

Enfermería

Conceptos Fundamentales en Alimentación y Nutrición

Módulo 1

Nutrición y Dietética en
los Estados Fisiológicos
del Ciclo Vital

Fuden

 **UCLM**
UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA



Instituto
Tomás Pascual Sanz



Autores

Jesús Román Martínez Álvarez

Rosa María García Alcón

Descarga autorizada a 48621253
GEMA POMARES CAMPELLO,
gpomaresc@hotmail.com, IP:
185.93.47.53

ÍNDICE

1. GENERALIDADES SOBRE ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN	5
2. DEFINICIÓN DE ALIMENTACIÓN, NUTRICIÓN Y DIETÉTICA.....	5
2.1. Las ciencias de la alimentación.....	7
3. GRUPOS DE ALIMENTOS: CLASIFICACIÓN Y NUTRIENTES FUNDAMENTALES	9
3.1. Leche y derivados lácteos.....	12
3.2. Carnes, pescados, huevos y sus derivados.....	13
3.3. Legumbres y frutos secos	13
3.4. Grasas alimenticias.....	14
3.5. Cereales, pan, pasta y tubérculos	14
3.6. Verduras y hortalizas.....	15
3.7. Frutas.....	15
4. NUTRIENTES: MACRO Y MICRONUTRIENTES.....	16
4.1. Macronutrientes	16
4.2. Micronutrientes.....	23
4.3. El Agua.....	36
5. ANATOMOFISIOLOGÍA DEL APARATO DIGESTIVO	39
5.1. Boca y faringe	42
5.2. Esófago.....	43
5.3. Estómago	44
5.4. Intestino delgado.....	46
5.5. Colon	47
5.6. Órganos anejos: Páncreas y vesícula biliar	48
5.7. Hígado y su papel fundamental en el metabolismo	50

6. METABOLISMO Y ABSORCIÓN DE LOS NUTRIENTES	52
6.1. Vías metabólicas de los hidratos de carbono.....	55
6.2. Metabolismo de las proteínas	59
6.3. Metabolismo de los lípidos	63
7. REFERENCIAS	67

Descarga autorizada a 48621253
GEMA POMARES CAMPELLO,
gpomaresc@hotmail.com, IP:
185.93.47.53

1. GENERALIDADES SOBRE ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN

El interés creciente por la alimentación y la nutrición ha hecho que el estudio de estas disciplinas haya adquirido una mayor importancia.

Actualmente, la incidencia del exceso de peso (sobrepeso y obesidad) está alcanzando cotas alarmantes, tanto en adultos como en niños, y la adecuada información dietética y nutricional a la población parece ser una de las posibles armas para luchar contra esta epidemia. Además, nos encontramos en lo que se ha definido como “ambiente obesogénico”: la publicidad de algunos productos fomentan el consumo de alimentos de alta densidad energética y deficiente calidad nutricional. La actividad física de la mayoría de las personas es muy limitada, siendo el sedentarismo lo más habitual; al mismo tiempo, también se han reducido las ocasiones de pasar frío, por varios motivos: climatológico y un mayor acceso a métodos de calefacción, así como mejores ropas de abrigo. Es decir, que mientras que la ingesta calórica está aumentada, el gasto energético, que fundamentalmente estaba representado en la actividad física y el mantenimiento de la temperatura corporal, está disminuido.

La alimentación y la dieta van de la mano, siendo imprescindible manejarlos con unos criterios científicos para abordarlas de manera adecuada, lo que significa una dieta equilibrada y en qué se basa ese concepto.

Para hablar con propiedad de los términos que se suelen emplear en relación a la nutrición, conviene recordar su definición.

2. DEFINICIÓN DE ALIMENTACIÓN, NUTRICIÓN Y DIETÉTICA

Aunque suelen usarse casi como sinónimos, Alimentación y Nutrición no son la misma cosa, como vemos en sus definiciones:

La **Alimentación** es el acto de introducir los **alimentos** en nuestro organismo y se trata de un acto consciente y volitivo.

La alimentación de los seres humanos ha ido variando a lo largo de su evolución. Se cree que los primeros homínidos tenían una dieta principalmente vegetal, a base de frutas, raíces y plantas. Los cereales y tubérculos se añadirían después, así como el carroñeo, agregando a su dieta vegetariana el tuétano de los huesos y los restos de carne que dejaban los depredadores en sus presas. La caza y la pesca ayudaron a mejorar nutricionalmente la dieta, y permitieron el desarrollo del cerebro, a costa de una reducción de la longitud del intestino, como sostienen algunos antropólogos (Harris, 2004). El ser humano moderno (*homo sapiens*) es omnívoro y ha sido capaz de obtener de su entorno los alimentos necesarios, adaptándose a los diferentes ecosistemas en los que ha sobrevivido. De igual forma, ha domesticado animales y plantas para su uso como fuente alimentaria, lo que le facilitó su expansión por todo el planeta.

El **alimento** es la forma natural de aportar al organismo todos los nutrientes y energía necesarios y se define según el Código Alimentario Español como:

Un producto de origen vegetal o animal constituido por uno o varios nutrientes y dotado de propiedades sensoriales y de un cierto tono emotivo capaz de excitar nuestro apetito.

Además recoge los criterios para que un alimento sea considerado como tal:

Tendrán la consideración de alimentos todas las sustancias o productos de cualquier naturaleza, sólidos o líquidos, naturales o transformados, que por sus características, aplicaciones, componentes, preparación y estado de conservación, sean susceptibles de ser habitual o idóneamente utilizados a alguno de los fines siguientes:

- a) Para la normal nutrición humana o como fruitivos.*
- b) Como productos dietéticos, en casos especiales de alimentación humana.*

Apenas existen alimentos con un único nutriente, la mayoría contienen varios, aunque suele predominar alguno de ellos sobre el resto, siendo el que le da valor. Por tanto, **los alimentos no son completos sino complementarios**, la adecuada combinación de éstos permite obtener las necesidades energéticas y nutricionales requeridas.

Las características organolépticas de los alimentos (color, olor, textura, sabor) son las que provocan nuestra apetencia por ellos y las que definen sus propiedades funcionales y tecnológicas.

El alimento contiene un **valor nutritivo potencial**, que es el que presenta en el momento de ser recolectado o capturado, y un **valor nutritivo real**, que se refiere a la cantidad de nutriente absorbido que pasa a la sangre, una vez digerido y metabolizado. Por el momento, tan sólo se conoce el valor nutritivo potencial de los alimentos, que ha sido obtenido mediante análisis químicos, siendo estos datos recopilados en las Tablas de Composición de los Alimentos.

Recordemos que conviene utilizar correctamente los conceptos, así por ejemplo:

- **Alimentario:** es todo aquello relacionado con el alimento (producción, transporte, distribución).
- **Alimenticio:** todo aquello que tiene capacidad de nutrir. Por ejemplo, un tubérculo es alimenticio, pero no alimentario. La industria de los alimentos es alimentaria no alimenticia.

2.1. LAS CIENCIAS DE LA ALIMENTACIÓN

Las ciencias relacionadas con la alimentación son la Nutrición, la Dietética y la Bromatología.

La Nutrición es la rama de la ciencia que estudia los procesos de transformación y absorción de los alimentos, y la acción de los nutrientes sobre el organismo.

Nuestro organismo precisa disponer de energía para su funcionamiento. El combustible necesario procede de la energía química que se obtiene de forma endógena –a partir de los almacenes corporales de los nutrientes– y de forma exógena, a través de los alimentos y sus procesos de transformación y absorción.

Al conjunto de los procesos químicos necesarios para la obtención de energía y la síntesis de nuevas moléculas se le denomina **metabolismo**.

El acto de nutrirse no es consciente; es decir, una persona en estado de coma puede ser nutrida pero no puede alimentarse.

Las fuentes de energía contenidas en los alimentos se denominan nutrientes. El nutriente es un compuesto químico capaz de ser absorbido directamente, metabolizado y transformado en materia propia del organismo. El nutriente tiene una acción fisiológica definida y su carencia provoca alteraciones y enfermedades. Según sus necesidades se clasifican en:

- **Macronutrientes:** aquellos que necesita el organismo en grandes cantidades y son los que proporcionan energía:
 - Proteínas.
 - Carbohidratos.
 - Lípidos o grasas.
- **Micronutrientes:** son los que el organismo necesita en pequeñas cantidades pero su ingesta es imprescindible debido a sus funciones fisiológicas:
 - Vitaminas.
 - Minerales.
- **Agua:** aunque no aporta energía, sin embargo, es indispensable para la vida, ya que es el medio de disolución de los líquidos corporales y de las reacciones bioquímicas, actúa como vehículo de nutrientes y participa en la regulación de la temperatura corporal, entre otras funciones fisiológicas. Sabido es que sin agua no es posible la vida.

La **Dietética** es la disciplina que estudia la forma correcta de combinar los diferentes alimentos en la ingesta diaria para cubrir la necesidad de nutrientes –de la población o del individuo– que le permitan preservar el estado de salud.

La **Dietoterapia** estudia las distintas formas de combinar los alimentos con fines terapéuticos, como ayuda del tratamiento de las enfermedades.

La palabra **Dieta** procede del latín “*diaeta*” y éste, a su vez, del término griego “*διαίτα*”, cuyo significado es sistema o régimen de vida, e incluía los alimentos ingeridos y la actividad física. En la actualidad, el concepto de la palabra dieta ha quedado restringido únicamente al régimen de alimentos que consume un individuo en un tiempo determinado.

Aunque hablaremos de lo que se entiende por dieta equilibrada en los siguientes epígrafes, la dieta debe tener en cuenta tres conceptos importantes a la hora de combinar los alimentos:

- Cubrir las necesidades de energía y nutrientes del individuo.
- Conseguir una alimentación variada para asegurar los nutrientes necesarios.
- Utilizar técnicas culinarias adecuadas.

La valoración de una dieta, por tanto, tendrá en cuenta estos conceptos, calculando la energía necesaria para cada individuo, comprobando si se cumplen las recomendaciones de cada nutriente y la frecuencia y distribución de los alimentos, y señalando su forma de preparación.

Por último, nos queda hablar de la **Bromatología**, que es la ciencia encargada de estudiar la composición de los alimentos. Es una formación multidisciplinar que está íntimamente ligada a la nutrición. Tiene dos objetivos precisos que se podrían resumir como:

- **Objetivos científicos:** que abarcan el análisis de los alimentos, estudiando su composición y propiedades; la conservación de los alimentos, para preservarlos y evitar enfermedades; y el apoyo al desarrollo de nuevos y mejores alimentos.
- **Objetivos de salud pública:** que tratan el establecimiento de regulaciones sobre alimentos y la educación general de los consumidores.

Igualmente, podríamos distinguir varias funciones de la Bromatología:

- **Bromatología descriptiva:** analiza la composición y valor nutritivo de los alimentos. Los datos obtenidos se suelen reunir en las Tablas de Composición de los Alimentos.
- **Química y Bioquímica de los alimentos:** determina los componentes de los alimentos desde el punto de vista de calidad y cantidad. Realiza un control de calidad de un producto terminado y de los procesos a los que haya sido sometido.

- **Tecnología de los alimentos:** son las operaciones básicas de la industria alimentaria; es decir, la elaboración, conservación, envasado, almacenamiento y transporte de los alimentos. Incluye, asimismo, la obtención biotecnológica de componentes de los alimentos.
- **Microbiología e Higiene de los alimentos:** estudia la contaminación microbiana y parasitaria de los alimentos y el deterioro producido por estos. También se ocupa de las normas de higiene personal de los productores y manipuladores de alimentos, así como de los productos y sus procesos.
- **Toxicología alimentaria:** investiga las intoxicaciones de origen alimentario con la detección y prevención de componentes naturales o contaminantes capaces de provocar intoxicaciones.
- **Legislación y normalización alimentaria:** implica la reglamentación y normativa referente a la producción, elaboración y distribución de los alimentos para proteger la salud de los individuos.

La Bromatología permite conocer en profundidad a los alimentos y su forma de conservación, así como los procesos a los que es sometido y sus consecuencias en sus propiedades organolépticas.

3. GRUPOS DE ALIMENTOS: CLASIFICACIÓN Y NUTRIENTES FUNDAMENTALES^[1]

La mayoría de los alimentos contienen varios nutrientes, aunque normalmente predomina uno de ellos, que es el que lo caracteriza. Por lo tanto, los alimentos no son completos sino **complementarios**, es decir, que si los combinamos y variamos obtendremos una alimentación equilibrada^[2].

Los alimentos se pueden clasificar desde distintos puntos de vista^[2].

- **Según su estado físico:**
 - **Sólido:** son los alimentos que a temperatura ambiente se encuentran en este estado: frutas, verduras, carne, frutos secos...
 - **Líquido:** son los alimentos que a temperatura ambiente se encuentran en este estado: leche, aceite, agua,...
 - **Emulsión:** son los alimentos que forman una emulsión, que es una mezcla estable y homogénea de dos líquidos inmiscibles, por ejemplo la mayonesa y otras salsas.
- **Según su origen:**
 - **Origen animal:** son los alimentos obtenidos a partir de los animales, que a su vez pueden ser líquidos o sólidos: leche, carne, pescado, hue-

vos y sus derivados. Son alimentos ricos en proteínas, fundamentalmente y lípidos. Conviene recordar que la grasa de origen animal suele estar en estado sólido a temperatura ambiente (mantequilla, manteca).

- Origen vegetal: son los alimentos que proceden de los vegetales: frutas, hortalizas, verduras, legumbres, cereales, frutos secos. Y también de los que se elaboran a partir de éstos, como los aceites.
- Origen mineral: son los alimentos como el agua y la sal de roca, poco utilizada en la actualidad debido a lo costoso de su obtención.
- Origen industrial: son los alimentos que han sufrido un proceso de elaboración a nivel industrial para obtener el producto final: pasta alimentaria, galletas, bollería, alimentos enlatados, etc.

■ **Según su composición nutricional:**

- Glucídicos: son alimentos cuyo componente principal son los hidratos de carbono. Pueden ser ricos en hidratos de carbono simples, como el azúcar y las frutas, o en hidratos de carbono complejos, como cereales, tubérculos, legumbres y algunas frutas. Alimentos que también son fuente de fibra son las frutas, verduras, cereales integrales y legumbres.
- Proteicos: son alimentos en los que el aporte de proteínas es elevado. Suelen ser sobre todo de origen animal, como la carne, pescado y los huevos, pero también las legumbres, de origen vegetal, tienen alto contenido en proteínas.
- Grasos: son alimentos caracterizados por su elevada proporción de grasa en su composición. De origen animal destacarían la mantequilla, las mantecas o sebos procedentes de ciertas partes de las reses (tocino), algunos pescados (salmón). La carne suele ser también fuente de grasa, sobre todo saturada, en mayor o menor medida dependiendo del animal de procedencia. De origen vegetal, los aceites y la margarina, además de la “grasa industrial” utilizada en la elaboración de algunos alimentos, particularmente la bollería.
- Ricos en vitaminas: son alimentos que tienen un aporte elevado de vitaminas. En general las frutas, verduras y hortalizas, sobre todo si se consumen crudas, pues algunas vitaminas son muy lábiles y se ven afectadas por el tratamiento térmico, como la vitamina C y la tiamina.
- Ricos en minerales: la mayoría de los alimentos contienen minerales en mayor o menor proporción. Destacaríamos la leche y los lácteos como fuente de calcio; las carnes rojas como fuente de hierro; el plátano como fuente de potasio, la sal como fuente de sodio, etc.

■ Según su función biológica:

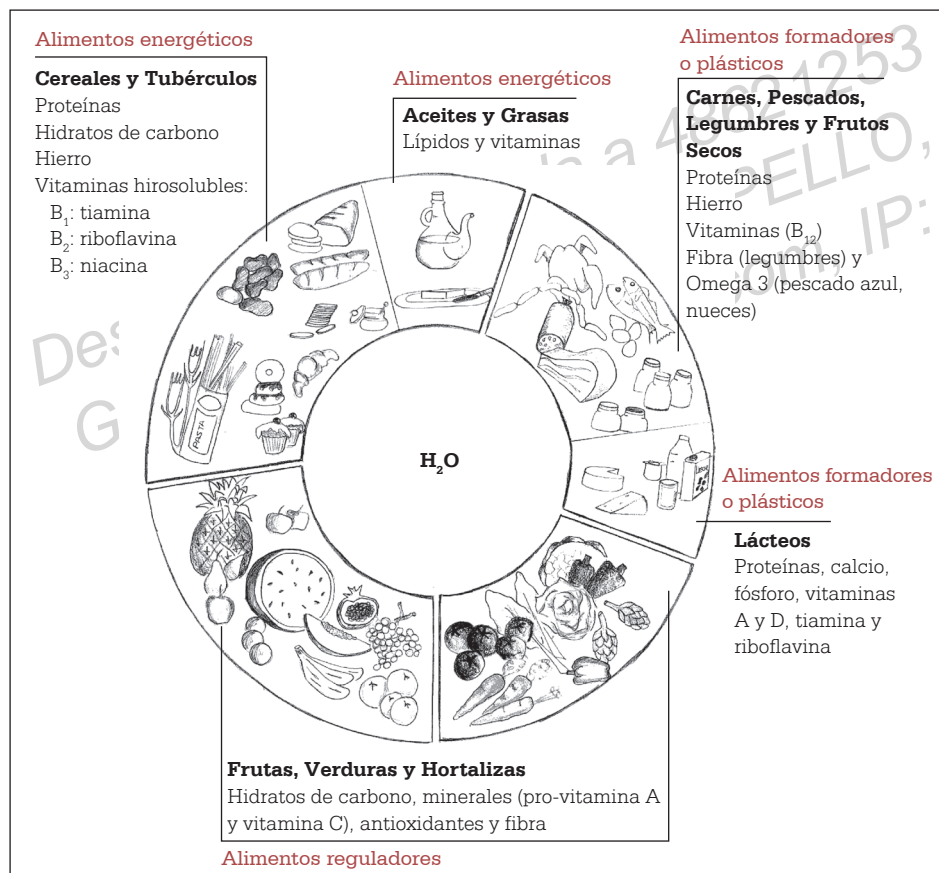
- Alimentos plásticos o reparadores: sus principales componentes son proteínas y minerales.
- Alimentos energéticos: sus principales componentes son hidratos de carbono o lípidos.
- Alimentos reguladores: sus principales componentes son los minerales y vitaminas.


