAO/OMS Energy and protein requirements. WHO Tech Rep Ser 522 Ginebra OMS, 1973
 - 21 Holt LE, Snyderman SE. The amino acid requirements of children. En Nyan WL, editor. Amino acid metabolism and genetic variation. Nueva York McGraw-Hill, 1967,381-90
 - 22 Fomon SJ, Filer LJ. Amino acid requirements of normal growth. En Nyan WL, editor. Amino acid metabolism and genetic variation. Nueva York McGraw-Hill, 1967,391-9
 - 23 Pineda O, Torún B, Viteri FE, Arroyave G. Protein quality in relation to estimates of essential amino acid requirements. En Bodwell CE, Adkins JS, Hopkins DT, editores. Protein quality in humans assessment and in vitro estimation. Westport, Ct. Avi Publishing Co., 1981,29-42
 - 24 Torún B, Pineda O, Viteri FE, Arroyave G. Use of amino acid composition data to predict protein nutritive value for children, with specific reference to new estimates of their essential amino acid requirements. En Bodwell CE, Adkins JS, Hopkins DT, editores. Protein quality in humans assessment and in vitro estimation. Westport, Ct. Avi Publishing Co., 1981,374-93
 - 25 NRC/NAS. Improvement of protein nutriture. Report of Committee on Amino Acids. Washington, DC. Food and Nutrition Board, National Resources Council, National Academy of Sciences, 1974

Comentario del Comité Editorial

En numerosos países las proteínas de origen animal son escasas y su costo es tan elevado que esto limita el consumo de cantidades adecuadas por segmentos considerables de la población. Desde hace miles de años, el hombre ha observado que las dietas basadas en la asociación de cereales y leguminosas (porotos, arvejas, lentejas, habas, soja) permiten que el crecimiento y el estado nutritivo de los individuos sean normales. El consumo de leguminosas está descrito en textos tales como la Biblia y el libro del Emperador Shun Nung (2500 años antes de Jesucristo). Desde hace varios decenios, distintos grupos de investigadores han estudiado sistemáticamente las posibilidades de utilizar los granos de leguminosas para proporcionar proteínas de buena calidad en cantidades adecuadas y a bajo precio. Aunque se han ensayado numerosas leguminosas, nos limitaremos a nombrar algunas de las más importantes en una tabla (tabla 1) que resume además su contenido proteico, de lípidos y glúcidos. Muchas leguminosas contienen sustancias tóxicas o factores antinutricionales, que disminuyen su eficiencia nutricional (cianógenos, lectinas, ácido fítico, inhibidores de las proteasas digestivas, polifenoles) que deben ser inactivados o eliminados mediante tratamientos previos a su consumo por el hombre. Algunas leguminosas contienen además sustancias que son precursores de principios tóxicos y es importante impedir estas transformaciones.

A lo largo de los siglos se han desarrollado métodos tradicionales de preparación de los granos de leguminosas que permiten eliminar dichos productos indeseables o por lo menos reducir considerablemente sus posibles riesgos.

El *descascarillado* facilita la penetración del agua y disminuye la cantidad de fibra y taninos.

El *remojo* o *lixiviación*, que puede durar desde unas pocas horas a todo el día en el caso del sofocarro, ablanda la leguminosa, facilita su cocción y elimina una buena parte de los factores antinutricionales hidrosolubles (como los diaminoácidos que contiene el chícharo y que son responsables del latunismo, y los glucósidos cianógenos contenidos en el poroto de Lima).

A veces se utiliza la *germinación* porque facilita la digestión de la leguminosa. La germinación de la soja reduce el contenido de azúcares que producen flatulencia. En el caso del poroto mung (llamado erróneamente "brote de soja") dicho proceso se prolonga ya que se prefiere consumir los brotes.

Otra técnica ampliamente utilizada es la *fermentación*. En el caso de la soja, por ejemplo, este proceso da lugar al tempe, el nato y el shogo o salsa de soja, consumidos en el Sudeste Asiático. Las enzimas de los mohos que actúan en la fermentación disminuyen el contenido de oligosacáridos, fitatos e inhibidores de la tripsina y mejoran la digestibilidad de las proteínas. Sin embargo, el alto contenido de ácidos nucleicos de estos productos fermentados limita las posibilidades de su uso en la dieta de los niños.

