

MÓDULO 1: BIOQUÍMICA ESTRUCTURAL Y METABÓLICA DE LAS PROTEINAS

- 1.1 Las proteínas: Definición
- 1.2 Estructura y clasificación de las proteínas
- 1.3 Síntesis proteica
- 1.4 Digestión, absorción y metabolismo proteico
- 1.5 Funciones de las proteínas
- 1.6 Calidad proteica de los alimentos
- 1.7 Disponibilidad de aminoácidos

La estructura del organismo está constituida por proteínas. Las proteínas son el componente principal de las células y tienen como función básica la regeneración y reparación de tejidos corporales como el músculo, el cabello, las uñas..., por otro lado, intervienen en la regulación de funciones metabólicas y el mantenimiento de la homeostasis celular, realizando funciones enzimáticas, hormonales, reguladoras, entre otras.

1.1 LAS PROTEÍNAS: DEFINICIÓN

Las proteínas son **macromoléculas** formadas por carbono, oxígeno, nitrógeno, hidrogeno, y en menor cantidad pueden contener: fosforo, azufre y otros elementos como magnesio, cobre y hierro.

Son cadenas de unidades de **aminoácidos** que se encuentran unidos por medio de enlaces peptídicos entre los grupos carboxilo y el grupo amino.

1.2 ESTRUCTURA Y CLASIFICACIÓN DE LAS PROTEINAS

LOS AMINOÁCIDOS

Los aminoácidos, estructura básica de las proteínas, son compuestos orgánicos que contienen un grupo funcional amino (NH₂) y un grupo carboxilo (COOH).

El ser humano sintetiza varios tipos de aminoácidos, pero los más importantes son los que forman parte del grupo de los **α-aminoácidos**.

Estos se diferencian por tener, como se observa en la figura 1, un grupo NH₂ (verde) y un grupo COOH (naranja) unidos al mismo átomo de carbono, denominado carbono α, un átomo de hidrogeno (azul) y una cadena lateral específica para cada aminoácido (amarillo).

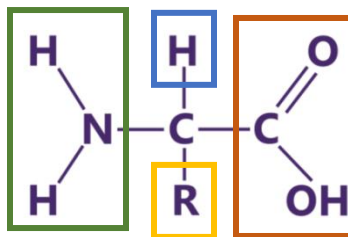


Imagen 1. Formula general de un aminoácido.

Los aminoácidos que componen las proteínas son 20, y se clasifican en dos grupos, según la capacidad del organismo para sintetizarlos:

- ✓ **Aminoácidos no esenciales:** Aminoácidos que pueden ser sintetizados por el organismo; Alanina, arginina, ácido aspártico, asparragina, cisteína, ácido glutámico, glutamina, glicina, prolina, serina, tirosina.
- ✓ **Aminoácidos esenciales:** Aminoácidos que no pueden ser sintetizados por el hombre, a la velocidad o cantidad suficiente para disponer de ellos, por lo que tienen que ser aportados por los alimentos de la dieta y esto condiciona su esencialidad.

Tabla 1. Aminoácidos esenciales (Aa) según situación fisiológica	
Adultos (8 Aa)	Val, Leu, Ile, Lys, Phe, Trp, Thr, Met
Niños 10-12 años (10 Aa)	Val, Leu, Ile, Lys, Phe, Trp, Thr, Met, His, Arg
Bebés prematuros (11 Aa)	Val, Leu, Ile, Lys, Phe, Trp, Thr, Met, His, Arg, Cys
Casos especiales. Por ejemplo, los fenilcetonuricos (1 Aa)	Tyr
Arginina (Arg), cisteína (Cys), histidina (His), isoleucina (Ile), leucina (Leu), lisina (Lys), metionina (Met), fenilalanina (Phe), treonina (Thr), triptófano (Trp), valina (Val).	

Fuente. Nutriguía. Manual de Nutrición Clínica.

Los aminoácidos se unen entre sí mediante enlaces peptídicos, que se define como la unión del grupo COOH de un aminoácido y el grupo NH₂ del siguiente liberándose, con esta unión, una molécula de agua.

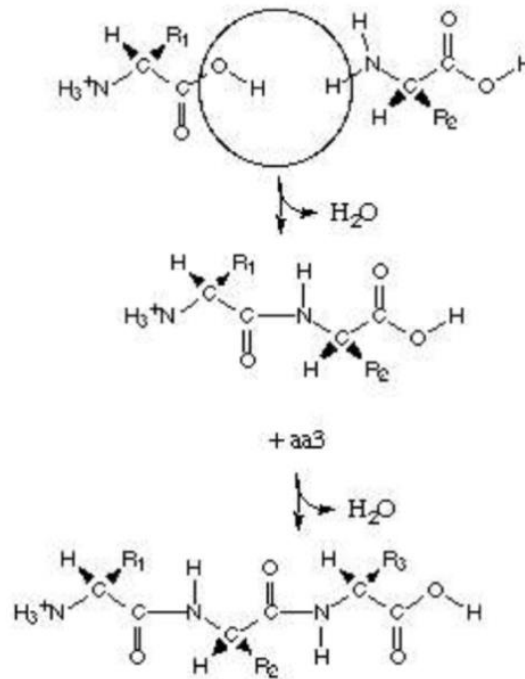


Imagen 2. Formación de un enlace peptídico

La unión de varios aminoácidos por medio de enlaces peptídicos, da como resultado la formación de cadenas de diferentes tamaños denominadas **péptidos** que se dividen en:

- ✓ **Oligopeptidos:** Si el número de aminoácidos que forman la molécula está en el rango de 2 a 10.
- ✓ **Polipéptidos:** Si el número de aminoácidos que forman la molécula es superior a 10 aminoácidos.
- ✓ **Proteínas:** Si el número de aminoácidos que forman la molécula es superior a 50 aminoácidos.

ESTRUCTURA DE LAS PROTEÍNAS:

Las proteínas se dividen en cuatro niveles de estructuras: primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria.

1) Estructura Primaria

Está constituida por la secuencia de aminoácidos de la cadena polipeptídica.

Las proteínas se diferencian por:

- El número de aminoácidos
- El tipo de aminoácidos
- El orden en que se encuentran los aminoácidos dispuestos.

Cualquier alteración en el orden de estos aminoácidos determinará una proteína diferente.

2) Estructura Secundaria

La estructura secundaria es el plegamiento que forma la cadena polipeptídica debido a la formación de puentes de hidrógeno entre los átomos que forman el enlace peptídico.

Los puentes de hidrógeno se establecen entre los grupos -CO- y -NH- del enlace peptídico. En este caso el -CO- actúa como aceptor de H y el NH como donador de H, de esta manera, la cadena polipeptídica adoptará **conformaciones de mayor estabilidad**.

El nivel secundario de organización de las proteínas incluye a las siguientes estructuras que son las más frecuentes:

- Hélice α
- Lamina β

Hélice α

La estructura secundaria en la Hélice- α se forma cuando la cadena polipeptídica se enrolla de manera **helicoidal**, como una estructura en espiral, sobre un eje imaginario. El grupo carboxilo de cada aminoácido se une mediante un puente de hidrógeno al grupo amino de otro aminoácido.

Lámina β

Esta estructura es conocida también como lamina plegada. La cadena queda estirada y en forma de zigzag formando láminas. Los grupos R sobresalen de la lámina en ambos sentidos y de manera alterna.