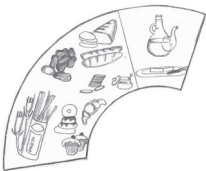
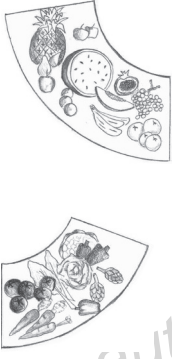
En la Rueda de los Alimentos (Figura 1), se representan los alimentos plásticos, los energéticos y los reguladores. Igualmente, se mencionan los nutrientes principales de cada grupo.

FIGURA 1

ALIMENTOS: DIFERENTES GRUPOS DE LA RUEDA Y SU CLASIFICACIÓN

Fuente: elaboración propia.



	Alimentos formadores o plásticos
	Alimentos energéticos
	Alimentos reguladores

El Código Alimentario Español es el que regula y ordena todo lo referente a los alimentos: su producción, distribución y manipulación.

Se ordenan en diferentes grupos que vemos a continuación:

3.1 LECHE Y DERIVADOS LÁCTEOS

Estos alimentos son ricos en proteínas, hidratos de carbono, sales minerales y lípidos (variable).

La proteína más importante de la leche es la **caseína**. En el suero se encuentran: lactoalbúminas, lactoglobulinas y lactoferrinas, albúmina sérica y algunas proteasas.

La **lactosa** es el azúcar de la leche. En los lácteos fermentados hay menos cantidad, debido a que las bacterias lácticas la transforman en ácido láctico.

La **leche entera** contiene un 3-4% de lípidos, fundamentalmente ácidos grasos saturados (cadena media y larga), además de fosfolípidos, colesterol (en poca proporción). La **leche semidesnatada** sólo contiene un 1,5% y la **desnatada** no supera el 0,5%. Los **quesos** tienen una cantidad variable, dependiendo del grado de curación y puede oscilar entre un 4-30%.

La leche contiene **vitaminas A** y **D** (en la fracción grasa) y **minerales** como **calcio**, fósforo, potasio, sodio y magnesio.

3.2. CARNES, PESCADOS, HUEVOS Y SUS DERIVADOS

Las carnes y pescados son **alimentos proteicos**, fuente de proteínas de Alto Valor Biológico y Nutricional ($\approx 25\text{g}/100\text{g}$).

El porcentaje de grasa es variable según la especie, parte del canal, etc. La carne contiene sobre todo **AGS** y **colesterol** y el pescado graso aporta **Omega 3**.

En cuanto a los **minerales**, las carnes y el pescado son ricos en fósforo, potasio, sodio y zinc. La carne es rica en **hierro** y el pescado y los moluscos lo son en **yodo**.

Son fuente de **vitaminas hidrosolubles** (tiamina, riboflavina, niacina, ácido fólico, B_{12}), pero carecen de vitamina C. También contienen **vitaminas liposolubles**, dependiendo del porcentaje de grasa que contengan.

El **huevo**, es un alimento muy rico en proteínas: ovoalbúmina, ovotransferrina, lisozima, avidina (considerado antinutriente porque inhibe a la niacina). También contiene lipoproteínas y fosfoproteínas (en la yema). Asimismo, la yema de huevo es rica en luteína, asociada a la salud ocular. Aporta minerales como el fósforo, potasio, calcio y magnesio, además de **vitaminas A, D** y **E**. Su contenido en lípidos se concentra en la yema y es de un 30-35%, mayoritariamente en forma de ácido oleico y linoleico, fosfolípidos y colesterol.

Los alimentos de este grupo no contienen hidratos de carbono o están en una mínima proporción.

3.3. LEGUMBRES Y FRUTOS SECOS

Las **legumbres** se clasifican en:

- **Leguminosas en grano:** contienen un alto porcentaje de **proteínas** (17-18%), aunque de bajo valor biológico porque la Metionina es su aminoácido limitante. También son ricas en almidón, fibra, minerales como el fósforo, hierro, calcio y potasio y vitaminas hidrosolubles del complejo B. Las legumbres son ricas en fitatos, una molécula rica en fósforo, pero los mamíferos no rumiantes carecen de la enzima *fitasa* necesaria para metabolizarlos, por lo que se considera fibra.

Las legumbres más utilizadas son:

- **Garbanzos** (*Cicer arietinum*); **lentejas** (*Lens esculenta*); **judías** (*Phaseolus vulgaris*), **habas** (*Vicia faba*), **guisantes** (*Pisum sativum*).
- **Leguminosas oleaginosas:** tienen también un alto porcentaje de proteínas (20-25%) pero de alto valor biológico. Son fuente de lípidos (oleico y linoléico) y sales minerales (fósforo, potasio, calcio). Contienen una baja concentración de carbohidratos.
- **Soja** (*Glycine max*) y **Cacahuete** (también se le considera fruto seco).

Los **frutos secos**, según su composición nutricional se clasifican como:

- **Amiláceos**, que contienen un 50% de almidón, como la **castaña** (*Castanea sativa*).
- **Oleaginosos**, en cuya composición nutricional hay una elevada proporción de proteínas, y también un porcentaje igual o mayor del 50% de grasa (sobre todo insaturada) como **almendra**, **avellana**, **nuez**, **piñón**, **pistacho**...

En general, aportan entre un 8-9% de su peso en fibra. Son ricos en vitaminas del grupo B y minerales (potasio, fósforo, calcio, magnesio...), y los oleaginosos contienen ácidos grasos insaturados: oleico, linoléico y linolénico, además de vitamina E.

3.4. GRASAS ALIMENTICIAS

Pueden ser sólidas (mantequillas, margarinas, unto...) o líquidas (aceites). Suministran al organismo **ácidos grasos esenciales** (como el linoleico del aceite de girasol) y **vitaminas liposolubles** (la mantequilla).

El aceite de oliva contiene ácido oleico y sustancias antioxidantes como el hidroxisterol. Sus propiedades benéficas para la salud son ampliamente conocidas. Su uso está totalmente recomendado, aunque, como todas las grasas, tiene un gran aporte calórico (100g de aceite contienen 899kcal).

3.5. CEREALES, PAN, PASTA Y TUBÉRCULOS

Los cereales son semillas sanas, secas y maduras, procedentes de las *gramíneas*, utilizadas en la alimentación. Los más habituales son: **trigo** (*Triticum*), **arroz** (*Oryza sativa*), **maíz** (*Zea mays*), **cebada** (*Hordeum vulgare*), **centeno** (*Secale cereale*), **avena** (*Avena sativa*), **sorgo** (*Sorghum vulgare*) y **mijo**.

Aportan carbohidratos complejos en forma de almidón y los integrales también contienen fibra. Entre un 12 y un 9% de su peso son proteínas, aunque de bajo valor biológico debido a que son deficitarias en lisina. Sin embargo, esta proteína se complementa perfectamente con la de las leguminosas, elevándose su calidad nutricional.

Los minerales y las vitaminas se encuentran fundamentalmente en el salvado, por ese motivo los cereales integrales tienen un mayor valor nutricional.

El pan y la pasta alimenticia son la forma más habitual de consumir cereales en nuestra zona. El **pan** es un alimento básico de la dieta, conocido desde la Antigüedad, que forma parte de las costumbres gastronómicas de numerosos países y particularmente de la dieta mediterránea, nos aporta unas 250kcal/100g, siendo un 50% en forma de almidón. También contiene vitaminas del grupo B y minerales, particularmente si es en forma integral.

Aunque la pasta alimenticia ha sido introducida más recientemente en nuestra gastronomía, sí era conocida y utilizada en otras zonas. Se cree que procede de China y en Europa la introdujeron los venecianos utilizando la harina de trigo como base de su elaboración.

Los **tubérculos** son tallos subterráneos modificados y engrosados donde se acumulan los nutrientes de reserva para la planta. Los más utilizados son:

- **Patata** (*Solanum tuberosum*), ñame, yuca, chufa...

Los tubérculos son ricos en carbohidratos en forma de almidón. Aportan minerales, principalmente potasio y vitamina C, aunque ésta se reduce mucho con la cocción.

3.6. VERDURAS Y HORTALIZAS

Las **hortalizas** son plantas herbáceas, hortícolas y maduras de consumo humano. Y las **verduras** son los órganos verdes comestibles de las hortalizas. Existen más de 5.000 variedades.

Sus características fundamentales son:

- Bajo aporte energético y proteico.
- Aportan **hidratos de carbono complejos y fibra**.
- Son ricas en agua, minerales (K, Mg, Na, Se...), vitamina C y betacarotenos (provitamina A), ácido fólico y vitaminas grupo B.
- Contienen **antioxidantes** (carotenoides, licopeno, flavonoides...).

3.7. FRUTAS

Son los frutos de las plantas. Su composición es principalmente agua (80-90%). Contienen además:

- **Hidratos de Carbono:** glucosa (uvas, cereza), fructosa, sacarosa, maltosa (uvas, plátanos), melobiosa, rafinosa, estaquiosa (uva), sorbitol, fibra: celulosa, hemicelulosa, sustancias pécticas.

- **Ácidos orgánicos:** ácido málico, cítrico y tartárico.
- **Potasio:** es el mineral más abundante. **Calcio:** tamarindo, guayaba, kiwi, moras, naranjas. **Magnesio:** plátano, aguacates, higos.
- **Vitaminas:** ácido ascórbico (Vitamina C): abunda en todas las frutas. Principalmente en cítricos y kiwi. β -carotenos, Biotina y ácido pantoténico.
- **Antioxidantes:** compuestos fenólicos, pigmentos...

4. NUTRIENTES: MACRO Y MICRONUTRIENTES

El **nutriente** es una sustancia con acción fisiológica definida, cuya carencia provoca la alteración en el organismo.

El organismo es capaz de sintetizar las biomoléculas necesarias a partir de los almacenes propios (glucógeno, tejido graso, pool de aminoácidos, etc.); sin embargo, existen ciertos nutrientes que no es capaz de sintetizar o no puede hacerlo en la cantidad adecuada. A éstos se les denomina **Nutrientes Esenciales** y deben ser aportados por la dieta.

Según su relación con la aportación o no de energía, los nutrientes se clasifican como:

- **Calóricos:**
 - Hidratos de carbono o carbohidratos.
 - Lípidos o grasas.
 - Proteínas.
- **Acalóricos:**
 - Vitaminas.
 - Minerales.
 - Agua.

Otros componentes de los alimentos como la fibra (un tipo de hidratos de carbono que no se pueden digerir o sólo pueden ser digeridos en parte) y los antioxidantes (polifenoles, carotenos, etc), cumplen funciones fisiológicas importantes y deben ser tenidos en cuenta.

4.1. MACRONUTRIENTES

4.1.1. Hidratos de carbono

La importancia de los hidratos de carbono en nuestra dieta viene dada, sobre todo, por el papel de la glucosa. Esta hexosa es el **único o principal** nutriente del

cerebro y el sistema nervioso, la médula renal, los eritrocitos, los testículos y el tejido embrionario. El cerebro es el principal consumidor y requiere unos 120g de glucosa al día.

Diariamente los hidratos de carbono deberían representar entre un 50-65% de la energía total diaria, siendo menos de un 10% en forma de azúcares simples^[3].

Los hidratos de carbono son los componentes más abundantes y más ampliamente distribuidos en los alimentos. Los más frecuentes en los alimentos son:

- **Monosacáridos**, principalmente hexosas:
 - Fructosa, glucosa y manosa, presentes en la fruta y la leche.
 - Galactosa, sólo en la leche.
- **Disacáridos** formados por la unión de dos monosacáridos:
 - Maltosa: dos moléculas de glucosa unidas por enlace $\alpha(1-4)$.
 - Isomaltosa: dos moléculas de glucosa por enlace $\alpha(1-6)$.
 - Sacarosa: una molécula de glucosa y una de fructosa en enlace $(1\alpha, 2\beta)$.
 - Lactosa: unión $\beta(1-4)$ de la galactosa y la glucosa. Es el azúcar de la leche.
- **Oligosacáridos**, se trata de cadenas compuestas por dos a diez monosacáridos:
 - Maltotriosa, triosa y dextrinas, que provienen de la hidrólisis del almidón.
- **Polisacáridos**, formados por cadenas de más de diez monosacáridos:
 - Almidón: es el componente principal de cereales y tubérculos y el carbohidrato de reserva en vegetales. Su composición química es una cadena de glucosa en enlaces $\alpha(1-4)$ y ramificaciones en enlace $\alpha(1-6)$. Dos tipos de cadenas: **amilosa** y **amilopectina**. Tiene cualidades reológicas como espesante y gelificante.
 - Celulosa: presente en los vegetales. Se trata de una cadena de glucosa con enlace $\beta(1-6)$. Se considera fibra dietética.
 - Otros polisacáridos: hemicelulosa, pectinas y lignina, que forman parte de lo que se conoce como fibra dietética.
 - El glucógeno también es un polisacárido y está presente en alimentos de origen animal, pero su cantidad es muy poco significativa. Por ese motivo, no suele nombrarse en los componentes de los alimentos.

Las principales funciones fisiológicas de los hidratos de carbono se resumen a continuación:

- Son **fuentes principales de energía**. Todos los hidratos de carbono de la dieta son reducidos a monosacáridos y éstos pueden ser oxidados en la ruta metabólica de la glucólisis. El resultado de la oxidación completa de la glucosa a CO_2 y agua produce 32 moléculas de ATP que es la “moneda energética” del organismo.
- Igualmente, son **reserva de energía**. El glucógeno se sintetiza en el hígado y en los músculos aunque estas reservas no suelen sobrepasar en total los 1.000g y, eso, en deportistas bien entrenados. En población general, las cantidades presentes de glucógeno pueden ser bastante inferiores. De este modo, el glucógeno podría oscilar entre los 50 y 150g en hígado y de los 200 a 900g en músculo. Cuando hay un consumo excesivo de hidratos de carbono, que no se van a utilizar para producir energía, son transformados en triglicéridos y almacenados en el tejido adiposo por acción de la insulina.
- La glucosa es el **nutriente fundamental del cerebro**. Dos tercios de la glucosa diaria (consumida o producida) son necesarios para el funcionamiento del cerebro, unos 120g.
- Los hidratos de carbono **forman parte de biomoléculas importantes** como el ADN, ARN, ATP, glicoproteínas, glucolípidos, etc.
- En cuanto a sus cualidades reológicas, los hidratos de carbono **aportan textura a los alimentos** y son responsables del sabor dulce de los mismos.

La **fibra dietética**: químicamente, se trata de polisacáridos de origen vegetal que nuestro aparato digestivo no puede digerir o sólo lo puede hacer parcialmente y sobre los que sí pueden actuar las enzimas de la microbiota intestinal^[4].

En la década de los 70, Burkitt, Walter y Painter, formularon la teoría de “Fibra dietética y salud” a partir del estudio de la dieta de dos poblaciones; descubrieron que el tiempo del tránsito intestinal era más favorable en la población con dieta más vegetariana (con más fibra) que en la que llevaba una dieta más rica en carne. Igualmente, la incidencia y prevalencia de algunas enfermedades difería notablemente y llegaron a la conclusión de que el aumento de las enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer de colon podría estar relacionado con un bajo consumo de fibra dietética. Las investigaciones posteriores les han dado la razón^[4].

Los componentes de la fibra dietética se clasifican de varias formas: por su composición química como **Polisacáridos** y **No Polisacáridos**; por su solubilidad como **Fibra soluble** y **Fibra insoluble**; y por el grado de fermentación que sufren en el colon como **Fibra fermentable** y **Fibra parcialmente fermentable**. La fibra fermentable es soluble y forma geles viscosos en el intestino. La fibra parcialmente fermentable es insoluble, lo que determina sus funciones fisiológicas.

En el siguiente cuadro se resumen los tipos de fibra y sus funciones fisiológicas^[5]:

TABLA 1		
Fuente: elaboración propia.		
Tipo de fibra	Sustancias	Funciones
Fibra fermentable o soluble	Sustancias pécticas.	Producen ácidos grasos de cadena corta (acético, propiónico y butírico) con efectos tróficos sobre la mucosa colónica.
	Gomas. Mucílagos. Algunas hemicelulosas. Almidón resistente. Inulina. Fructooligosacáridos (FOS). Galactooligosacáridos (GOS).	Enlentecen la absorción de glucosa y de colesterol. Estimulan la absorción de algunos minerales (sodio y cationes divalentes). Tiene efectos probióticos sobre la microbiota intestinal.
Fibra parcialmente fermentable o insoluble	Celulosa. Lignina. Algunas hemicelulosas.	Aumentan la motilidad gastrointestinal. Es un importante regulador del tránsito intestinal, actuando, igualmente sobre la osmolaridad intestinal.

No resulta fácil calcular la cantidad de fibra digerida ya que depende de múltiples factores pero la recomendación es consumir entre **19 y 38 gramos al día**. Los alimentos que más fibra aportan son los cereales integrales, las legumbres, las frutas y las verduras^[5].

4.1.2. Proteínas

Las proteínas son cadenas de aminoácidos unidos entre sí por enlaces peptídicos. Existen veinte aminoácidos –que pueden provenir del propio organismo o ser aportados por las proteínas de la dieta– a partir de los cuales se sintetizan las proteínas. Nueve de estos aminoácidos son esenciales, ya que nuestro organismo no los puede sintetizar o lo hace de forma deficitaria.

Los aminoácidos no esenciales son: Alanina (Ala), Asparagina (Asn), Asparato (Asp), Arginina (Arg), Cisteína (Cys), Glicina (Gly), Glutamato (Glu), Glutamina (Gln), Prolina (Pro), Serina (Ser) y Tirosina (Tyr).

Los aminoácidos esenciales son: Fenilalanina (Phe), Histidina (Hys), Isoleucina (Ile), Leucina (Leu), Lisina (Lys), Metionina (Met), Treonina (Thr), Triptófano (Trp) y Valina (Val).

Ambos tipos de aminoácidos, esenciales y no esenciales, intervienen en la formación de hormonas, enzimas, neurotransmisores, anticuerpos, transportadores de nutrientes, tejidos, etc.

Los aminoácidos esenciales condicionales son aquellos que sólo en determinadas ocasiones se requieren en mayor cantidad de la que se pueden sintetizar, como son Arginina, Cisteína y Tirosina en los niños prematuros. Igualmente, la Arginina se convierte en aminoácido esencial en situaciones post-traumáticas y post-quirúrgicas.

La presencia en los alimentos de los aminoácidos esenciales en la cantidad necesaria para el organismo es lo que determina el **valor nutricional** de la proteína. Al aminoácido esencial que está en menor proporción de lo necesario se le denomina aminoácido limitante. Por ejemplo, en los cereales es la Lisina y en las legumbres la Metionina; si se combina su consumo, se compensan estas deficiencias.