El procedimiento que se emplea más frecuentemente, ya sea sólo o asociado a cualquiera de los anteriores, es la *cocción*. Además de gelatinizar el almidón, la cocción modifica la estructura de las proteínas, aumenta su digestibilidad e inactiva parcial o totalmente los factores antidigestivos tales como las lectinas, los inhibidores de las proteasas y algunas enzimas contenidas en las leguminosas. La cocción en recipientes destapados permite la volatilización del ácido cianhídrico que pueda liberarse.

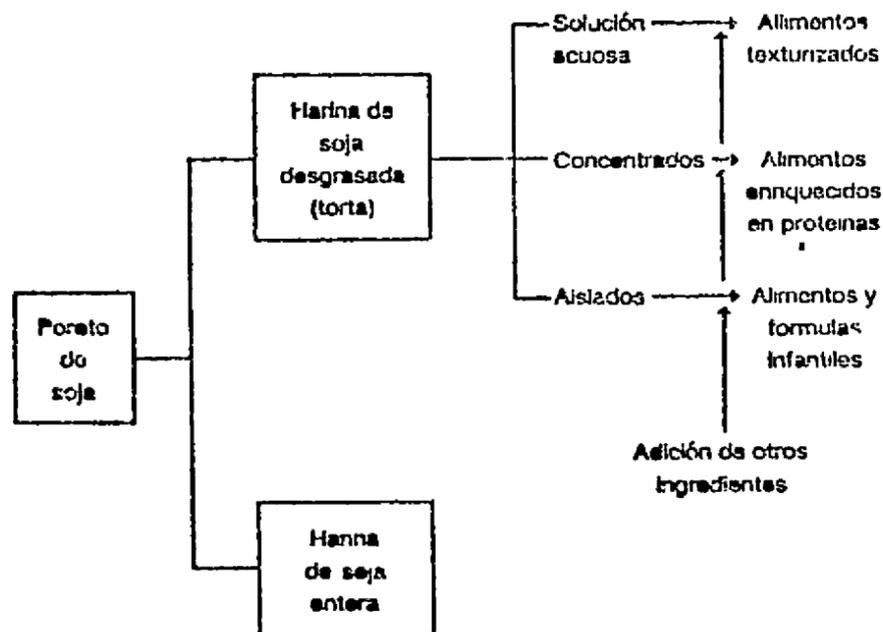
Los métodos industriales de procesamiento son de

TABLA 1 Contenido de proteínas, grasas y azúcar de algunas leguminosas y granos oleaginosos (en gramos por 100 g de granos enteros, crudos, maduros y secos)

Nombre común	Nombre latino	Proteínas	Grasas	Azúcar*
<i>Leguminosas</i>				
Altramuz, lupino	Lupinus albus	44	16	28
Poroto cuadrado, poroto de Goa o poroto alado	Psophocarpus tetragonolobus	33	17	36
Dólido, caupí o arveja de vaca	Vigna unguiculata	29	4	54
Haba o haba panosa	Vicia faba	25	1	57
Chícharo, arveja	Lathyrus sativus	25	1	61
Lenteja	Lens culinaris	25	1	61
Arveja	Pisum sativum	24	1	63
Poroto (judía) de Lima	Phaseolus lunatus	22	2	61
Garbanzo	Cicer arietinum	21	5	61
Poroto, frejol o judía común	Phaseolus vulgaris	20	2	56
<i>Semillas oleaginosas</i>				
Algodón	Gossypium	53	30	10
Soya, soja	Glycine max	40	20	30
Girasol, maravilla	Helianthus annuum	30	40	25
Colza, raps	Brassica campestris	28	35	35
Maní, cacahuete	Arachis hypogaea	23	49	18

* Incluye 10 a 20% de fibra alimentaria

aparición más reciente y han sido empleados principalmente en el tratamiento de la soja y de las semillas de oleaginosas



La primera etapa del tratamiento consiste generalmente en la extracción del aceite mediante el uso de solventes, tales como el hexano, separando la "torta" o harina desgrasada. La extracción selectiva de los glúcidos de la harina desgrasada permite obtener un concentrado proteico (70% de proteínas como mínimo). La extracción con agua, seguida por una precipitación en medio ácido, produce aislados proteicos (90% de proteínas como mínimo) que se utilizan en la fabricación de productos dietéticos infantiles.

El producto tradicionalmente conocido como leche de soja se obtiene por extracción acuosa del grano de la soja sin la testa o película externa. La proteína de la "leche" se puede coagular con sales de calcio o ácido para obtener el tofu, una especie de queso vegetal. Todos estos productos se someten a tratamientos térmicos para mejorar el valor nutritivo de sus proteínas.