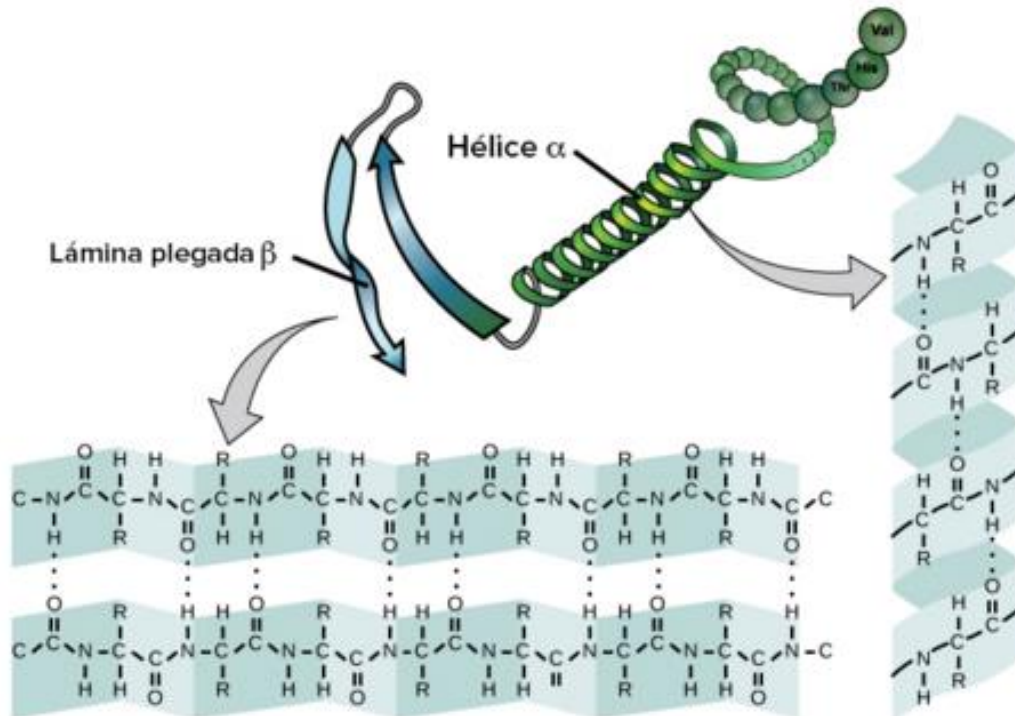


Imagen 3. Estructura secundaria (Lámina β y Hélice α)

3) Estructura Terciaria

La estructura terciaria ocurre cuando existen atracciones entre Láminas β y Hélices- α . Esta estructura **es específica para cada proteína** y determinará la función de dicha proteína.

Para dar lugar a la estructura terciaria es necesario que primero se agrupen conjuntos de estructuras denominadas dominios, que luego se articularan para formar la estructura terciaria definitiva.

Se le llama dominio a las regiones de la proteína que tienen una estructura secundaria definida.

La estructura terciaria da lugar a dos tipos de proteínas:

- 1) Proteínas con estructura terciaria **de tipo fibroso**: las hélices- α o láminas β que lo conforman, mantienen su orden y no tienen grandes modificaciones, solo ligeros giros longitudinales.

- 2) Proteínas con estructura terciaria **de tipo globular** su forma es aproximadamente esférica. En este tipo de estructuras se forman regiones con estructuras al azar, hélices- α y láminas β y acodamientos.

Hablamos de **desnaturalización** de una proteína en el momento en que se pierde la estructura terciaria de la proteína y por lo tanto esta pierde su función, es decir; supone la ruptura de las interacciones débiles que mantienen la estructura tridimensional. La mayoría de las proteínas se pueden desnaturalizar por calor, pH extremos, entre otros.

Un ejemplo de desnaturalización proteica se observa con el huevo. Al cocinarlo y aplicar calor, la proteína de la clara que inicialmente era transparente y líquida, se coagula y cambia de color ya que se ocasiona una modificación en la estructura proteica.

Los enlaces que se dan en la estructura terciaria pueden ser:

- ✓ Covalentes
 - Formación de puentes disulfuro.
 - Formación de un enlace amida.

- ✓ No covalentes
 - Fuerzas electrostáticas.
 - Puentes de hidrógeno.
 - Interacciones hidrofóbicas.
 - Fuerzas de polaridad.

4) Estructura Cuaternaria

La estructura cuaternaria implica la interacción de más de una cadena polipeptídica. Es, por lo tanto, la asociación de diferentes subunidades para formar complejos funcionales, en forma de dímeros, (unión de dos monómeros) trímeros (unión de tres monómeros), etc.

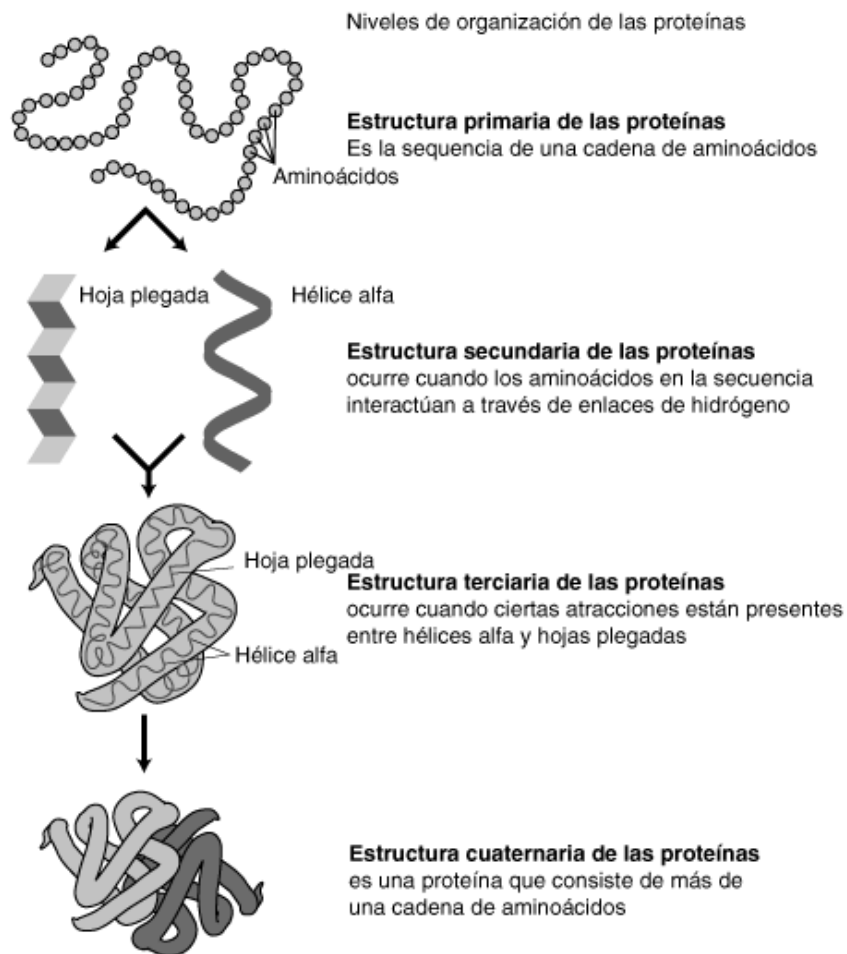


Imagen 4. Estructuras de las proteínas

CLASIFICACIÓN DE LAS PROTEÍNAS

Las proteínas se clasifican dependiendo de su estructura, sensibilidad, composición química, solubilidad entre otros.