El valor biológico de la proteína viene definido por el porcentaje de nitrógeno que aporta al organismo (nitrógeno retenido/nitrógeno absorbido). Según este criterio, las proteínas se clasifican como de Alto Valor Biológico (de los alimentos de origen animal), o de Bajo Valor Biológico (de los alimentos de origen vegetal).

Las proteínas cumplen diversas e importantes funciones en nuestro organismo, no sólo su aporte energético.

Sus funciones fisiológicas principales se podrían resumir:

- **Función estructural:** forman parte de los órganos y del aparato de sostén del organismo; huesos, tejido conjuntivo, piel...
- **Función de reserva:** para obtener otras proteínas, como son los músculos.
- **Función metabólica y reguladora:** enzimas y hormonas.
- **Reconocimiento y señalización celular:** las proteínas de membrana; además de participar en el movimiento celular, como los cilios.
- **Sistema de defensa:** como las inmunoglobulinas.
- **Transportadores de otros nutrientes:** como albúmina, hemoglobina, proteína ligada a retinol (vitamina A),...

La principal fuente de proteínas dietéticas son carnes, pescados y huevos, seguidas por las legumbres. Los cereales aportan menos proteínas y las frutas y verduras no contienen apenas. Cabe mencionar la soja, que es una legumbre, ya que su proteína es de alto valor biológico y nutricional porque no contienen aminoáci-

dos limitantes. Las proteínas deben suponer del 10 al 15% de la ingesta calórica diaria^[4].

4.1.3. Lípidos

Bioquímicamente son diferentes estructuras químicas: colesterol, ácidos grasos (saturados, monoinsaturados, poliinsaturados), triglicéridos, fosfolípidos, etc. Todos ellos reciben el nombre genérico de lípidos.

El aporte de grasa no sólo proviene de la dieta, ya que el metabolismo también puede sintetizar los lípidos necesarios salvo dos ácidos grasos, llamados esenciales: el ácido linoléico (C18:2) y el ácido α -linolénico (C20:3).

Las grasas son altamente eficaces como fuente de energía para el metabolismo: un gramo de grasa metabolizada produce 9 kilocalorías, mientras que un gramo de hidratos de carbono o de proteínas producen 4 kilocalorías. Además, las grasas son el nutriente energético por excelencia y deben constituir el 30-35% del total de las kilocalorías diarias ingeridas^[3].

La función fisiológica de los lípidos es muy compleja y da idea de la importancia de la grasa en nuestra alimentación. Es el único macronutriente que tiene una célula específica de almacenamiento (los adipocitos).

Los principales lípidos presentes en los alimentos son:

- **Triacilglicéridos ó triglicéridos (TAG).**
- **Ácidos grasos:**
 - Saturados: láurico, mirístico, palmítico, esteárico, araquídico y lignocérico (alimentos de origen animal, sobre todo).
 - Monoinsaturados: oléico, palmitoléico (alimentos de origen vegetal).
 - Poliinsaturados: linoleico, α -linolénico, araquidónico, EPA, DHA, nervónico (alimentos de origen vegetal y animal).
- **Fosfolípidos:** huevos (lecitina), carnes, pescados, soja (lecitina).
- **Glucolípidos:** en alimentos de origen animal y vegetal (membranas celulares).
- **Terpenos:** vitaminas liposolubles (E, A, K) y aceites esenciales.
- **Esteroides:** vitamina D y colesterol en los alimentos de origen animal, y Fitoesteroles (sitosterol, estigmasterol) en los alimentos de origen vegetal.

Ácidos grasos omega 3 y omega 6

Hacemos mención a los ácidos grasos omega 3 y omega 6 por su destacada función fisiológica. Se trata de ácidos grasos poliinsaturados que derivan de los dos

ácidos grasos esenciales y se les da el nombre de omega 3 y omega 6 señalando el carbono donde aparece el primer enlace doble.

- Alfa-linolénico (ω -3): es precursor del EPA (C20:5) y DHA (C22:6).
- Linoleico (ω -6): es precursor del ácido araquidónico (C20:4).

A partir de los ácidos grasos omega 3 y omega 6, se sintetizan los eicosanoides (prostaglandinas, leucotrienos y tromboxanos), moléculas relacionadas con la regulación de la presión arterial, la frecuencia cardíaca, la coagulación sanguínea, la respuesta inmunológica y la inflamación. Los eicosanoides derivados de los omega 6 tienen una acción proinflamatoria y vasoconstrictora, mientras que los derivados de los omega 3 son antiinflamatorios, vasodilatadores y ayudan a controlar el nivel de triglicéridos en el plasma. Ambos grupos comparten las mismas enzimas, por lo que tienen que mantener una relación adecuada para lograr un equilibrio entre las moléculas finales.

Las principales funciones metabólicas de los lípidos son:

- **Combustible metabólico, reserva energética y capa protectora.** Los lípidos se almacenan en forma de triglicéridos (TAG) en el tejido adiposo, que tiene una función de reserva energética, amortiguador mecánico y aislante térmico.
- **Componentes de las membranas biológicas,** junto a hidratos de carbono y proteínas.
- **Precusores de los eicosanoides:** prostaglandinas, leucotrienos y tromboxanos.
- **Otras funciones:**
 - Reconocimiento celular y especificidad de la especie.
 - Cofactores enzimáticos, como las fitoquinonas (vitamina K).
 - Transportadores electrónicos como el Coenzima Q del Complejo de Transporte de Electrones.
 - Pigmentos fotorreceptores, como el 11 *cis-retinal*, derivado de la vitamina A.
 - *Antioxidantes, como los tocoferoles (vitamina E) y el retinol (vitamina A).*
 - *Agentes emulsionantes, como los ácidos y sales biliares.*
 - Hormonas, como los esteroides, los eicosanoides y las vitaminas A y D.

Una dieta baja en ácidos grasos produce piel seca y escamosa (dermatitis), alopecia, bajo crecimiento, síntomas nerviosos, entumecimiento, debilidad, bajo rendimiento en el aprendizaje, disminución de la agudeza visual, baja contractilidad cardíaca e infecciones.

4.2. MICRONUTRIENTES

Los micronutrientes son las vitaminas y minerales. El organismo no los puede sintetizar y, aunque no aportan energía, sin embargo son imprescindibles para el metabolismo. Su déficit es causa de enfermedades^[4].

4.2.1. Vitaminas

Las vitaminas, por su composición química, se clasifican en hidrosolubles y liposolubles. Las vitaminas hidrosolubles no se acumulan, salvo la B₁₂, y son eliminadas a través del riñón; mientras que las liposolubles se acumulan en el hígado (salvo la vitamina D) y son eliminadas por las heces, a través de las sales biliares.

4.2.1.1. Vitaminas hidrosolubles

Vitaminas hidrosolubles son:

- Vitamina B₁ (Tiamina).
- Vitamina B₂ (Riboflavina).
- Vitamina B₃ (Niacina, ácido nicotínico).
- Vitamina B₅ (Ácido Pantoténico).
- Vitamina B₆ (Piridoxina).
- Vitamina B₈ (Biotina).
- Vitamina B₉ (Ácido Fólico).
- Vitamina B₁₂ (Cobalamina).
- Vitamina C (Ácido Ascórbico).

Tiamina (Vitamina B₁)

Está formada por dos heterociclos y actúa como transportador de grupos aldehídos en reacciones de descarboxilación de cetoácidos tales como piruvato y α -cetoglutamato y en reacciones catalizadas por transcetolasas. Un ejemplo es la *piruvato deshidrogenasa*.

El tabaco y el alcohol reducen la absorción de esta vitamina.

Es imprescindible en el metabolismo de los hidratos de carbono como coenzima de la *piruvato deshidrogenasa*.

- Su carencia provoca una enfermedad llamada *beriberi* que afecta a los sistemas nervioso, cardiovascular y muscular, y se manifiesta en alteraciones neurológicas y psíquicas; dolor, parálisis y, en último término, la muerte.
- *Principal fuente alimentaria*: pipas de girasol, frutos secos, jamón, carne de cerdo, cereales integrales, huevos y legumbres.

Riboflavina (Vitamina B₂)

Es un factor necesario para el crecimiento. La riboflavina es un heterociclo de isoaloxacina, unida a un ribitol. A partir de la riboflavina se puede sintetizar FMN y FAD, que son flavoproteínas, grupos prostéticos que actúan con enzimas deshidrogenasas, oxidasas y oxigenasas debido a que pueden actuar como aceptores y dadores de uno o dos electrones en reacciones de óxido-reducción. Un ejemplo son la *succinato deshidrogenasa* (Complejo II de la cadena transportadora de electrones) y la *piruvato deshidrogenasa*.

- Su déficit es muy raro, salvo en personas con una ingesta muy baja de proteínas.
- *Principal fuente alimentaria*: hígado y paté, queso de cabra, yema de huevo, caballa y carne de ternera.

Niacina (Vitamina B₃)

Interviene en el metabolismo de los carbohidratos, las proteínas y las grasas. Es cofactor del NADH y del NADPH, enzimas necesarias en las reacciones de oxidación-reducción, que actúan con las enzimas deshidrogenasas como transportadores solubles de electrones. La niacina puede ser sintetizada por el organismo a partir del triptófano, pero no en la cantidad suficiente. También puede ser sintetizada por las bacterias colónicas aunque también en pequeña proporción.

- Su carencia provoca la pelagra, enfermedad caracterizada por la aparición de dermatitis, diarrea y demencia y, en caso extremo, la muerte. Esta enfermedad se hizo muy conocida en Europa tras la introducción del cultivo de maíz. Los jornaleros agrícolas cuya dieta estaba basada únicamente en este cereal empezaron a mostrar los síntomas de esta enfermedad (enrojecimiento de la piel) debido a que el maíz tiene un antinutriente que inhibe a la niacina.
- *Principal fuente alimentaria*: pescado azul, cereales, cacahuete, carne de conejo.

Ácido Pantoténico (Vitamina B₅)

Debe su nombre a la palabra griega *pantothern*, que significa *en todas partes*. Se denomina así porque se encuentra en una gran cantidad y variedad de alimen-

tos. Forma parte del Coenzima A, que es una enzima presente en los ciclos catabólicos de la glucosa, los aminoácidos y los ácidos grasos y, por tanto, en la obtención de energía.

- *Principal fuente alimentaria:* hígado, cereales integrales, huevo, champiñón.

Piridoxina (Vitamina B₆)

Es cofactor de las transaminasas, enzimas implicadas en el metabolismo de los aminoácidos. Se halla en casi todos los alimentos, tanto de origen animal como vegetal. Las deficiencias de la piridoxina son raras pero se dan en estados de desnutrición.

- Su déficit afecta, en primer lugar, a la síntesis de GABA, que es un neurotransmisor, por lo que es causa de neuropatías. También produce anemia en adultos y convulsiones en niños pequeños, lesiones en la piel y en la boca.
- *Principal fuente alimentaria:* salmón, sardinas, atún, pipas de girasol, frutos secos, queso fresco y pavo.

Biotina (Vitamina B₇)

Es un cofactor de enzimas carboxilasas implicadas en la síntesis de glucosa y ácidos grasos y en la degradación de la Leucina. Es cofactor de la piruvato carboxilasa, la acil CoA carboxilasa y la propionil CoA carboxilasa, entre otras.

La avidina, presente en el huevo, tiene una gran afinidad por la biotina, y se une a ella impidiendo su absorción, por eso se le considera un antinutriente. El calor la desnaturaliza e impide que se una a esta vitamina.

- *Principal fuente alimentaria:* frutos secos, yema de huevo, ostras, pan integral, foie-gras, champiñón, plátano, levadura de cerveza.

Ácido Fólico (Vitamina B₉)

Debe su nombre al latín *folia*, que significa hoja ya que se encuentra principalmente en las hojas de los vegetales.

Es imprescindible en los procesos de división y multiplicación celular, y su carencia afecta sobre todo a las células hematopoyéticas, que son las precursoras de las células sanguíneas, al ser éstas las que más se multiplican. También por este motivo, las necesidades aumentan durante el embarazo debido al desarrollo del feto.

El ácido fólico interviene en el metabolismo de las purinas y pirimidinas (forman parte del ADN y ARN) y en la síntesis de la metionina donde actúa conjun-

tamente con la vitamina B₁₂. También participa en el transporte de grupos metil, metilen, formil y formidilo.

- Su déficit provoca anemia megaloblástica. En el embarazo es muy importante para la formación del tubo neural del feto y su déficit puede causar espina bífida, por ello sus necesidades están aumentadas. Aunque el cierre del tubo neural se produce durante las primeras semanas del embarazo, cuando aún la madre no conoce su estado. Se aconseja que las mujeres en edad fértil tengan asegurada la ingesta dietética de referencia de esta vitamina.
- *Principal fuente alimentaria:* foie-gras de cerdo, judías blancas y pintas, cereales integrales, soja, hígado de ternera, pipa de girasol, berro, col rizada, espinaca cruda, garbanzos, lentejas.

Vitamina B₁₂ (Cobalamina)

Tiene una compleja estructura química, con un átomo de cobalto en el centro de un anillo de corrina descrita por Dorothy Crowfoot Hodgkin, en 1962. Su función viene dada por el cobalto, que participa en reacciones de intercambio de grupos químicos entre carbonos adyacentes y en la oxidación de los ácidos grasos de cadena impar. Junto con el ácido fólico, interviene en el ciclo de conversión de la homocisteína en metionina. Si hay deficiencia de cualquiera de estas dos vitaminas, la homocisteína se acumula y este proceso está asociado con un aumento del riesgo de enfermedades cardiovasculares.

Es indispensable para la formación de glóbulos rojos y para el crecimiento corporal y la regeneración de los tejidos.

- Su déficit provoca anemia perniciosa, caracterizada por la escasez y anormalidad en la formación de los glóbulos rojos. También causa fatiga, insomnio, degeneración nerviosa e, incluso, demencia. A diferencia de otras vitaminas hidrosolubles la vitamina B₁₂ se acumula en el hígado. Esta vitamina necesita del Factor Intrínseco, segregado por las células parietales de la mucosa estomacal, para poder ser absorbida. En la sangre tiene una proteína específica para su transporte. Las fuentes más importantes de esta vitamina son los alimentos de origen animal.
- *Principal fuente alimentaria:* jalea real, hígado de ternera y de cordero, almejas, sardinas, foie-gras, pulpo, caballa, conejo, atún.

Vitamina C (Ácido ascórbico)

Es el antioxidante más importante en el exterior de las células. Su estructura química está relacionada con la de la glucosa y otras hexosas.

Actúa como cofactor con las *prolil-hidroxilasas* y las *lisil-hidroxilasas*, necesarias para la formación de colágeno e interviene en las reacciones de óxido-reducción, transportando oxígeno e hidrógeno. También interviene en la asimilación del ácido fólico y del hierro y en la reducción de la vitamina E.

Es muy sensible a la luz, a la temperatura y al oxígeno del aire. Las necesidades de ácido ascórbico aumentan en personas sometidas a situaciones de estrés oxidativo. Las fuentes fundamentales de esta vitamina son los vegetales crudos y las frutas.

- Su déficit provoca el escorbuto, una enfermedad ya descrita por Hipócrates, que produce inflamación de encías y articulaciones, hemorragias y pérdida de dientes y, en casos graves, la muerte. Los grandes viajes transoceánicos de la época de los imperios hicieron que aumentara la incidencia debido a la dieta escasa de alimentos frescos que llevaban los marineros. Varios médicos relacionaron una cosa con la otra y recomendaron el zumo del limón para combatir esta enfermedad.
- *Principal fuente alimentaria:* guayaba, grosella, pimiento, col de Bruselas, brócoli, kiwi, papaya, fresón, naranja, limón, mango.

4.2.1.2. Vitaminas liposolubles

Las vitaminas liposolubles sólo se disuelven en sustancias orgánicas. No se encuentran en forma libre y se absorben y son metabolizadas igual que los lípidos. Son transportadas por las lipoproteínas aunque algunas poseen proteínas de transporte propias. Se almacenan en el hígado y en el tejido graso, excepto la vitamina D. Su exceso puede originar toxicidad, por lo que hay que controlar su suplementación. Se excretan a través de la bilis. Son:

- Vitamina A (Retinol).
- Vitamina D (Calciferol).
- Vitamina E (Tocoferol).
- Vitamina K (Fitoquinona).

Vitamina A (Retinol)

El retinol está presente como tal en los alimentos de origen animal, mientras que en los vegetales se encuentra como provitamina A, en forma de betacarotenos, que son los pigmentos de color amarillo-rojo de las frutas, hortalizas y vegetales. Su hidrólisis en el organismo produce dos moléculas de retinol que es transportado en el plasma unido a RBP (Proteína Transportadora de Retinol).

Tiene una importante función en la visión ya que forma parte de las rodopsinas, pigmentos visuales de la retina. También tiene actividad morfogenética, por lo que juega un decisivo papel en el desarrollo embrionario, en la proliferación celular y en el mantenimiento de los epitelios.

Se destruye muy fácilmente con la luz, con la temperatura elevada y con los utensilios de cocina de hierro o cobre.

- Su déficit provoca metalopía ("ceguera nocturna") y alteración de epitelios. Su exceso puede provocar malformaciones en el embrión y puede ser pro-cancerígena, debido a su actividad en el desarrollo embrionario y la proliferación celular. Por este motivo, su suplementación no está aconsejada, salvo prescripción y control médico.
- *Principal fuente alimentaria:* de origen animal: hígado, mantequilla, yema de huevo. De origen vegetal (β -carotenos): zanahoria, boniato, espinacas, pimiento rojo, melón, cerezas, albaricoque.

Vitamina D (Calciferol)

La vitamina D es fundamental para la absorción del calcio y del fósforo, siendo responsable de su homeostasia, junto a la parathormona.

No es exactamente una vitamina, ya que el organismo la puede producir en cantidades necesarias. La sintetizan las células de la granulosa de la epidermis por acción de la radiación ultravioleta a partir del 7-dehidrocolesterol, un intermediario del colesterol. Por acción de la temperatura de la piel (tarda unas doce horas), se isomeriza originándose la provitamina D₃ (*calciferol*).

El aporte alimentario de esta vitamina es el calciferol o vitamina D₂ (alimentos de origen animal) y el ergosterol (alimentos de origen vegetal).

La vitamina D, tanto la proveniente de la dieta como la sintetizada de manera intrínseca, requiere ser transformada para hacerse biológicamente activa. Esta forma activa es el *colecalfiferol* o vitamina D₃ (1,25-dihidroxivitamina D₃) y es hidrolizada primero en el hígado y después en el riñón, que es el paso fundamental.

Se puede decir que actúa como una hormona endocrina: la produce un órgano (el riñón), obedece a un factor determinado (bajada de la calcemia) y actúa en otras células alejadas (enterocitos y osteoblastos).

- Su déficit provoca raquitismo en los niños y osteomalacia en los adultos.
- *Principal fuente alimentaria:* aceite de hígado de bacalao, pescados grasos, yema de huevo, lácteos enteros, queso, carne, setas y champiñones.

Vitamina E (Tocoferol)

Se descubrió como un factor necesario para la reproducción, de ahí su nombre de tocoferol.

Reacciona con los ROS (Especies Radicales Oxidativas) y evita el daño que pueden causar los radicales libres. Su estructura geométrica le permite encajar bien en las membranas biológicas y ejercer su función antioxidativa, interrumpiendo la cadena reactiva de la peroxidación lipídica. También tiene una función fundamental en la respiración celular y en la síntesis del grupo hemo (glóbulos rojos). Otra de sus funciones es la inhibición de la *ciclooxigenasa*, enzima fundamental en la síntesis de prostaglandinas y eicosanoides que son vasoconstrictoras, por lo que tiene una acción positiva sobre la hipertensión arterial.

- Su deficiencia ocasiona:
 - Síndrome hematológico (anemia hemolítica típica) en niños prematuros.
 - Síndrome neurológico afectando a la retina (retinopatías) en niños prematuros.
 - Síndrome inmunitario, baja la respuesta inmunitaria.
 - Síndrome vascular. La vitamina E, junto a la vitamina A, tienen una actividad preventiva de la arterioesclerosis.
- *Principal fuente alimentaria:* aceites vegetales: girasol, maíz, soja, oliva; frutos secos: avellanas, almendras, cacahuetes.

Vitamina K (Fitoquinona)

Es de origen vegetal y debe su nombre a su relación con la coagulación (Koa-gulation, en inglés). El *Bacteroides fragilis*, presente en el colon es responsable de la síntesis del 50% de la vitamina por parte del organismo. Es la única vitamina liposoluble que actúa como cofactor enzimático; en este caso, con las carboxilasas. En el hígado se sintetizan los factores de coagulación, pero para que sean activos deben ser modificados, ahí es donde actúa la vitamina K. También tiene actividad en el hueso regulando los depósitos de sales, particularmente de calcio.

- La deficiencia de vitamina K, aunque es rara, afecta fundamentalmente a los procesos de coagulación, con lo que se pueden provocar hemorragias.

En los niños prematuros sí puede darse esta deficiencia ya que la vitamina K no atraviesa la placenta y ellos tienen el sistema de coagulación aún inmaduro.

Los medicamentos cumarínicos o anticoagulantes (por ejemplo el Sintrom®) impiden que la vitamina K sea activa.

- *Principal fuente alimentaria:* col rizada, espinacas, remolacha, repollo, endibia, cebolla, col de Bruselas, brócoli, lechuga, nabo.

4.2.2. Minerales

El 95% del peso corporal total está formado por las moléculas orgánicas, presentes en muy diversas formas: ADN, ARN, proteínas, lípidos y carbohidratos,... y éstas, a su vez, están compuestas principalmente por oxígeno, carbono, hidrógeno y nitrógeno, además de agua y dióxido de carbono. En la siguiente proporción: Oxígeno = 65%; Carbono = 18,5%; Hidrógeno = 9,5%; Nitrógeno = 3,2%.

El 5% del peso corporal total está formado por sales minerales. Estos compuestos son muy importantes porque realizan diferentes funciones. Todos los minerales presentes en la naturaleza lo están también en el organismo, en diferentes cantidades. Casi todos los minerales son solubles en agua, excepto el hierro.

Se clasifican en función de las necesidades del organismo como:

- *Macrominerales:* se precisan ≥ 100 mg/día. Son: **Calcio** (Ca), **Fósforo** (P), **Cloro** (Cl), **Sodio** (Na), **Potasio** (K), **Azufre** (S) y **Magnesio** (Mg).
- *Microminerales:* las necesidades son muy variables: **Hierro** (Fe), **Zinc** (Zn), **Cobre** (Cu), **Yodo** (I), **Manganeso** (Mn), **Flúor** (F), **Molibdeno** (Mb), **Cobalto** (Co), **Selenio** (Se) y **Cromo** (Cr).

Las principales funciones biológicas de los minerales son:

- Formar parte del esqueleto: calcio y fósforo.
- Actuar como cofactores y como componentes de las proteínas como el zinc, el cobalto y el cobre.
- Regular la actividad de algunas enzimas.
- Formar tampones que mantienen el pH, como el calcio.
- Mantener el equilibrio osmótico y por tanto el equilibrio hídrico: el sodio, el potasio y el cloro.
- Son imprescindibles en la transmisión del impulso nervioso y en la contracción muscular, como el calcio, sodio y potasio.
- Formar parte de los sistemas de señalización celular, como el calcio.
- Son necesarios para el transporte de oxígeno, como el hierro.

Calcio

Tiene varias funciones: constitución de huesos y dientes, excitabilidad y contractilidad del **músculo esquelético y cardíaco**, coagulación sanguínea, transmisión del impulso nervioso, comunicación intracelular (es el segundo mensajero más importante y universal de la célula), forma parte de diversos sistemas enzimáticos tiene una función sobre la permeabilidad de las membranas celulares y participa en el mantenimiento del pH, formando parte del bicarbonato cálcico.

El calcio está en un 99% en forma insoluble en los huesos. En la sangre se puede encontrar en forma libre, como ión, unido a la albúmina o en forma de sales como citrato cálcico y, sobre todo, bicarbonato cálcico.

Para mantener los niveles plasmáticos de Calcio existe una regulación muy compleja en la que interviene la vitamina D, que regula su absorción en el intestino y la hormona paratiroidea (PTH), producida por las glándulas paratiroideas y con receptores en el hueso y en el riñón, actuando de forma directa también en el intestino. Regula el equilibrio entre el fósforo y el calcio.

- Déficit y exceso:
 - Hipocalcemia: osteopenia, calambres, muerte celular.
 - Hipercalcemia: cálculos renales, calcificaciones paredes vasculares y órganos (calcificaciones metastásicas).
- *Principal fuente alimentaria:* leche y lácteos, especialmente quesos, almendras, avellanas, sardinas enlatadas (con espina), tofu, espinaca hervida, legumbres.

Fósforo

Forma parte del ATP, ADP y AMP, de los ácidos nucleicos (ADN, ARN), de los fosfolípidos de las membranas celulares. Es un elemento constituyente de la estructura de los huesos y, en asociación con ciertos lípidos, da lugar a los fosfolípidos, que son componentes fundamentales de las membranas celulares y del tejido nervioso. También forma parte de las enzimas fosfatasa. La concentración en sangre de fósforo está en estrecha relación con la de calcio, siendo necesario mantener su equilibrio.

- Déficit y exceso:
 - Hipofosfatemia: se produce en personas desnutridas.
 - Hiperfosfatemia: provoca hiperparatiroidismo que conlleva una descalcificación ósea.

- *Principal fuente alimentaria:* cereales integrales, quesos, frutos secos, pescado, legumbres (la mayor parte del fósforo se encuentra en forma de fitatos que no pueden ser metabolizados).

Potasio

Es un mineral eminentemente intracelular y el tercero más abundante del organismo. Potasio, Sodio y Cloro tienen un papel importante en el equilibrio hidroelectrolítico junto con el bicarbonato, regulando la presión osmótica del organismo.

Está implicado en la contracción de los músculos y en el automatismo del corazón, y también en la propagación del impulso nervioso. Asimismo, es necesario en la síntesis de las proteínas, a partir de los aminoácidos, y en el metabolismo de los carbohidratos.

- Déficit y exceso:
 - Hipopotasemia o hipokalemia se puede presentar como consecuencia del consumo de diuréticos. También puede ser producida en episodios prolongados de vómitos y diarrea.
 - Hiperpotasemia o hiperkalemia: sus causas más comunes son la disminución de la función renal, la acidosis metabólica o una infección severa. La hiperpotasemia es muy peligrosa ya que puede provocar arritmias y, en casos extremos, parada cardíaca.
- *Principal fuente alimentaria:* frutos secos y frutas desecadas, patatas, cigala, aguacate, espinacas, trucha, alubias blancas, plátano, garbanzo, coles de Bruselas, lentejas.

Sodio

Al contrario que el potasio, el sodio es eminentemente extracelular. Junto con el cloro y el bicarbonato participa en el mantenimiento del equilibrio ácido/base.

Otra de las funciones primordiales del sodio es el equilibrio osmótico, es decir, la proporción de agua intra y extracelular. El sodio es el electrolito que facilita el paso de agua de uno a otro compartimento. Participa, junto al potasio y el calcio, en la excitabilidad del músculo y en el proceso de despolarización de membrana.

El riñón es el regulador exclusivo del balance de sodio, ajustando su excreción a la cantidad ingerida. Cuanta mayor cantidad de sodio se consume, mayor cantidad de sodio es eliminado por la orina. En esta regulación interviene la aldosterona.

- Déficit y exceso:

Se conocen como hiponatremia e hipernatremia.

- Hiponatremia: se produce por un aumento del líquido corporal, por déficit de la aldosterona o por ingesta excesiva de agua. Produce debilidad, náuseas y vómitos, síntomas neurológicos como confusión e irritabilidad, síncope y caídas.
 - Hipernatremia: está producida por una excesiva pérdida de líquido, y se asocia a hiperaldosteronismo, diabetes insípida, gastroenteritis, insuficiencia renal.
- *Principal fuente alimentaria:* sal común, cubitos de caldo, salsa de soja, jamón serrano, embutidos, encurtidos, salazones.

Magnesio

El magnesio intracelular forma parte de la estructura ósea (junto al calcio y al fósforo) y de los tejidos blandos. También es cofactor de varias enzimas, como algunas quinasas, por ejemplo la hexoquinasa de la glucólisis.

El magnesio extracelular interviene en la transmisión nerviosa y muscular, en el buen funcionamiento del músculo cardíaco y en la relajación muscular.

- Déficit y exceso:

Se da sobre todo en patologías endocrinas (hiper o hipotiroidismo), gastrointestinales y malnutrición.

Produce: anorexia, náuseas y vómitos, hipocalcemia e hipofosfatemia, convulsiones, espasmos musculares, alteraciones del sistema cardiovascular.

- *Principal fuente alimentaria:* pipas de girasol, cereales integrales, almendra, piñón, harina de soja, avellana, cacahuete, nuez, pistacho, queso manchego.

Hierro

En los alimentos se puede encontrar en forma de hemo o en forma no hemo (ión ferroso Fe^{2+} o férrico Fe^{3+}). El ión ferroso es más soluble que el férrico y es la forma en que puede atravesar las membranas celulares.

En el organismo puede encontrarse en forma **hemo** (mioglobina, hemoglobina citocromo). En forma **no hemo** aparece en complejos ferrosulfurados (Cadena de Transporte de Electrones).

Participa en el transporte de oxígeno a las células y en las reacciones de redox. Es necesario para la duplicación ADN y traducción ARNm.

El grupo hemo puede ser absorbido directamente, mientras que el hierro inorgánico debe atravesar la membrana del enterocito duodenal a través de diversos mecanismos y se almacena en forma de ferritina hasta que pasa al torrente sanguí-

neo. En sangre, es transportado por la transferrina y en hígado, bazo y médula ósea, es almacenado en forma de ferritina. El hígado regula los niveles de hierro sanguíneo a través de la expresión génica de la ferritina y de los receptores de transferrina. El hierro, como tal, no es eliminado, sus pérdidas están ligadas a hemorragias y, en las mujeres, a la menstruación.

■ **Déficit:**

Produce anemia ferropénica, debilidad, cansancio, disminución de la respuesta inmune.

■ **Exceso:**

El exceso de hierro, es muy raro, pero se conoce como *hemocromatosis* y puede llegar a ser tóxico, porque acelera el envejecimiento celular y produce alteraciones en la función de algunos órganos, como el hígado.

■ **Principal fuente alimentaria:**

- *Grupo hemo:* almeja, berberecho, hígado, morcilla, carne de ternera, callos. Es la forma más biodisponible del hierro y aumentan su absorción las proteínas de origen animal y reduce la presencia de calcio.
- *Grupo no hemo:* yema de huevo, legumbres, frutos secos, verduras. Aumenta su absorción el ácido ascórbico, las proteínas de origen animal y algunos ácidos orgánicos (cítrico, málico, láctico). Inhiben su absorción el calcio y metales divalentes (zinc, cobre, magnesio...), además de la presencia de fitatos y oxalatos.

Zinc

Interviene en el metabolismo de proteínas y ácidos nucleicos. Es cofactor de más de cien enzimas. Colabora en el buen funcionamiento del sistema inmunológico, es necesario para la cicatrización de las heridas, interviene en las percepciones del gusto y el olfato y en la síntesis del ADN.

■ **Déficit:**

Puede producir retraso en el crecimiento, pérdida del cabello, diarrea, impotencia, lesiones oculares y de piel, pérdida de apetito, pérdida de peso, tardanza en la cicatrización de las heridas y anomalías en el sentido del olfato.

■ **Exceso:**

Se ha asociado con bajos niveles de cobre, alteraciones en la función del hierro y disminución de la función inmunológica y de los niveles de HDL.

- *Principal fuente alimentaria:* ostras, hígado de ternera, piñones, carne de vaca, cangrejo de río, queso curado, cordero, yema de huevo.

En la Tabla 2, se resumen las funciones y déficit de otros minerales también imprescindibles en la dieta:

Tabla 2

Funciones y Déficit de Algunos Minerales

Fuente: elaboración propia.

Elemento	Función	Déficit
Azufre (S)	Utilizado en forma orgánica: en Cys, Met, Tiamina y Biotina. Utilizado en forma inorgánica: sulfatos, ferrosulfatos (S-).	
Cobalto (Co ²⁺ /Co ³⁺)	Forma parte de las cobalaminas (vitamina B ₁₂).	Anemia macrocítica o megaloblástica.
Cobre (Cu ⁺ /Cu ²⁺)	Cofactor de enzimas en reacciones redox (<i>lisil-hidroxilasa</i>), participa en el transporte de electrones, como grupo prostético de la <i>citocromo oxidasa</i> . Forma parte de metaloproteínas.	Anemia microcítica (importante por su efecto sobre la utilización del hierro).
Cromo (Cr)	Se aceptó como esencial a partir de 1977. Es necesario para mantener el nivel de glucosa en sangre.	Asociado a la resistencia a la insulina.
Flúor (F)	Importante para el mantenimiento de las estructuras óseas. La razón es que en la hidroxapatita (fosfato cálcico poco soluble) se sustituye un OH por F, formándose la fluorapatita, que forma cristales aún menos solubles. Esto protege el esmalte dental contra la caries.	Formación de caries y desmineralización ósea.
Manganeso (Mn ³⁺)	Forma parte de metaloproteínas. Es un cofactor de algunas enzimas, como la <i>piruvato carboxilasa</i> .	
Molibdeno (Mo)	Forma parte de metaloproteínas y de determinadas oxidasas. Participa en el metabolismo de la Met y de la Lys.	
Selenio (Se)	Imprescindible para la síntesis de selenoproteínas (aprox. 70), una de las más importantes es la seleno-cisteína. El selenio se incorpora durante la síntesis de la proteína en un codón de stop, el ARNm tiene que tener un sistema muy complejo en su secuencia. Participa en reacciones de protección frente al estrés oxidativo.	Enfermedad de Keshan. Es una cardiopatía, específica de esta región de China, que da nombre a la enfermedad.

Elemento	Función	Déficit
Yodo (I)	Forma parte de las hormonas tiroideas.	Su déficit provoca hipotiroidismo y bocio. En la gestación, puede provocar en el feto: cretinismo, y alteraciones motoras.

4.3. EL AGUA

El agua es un recurso natural indispensable para la vida que, además, es un nutriente esencial que el ser humano debe ingerir regularmente. De hecho, en nuestro cuerpo, el agua representa el principal componente constituyendo del 50 al 70% del peso corporal según variables como la edad o el sexo del individuo (Tabla 3).

Una idea básica es que en la dieta saludable de los países desarrollados, los líquidos ingeridos no tienen por qué proporcionar energía ni servir para cubrir necesidades nutritivas. De acuerdo a los criterios de la *Food and Agriculture Organization* (FAO), la fortificación de nutrientes en las bebidas no es necesaria excepto en el caso de una deficiencia demostrada.

Aún siendo una obviedad, no podemos dejar de recordar que el fin de las bebidas es ser utilizadas para satisfacer los requerimientos de hidratación de las personas y no existe otro tipo de bebida mejor para alcanzar este objetivo que el agua, la cual tiene la ventaja adicional de que está exenta de efectos adversos cuando es pura y consumida en cantidades adecuadas.

TABLA 3
AGUA CORPORAL TOTAL (ACT) COMO % DEL PESO TOTAL CORPORAL EN LAS DIFERENTES EDADES Y SEXOS

Fuente: Altman PL. *Blood and Other Body Fluids*. Washington, DC: Federation of American Societies for Experimental Biology. 1961.

Etapas vitales	ACT en % del peso total (valor medio)
0 - 6 meses	74
6 meses - 1 año	60
1 - 2 años	60
Varones, 12 - 18 años	59
Mujeres, 12 - 18 años	56
Varones, 19 - 50 años	59
Mujeres, 19 - 50 años	50
Varones, 51 años y más	56
Mujeres, 51 años y más	47

Participa en la mayoría de las reacciones bioquímicas, tanto dentro como fuera de la célula, y es el vehículo de transmisión de los nutrientes y la transferencia de energía. Asimismo, es el componente más importante del cuerpo humano, representando las dos terceras partes del peso corporal en el hombre y aproximadamente la mitad en la mujer. Esta proporción varía con la edad, de tal forma que en los recién nacidos el componente líquido constituye el 75% de su peso y en las personas mayores esta proporción se reduce hasta el 60-55%.

El agua disponible en el organismo procede principalmente de la ingesta de líquidos, del agua contenida en los alimentos y también del agua producida en las reacciones bioquímicas orgánicas (200ml/día). Su pérdida se produce, fundamentalmente, a través de la orina, además de las heces, el sudor, la transpiración cutánea y la respiración.

Es necesaria para mantener una adecuada hidratación del organismo, de la piel y de las mucosas. Los riñones son capaces de producir una orina más concentrada o más diluida según sea la disponibilidad de agua de las células. Esta función está controlada por la Hormona Antidiurética o ADH, que controla la permeabilidad al agua en las células epiteliales del túbulo colector de la nefrona.