De acuerdo a su composición las proteínas se clasifican en:

1) Holoproteínas o **proteínas simples**.

Son proteínas formadas únicamente por aminoácidos. Se dividen en globulares o fibrosas. Algunos ejemplos son:

- ✓ Globulares
 - Prolaminas
 - Gluteninas
 - Albúminas
 - Hormonastirotropina
 - Enzimas

- ✓ Fibrosas
 - Colágenos
 - Queratinas
 - Elastinas
 - Fibroínas

2) Heteroproteínas o **proteínas conjugadas**

Las heteroproteínas están formadas por una fracción proteica y por un grupo no proteico, que se denomina grupo prostético.

Dependiendo del grupo prostético existen varios tipos de heteroproteínas:

- ✓ Glucoproteínas

Son moléculas formadas por una fracción glucídica y una fracción proteica unidas por enlaces covalentes. Son glucoproteínas algunas hormonas y determinadas enzimas por ejemplo.

✓ Lipoproteínas

Son complejos macromoleculares formados por un núcleo que contiene lípidos apolares y una capa externa polar formada por fosfolípidos, colesterol libre y proteínas. Actúan como transporte de triglicéridos, colesterol y otros lípidos entre los tejidos a través de la sangre.

Se clasifican según su densidad en:

- Lipoproteínas de alta densidad (HDL)
- Lipoproteínas de baja densidad (LDL)
- Lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL)

✓ Nucleoproteínas

Son proteínas estructuralmente asociadas con un ácido nucleico que puede ser ARN o ADN. Se caracterizan fundamentalmente porque forman complejos estables con los ácidos nucleicos.

✓ Cromoproteínas

Las cromoproteínas son proteínas conjugadas que contienen un grupo prostético pigmentado.

1.3 SÍNTESIS PROTEICA

La síntesis de proteínas tiene dos etapas fundamentales:

- 1.- Etapa de transcripción
- 2.- Etapa de traducción

Transcripción

Esta etapa ocurre en el núcleo de las células eucariotas, la secuencia se transcribe en una molécula de ácido ribonucleico (ARN), el cual se denomina como ARN mensajero (ARNm). La transcripción tiene tres etapas importantes.

- Iniciación
- Elongación
- Terminación

• Iniciación

La enzima ARN Polimerasa II y los factores de transcripción, se unen a la caja TATAAA y sirve de señal para identificar el sitio donde inicia la transcripción. La unión de la ARN polimerasa II a la caja TATA permite el desdoblamiento del ADN y la separación de las dos cadenas (de ADN).

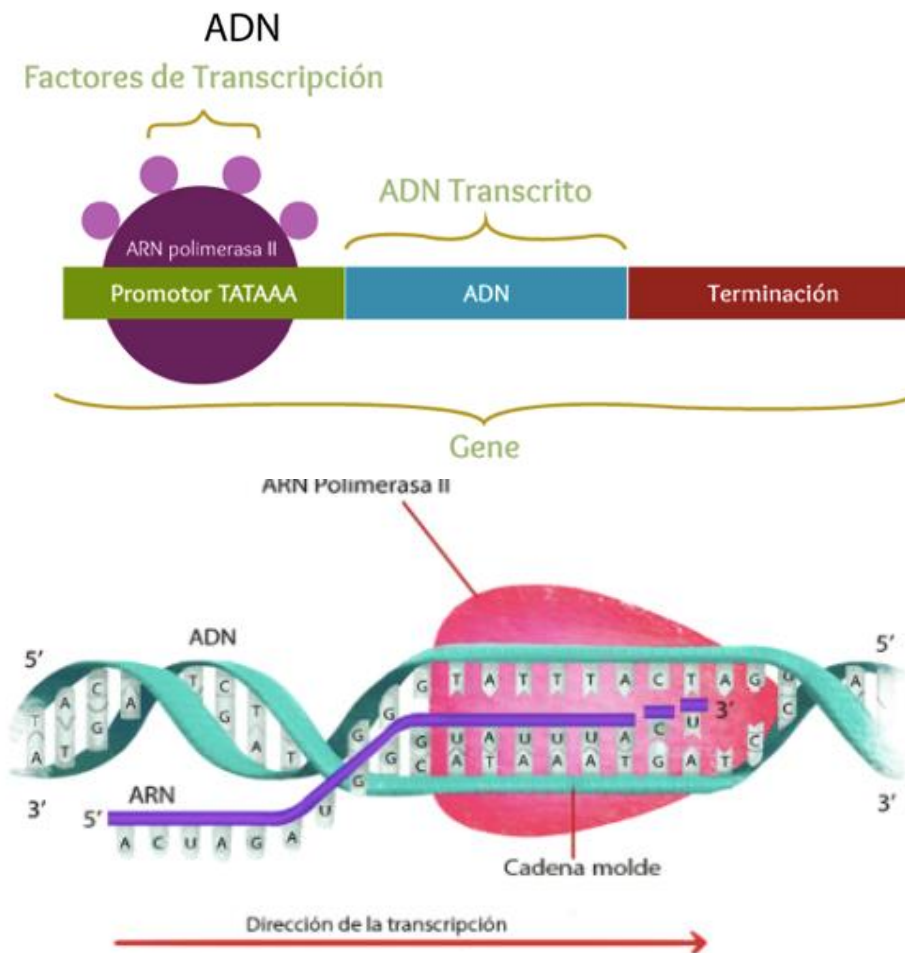


Imagen 5. Fase de Iniciación en la transcripción (Síntesis Proteica)

- **Elongación**

En esta fase, el ADN se encuentra desdoblado y las bases nitrogenadas complementarias separadas. La enzima ARN polimerasa II avanza a lo largo de la cadena de ADN. Los nucleótidos se añaden en orden complementario según la base nitrogenada:

- La adenina con el uracilo del ARN (A – U)
- La timina con la adenina (T – A)
- La citosina con la guanina y viceversa (C – G, G – C).

La transcripción se lleva a cabo cuando las bases complementarias del ARN a las del ADN se acomodan. Cuando la cadena del pre-ARNm tiene 10 nucleótidos se despega de la cadena que ejerce como “molde”, pero continúa en crecimiento ya que la ARN polimerasa II sigue uniendo nucleótidos hasta llegar al lugar de terminación, que es en donde termina la transcripción y el pre-ARNm se libera de la cadena “molde”.

Conforme se va separando el pre-ARNm recién formado de la cadena de ADN, esta vuelve a enrollarse y recupera nuevamente su forma original.



Imagen 6. Fase de Elongación en la transcripción (Síntesis Proteica)

- **Terminación**

El ADN de las células eucariotas contiene regiones de proteínas llamadas exones, y otras que no codifican proteínas llamadas intrones. El ARNm transcrito, copia las dos regiones (exones e intrones), y recibe el nombre de ARNm inmaduro o pre-ARNm, el cual tiene que pasar por el siguiente proceso, consistente en la eliminación de los intrones para convertirse en un ARNm maduro. Este proceso se le conoce como splicing, y sale del núcleo al citoplasma donde se lleva la información necesaria para la síntesis de proteínas e iniciar el proceso de la traducción.