En las personas mayores el reflejo de la sed está más reducido, lo que **añadido a una menor cantidad de agua total corporal, hace que el peligro de deshidratación en estas personas sea muy elevado.**

Las funciones del agua corporal son:

- Parte esencial de los líquidos corporales (sangre, linfa, secreciones, orina, heces).
- Participa en el metabolismo celular, el transporte de metabolitos y nutrientes; así como en la eliminación de los desechos.
- Regula la presión osmótica a través de los iones de Sodio, Potasio y Cloro.
- Mantiene la homeostasia y la presión arterial.
- Mantiene la temperatura corporal con la sudoración y la evaporación.
- Lubrifica los tejidos, particularmente el tejido conectivo de las articulaciones; el fluido mucoso, etc.

Las necesidades de agua dependen de varios factores: la edad, la temperatura ambiente, la función renal, la función digestiva y el consumo de fármacos.

En la Tabla 4 se expresan las Ingestas Adecuadas de líquido por día, para las mujeres, según edad (Martínez, 2006). Por las importantes funciones que cumple el agua en el organismo, se aconseja que el consumo principal de líquido sea en forma de agua.

TABLA 4

INGESTIÓN DIETÉTICA DE REFERENCIA DE LÍQUIDO

Fuente: Martínez Álvarez JR, Iglesias Rosado C. Libro blanco de la hidratación. SEDCA,2006; 5: 91-111.

Edad	Litros Líquido/día (Bebidas + alimentos)*	Litros Agua/día
9 - 13 años	2,1	1,68
14 -18 años	2,3	1,84
19 - 30 años	2,7	2,16
31 - 50 años	2,7	2,16
50 - 70 años	2,7	2,16
> 70 años	2,7	2,16
Embarazo	3,0	2,4
Lactancia	3,8	2,4

* Se considera que los alimentos aportan un 20% del líquido total ingerido.

La Agencia Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), estableció como recomendación genérica una cantidad de agua que oscilaba entre los 2 y los 2,7 L de agua diarios.

TABLA 5

INGESTA RECOMENDADA DE AGUA SEGÚN LA EFSA

Fuente: elaboración propia.

		Total water adequate intake
Infants	0-6 months	680ml/d (through milk)
	6-12 months	800-1.000ml/d
Children	1-2 years	1.100-1.200ml/d
	2-3 years	1.100-1.200ml/d
	4-8 years	1.600ml/d
	9-13 years (boys)	2.100ml/d
	9-13 years (girls)	1.900ml/d
	> 14 years	Cf adults
Adults	Men	2.500ml/d
	Women	2.000ml/d
Pregnant women		+ 300ml/d vs adults
Lactating women		+ 600-700ml/d vs adults
Elderly		Same as adults

¿Cuánto deberíamos beber según EFSA?

Mujer 2.0L	Gestante 2.3L	Lactancia 2.7L	Varones 2.5L
↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓
1.4L – 1.6L	1.6L – 1.8L	1.9L – 2.2L	1.75L – 2.0L

Beber de 8-10 vasos de agua diarios.

5. ANATOMOFISIOLOGÍA DEL APARATO DIGESTIVO

La función principal del aparato digestivo es la alimentación y la nutrición. La alimentación comienza con la introducción del alimento en la boca, donde empieza su trituración y su mezcla con la saliva para formar el bolo alimenticio. A partir de aquí, todos los procesos que suceden para conseguir extraer y absorber los nutrientes de los alimentos e incorporarlos al organismo constituyen lo que se conoce como nutrición.

El aparato digestivo o tracto gastrointestinal es un largo “tubo” que va desde la boca hasta el ano, con varias partes diferenciadas: boca, faringe, esófago, estómago, intestino y colon. Tiene agregados otros órganos como lengua, dientes, glándulas (salivares, páncreas, hígado y vesícula biliar).

Capas del tubo digestivo^[6]

La estructura del tubo digestivo, a partir del esófago, tiene cinco capas diferenciadas, que adquieren diferentes grosores a lo largo del tubo pero que, básicamente se mantienen. Son:

- **Mucosa:** formada por un epitelio plano estratificado mucoso, con numerosas glándulas.
- **Muscular de la mucosa:** es una capa fina de fibras musculares lisas.
- **Submucosa:** capa muy desarrollada de tejido conjuntivo laxo. Está muy vascularizada y contiene el plexo submucoso o *plexo de Meissner*.
- **Muscular:** formada por fibras musculares lisas y, en algunas zonas, también esqueléticas (boca, faringe, parte del esófago, esfínteres). Contiene el plexo mientérico o plexo de *Auerbach*.
- **Serosa o adventicia:** tejido conjuntivo y epitelio escamoso simple. En el abdomen recubre a varios órganos y recibe el nombre de peritoneo. A través de la capa serosa entran los vasos sanguíneos.

El tracto gastrointestinal tiene una función metabólica y una función motora. En la función metabólica, intervienen las secreciones de las glándulas anejas y de la mucosa, y en la función motora el **peristaltismo**, que es un movimiento de contracción y relajación que hace avanzar al alimento a lo largo del tubo.

Inervación del aparato digestivo

El aparato digestivo es el segundo órgano más innervado después del cerebro. Actúa el Sistema Nervioso Autónomo, a través del nervio vago y del nervio pélvico del **parasimpático**, y de los ganglios celíaco, mesentérico superior, mesentérico inferior e hipogástrico del **simpático**, lo que constituye la inervación extrínseca,

con neuronas colinérgicas y adrenérgicas. Posee una innervación intrínseca, denominada Sistema Nervioso Entérico que se localiza en los **plexos mientérico y submucoso** de la mucosa, y coordina la función contráctil, secretora y endocrina. Naturalmente, las dos innervaciones están estrechamente relacionadas a través de los plexos mientérico y submucoso y de los neurotransmisores y péptidos digestivos. También, existen quimiorreceptores y mecanorreceptores que envían señales a los plexos mencionados.

En la Tabla 6 se resumen los neurotransmisores principales del sistema nervioso entérico:

TABLA 6

PRINCIPALES NEUROTRANSMISORES DEL SISTEMA NERVIOSO ENTÉRICO

Fuente: adaptación de: Constanzo L.S. Fisiología. México: McGraw-Hill Interamericana; 2002.

Neurotransmisor	Se sintetizan en las neuronas	Acción
Acetilcolina	Colinérgicas (S. parasimpático)	Contracción del músculo liso en la pared intestinal y relajación de los esfínteres. Aumenta la secreción salival, gástrica y pancreática.
Noradrenalina	Adrenérgicas (S. simpático)	Relajación del músculo liso de la pared intestinal y contracción de los esfínteres. Reduce la secreción salival.
Péptido intestinal vasoactivo (VIP)	De la mucosa y músculo liso	Relajación del músculo liso. Aumenta la secreción intestinal y pancreática.
Péptido liberador de gastrina (GRP)	De la mucosa	Activa la secreción de gastrina.
Enkefalinas (opiáceos)	De la mucosa y músculo liso	Contracción del músculo. Reducen la secreción intestinal.
Neuropéptido Y	De la mucosa y músculo liso	Relaja el músculo liso y reduce la secreción intestinal.
Sustancia P	Colinérgicas	Contrae el músculo liso y aumenta la secreción salival.

Los péptidos digestivos tienen función hormonal, paracrina o neurocrina, y regulan las funciones del tubo digestivo. Las hormonas digestivas y los péptidos con función paracrina son liberados por las células endocrinas del aparato digestivo, mientras que los péptidos con función neurocrina son sintetizados por las neuronas del sistema nervioso gástrico, tanto extrínseco como intrínseco.

En la Tabla 7, se resumen las funciones principales de las hormonas digestivas, su lugar de secreción, el estímulo que lo produce y sus principales acciones:

TABLA 7

PRINCIPALES HORMONAS DIGESTIVAS Y SUS ACCIONES

Fuente: adaptación de Constanzo L.S. Fisiología. México: McGraw-Hill Interamericana; 2002.

Hormona	Lugar de secreción/ Estímulo	Acciones
Gastrina	Células G del estómago. <i>Estímulo:</i> oligopéptidos y aminoácidos. Fase cefálica de la secreción gástrica. Distensión del estómago, Péptido liberador de Gastrina.	<i>En el esófago:</i> aumenta el tono del esfínter esofágico inferior. <i>En el estómago:</i> estimula la secreción de ácido clorhídrico por las células parietales. Incrementa la secreción de pepsina, Factor Intrínseco, agua y electrolitos. Aumenta flujo sanguíneo al estómago. Activa la proliferación de la mucosa gástrica. <i>En el intestino y colon:</i> aumenta el tono y disminuye la absorción de agua y electrolitos en el duodeno. Relaja la válvula ileocecal. Estimula el tono y la motilidad del colon. (La secreción excesiva de gastrina da lugar al síndrome de Zollinger-Ellison).
Colecistoquinina (CCK)	Células I del duodeno y yeyuno. <i>Estímulo:</i> oligopéptidos, aminoácidos y ácidos grasos y pH duodenal.	Reduce la tasa del vaciamiento gástrico. Activa la secreción enzimática del páncreas y del bicarbonato pancreático, necesario para neutralizar el ácido gástrico. Estimula la contracción de la vesícula biliar y la relajación del esfínter de Oddi. Efecto trófico sobre páncreas y vesícula biliar.
Secretina	Células S del duodeno. <i>Estímulo:</i> presencia de H ⁺ y ácidos grasos en el duodeno.	Estimula la secreción pancreática de bicarbonato. Disminuye la secreción gástrica. Inhibe el efecto trófico de la gastrina sobre la mucosa gástrica. Inhibe el tono del esfínter esofágico inferior (EEI) y la motilidad gástrica.
Péptido Gástrico Inhibidor (GIP)	Duodeno y yeyuno. <i>Estímulo:</i> aumento concentración de glucosa y lípidos.	Estimula la secreción de insulina por las células β de los islotes de Langerhans pancreáticos. Disminuye la secreción, la motilidad y el vaciamiento gástricos.
Motilina	Células enterocromafines de la mucosa gastrointestinal, especialmente en el yeyuno. <i>Estímulo:</i> como respuesta a la distensión gástrica. Depende del pH ácido del quimo. Se inhibe con la alcalinización, aminoácidos y secretina.	Estimula la contracción del músculo liso de la parte superior del tracto gastrointestinal, participando en la iniciación del complejo mioeléctrico en la región antroduodenal y en la contracción del EEI durante el ayuno. Promueve un rápido vaciamiento gástrico de nutrientes sólidos, retrasando el de líquidos. Estimula la producción de pepsinógeno (pepsina).

Hormona	Lugar de secreción/ Estímulo	Acciones
Péptido pancreático	Células F de los islotes pancreáticos. <i>Estímulo:</i> presencia de carbohidratos, aminoácidos y lípidos.	Inhibición de la secreción de zimógenos pancreáticos. Relajación de la vesícula biliar. Aumento de la motilidad gastrointestinal y tránsito intestinal. Es inhibido por efecto de la somatostatina y por la administración intravenosa de glucosa.
Somatostatina	Células δ de los islotes del páncreas y otras células de la mucosa gastrointestinal. <i>Estímulo:</i> bajada de pH en la luz gastrointestinal.	Inhíbe la secreción de gastrina, VIP, GIP, secretina y motilina. Inhíbe la secreción pancreática, exocrina y endocrina. Inhíbe la secreción ácida y la motilidad gástrica. Inhíbe la secreción de insulina y glucagón.
Histamina	Células endocrinas de la mucosa GI. <i>Estímulo:</i> liberación de gastrina.	Estimula secreción de ácido gástrico. Potencia la acción de la gastrina y la acetilcolina sobre células parietales del estómago.
Enteroglucagón (GLP-1)	Íleon terminal y colon. <i>Estímulo:</i> ácidos grasos de cadena larga y carbohidratos.	Retrasa el vaciado gástrico. Acción trófica sobre la mucosa intestinal.

La secretina, el GIP y la CCK inhiben la motilidad gástrica, mientras que la gastrina y la motilina la estimulan.

5.1. BOCA Y FARINGE

En la boca y la faringe tienen lugar los procesos de **masticación** y **deglución**, que son los primeros pasos para procesar los alimentos ingeridos.

La **masticación** tiene una iniciación voluntaria. Su función es reducir el tamaño de los alimentos y mezclarlos con la saliva para formar el bolo alimenticio. Es un proceso en el que están implicados los dientes, los músculos de la mandíbula y la lengua (inervados por el trigémino y el hipogloso, respectivamente) y está coordinado por el centro generador de la masticación (entre el bulbo y la protuberancia).

La lengua es un músculo esquelético cubierto por un epitelio mucoso donde se encuentran las papilas gustativas, que pueden reconocer los sabores ácido, amargo, dulce y salado.

La dentadura de los adultos la componen 32 dientes, que se alojan en los alvéolos del maxilar y la mandíbula, y tienen diferentes estructuras y función: 8 incisivos para cortar, 4 caninos para rasgar, 8 premolares para machacar y 12 molares para triturar.

La saliva está producida por las glándulas salivares, que son seis: dos parótidas, dos sublinguales y dos submandibulares, situadas a cada lado de la mandíbula. Está compuesta sobre todo por agua y electrolitos (bicarbonato, potasio, sodio y cloro), contiene las enzimas amilasa salival y lipasa salival, así como mucoproteínas, lisozima y glicoproteínas. Sus funciones principales son^[6]:

- Humidificar y lubricar el bolo alimenticio para favorecer su deglución.
- Efecto tampón a través del bicarbonato.
- Comienzo del metabolismo de los nutrientes con la amilasa (hidratos de carbono) y la lipasa (lípidos).
- Protección antibacteriana. La lisozima rompe las membranas bacterianas.
- Solubilización del alimento.

El control de la secreción salival es, fundamentalmente, nervioso, por medio del sistema simpático, que inhibe su secreción, y el parasimpático, que la estimula.

El proceso de la **deglución**, aunque se inicia de manera voluntaria, es una acción motora automática, en su mayor parte, en la que actúan músculos de la respiración y del aparato gastrointestinal. Tiene como objetivo el transporte del bolo alimenticio y también la limpieza del tracto respiratorio y cuenta con varias fases:

- **Fase oral:** se inicia por la acción de los estímulos sensitivos de receptores del paladar, base de la lengua, epiglotis y laringe. Es controlada por el nervio glosofaríngeo.
- **Fase orofaríngea:** se produce el cierre del paladar y la aproximación de los pliegues palatofaríngeos (reflejo palatino), que hacen avanzar al bolo alimenticio hacia la faringe. Controlada por glosofaríngeo y vago.
- **Fase faríngea:** se impulsa el bolo alimenticio a través de la faringe hacia el esfínter esofágico superior. Durante esta fase, la respiración está inhibida para impedir que el alimento pase a la tráquea. Controlada por el nervio vago.
- **Fase esofágica:** el bolo es propulsado a través del esófago hacia el estómago, donde se introduce a través del esfínter esofágico inferior. Está controlada por el nervio vago.

5.2. ESÓFAGO

Es la parte del tubo digestivo que comunica la boca con el estómago. Sirve para trasladar el bolo alimenticio hacia el estómago mediante los movimientos peristálticos.

El esófago es una estructura tubular de 20-25 cm de longitud, formado por dos capas: capa muscular de tejido liso y capa mucosa y submucosa, con glándulas productoras de mucus. Discurre por el tórax y se introduce en el abdomen a través del hiato esofágico del diafragma, junto con la aorta. Está dividido funcionalmente en tres segmentos:

- **Esfínter esofágico superior (EES):** se relaja con la deglución.
- **Esófago tubular:** propaga la contracción para el avance del bolo alimenticio.
- **Esfínter esofágico inferior:** deja pasar el bolo hacia el estómago.

El EEI no tiene exactamente una estructura anatómica de esfínter. La presión en el EEI aumenta por comidas ricas en proteínas, por las hormonas gastrina, motilina e histamina y por presión intraabdominal, y disminuye por la acción de las hormonas secretina y progesterona, el tabaco y algunos alimentos como las grasas, chocolate, alcohol y café. Precisamente, la relajación excesiva del EEI o el aumento de la presión intraabdominal, como sucede con la obesidad o en el embarazo, pueden provocar el paso de los jugos gástricos hacia el esófago, lo que se conoce como reflujo gastroesofágico.

5.3. ESTÓMAGO

En el estómago se almacena el bolo alimenticio para su digestión y transformación en el quimo. Éste es trasladado hacia el intestino, de poco en poco, a través del **píloro**, que funciona como un filtro dejando pasar únicamente las partículas pequeñas. Se podría decir que el estómago es un engrosamiento del tubo digestivo, rodeado por varias capas de músculo liso y tapizado por una capa mucosa muy desarrollada. Se distinguen varias zonas: el **fundus**, en la zona superior; el **cuerpo**, en la zona intermedia y el **antro**, en la zona inferior. En cada zona tienen lugar distintos procesos y cuentan con diferentes tipos de glándulas.

Tiene, por tanto, una **función motora** y una **función secretora**, exocrina y endocrina. Cuando el estómago está lleno, los mecanorreceptores mandan la señal al centro de control de la saciedad y se inhibe el apetito.

En las glándulas gástricas se distinguen varios tipos de células con diferentes funciones:

- Las **células parietales** u **oxínticas**: producen ácido clorhídrico (HCl) y Factor Intrínseco.
- Las **células principales**: secretan pepsinógeno (precursor de la pepsina).
- Las **células mucosas**: producen mucina o mucus.

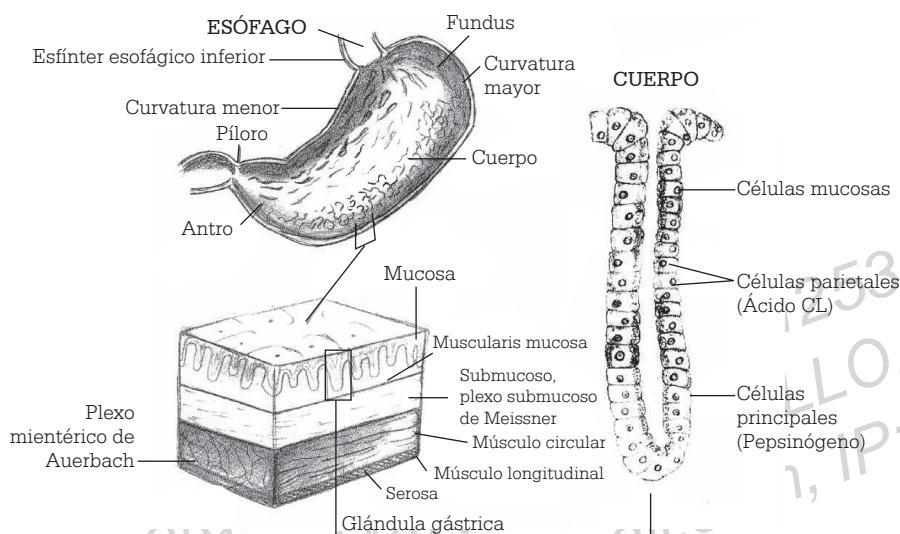
Las glándulas del antro tienen también función secretora y cuentan con:

- Las **células enteroendocrinas**: sintetizan gastrina (células G) y somatostatina (células D).
- Las **células neuroendocrinas**: producen histamina y VIP. También existen células madre indiferenciadas.

FIGURA 2

ESTRUCTURA DEL ESTÓMAGO

Fuente: elaboración propia.



El control sobre la secreción gástrica tiene varias fases: una **fase cefálica**, estimulada por los sentidos (vista, olfato, gusto), descubierta por Pavlov, y controlada por el nervio vago. Sigue la **fase excitatoria**, determinada por la secreción de gastrina e inhibida por productos de degradación de las proteínas; y, por último, la **fase de inhibición**, controlada por CCK, secretina y GIP.

La composición del jugo gástrico es fundamentalmente:

- Agua (98%): que permite que se hidrate el bolo alimenticio.
- Ácido clorhídrico: disminuye el pH del contenido gástrico a 1-2, favoreciendo la conversión de pepsinógeno en pepsina. Destruye las bacterias presentes en el alimento. Su secreción está estimulada por acetilcolina, histamina y gastrina. Se inhibe cuando el $\text{pH} \leq 1$, que hace que se libere somatostatina y GIP. El alcohol y la cafeína también son estimuladores de la secreción de ácido clorhídrico.

- Factor Intrínseco (necesario para la absorción de la vitamina B₁₂), lipasa gástrica, gastrina, somatostatina, GIP, VIP...
- Electrolitos (Na⁺, K⁺, HCO₃⁻).
- Mucopolisacáridos: forman una barrera protectora para la capa mucosa.

En el estómago da comienzo la digestión de lípidos y proteínas y continúa la de hidratos de carbono que empieza en la boca. Este proceso no es sólo a través de las enzimas, también los movimientos del estómago permiten que se rompan los componentes del bolo alimenticio en partículas más pequeñas y más accesibles a estas enzimas digestivas.

5.4. INTESTINO DELGADO

El intestino delgado es un largo y estrecho tubo que está situado entre el estómago y el colon, que mide unos siete metros. Sus funciones principales son finalizar los procesos de digestión y realizar la absorción de los nutrientes, el agua y las sales.

La mucosa presenta unas proyecciones llamadas **vellosidades intestinales**, que a su vez están tapizadas por células epiteliales especializadas.

El epitelio que recubre las vellosidades del intestino delgado es un epitelio prismático con borde de cepillo, lo que aumenta la superficie de la mucosa treinta veces más. La unión entre las vellosidades de la mucosa se denomina cripta de Lieberkuhn y es donde desembocan las glándulas mucosas.

Este epitelio posee varios tipos de células:

- **Células madre:** se sitúan en el cuello de las criptas de Lieberkuhn. Originan los cuatro tipos celulares que se describen a continuación^[6]:
 - Células absorbentes (**enterocitos**): células cilíndricas con microvellosidades.
 - Células caliciformes.
 - Células enteroendocrinas.
 - Células de Paneth.

Los enterocitos, o células absorbentes, tienen polaridad de membrana; esto significa que tienen diferencias en la estructura y en las propiedades de las superficies apical, lateral y basal de cada célula. Los enterocitos comienzan a diferenciarse en el fondo de la cripta a partir de las células madre, y son maduros cuando llegan a la cresta, que es cuando son más activos. Tienen una vida media de 24 a 48 horas y se eliminan por descamación.

En el enterocito es donde se realizan los procesos de absorción y transporte de los nutrientes, y se sintetizan las enzimas y transportadores necesarios para ello. La primera porción del intestino es el **duodeno**, directamente relacionado con el estómago a través del píloro. Recibe el quimo, los jugos pancreáticos y las sales biliares, a través del esfínter de *Oddi*. En esta porción se secretan las hormonas CCK, secretina y GIP, cuya función es neutralizar el ácido del jugo gástrico para facilitar la acción de las enzimas procedentes del páncreas. Además, posee glándulas secretoras de mucina.

Los jugos pancreáticos, la bilis y las enzimas entéricas, realizan la metabolización de los nutrientes para que puedan ser absorbidos y pasar al torrente sanguíneo, desde donde son llevados al hígado a través de la vía porta.

La siguiente porción es el **yeyuno**, que tiene un mayor diámetro y presenta más pliegues. En esta porción da comienzo la absorción de algunos nutrientes. Sus células mucosas secretan la motilina, también pueden producir CCK y GIP.

El íleon es la última porción del intestino delgado. Se comunica con el colon a través del esfínter ileocecal.

En el yeyuno entran, aproximadamente, 9 litros de líquido al día. Se absorben unos 7 litros, dejando sólo 1,5-2 litros para entrar en el colon. Naturalmente, las alteraciones o patologías significativas del intestino delgado se manifiestan por la malabsorción de nutrientes y su síntoma suele ser la aparición de diarrea.

Los nutrientes son absorbidos a lo largo de todo el intestino, aunque hay zonas específicas para algunos de ellos. Por ejemplo, el duodeno es un sitio importante para la absorción de hierro y el calcio. En el yeyuno, tiene lugar la absorción del ácido fólico y, en el íleon, la absorción distal de la vitamina B₁₂ y las sales biliares.

5.5. COLON

El colon es la última parte del tracto gastrointestinal y, en él, se realiza la absorción de agua y algunas vitaminas, así como la formación de las heces con los restos no digeribles de los alimentos y otros materiales de desecho.

Es más corto que el intestino delgado (1,5m), pero más ancho (6,7cm). Se pueden distinguir varias secciones: el intestino delgado y el colon se comunican a través del **esfínter ileocecal**; a continuación, se encuentra el **ciego** y su **apéndice vermiforme**. El ciego se continúa con el **colon ascendente**, que sube por el lado derecho del abdomen y, a la altura del hígado, gira 90° (ángulo hepático) y se denomina **colon transverso**, que va hasta el lado izquierdo del abdomen, donde de nuevo gira otros 90° (ángulo esplénico) y baja, llamándose **colon descendente**. Al final, se flexiona ligeramente en forma de "S" y se denomina **colon sigmoideo**, que termina en el **recto** y éste, a su vez, en el **ano**.

El colon tiene un aspecto especial debido a la forma de su capa muscular, que contiene miocitos longitudinales y miocitos circulares, que “presionan” el tubo formando unos abultamientos llamados **haustros**. La capa mucosa carece de las vellosidades del intestino delgado, pero sí contiene glándulas que segregan mucina, necesaria para lubricar el paso de las heces. La célula funcional se conoce como colonocito.

En el colon se encuentra la **microbiota intestinal**, bacterias simbióticas que tienen una importante función fisiológica. Estas bacterias digieren sustancias como la fibra dietética y liberan vitaminas que pueden ser absorbidas, como las del grupo B. Igualmente, son capaces de producir vitamina K.

La fermentación bacteriana produce ácidos grasos de cadena corta, que tienen efectos beneficiosos. También genera gases como CO_2 y metano, y en menor medida, NH_3 y SH_2 , responsables de la flatulencia^[7].

La absorción de agua ayuda a condensar y solidificar las heces, y permite reservar el agua para otros procesos metabólicos. La materia fecal se almacena finalmente en el colon sigmoideo y el recto hasta que pueda ser eliminado a través del ano en el proceso de la defecación.

5.6. ÓRGANOS ANEJOS: PÁNCREAS Y VESÍCULA BILIAR

El **páncreas** es una glándula situada debajo del estómago, y consta de una porción ancha, llamada cabeza, que está adherida al duodeno, y otra porción más estrecha, denominada cuerpo y cola:

Contiene dos tipos de tejidos glandulares: uno exocrino y otro endocrino.

Los acinos glandulares se comunican por conductos interlobulillares, que confluyen en los conductos colectores, y éstos forman el conducto principal o de Wirsung, que desemboca en el duodeno a través del esfínter de Oddi.

Los acinos endocrinos reciben el nombre de **islotes de Langerhans** y son más abundantes en el cuerpo y la cola. Se distinguen varios tipos de células:

- Las **células α** segregan glucagón.
- Las **células β** son las más abundantes (60-90%) y secretan insulina, hormona hipoglucemiante. La insulina se sintetiza en forma no activa y se acumula en unos gránulos del citoplasma.
- Las **células δ** contienen gruesos gránulos secretorios, que segregan gastrina y somatostatina.
- Las **células F**, poco numerosas, secretan péptido pancreático.

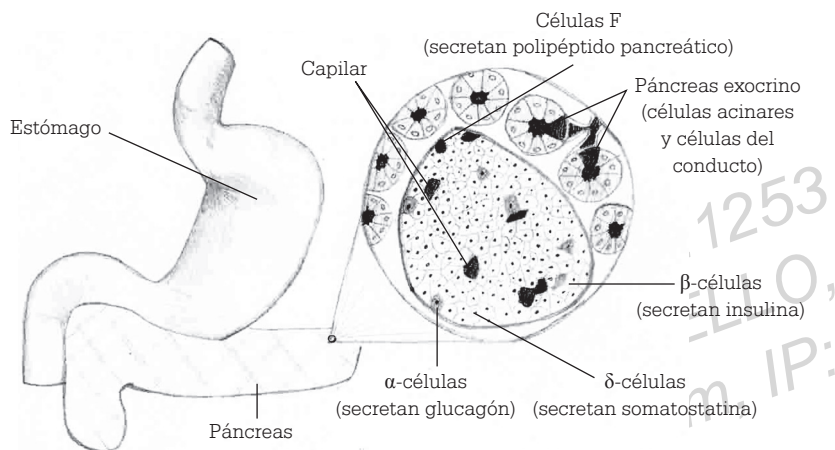
Los **acinos pancreáticos**, son exocrinos y están formados por células de secreción serosa que sintetizan y almacenan los distintos enzimas digestivos: amilasa, para los hidratos de carbono; lipasa, para los lípidos y proteasas –en forma inactiva ó zimógenos– para las proteínas.

El jugo pancreático está compuesto, principalmente, por agua, bicarbonato y sales minerales (sodio, potasio, cloro, calcio, zinc, fósforo y azufre). Además, incluye mucinas y enzimas como la amilasa, lipasa, fosfolipasa, colesterol esterasa y los zimógenos de la tripsina, quimiotripsina, elastasa y carboxipeptidasa^[7].

FIGURA 3

ISLOTES DE LANGERHANS

Fuente: elaboración propia.



La secreción de bicarbonato está estimulada por la secretina, y tiene la importante función de neutralizar en el duodeno el quimo ácido procedente del estómago, para que puedan actuar las enzimas pancreáticas.

La secreción de insulina está estimulada por el GIP, mientras que la CCK estimula la secreción de enzimas y proenzimas.

La **vesícula biliar** se encuentra situada en la parte inferior del hígado, y es una estructura hueca con forma ovalada cuya principal misión es almacenar la bilis producida en el hígado. En realidad, forma parte de los conductos biliares.

La bilis tiene una función principal en la digestión de los lípidos, ya que forma micelas que facilitan la acción de las enzimas lipolíticas y su absorción en el intestino.

Los principales componentes de la bilis hepática son el agua (97%), las sales biliares (0,7%), pigmentos biliares (bilirrubina conjugada), colesterol, lecitina, fosfatasa alcalina, otros lípidos. También puede contener otras sustancias, como toxinas, fármacos, drogas y hormonas no útiles que deban ser eliminadas a través de la bilis, y que son conjugadas previamente con ésta^[6].

En la vesícula se concentra la bilis, por reabsorción de sodio, cloro y agua, y el pH es menos alcalino. Se almacenan unos 3 a 5g de sales biliares a la espera de ser utilizadas para la digestión.

La CCK es la hormona encargada de hacer que se contraiga la vesícula para secretar la bilis hacia el duodeno a través del conducto biliar, llamado colédoco. El colédoco se une al conducto pancreático en el esfínter de Oddi.

5.7. HÍGADO Y SU PAPEL FUNDAMENTAL EN EL METABOLISMO

El hígado es el órgano más grande del organismo, y se encuentra en la zona superior derecha de la cavidad abdominal, debajo del diafragma. Es una glándula exocrina y endocrina que libera sustancias directamente al flujo sanguíneo, y que secreta bilis hacia un sistema de conductos que confluyen en la vesícula.

El hígado es de color rojo oscuro porque está muy vascularizado. Además, tiene un aspecto liso y brillante debido al revestimiento epitelial, aunque también está revestido por peritoneo. Está dividido en cuatro lóbulos con las mismas características histológicas.

El hígado es un gran laboratorio del organismo, ya que participa en todos los procesos del metabolismo. Está formado por un único tipo de células; **los hepatocitos**. El conjunto de hepatocitos y los vasos sanguíneos sinusoides forman el lobulillo hepático, que son pequeñas formaciones que encajan unas con otras. En el centro del lobulillo se encuentra una vena y, en la periferia, los espacios porta, que marcan los límites virtuales del lobulillo. En estos **espacios porta** hay tres elementos: una vena, una arteria y un conducto biliar que forman la **triada portal**.

El hepatocito es una célula cuboidea, grande, mono o binucleada, con una gran capacidad de división. Debido a su actividad metabólica, cuenta con gran cantidad de orgánulos: mitocondrias (que le dan el color oscuro), retículo endoplásmico liso, retículo endoplásmico rugoso, lisosomas, aparato golgi, etc.

Irrigación venosa y arterial

El hígado ocupa una situación privilegiada respecto al flujo sanguíneo venoso proveniente del tracto gastrointestinal. La sangre de la vena porta, donde drena todo el flujo venoso del aparato gastrointestinal, ha de atravesar el hígado antes de llegar a la circulación sistémica. Por ello, recibe todos los nutrientes absorbidos en el intestino, a excepción de los lípidos, que son transportados por el sistema lin-

fático hasta la circulación general. Por el hilio penetran la vena porta, con sangre procedente del intestino, y la arteria hepática. El desagüe venoso se realiza por la vena suprahepática. Las ramas de la vena porta desembocan en los sinusoides hepáticos y éstos forman las venas hepáticas. La disposición de los sinusoides entre las venas se conoce como sistema porta-hepático. Tanto el sistema venoso portal como el arterial de la suprahepática, se anastomosan en el hígado, de forma que toda la sangre, cargada de nutrientes, sale por las venas hepáticas que drenan en la vena cava inferior, desde donde se dirige al corazón y allí es distribuida al resto del organismo a través de la aorta.

Principales funciones^[8]

- Produce la bilis. El sistema biliar tiene su origen en una red de canalículos situados entre los hepatocitos, los canalículos biliares. Esta red drena en los **colangiolo**s, y desde aquí, llega a los canales biliares del espacio porta. Las sales biliares son imprescindibles para la digestión y absorción de los lípidos, así como para mantener los niveles séricos de colesterol, ya que se sintetizan a partir de derivados de esta molécula.
- Almacena el excedente de glucosa en forma de glucógeno, inducido por la acción de la insulina. Igualmente, cuenta con los mecanismos enzimáticos necesarios para sintetizar glucosa a partir de otras moléculas cuando lo requieren los tejidos. Estos últimos procesos están controlados por el glucagón.
- Sirve como almacén para el colesterol, la vitamina B₁₂ y vitaminas liposolubles, salvo la D; así como de algunos minerales como el hierro.
- Controla los niveles de hierro en sangre mediante la regulación génica de la ferritina y del receptor TFR1, que capta la forma saturada de la transferrina. Cuando hay déficit de hierro, se expresa el receptor de la transferrina; cuando hay exceso, es la expresión de la ferritina la que está favorecida.
- Descompone las hormonas que ya no son útiles, como las hormonas esteroideas, la insulina, etc. Si las moléculas de desecho son solubles, se eliminan a través de la orina y, si no lo son, se conjugan con las sales biliares para su eliminación.
- Se encarga de eliminar la bilirrubina, resultado de la metabolización de la hemoglobina, conjugándola con las sales biliares. La bilirrubina es la que da color marrón a la heces.
- Desintoxica la sangre para deshacerse de sustancias nocivas como el alcohol, drogas, fármacos, aditivos, pesticidas, metales pesados, etc. A través de reacciones de biotransformación de la Fase I y Fase II, convierte a estas sustancias nocivas en hidrosolubles, siendo eliminadas por el riñón.

- El hígado realiza el ciclo de la urea, que transforma el amoníaco procedente de la desaminación de los aminoácidos en esta sustancia, para ser eliminada por la orina.
- Produce enzimas como las aminotransferasas, también conocidas como transaminasas (ALAT y ASAT), que participan en la metabolización de los aminoácidos procedentes de la dieta. Además de la fosfatasa alcalina y la gamma-glutamyl-transferasa (GGT)^[7].
- Sintetiza proteínas necesarias para el organismo como la albúmina, proteínas transportadoras de vitaminas dependientes de sodio (SVCT), proteínas transportadoras de aniones orgánicos (MRP2, MRP3 y BSEP), factores de la coagulación como fibrinógeno, protrombina y Factor VII, el factor de crecimiento insulínico, etc.^[7]

Circulación enterohepática de la bilis

Al día, se excretan en el duodeno de 30 a 40g de sales biliares, y se reabsorben más del 90% en el íleon por cotransporte dependiente de sodio. Vía porta, llegan al hígado, y de nuevo vuelven al intestino con la bilis, recirculando entre 5 a 14 veces al día. Parte de las sales biliares que no son reabsorbidas pasan al colon y son metabolizadas por la microbiota intestinal que las desconjuga y deshdroxilan, convirtiéndolas en sales biliares secundarias. Éstas, vuelven al hígado para conjugarse y de nuevo al intestino. La parte que no se absorbe es eliminada por las heces.

6. METABOLISMO Y ABSORCIÓN DE LOS NUTRIENTES

Según el diccionario de la RAE, la palabra metabolismo es un término que proviene del griego *μεταβολη*, que significa “cambio”, y del sufijo latino “ismo” que en las ciencias se aplica a un sistema o doctrina.

El metabolismo, por tanto, es el conjunto de reacciones bioquímicas que tienen lugar en las células, y cuyo objetivo es obtener energía y nutrientes y sintetizar las biomoléculas necesarias para el organismo. Se producen dos fases que son simultáneas:

- **Catabolismo:** procesos de oxidación de los nutrientes para obtener energía que se almacena en forma de ATP (molécula energética del organismo).
- **Anabolismo:** reacciones químicas de síntesis de nuevas biomoléculas. Las reacciones anabólicas precisan energía.