Imagen 7. Fase de Elongación en la transcripción Cadena de ARN inmaduro (Síntesis Proteica)



Imagen 8. Fase de Elongación en la transcripción Cadena de ARN maduro (Síntesis Proteica)

Traducción

Es el proceso por el cual la información contenida en el ARNm maduro se **convierte en proteínas**. Este proceso tiene lugar en los ribosomas, que se encuentran en el citoplasma de la célula. La información del ARNm está contenida en la secuencia de bases nitrogenadas que lo forman (Adenina, Guanina, Citosina, Uracilo), se acomodan en tripletes, que reciben el nombre de codones y son el resultado de la combinación de estas. Como resultado se obtienen 64 codones diferentes que están contenidos en el código genético, y que codifican a los 20 aminoácidos que forman las proteínas.

Los aminoácidos son transportados por el ARN de transferencia (ARNt) específico para cada aminoácido, y son llevados hasta el ARNm, donde se aparean el codón del ARNm y el anticodón del ARNt. Una vez finalizada la síntesis de una proteína, el ARNm queda libre y puede ser leído de nuevo.

La degradación y síntesis de las proteínas ocasiona una **pérdida diaria neta de nitrógeno**, en forma de urea, la cual equivale a 35-55 g. de proteína. Cuando la ingesta dietética compensa a las pérdidas se dice que el organismo está en equilibrio nitrogenado.

El **balance nitrogenado** puede ser positivo o negativo:

- Balance positivo: ocurre cuando la ingesta nitrogenada es mayor a las pérdidas, tal como ocurre en el crecimiento, el embarazo, por ejemplo.
- Balance negativo: ocurre cuando la ingesta de nitrógeno es inferior a las pérdidas, tal como ocurre en la desnutrición, la anorexia prolongada, en las quemaduras por ejemplo.

Recambio proteico

Casi todas las proteínas del organismo se están sintetizando de manera continua a partir de los aminoácidos, degradándose para dar de nuevo aminoácidos, y formar así nuevas proteínas en función de las necesidades. Es decir, hay un recambio permanente de proteínas.

Tabla 2. Recambio de Proteínas Tisular

Recambio diario de proteínas	
Cantidad	Uso
70 g	Recambio de enzimas digestivas y células intestinales.
20 g	Síntesis de proteínas plasmáticas
8 g	Síntesis de hemoglobina
20 g	Recambio de leucocitos
75-100 g	Recambio de células musculares
80-100 g	Diversas vías sintéticas
*Bajo ciertas condiciones (estrés metabólico, infecciones o embarazo.etc.) la síntesis de algunas proteínas puede verse aumentada.	

1.4 DIGESTIÓN, ABSORCIÓN Y METABOLISMO PROTEICO.

Digestión

Las proteínas, son macromoléculas que contienen los alimentos y no pueden ser absorbidas directamente por el organismo, por lo que deben ser hidrolizadas hasta convertirlas en molécula más simples; **los aminoácidos.**

Las enzimas proteolíticas producidas en:

- El estómago
- El páncreas
- El intestino delgado

Son las encargadas de realizar dicha labor

El proceso de digestión proteica se inicia en el estómago, por medio del ácido clorhídrico (HCl) y la pepsina.

El HCl, sintetizado en las células parietales del estómago, es el encargado de activar el pepsinógeno (precursor enzimático inactivo) a pepsina. La pepsina es, así, una enzima que presenta la función de transformación de las proteínas a polipéptidos de bajo peso molecular y peptonas.

La pepsina, tiene la función de hidrolizar los enlaces en los que intervienen aminoácidos aromáticos, aunque también hidroliza enlaces para metionina e leucina.

A medida que el contenido gástrico pasa al intestino delgado, se libera la secretina en sangre. Esta enzima estimula al páncreas para la secreción de bicarbonato dentro del intestino delgado con la función de neutralizar el pH (7.0)

Se necesita una gran variedad de enzimas proteolíticas para descomponer las proteínas de la dieta en aminoácidos y pequeños péptidos, debemos mencionar que cada enzima tiene especificidad para diferentes tipos de enlaces peptídicos. Las endopeptidasas tienen la función de degradar enlaces internos y como resultado de esta degradación se obtienen polipéptidos grandes, en cambio las exopeptidasas

tienen la función de separar un aminoácido a la vez del extremo carboxi o amino del polipéptido o proteína.

En el duodeno y yeyuno, a través del jugo pancreático, se liberan endopeptidasas y exopeptidasas, las cuales activan enzimas proteolíticas como:

- Tripsina
- Quimiotripsina
- Elastasa...

Tabla 3. Clasificación de enzimas que intervienen en la digestión proteica

Tipos de proteasas			
Endopeptidasas		Exopeptidasas	
Serina proteasas	Tripsina (arginina, lisina) Quimiotripsina (aminoácido aromático)	Carboxipeptidasas A B	Separan aminoácidos del extremo carboxilo Aminoácido neutral Aminoácido básico
SH proteasas	Papaína, bromelina	Aminopeptidasas	Separan aminoácidos del extremo amino
Aspartato proteasas	Pepsina, quimiosina	Diepeptidasas	Separan dipéptidos
Metalo proteasas	Colagenasa, termolisina		
Otras	Renina, queratinasa		

Tabla 4 Características de las enzimas gástricas, intestinales y pancreáticas

Enzyme	Activators	Action	Cleavage Points	Products
Pepsin	Autoactivation	Endopeptidase	Tyr, Phe, Leu, and Asp	Large peptide fragments and free amino acids
Trypsin	Enteropeptidase and trypsin	Endopeptidase	Arg and Lys	Oligopeptides (2-6 amino acids)
Chymotrypsin	Trypsin	Endopeptidase	Tyr, Trp, Phe, Met, and Leu	Oligopeptides (2-6 amino acids)
Elastase	Trypsin	Endopeptidase	Ala, Gly, and Ser	Oligopeptides (2-6 amino acids)
Carboxypeptidase A	Trypsin	Exopeptidase	Carboxy-terminus Val, Leu, Ile, and Ala	Free amino acids
Carboxypeptidase B	Trypsin	Exopeptidase	Carboxy-terminus Arg and Lys	Free amino acids
Aminopeptidasas		Exopeptidase	Amino terminus	Free amino acids

La superficie luminal del intestino contiene aminopeptidasas y exopeptidasas que van a degradar el residuo N-terminal de los oligopéptidos, de esta reacción se obtienen aminoácidos libres y péptidos pequeños.

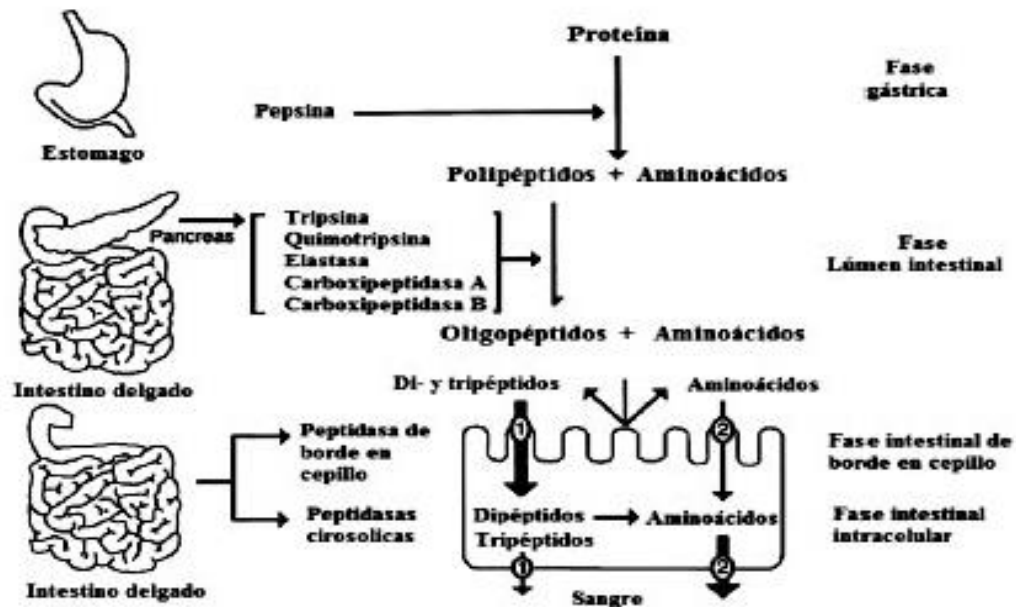


Imagen 9. Proceso de digestión Proteica

Tras la digestión de proteica, los aminoácidos son transportados al hígado donde se regula el flujo de aminoácidos de la dieta que entra en la circulación sistémica.