Ejemplos de reacciones bioquímicas catabólicas son: la glucólisis, la glucogenólisis, la beta-oxidación de los ácidos grasos o la proteólisis.

Ejemplos de reacciones anabólicas son: la glucogenogénesis, que sintetiza glucógeno a partir de glucosa; la gluconeogénesis, la biosíntesis de ácidos grasos, aminoácidos, nucleótidos, proteínas, etc.

Ambos procesos necesitan ser catalizados por enzimas y cofactores, y deben estar en equilibrio para mantener las funciones vitales estables. El catabolismo prevalece sobre el anabolismo en situaciones de estrés como enfermedad, esfuerzo físico, fiebre, envejecimiento,... y conlleva una situación de debilitamiento para el organismo. Mientras que el anabolismo prevalece sobre el catabolismo en situaciones de crecimiento y desarrollo.

Los seres vivos obtienen la **energía biológica** de fuente exógena y endógena. Según cuál sea la fuente de la que se extrae esa energía, se clasifican como:

- **Autótrofos:** obtienen la energía directamente del sol, como las células vegetales.
- **Heterótrofos:** obtienen la energía del carbono reducido, como las células eucariotas.

El avance del estudio científico de la Nutrición es reciente en la historia del conocimiento. Empíricamente, se conocía desde la Antigüedad el papel de los alimentos en la salud y la enfermedad, pero es a partir del siglo XVIII, con el químico francés Antoine de Lavoisier, cuando se considera que comienza el estudio de esta disciplina.

Antoine de Lavoisier (1743-1794), demostró con sus experimentos que la obtención de energía de los alimentos provenía de la combustión de compuestos de carbono con el oxígeno, cuyo resultado final es la producción de dióxido de carbono. La reacción de oxidación es exotérmica y libera energía^[7].

Las principales oxidaciones a partir de un compuesto hidrocarbonado producidas para obtener energía se pueden resumir en la Figura 4.

El catabolismo de los hidratos de carbono conduce a la formación de **piruvato**, y el de los ácidos grasos a la formación de **acetil-CoenzimaA**. Igualmente, algunos aminoácidos de las proteínas son degradados hasta convertirse en acetil-CoA, lo que la convierte en una molécula clave en el metabolismo de los nutrientes. El piruvato y el acetil CoA entran en el ciclo del ácido cítrico (o ciclo de Krebs), que permite la obtención de energía, en forma de ATP, además de CO₂ y agua. Algunas de estas reacciones se producen en el citosol de la célula, mientras que otras tienen lugar en la mitocondria y todas necesitan de la acción de enzimas, cofactores y transportadores. La obtención de energía posibilita la realización de las reacciones anabólicas.

Los componentes de la dieta deben ser sometidos a procesos de digestión y absorción para poder ser metabolizados. A estos procesos se les conoce también como **metabolismo intermedio**.

FIGURA 4

REACCIONES DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA (SEGÚN LAVOISIER)

Fuente: elaboración propia.

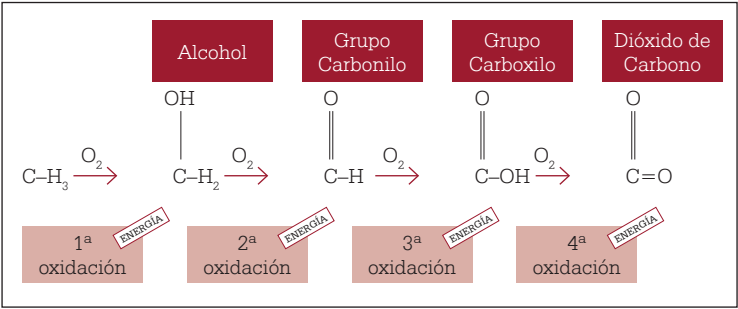
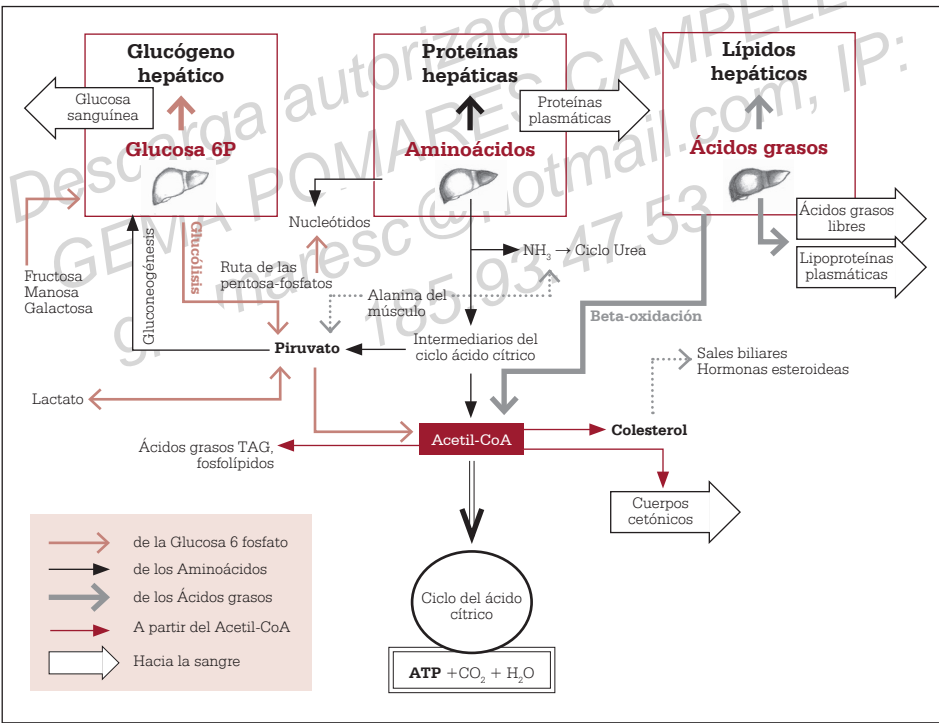


FIGURA 5

ROUTAS METABÓLICAS EN EL HÍGADO

Fuente: elaboración propia.



6.1. VÍAS METABÓLICAS DE LOS HIDRATOS DE CARBONO^[7]

La glucosa es el principal combustible de las células, su oxidación completa a CO_2 y agua produce una variación de energía estándar de -2.840kJ/mol (Nelson y Cox, 2001). Se almacena en forma de glucógeno (en los animales) y almidón (en los vegetales). Los hidratos de carbono presentes en los alimentos, una vez absorbidos, son metabolizados a glucosa, cuyas principales vías metabólicas son:

■ Catabólicas:

- Glucólisis: proceso por el que se oxida una molécula de glucosa y se obtiene piruvato y energía. Se produce en el citosol de las células.
- Glucogenolisis: que degrada el glucógeno almacenado para obtener glucosa.

■ Anabólicas:

- Gluconeogénesis: es la síntesis de glucosa a partir de otras moléculas diferentes a las hexosas (piruvato, lactato, propionato, glicerol y ciertos aminoácidos como la Alanina).
- Glucogenogénesis: es la producción de glucógeno a partir de la glucosa como forma de almacenamiento, y se realiza en el hígado y en los músculos.

Por su importancia en el metabolismo de los hidratos de carbono, nos extendemos en algunos de estos procesos:

Glucólisis

Se denomina así al conjunto de reacciones catabólicas por las cuales se degrada una molécula de glucosa (6 carbonos), y se obtienen dos moléculas de piruvato (3 carbonos) y energía en forma de dos moléculas de ATP. Ocurre en el citosol, y las enzimas reguladoras más importantes son la *hexoquinasa* (*glucoquinasa* en el hígado), la *fosfofructosa quinasa 1* (PFK-1) –ambas necesitan la presencia de magnesio–, y la *piruvato quinasa*, que necesita la presencia de magnesio y potasio.

El piruvato formado, se oxida a acetato en presencia de oxígeno (condiciones aeróbicas) y entra en el ciclo del ácido cítrico, cuyo resultado es la obtención de 32 moléculas de ATP, CO_2 y agua. La reacción del piruvato a acetato (en forma de acil-CoA) es catalizada por la *piruvato deshidrogenasa* que necesita otros coenzimas:

- Tiamina pirofosfato (derivada de la tiamina).
- Coenzima A (cuyo precursor es el ácido pantoténico).
- NAD (cuyo cofactor es la niacina).

El potencial electroquímico generado en las reacciones del ciclo del ácido cítrico pasa, desde el NADH generado en este proceso, al complejo multienzimático de la Cadena de Transporte de Electrones mitocondrial, que incluye la *NADH deshidrogenasa*, la *succinato deshidrogenasa*, la *ubiquinona citocromo oxidorreductasa* y la *citocromo oxidasa*. Estas enzimas tienen como grupos prostéticos las flavoproteínas flavín mononucleótido (FMN) y flavín adenín dinucleótido (FAD) (la riboflavina es su precursora), el grupo hemo y los minerales hierro, azufre y cobre. Todo el proceso, llamado **fosforilación oxidativa**, produce ATP a través del complejo *ATP sintetasa* (ATPasa).

Gluconeogénesis

Es la ruta opuesta a la glucólisis, y parte del piruvato, que puede tener como precursores al lactato en el citosol (ciclo de Cori) o a la Alanina en la mitocondria (ciclo alanina-piruvato).

El piruvato debe ser transportado a la mitocondria y, en el primer paso, es convertido en oxalacetato por acción de la *piruvato carboxilasa*, que es una enzima mitocondrial y requiere biotina. Ésta es la primera enzima reguladora. La ruta sigue en el citosol y la siguiente enzima reguladora es la *fructosa 1,6-bisfosfatasa*, dependiente de magnesio. El último paso regulador es convertir la glucosa 6-fosfato en glucosa que pueda pasar al torrente sanguíneo. Lo cataliza la *glucosa 6-fosfatasa*, activada por el magnesio. Se trata de una ruta muy costosa energéticamente para la célula. La enzima *glucosa 6 fosfatasa* se expresa sólo en los hepatocitos y las nefronas.

En el hígado, ambas rutas descritas, glucólisis y gluconeogénesis, están reguladas por la enzima *fructosa 2,6-bisfosfatasa*, que controla alostéricamente a la *fosfofructosaquinasa-1* (PFK-1) de la glucólisis y a la *fructosa 1,6-bisfosfatasa* de la gluconeogénesis, inhibiendo a una u otra según las necesidades de energía del organismo.

El exceso de glucosa se almacena en forma de glucógeno en hígado y músculos. El glucógeno es un polímero de moléculas de glucosa unidas por enlaces $\alpha(1-4)$, con ramificaciones $\alpha(1-6)$: es una molécula parecida al almidón de los vegetales, pero está más ramificado y es más compacto. También se almacena en forma de lípidos en el tejido graso, como se explica más adelante.

La ruta de reacciones que permiten sintetizar glucógeno a partir de la glucosa se conoce como **glucogenogénesis**. En esta ruta anabólica, la enzima más importante es la *glucógeno sintasa*, que requiere de una proteína, la *glucogenina*, que actúa como "cebador" para iniciar una nueva molécula de glucógeno.

La ruta contraria, es decir, la obtención de glucosa a partir del glucógeno almacenado, se denomina **glucogenolisis**. La enzima más importante es la *glucógeno*

fosforilasa, que rompe secuencialmente los enlaces glucosídicos de la cadena. En el hígado, el glucógeno puede ser convertido rápidamente en glucosa para pasar al torrente sanguíneo y ser distribuida a los diferentes tejidos. En los músculos, la glucosa obtenida se utiliza para conseguir el ATP necesario en la contracción muscular.

El control hormonal de estas rutas metabólicas viene dado por la situación fisiológica en que se encuentre el organismo y sus necesidades energéticas:

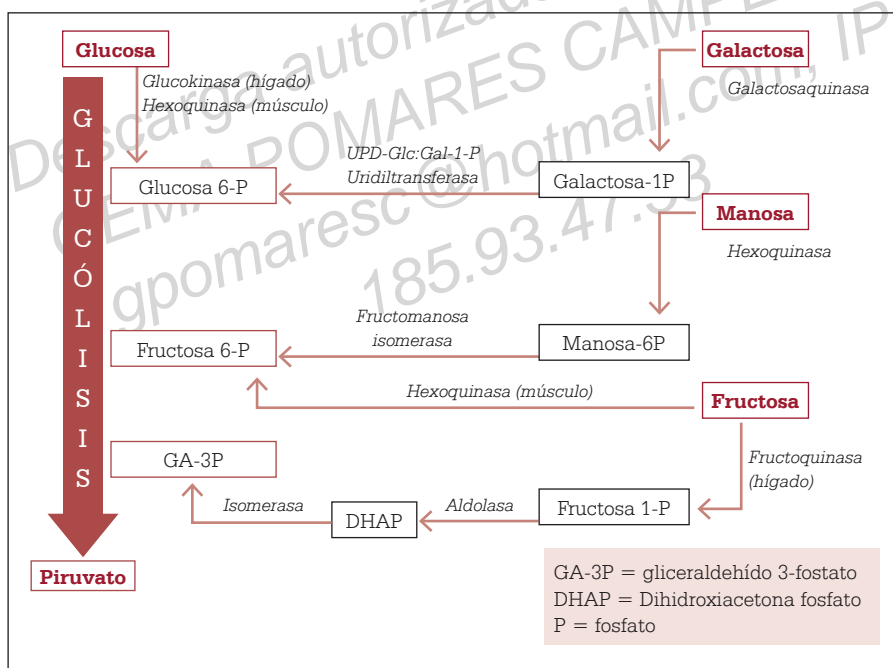
- Tras la ingesta de hidratos de carbono, la acción de la **insulina**, producida por las células β del páncreas, estimula la glucogenogénesis e inhibe la glucogenolisis y la gluconeogénesis.
- Durante el ayuno, el **glucagón**, producido por las células α del páncreas, estimula la gluconeogénesis y la glucogenolisis en el hígado; mientras que en el músculo es la adrenalina quien activa esta ruta.

Las **rutas metabólicas** que siguen los distintos monosacáridos procedentes de la dieta (glucosa, fructosa, galactosa y manosa) confluyen en la **glucólisis**, a través de la cual se obtiene piruvato. En la siguiente imagen, se resumen las vías por las cuales las hexosas entran en la glucólisis.

FIGURA 6

RUTAS METABÓLICAS MONOSACÁRIDOS DE LA DIETA

Fuente: elaboración propia.



Por último, conviene mencionar la **fibra dietética**, que como ya se ha recalcado, no es digerida (o sólo lo es en parte) por los enzimas digestivos, pero sí puede ser fermentada en el colon por las bacterias de la microbiota intestinal, que viven en un ambiente anaerobio. Esta fermentación produce ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como son:

- Butirato 60%.
- Acetato 20%.
- Propionato 20%.

El butirato es empleado por los colonocitos como sustrato para obtener energía. El acetato y el propionato llegan al hígado, donde son metabolizados. Una parte del acetato es utilizado por el músculo. En cuanto al propionato, su principal función es que inhibe a la enzima *HMG-CoA reductasa*, principal punto de regulación de la síntesis del colesterol, por lo que se considera que puede tener efecto hipocolesterolémico.

6.1.1. Digestión y absorción de los hidratos de carbono de la dieta

La **digestión de los hidratos de carbono** tiene, como base química, sucesivas hidrólisis que producen la ruptura de los enlaces, y convierten a los polisacáridos en oligosacáridos o disacáridos, y a éstos en monosacáridos, que son los que pueden ser absorbidos. En estas reacciones de hidrólisis están implicadas varias enzimas del tracto digestivo^[6].

El almidón es el principal polisacárido presente en los alimentos de origen vegetal. Su estructura química es similar al glucógeno: una cadena de moléculas de glucosa unidas entre sí con enlaces del tipo α , formada a su vez por dos clases de subcadenas: **amilasa** [con enlaces $\alpha(1-4)$, 200-2.500 unidades] y **amilopectina**, igualmente con cadena de enlace $\alpha(1-4)$ y con ramificaciones en $\alpha(1-6)$, cada 15 o 25 unidades de glucosa. La hidrólisis del almidón produce oligosacáridos y disacáridos (dextrinas, maltotriosa, maltosa, isomaltosa).

También existen otros polisacáridos de glucosa presentes en los vegetales: la celulosa y hemicelulosas, que forman parte de la fibra dietética. Los enlaces entre las moléculas de glucosa son del tipo β . El organismo carece de enzimas capaces de hidrolizar estos enlaces pero algunos componentes de la microbiota intestinal sí cuentan con estas y son capaces de hidrolizarlos.

La digestión de los hidratos de carbono comienza en la boca donde actúa la **α -amilasa salival (ptialina)** que hidroliza los enlaces $\alpha(1-4)$ del almidón, dando lugar a maltosa, maltotriosa y dextrinas^[6].

En el duodeno se segrega la **α -amilasa pancreática**, que también rompe uniones $\alpha(1-4)$, produciendo igualmente maltosa, maltotriosa y dextrinas límite. Sin em-

bargo, las α -amilasas no son capaces de romper enlaces de los extremos, ahí deben actuar otras enzimas^[6].

En el intestino, los enterocitos producen varias enzimas capaces de romper las distintas uniones de los disacáridos y oligosacáridos resultantes de la acción de las amilasas anteriores:

- La **sacarasa-isomaltasa** actúa sobre uniones ($1\alpha,2\beta$) de la sacarosa dando lugar a glucosa y fructosa. Igualmente también pueden romper las uniones $\alpha(1-6)$ de las isomaltosas, que resultan de la acción de las amilasas sobre la amilopectina, dando lugar a glucosa. Esta enzima es capaz de hidrolizar el 100% de la sacarosa y la isomaltosa y el 75% de la maltosa.
- La **glucoamilasa** rompe uniones $\alpha(1-4)$ de la maltosa, produciendo dos moléculas de glucosa. Se ocupa del 25% de la maltosa que no puede ser hidrolizada por la *sacarasa-isomaltasa*.
- La **lactasa** rompe uniones $\beta(1-4)$ de la lactosa y se libera glucosa y galactosa. El déficit o ausencia de esta última enzima es lo que produce intolerancia a la lactosa, que se caracteriza por aparición de flatulencia, dolor abdominal y/o diarrea. La leche materna es rica en esta enzima y, normalmente, se mantiene su expresión a lo largo de toda la vida, siempre que se consuma leche.

Los monosacáridos obtenidos atraviesan la membrana del enterocito y pasan al torrente sanguíneo a través de distintas proteínas transportadoras como SGLT (Sodium-Glucosa Linker Transporter), un cotransportador activo de sodio y glucosa principalmente, pero también de galactosa y manosa. La proteína GLUT-5, que transporta glucosa y fructosa al interior del enterocito, a través de transporte pasivo, y la GLUT-2, que se expresa en la membrana laterobasal del enterocito y facilita el paso de las hexosas, por transporte pasivo, hacia los capilares sanguíneos^[7].