Absorción

El intestino delgado es el órgano mediante el cual se realizan la mayor parte de la absorción de nutrientes, esta ocurre principalmente en él la porción final del duodeno y el inicio del yeyuno. Los aminoácidos y péptidos pequeños se absorben en el yeyuno e íleon.

Las células epiteliales del intestino absorben aminoácidos libres mediante un mecanismo de transporte activo secundario acoplado al transporte de sodio. También pueden absorber pequeños péptidos mediante pinocitosis (proceso por el cual la membrana "envuelve" líquidos que se encuentran en la parte externa de la célula hacia su interior).

En su mayoría los péptidos de tres o más aminoácidos son hidrolizados extracelularmente por las enzimas en el borde de cepillo de los enterocitos, mientras que los dipéptidos y los tripéptidos pueden ser absorbidos intactos. En el citosol del enterocito los oligopéptidos finalizan sus hidrólisis de forma tal que solo pasan aminoácidos a la vena porta.

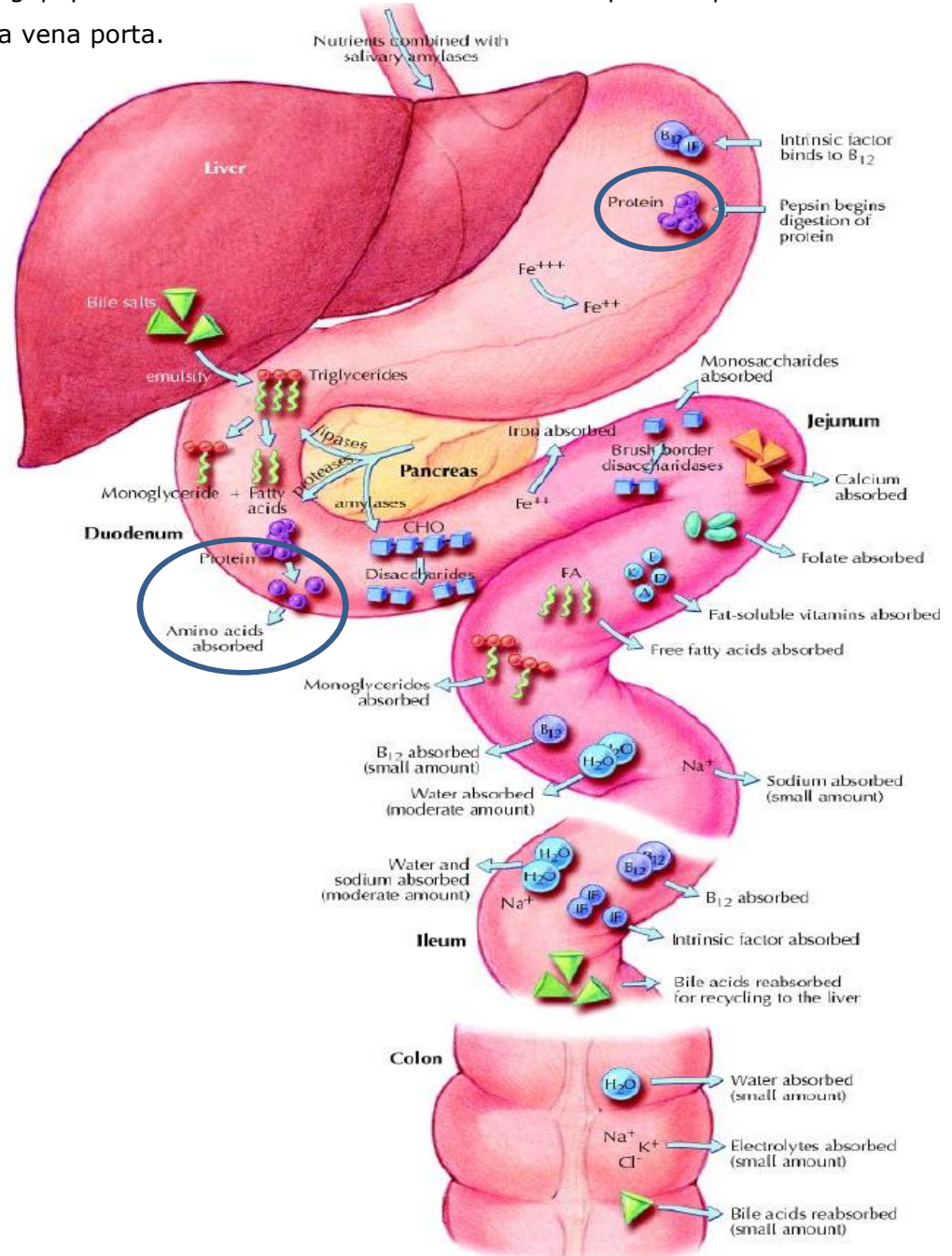


Imagen 10. Recordatorio sobre digestión y absorción de nutrientes. Modificado de Jeejeebhoy KN, 2002

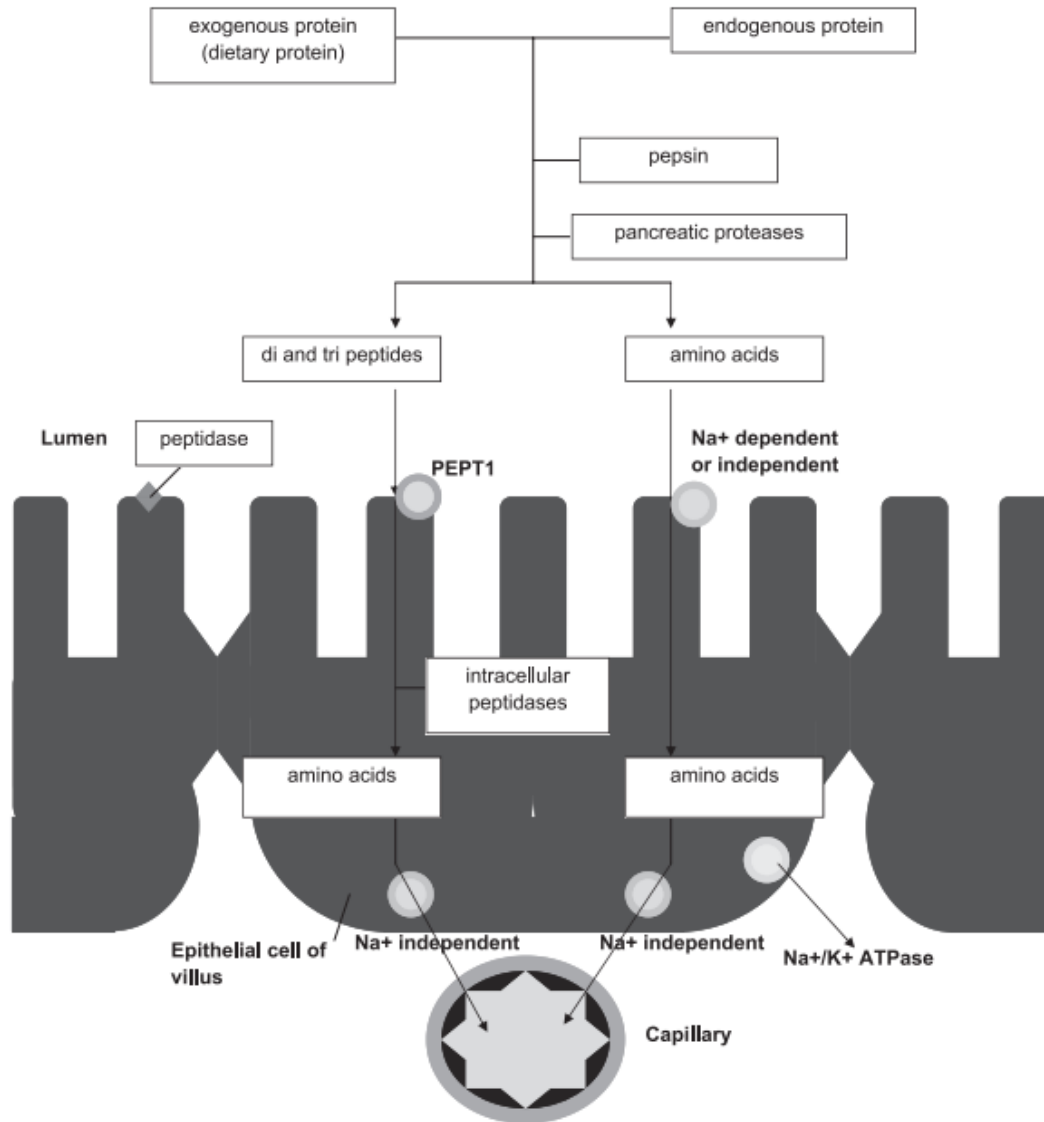


Imagen 11. Proceso de digestión y absorción proteica con sus principales enzimas y transportadores

Metabolismo

El metabolismo de los aminoácidos de los es el principal órgano encargado de metabolizar aminoácidos esenciales, con excepción de los aminoácidos ramificados.

Existen 3 mecanismos esenciales en el metabolismo de los aminoácidos:

- Transaminación
- Desaminación
- Descarboxilación

Transaminación

Por medio de una aminotransferasa (o transaminasa), y con ayuda de la coenzima piridoxal fosfato, se realiza la transferencia de un grupo α -amino de un aminoácido y se transfiere el grupo amino de un α -cetoácido. Cuando predomina la degradación, la mayoría de los aminoácidos ceden su grupo amino al α -cetoglutarato que se transforma en glutamato (GLU), pasando ellos al α -cetoácido correspondiente.

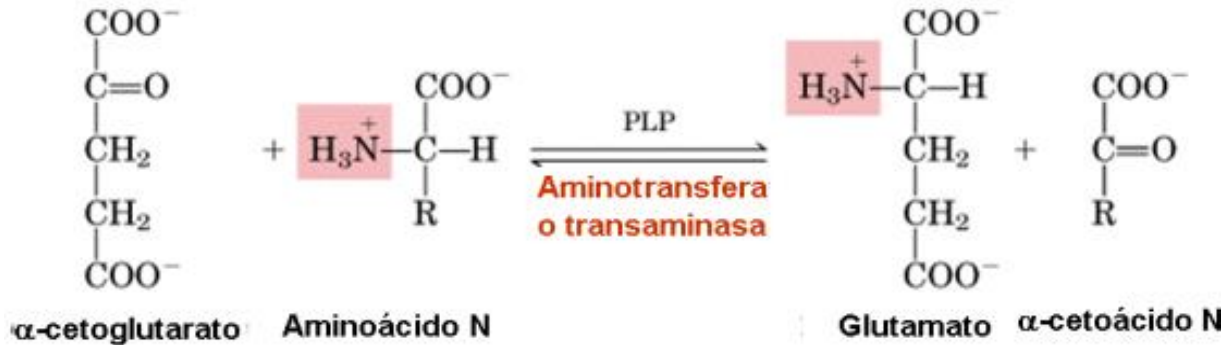


Imagen 12. Reacción de transaminación

Desaminación

El aminoácido pierde el grupo amino y pasa a α -cetoácido. Esta reacción es reversible y convierte el glutamato en α -cetoglutarato para su degradación. Actúa según las necesidades celulares.



Imagen 13. Reacción de desaminación

Descarboxilación

Los aminoácidos se descarboxilan y como resultado forman aminas, las cuales tienen funciones como: hormonas, neurotransmisores, inmunomoduladores, entre otras como en el caso de la tirosina que por acción de la descarboxilación y otras reacciones, se producen las catecolaminas: dopamina, noradrenalina y adrenalina.



Imagen 14. Reacción de descarboxilación

Al contrario de lo que ocurre con los hidratos de carbono y el glucógeno y los lípidos con los triglicéridos, el organismo no cuenta con reservas proteicas.

En el caso de una ingesta proteica excesiva, los aminoácidos se emplearán para adquirir energía y producirán amonio, metabolito tóxico que acidifica el medio, y que debe ser transformado para su eliminación. El organismo reacciona a la toxicidad del amonio y por un lado en el hígado este compuesto lo transforma en urea. Por otro lado, el riñón aumenta el volumen de orina para la eliminación de la urea y del amoníaco.

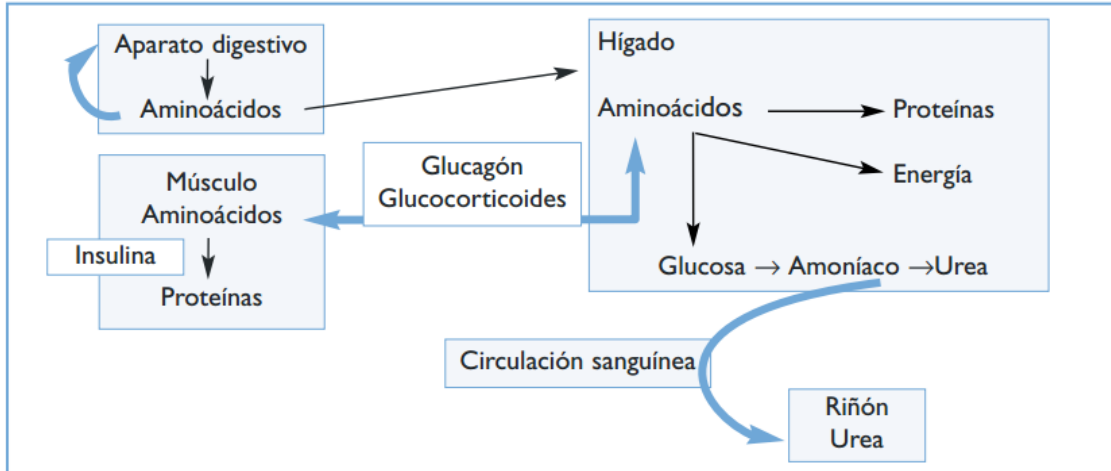


Imagen 15. Metabolismo hepático y muscular de las proteínas

El exceso de aminoácidos no se almacena en el organismo y se elimina por la orina en una cantidad de aproximada de 1,6g/24h en situación normal.

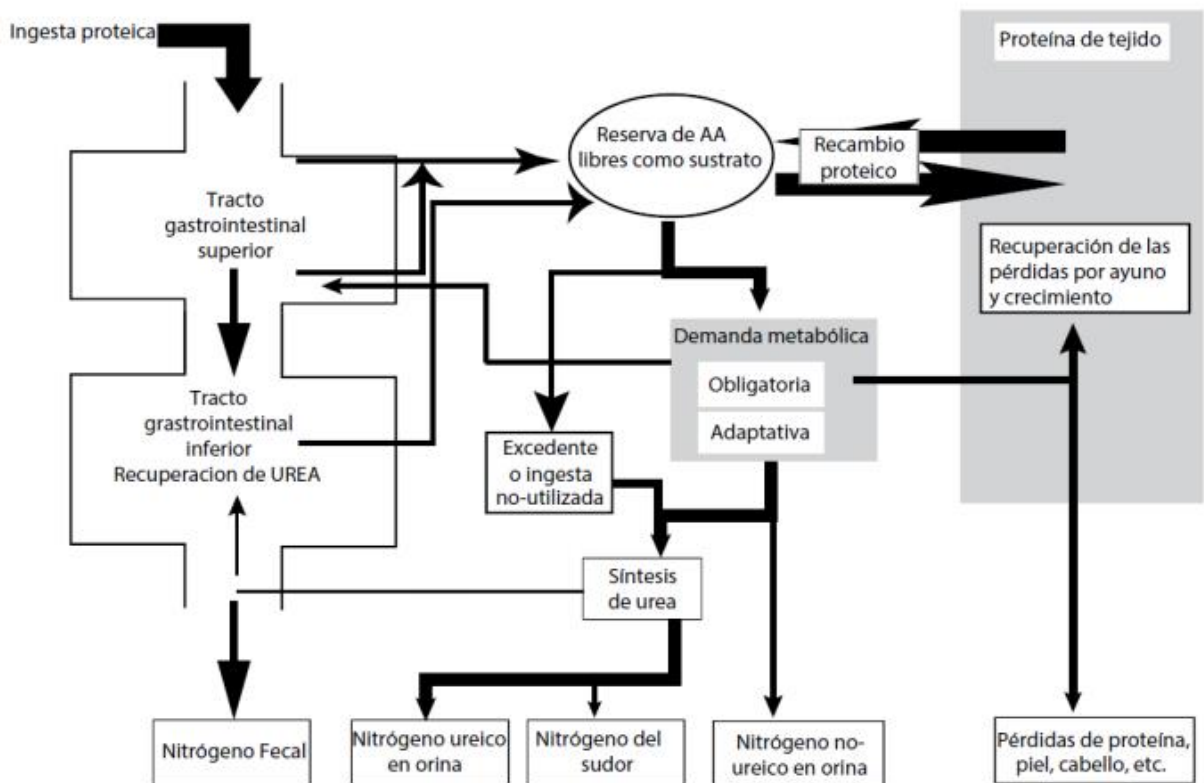


Imagen 16. Modelo del metabolismo de las proteínas en humanos de la WHO/FAQ/UNU

Diariamente se movilizan entre 125 y 220g de proteínas y el 75% de los aminoácidos son resintetizados en el tejido proteico. El resto se utiliza en la gluconeogénesis, cetogénesis y la formación de productos nitrogenados no proteicos.

1.5 FUNCIONES DE LAS PROTEÍNAS

Las funciones de las proteínas se derivan directamente del tipo de aminoácido que la constituye y el orden en el que estos se encuentran. Las proteínas determinan la forma y la estructura de las células y dirigen casi todos los procesos vitales.

Las principales funciones de las proteínas son las siguientes:

- 1- **Estructural:** Forman tejidos de sostén, aportan elasticidad y resistencia a órganos, tejidos, forman estructuras celulares y actúan como receptores formando parte de las membranas celulares o facilitan el transporte de sustancias.
- 2- **Enzimática:** Las proteínas actúan como catalizadores acelerando las reacciones químicas del metabolismo, interaccionan de forma específica.
- 3- **Hormonal:** Algunas hormonas son de naturaleza proteica, como la insulina y el glucagón que son los encargados de regular los niveles de glucosa en sangre, la hormona del crecimiento.
- 4- **Defensa:** Las proteínas desarrollan anticuerpos y son los encargados de regular factores contra agentes extraños, infecciones y toxinas bacterianas. Por ejemplo: el fibrinógeno y la trombina participan en la formación coágulos de sangre para evitar las hemorragias y las inmunoglobulinas actúan como anticuerpos.
- 5- **Transporte:** por ejemplo, la hemoglobina y la mioglobina, son proteínas transportadoras de oxígeno en la sangre y músculos.

- 6- **Reserva:** Las proteínas cumplen una función energética ya que aportan 4 Kcal/g.
- 7- **Contracción muscular:** Facilitan el movimiento de las células ya que constituyen las miofibrillas que son responsables de la contracción de los músculos.

1.6 CALIDAD PROTEICA

La calidad proteica, también conocida como "valor biológico de la proteína", se define, como la capacidad de una fuente dietética para cubrir los requerimientos de nitrógeno y aminoácidos en el organismo; en el caso de que sea deficiente en uno o más aminoácidos esenciales su calidad será menor.

Debido a la existencia de factores que pueden modificar el valor biológico se establecieron diferentes criterios de calidad para valorar las proteínas:

- **Criterios químicos:** referentes a la cantidad de aminoácidos esenciales que forman parte de las proteínas.
- **Criterios biológicos:** referentes a la capacidad de una proteína para mantener un balance nitrogenado positivo (Nitrógeno ingerido = N urinario + N fecal + N sudor, etc.) y para llevar a cabo los procesos de crecimiento y formación de las estructuras.
 - Digestibilidad (D): proporción de nitrógeno absorbida. Este parámetro, junto con el VB, nos informa sobre la utilización neta proteica.

$$D = \frac{\text{nitrógeno absorbido (NA)}}{\text{nitrógeno ingerido (NI)}} \times 100$$

- Valor biológico (VB): representa la proporción de nitrógeno absorbido y retenido por el organismo para usarlo como elemento de crecimiento o de mantenimiento.

$$VB = \frac{\text{nitrógeno retenido (NR)}}{\text{nitrógeno absorbido (NA)}} \times 100$$

- Utilización Neta de Protéica (UNP): producto del valor biológico por la

digestibilidad. Nos indica la proporción de nitrógeno consumido que queda retenido por el organismo y ello nos permite conocer con exactitud el nitrógeno proteico realmente utilizado. Con este concepto, la proteína de óptima calidad es la que tiene un UNP de 100.

$$UNP = \frac{VB \times D}{100}$$

- Coeficiente de Eficacia Protéica (*protein efficiency ratio*, PER): también se le conoce como relación de eficacia proteica (REP). Este criterio se usa para conocer el crecimiento producido con la ingesta de proteínas.

La calidad biológica de una proteína será mayor cuanto más similar sea su composición a la de las proteínas de nuestro cuerpo.

$$REP = \frac{\text{ganancia de peso (en g)}}{\text{proteínas ingeridas (en g)}}$$

Se le denomina **aminoácido limitante** a los aminoácidos esenciales que se encuentran en menor cantidad o nula en una proteína. El aminoácido limitante determinará la eficiencia de la proteína presente en un alimento.

El conjunto de todos los aminoácidos esenciales no sólo está presente en las proteínas de origen animal, sino también en:

- ✓ Soja y derivados
- ✓ Legumbres como los garbanzos, los azukis
- ✓ Quinoa y el amaranto
- ✓ Semillas de cáñamo
- ✓ Pistachos

Que contienen los 8 aminoácidos esenciales, en las cantidades adecuadas para el organismo.

En la mayoría de los vegetales siempre hay algún aminoácido que no está presente en cantidades suficientes, por lo que son consideradas fuentes proteicas de bajo valor biológico.

1.7 DISPONIBILIDAD DE AMINOÁCIDOS

Porcentaje de digestión y absorción de las diferentes fuentes proteicas:

- Proteína animal: 90 %
- Proteína vegetal: 60 – 70 %

Digestibilidad de las proteínas limitada por:

- Efectos de la conformación estructural de las proteínas
- Interacciones con iones metálicos, lípidos, ácidos nucleicos, celulosa.
- Tamaño y superficie de la partícula de la proteína.
- Tratamiento térmico.
- Diferencias biológicas entre individuos.

Es importante recordar que podemos complementar el valor biológico de la proteína que se consumen dentro de la dieta ya que cuando dos alimentos que contienen proteínas con aminoácidos limitantes diferentes se consumen, el aminoácido de una proteína puede compensar el aminoácido deficiente de la otra fuente proteica y viceversa.

Los alimentos presentan proteínas de distintos nivel de calidad, condicionadas por la mayor o menor deficiencia en aminoácidos esenciales

El aminoácido limitante generalmente es diferente en las proteínas alimentarias, por eso la combinación de alimentos vegetales compensa la carencia nutricional, la combinación de estas fuentes debe ser en el mismo día, para que no se pase por alto

Y no olvidarse, una estrategia es recomendar realizar esta combinación en la misma comida.

Tabla 5. Aminoácidos esenciales en alto y bajo contenido.

Alimentos	AA esencial en bajo contenido	AA esencial en alto contenido
Legumbres	Metionina	Lisina y Tronina
Cereales	Lisina e Isoleuciona	Metionina, treonina y triptofano
Frutos Secos	Isoluecina	Metionina y Triptofano
Vegetales	Metionina e isoluecina	Lisina y Triptofano

Tabla 6. Contenido proteico, valor aminoácido limitante

Alimento	Contenido proteico (%)	Valor aminoácido limitante
Cereales		
Maíz	9,4	49 (Lisina)
Arroz (blanco)	7,1	62 (Lisina)
Harina de trigo	10,3	38 (Lisina)
Mijo	11,0	33 (Lisina)
Legumbres		
Frijoles	23,6	100
Arvejas	23,5	100
Maní	25,8	62 (Lisina)
Hortalizas		
Tomate	0,9	56 (Leu)
Calabaza	1,2	70 (thr)
Pimiento dulce	0,9	77 (Lisina Leu)
Yuca	1,3	44 (Leu)
Patata	2,1	91 (Leu)

A nivel práctico vemos los siguientes ejemplos:

- Legumbres + Cereales
Lentejas con arroz
Cuscús con guisantes
Alubias con pan
Macarrones con frijoles
- Legumbres + Frutos secos
Lentejas + avellanas
Garbanzos con nueces
- Frutos secos y semillas + Cereales
Arroz con piñones
Arroz con pipas

Bibliografía consultada

1. Curso orientado a estudiantes de Bioquímica y Biología Molecular. Juan Manuel González Mañas. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular de la Universidad del País Vasco. Recuperado de <http://www.ehu.es/biomoleculas/proteinas/prot43.htm>
2. Manual de Nutrición y dietética. Ángeles Carbajal Azcona. Departamento de Nutrición. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-cap-5-proteinas.pdf>
3. Proteínas fascinantes Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. República Argentina. 2009 Recuperado de <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL001849.pdf>
4. Estructura y propiedades de las proteínas. M. Victoria Luque Guillén. Universidad de valència. https://www.uv.es/tunon/pdf_doc/proteinas_09.pdf
5. Proteínas y péptidos en nutrición enteral O. Martínez Augustin, E. Martínez de Victoria Muñoz. Nutr. Hosp. (2006) 21 (Supl. 2) 1-14 ISSN 0212-1611 • CODEN NUH0EQ S.V.R. 318
6. Temas selectos de bioquímica Sergio F. Moreno Salazar. Departamento de agricultura recuperado de <http://www.dagus.uson.mx/smoreno/4%20Aminoácidos%20y%20Prote%C3%ADnas.pdf>
7. <https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad2/sintesisdeproteinas/transcripcion>
8. Genética. Universidad complutense de Madrid. <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-56185/09Procesos%20genéticos%20de%20la%20s%C3%ADntesis%20de%20prote%C3%ADnas-la%20transcripción.pdf>
9. Proteínas en los alimentos. Juan Carlos Prieto. Universidad de Alcalá. Recuperado de https://portal.uah.es/portal/page/portal/universidad_mayores/descarga_material_docente/material_ciencias_naturales/documentos/proteinas_nutricion.pdf
10. Evaluación de la calidad de la proteína de la dieta en nutrición humana. Informe de una consulta de expertos FAO 2017 <http://www.finut.org/wp-content/uploads/2017/11/Estudio-FAO-92-y-documentos-adicionales-al-23112017-1.pdf>
11. Síntesis de proteínas Silvia Sokolovsky. Recuperado de https://portalacademico.cch.unam.mx/materiales/prof/matdidac/sitpro/exp/bio/bio1/GuiaBiol/ANEXO_6SINTESIS.pdf
12. Facultad de medicina virtual de Buenos Aires. http://www.fmv-uba.org.ar/grado/medicina/ciclo_biomedico/segundo_a%C3%B1o/bioquimica/Seminario12/seminario12file5.pdf.

13. Proteínas en Nutrición Artificial. Miguel León Sanz Madrid 2006.
https://www.senpe.com/documentacion/monografias/senpe_monografias_proteinas_NE3.pdf
14. Protein complementation. American Society for nutrition March 2011.
<https://nutrition.org/protein-complementation/>
15. Protein in the Diet Quality FN 225: Nutrition Tamberly Powell, M.S., R.D. Health Professions Division Lane Community College Eugene, Oregon
16. Metabolismo de compuestos nitrogenados. Universidad de Alcalá.
http://www3.uah.es/bioquimica/Tejedor/bioquimica_quimica/R-T20-1-Rgenerales.pdf.
17. Macronutrientes: carbohidratos, grasas y proteínas.
<http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/005/w0073s/W0073S01.pdf>
18. Jeejeebhoy KN. Short bowel syndrome: a nutritional and medical approach. CMAJ. 2002 May 14; 166(10): 1297–1302.
19. Cervera P, Clapes J, Ripolfas R. Alimentación y dietoterapia 4º Ed. Interamericana McGrawHill. Madrid, 2004.
20. Insights into digestion and absorption of major nutrients in humans. Goodman Barbara E Adv Physiol Educ 34: 44–53, 2010; doi:10.1152/advan.00094.2009.
21. Digestión de proteínas, lbcbioquimica
22. Requejo A, Ortega R. 2015. Nutriguía. Manual de nutrición clínica 2º Ed. Editorial Médica Panamericana: Madrid. ISBN: 978-84-9835-867-4