6.2. METABOLISMO DE LAS PROTEÍNAS

Las proteínas son moléculas complejas formadas por uniones de aminoácidos con enlaces peptídicos. Existen 20 aminoácidos que conforman todas las proteínas. Los aminoácidos son cadenas hidrocarbonadas con un grupo carboxilo en un extremo de la cadena y un grupo amino en el otro. La unión de dos o más aminoácidos se conoce también como péptido.

Las proteínas tienen una conformación que le viene dada por la secuencia de aminoácidos, una estructura secundaria debida al plegamiento de esta cadena (α hélice y conformación β), y una estructura terciaria que da idea de la disposición tridimensional de la proteína. Algunas proteínas formadas por dos o más cadenas o subunidades, forman complejos tridimensionales que le confieren la estructura cuaternaria. Según la disposición tridimensional, se clasifican en proteínas fibrosas (queratina, colágeno...) y globulares (mioglobina, lisozima...).

La importancia de las proteínas viene dada por sus funciones fisiológicas, por tanto, aunque algunos aminoácidos pueden entrar en rutas catabólicas, la mayoría son destinados a la síntesis de nuevas proteínas necesarias para el organismo. No obstante, mencionaremos las vías catalíticas que siguen los aminoácidos, ya que las proteínas también constituyen una fuente de energía (4kcal/g).

El hígado también degrada aminoácidos a varios intermediarios metabólicos (rutas anapleróticas).

En primer lugar, los aminoácidos sufren una transaminación, pasando el grupo amino desde el aminoácido a un α -cetoácido, convirtiéndose el aminoácido en el α -cetoácido correspondiente. La mayoría de los aminoácidos ceden su grupo amino al α -cetoglutarato, como muestra el siguiente esquema:



Esta reacción está catalizada por la glutamato transferasa, que tiene como coenzima al piridoxal fosfato (derivado de la piridoxina).

Hay dos enzimas transferasas que tienen un importante significado clínico^[7]:

- *Alanina transaminasa* (ALT): anteriormente denominada GPT (glutamato-piruvato transaminasa), cataliza la transferencia reversible del grupo amino del glutamato al piruvato, dando origen a alanina y al α -cetoglutarato.
- *Aspartato transaminasa* (AST): anteriormente denominada GOT (glutamato-oxalacetato transaminasa), cataliza la transferencia reversible del grupo amino del glutamato al oxalacetato para formar α -cetoglutarato y aspartato.

Estas enzimas, se expresan en el hígado y el corazón, y están elevadas cuando existe una lesión en estos tejidos, por lo que sirven como indicativos de la existencia de una hepatitis o de un infarto de miocardio.

El siguiente paso, es una desaminación oxidativa del glutamato, que produce α -cetoglutarato y se libera el ión amonio (NH_4^+), reacción reversible catalizada por la *glutamato deshidrogenasa*. El ión amonio es eliminado en el hígado a través del ciclo de la urea.

La descarboxilación del α -cetoglutarato da lugar al succinil-CoA, que participa en el ciclo del ácido cítrico (ciclo de Krebs).

El esqueleto carbonado es utilizado en diferentes rutas metabólicas. Dependiendo a qué vía vayan destinados se diferencian en:

- Aminoácidos **glucogénicos**, que son transformados a piruvato o intermediarios del ciclo del ácido cítrico.

- Aminoácidos **cetogénicos**, que son transformados en cuerpos cetónicos.
- Son cetogénicos y glucogénicos los siguientes aminoácidos: Ile, Phe, Tyr y Trp.

TABLA 8

ENTRADA DE LOS AMINOÁCIDOS EN LAS DISTINTAS VÍAS METABÓLICAS

Fuente: elaboración propia.

Ala, Gly, Ser, Cys → Piruvato (producto final glucólisis. Precursor gluconeogénesis)
Ile, Trp, Leu → Acetil CoA (precursor ciclo ácido cítrico)
Lys, Leu, Phe, Tyr, Trp → Acetoacetil CoA (precursor formación cuerpos cetónicos)
Asn, Asp → Oxalacetato (ciclo ácido cítrico)
Asp, Phe, Tyr → Fumarato (ciclo ácido cítrico)
Val, Ile, Thr, Met → Succinil CoA (ciclo ácido cítrico)
Arg, His, Gln, Pro → Glu → α-ceto-glutarato (ciclo ácido cítrico)

La síntesis de los aminoácidos no esenciales tiene como objeto la formación de proteínas, que está regulada genéticamente y en ella interviene el ADN y ARNm.

6.2.1. Digestión de las proteínas

La digestión de las proteínas es un proceso muy eficaz, ya que son metabolizadas entre el 85 y el 95%. Se realiza por medio de hidrólisis del enlace peptídico, llevada a cabo por diferentes enzimas que tienen la característica especial de que son secretadas en forma de zimógenos; es decir, de forma inactiva, y necesitan de otra enzima para activarse. Reciben el nombre general de **peptidasas o proteasas** y, dependiendo de dónde sean capaces de romper el enlace, son endopeptidasas (en el interior de la cadena peptídica) o exopeptidasas, que rompen el enlace peptídico en el grupo carboxilo terminal (carboxipeptidasas), o en el grupo amino terminal (aminopeptidasas).

La digestión de las proteínas tiene dos fases, una luminal y otra parietal.

La **digestión luminal** se produce en el lumen del estómago, la primera enzima que actúa es la **pepsina I**, una endopeptidasa. La pepsina I es secretada por las células principales de la mucosa gástrica en forma inactiva como **pepsinógeno**. Se activa por autocatálisis a pH ácido y tiene su máxima actividad cuando el pH es 1-3. La importancia de la pepsina viene dada porque prepara la proteína dietaria para la acción de las proteasas pancreáticas, y su acción produce péptidos pequeños e incluso algunos aminoácidos libres que, cuando llegan al duodeno, favorecen la liberación de la hormona colecistoquinina (CCK), que favorece la secreción de los jugos pancreáticos y de la bilis.

El páncreas sintetiza enzimas proteolíticas en forma de zimógenos, que son secretados al intestino a través del colédoco. Cuando se produce una obstrucción en el colédoco, por piedras procedentes de la vesícula biliar por ejemplo, estos zimógenos pueden activarse dentro de los conductos pancreáticos y producir pancreatitis.

Las enzimas pancreáticas son^[8]:

- Endopeptidasas: **tripsina** (en forma de tripsinógeno), **quimiotripsina** (en forma de quimiotripsinógeno) y **elastasa** (en forma de pro-elastasa).
- Exopeptidasas: **carboxipeptidasa A** y **carboxipeptidasa B**, igualmente en forma inactiva (como pro-carboxipeptidasas).

Se denominan serin-proteasas porque tienen un residuo de Serina en su centro catalítico. Cada una de ellas es específica para un determinado aminoácido del enlace peptídico.

La **digestión parietal** tiene lugar en la pared del enterocito, donde se encuentran las **enteropeptidasas**, que son glicoproteínas ancladas a la membrana apical y digieren los oligopéptidos procedentes de la digestión luminal. El papel fundamental de la enteropeptidasa es activar al tripsinógeno, convirtiéndolo en tripsina y ésta, a su vez, es capaz de activar al resto de las enzimas zimógenas del jugo pancreático. También se encuentran aminopeptidasas y carboxipeptidasas.

Los dipéptidos y tripéptidos pueden atravesar la membrana del enterocito, donde sufren rotura proteolítica y pasan a aminoácidos libres, que es de la única forma en que pueden pasar al torrente sanguíneo.

TABLA 9

DIGESTIÓN DE LAS PROTEÍNAS

Fuente: elaboración propia.

Luminal	Proteasas gástricas	Endopeptidasas	Pepsina I
	Proteasas pancreáticas	Endopeptidasas	Tripsina Quimiotripsina Elastasa
		Exopeptidasas	Carboxipeptidasa A Carboxipeptidasa B
Parietal	Peptidasas de membrana	Endopeptidasas	Enteropeptidasa
	Exopeptidasas	Aminopeptidasas	Aminopeptidasa N Aminopeptidasa A
		Carboxipeptidasas	Carboxipeptidasa C Carboxipeptidasa P

El transporte de los aminoácidos a través de la membrana apical y basolateral del enterocito lo llevan a cabo proteínas transportadoras dependientes de sodio (transporte activo secundario), o no dependientes (transporte pasivo o facilitado). Cada aminoácido tiene uno o varios transportadores, pero son específicos. El transporte pasivo se lleva a cabo a favor de gradiente, aprovechando el gran flujo de aminoácidos que llega al enterocito después de la digestión de las proteínas. También puede realizarse al contrario y ser captados aminoácidos desde el torrente sanguíneo en caso de necesidad, por ejemplo durante el ayuno prolongado.

En la Tabla 9 se resumen los distintos enzimas implicados en la digestión de las proteínas.

6.3. METABOLISMO DE LOS LÍPIDOS

Los lípidos son un conjunto de moléculas muy diferentes que tienen en común que no son solubles en agua. Su metabolismo produce 9kcal/g, lo que les convierte en el nutriente más calórico de la dieta.

La grasa es almacenada en los adipocitos en forma de triacilglicéridos (TAG), en un proceso de captación y reesterificación de los ácidos grasos con el glicerol para formar TAG que se denomina **lipogénesis**. La cantidad de lípidos que acumula el tejido adiposo depende de la cantidad de lípidos que se ingieren. También, el exceso de hidratos de carbono, sobre todo azúcares, se acumula en forma de TAG. Por este motivo, la elevación de los niveles plasmáticos de triglicéridos suele estar directamente relacionada con el consumo excesivo de hidratos de carbono simples.

Los ácidos grasos son moléculas orgánicas compuestas por una cadena hidrocarbonada lineal y un grupo carboxílico en uno de sus extremos. Los más abundantes tienen un número par de átomos de carbono unidos entre sí por enlaces covalentes, sencillos o dobles. Según las características de estos enlaces, se clasifican como:

- Ácidos grasos saturados (todos los enlaces son sencillos).
- Ácidos grasos monosaturados (hay un doble enlace en la cadena).
- Ácidos grasos poliinsaturados (hay dos o más dobles enlaces).

Cuando existe una necesidad de energía, son movilizadas las reservas de TAG mediante un proceso denominado **lipólisis**. Tanto los procesos de la lipogénesis como de la lipólisis están regulados por la *lipasa dependiente de hormonas*, que se expresa en el tejido adiposo blanco. El control hormonal de esta enzima se realiza a través de la insulina y el glucagón en el hígado, y de la insulina y las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) en el tejido adiposo. La insulina activa la lipogénesis, mientras que el glucagón y las catecolaminas activan la lipólisis. Los ácidos grasos son liberados del glicerol y pueden pasar al torrente sanguíneo y ser transportados a los tejidos.

El metabolismo de los ácidos grasos se conoce como β -oxidación y se produce en la mitocondria, que es donde se encuentran las enzimas de esta ruta. Previamente, deben ser activados en el citosol, uniéndose al Coenzima A, mediante la acción de la *acil-CoA sintetasa*. Para atravesar la membrana mitocondrial, el acil-CoA formado se une a la carnitina. Una vez en la mitocondria, comienza la oxidación a través de cuatro pasos, catalizados por las enzimas^[7]:

1. Acil CoA Deshidrogenasa.
2. Enoil-CoA Hidratasa.
3. Hidroxiacil-CoA Deshidrogenasa.
4. Tiolasa.

Estos cuatro pasos se repiten hasta que se genera acetil-CoA, que puede continuar oxidándose en el ciclo del ácido cítrico. La β -oxidación tiene un gran rendimiento energético produciendo FADH_2 y NADH que, a través de la fosforilación oxidativa, dan lugar a ATP.

La oxidación de los ácidos grasos insaturados requiere de dos reacciones anteriores a la β -oxidación, y de dos enzimas que también se encuentran en la mitocondria. En cuanto a los ácidos grasos de cadena impar, aunque son muy escasos, se encuentran en los lípidos de muchas plantas y algunos organismos marinos y requieren de tres reacciones adicionales. El resultado de esta oxidación es acetil-CoA y propionil-CoA (3 átomos de C). Este último, sigue una ruta específica en la que es transformado en succinil-CoA (intermediario del ciclo del ácido cítrico), a través de la *metil-malonil-CoA mutasa*, que precisa de la coenzima B_{12} (derivada de la vitamina B_{12}).

Por último, mencionaremos la oxidación de los ácidos grasos ramificados, que se denomina α -oxidación. El más común es el ácido fitánico, derivado del fitol, presente en la clorofila. Lo ingerimos a través de la leche y la carne de los rumiantes. Esta ruta no es cuantitativamente la que más energía aporta, ya que su presencia es muy escasa; sin embargo, la ausencia de las enzimas implicadas provoca una enfermedad metabólica conocida como Enfermedad de Refsum.

Debido a las importantes funciones fisiológicas que tienen los lípidos, también interesan sus vías anabólicas. La biosíntesis de los ácidos grasos comienza con la acción de la *acetil-CoA carboxilasa*, que contiene biotina y cataliza una reacción irreversible entre acetil-CoA y bicarbonato para dar lugar al malonil-CoA. A partir de ahí comienzan las reacciones del complejo enzimático llamado ácido graso sintasa, que utiliza la energía procedente de NADPH. Los ácidos grasos insaturados se sintetizan a partir de los saturados por la acción de la *desaturasas*, que introducen el doble enlace, mientras que las *elongasas* añaden carbonos a la cadena.

Los eicosanoides (prostaglandinas, tromboxanos y leucotrienos) se sintetizan a partir de los ácidos grasos araquidónico (C20:4) y EPA (C20:5) que, a su vez, proceden de los ácidos grasos esenciales linoleico (C18:2) y α -linolénico (C18:3), respectivamente.

Los TAG se sintetizan a partir del acil graso-CoA y el glicerol-3-fosfato (G3P). La insulina favorece esta biosíntesis.

Por último, mencionar la síntesis del colesterol a partir del acetil-CoA, que se realiza en el hígado y tiene a la enzima *HMG- CoA reductasa* como paso limitante. La insulina activa esta enzima, mientras que el glucagón la inhibe. El colesterol es una importante biomolécula con numerosas funciones biológicas: forma parte de las membranas celulares y es precursor de los ácidos biliares, las hormonas esteroideas y la vitamina D. El colesterol, a diferencia de otras moléculas, no se metaboliza, de modo que la única vía de eliminación es a través de los ácidos biliares.

6.3.1. Digestión y absorción de los lípidos

El mayor problema que plantea la digestión y absorción de los lípidos es que son hidrófobos y los enzimas encargados de su digestión son hidrosolubles, con lo cual es imprescindible aumentar la superficie de contacto.

En la boca se encuentra la **lipasa lingual**, segregada por las glándulas de Ebers, y en el estómago las glándulas de la mucosa gástrica segregan la **lipasa gástrica**, ambas provienen de un mismo gen y requieren un pH ácido. Hidrolizan los enlaces de los ácidos grasos de los TAG que estén en la posición 1 ó 3 (un 30% de los ingeridos), dando lugar a AG (ácidos grasos) y DAG (diacilglicéridos).

La condición anfipática de los AG y DAG, permite dispersar la grasa del alimento y, junto con la función mecánica del estómago, aumenta la interfase agua/líquido, que facilita el acceso de las enzimas.

El quimo llega al duodeno y favorece la liberación de CCK y otras hormonas de la digestión. El páncreas segrega la **lipasa pancreática**, que es el enzima más importante de la digestión de los lípidos. También segrega bicarbonato, que neutraliza al ácido clorhídrico del estómago y eleva el pH, ya que la lipasa pancreática requiere un pH neutro.

La colipasa ayuda a la lipasa a unirse a los TAG. Se secreta como pro-colipasa y es activada por la tripsina.

Las **sales biliares** forman micelas que facilitan la emulsión y transporte de los ácidos grasos, y juegan un papel fundamental en la eliminación de los productos de la acción de la lipasa. La micela biliar está compuesta por fosfolípidos, colesterol y sales biliares.

Otras lipasas a destacar son la **fosfolipasa A2**, que actúa sobre los fosfolípidos, es activada por la tripsina y necesita de las sales biliares y del calcio para su función. La **colesterol esterasa pancreática** rompe los enlaces éster de los lípidos y es activada por los ácidos biliares.

Los ácidos grasos libres de cadena corta pueden ser absorbidos directamente. La absorción del resto de los lípidos es más compleja, ya que necesita atravesar el glicocálix, que es la capa líquida que rodea a la membrana del enterocito. Esa función la cumplen las micelas biliares.

La absorción del colesterol es más lenta que la del resto de los lípidos, ya que pasa de unas micelas a otras. Se absorbe un 40-50% (unos 500 mg/día). Los fitoesteres tienen una estructura química similar al colesterol, y están presentes en los alimentos de origen vegetal, no encajan en los transportadores del colesterol pero sí en las micelas, desplazando así al colesterol dietético que no puede ser absorbido. En esta función radica el papel hipolipemiante de los esteroides vegetales.

Una vez dentro del enterocito, los ácidos grasos se vuelven a reesterificar con el glicerol para formar TAG y, junto a los ésteres del colesterol y los fosfolípidos absorbidos, forman los **quilomicrones**, que atraviesan la pared del enterocito y son transportados a través del sistema linfático hacia el conducto torácico donde se encuentran con los capilares y pasan al torrente sanguíneo. En el tejido adiposo y el músculo, son degradados por acción de la enzima *Lipoproteína Lipasa* (LPL), liberando triglicéridos y ácidos grasos libres. Los remanentes de estos quilomicrones contienen principalmente ésteres de colesterol de la dieta y son captados por el hígado, que lo utiliza para la síntesis de ácidos biliares, o se incorpora en las membranas celulares o se secreta de nuevo a la circulación en forma de lipoproteínas. Los quilomicrones constituyen lo que se conoce como **Vía Exógena del Colesterol**.

El hígado sintetiza las lipoproteínas encargadas de transportar el colesterol y otros lípidos hacia los tejidos. Estas lipoproteínas se clasifican según su característica electroforética en^[8]:

- **Lipoproteínas de alta densidad (HDL)**, se originan en el hígado y el intestino y están formadas por fosfolípidos. Constituyen el **Transporte Reverso del Colesterol**, ya que son las que recogen el exceso de colesterol de las células y lo transportan al hígado para su eliminación. Por este motivo, al colesterol unido a las HDL (HDL-colesterol) es conocido coloquialmente como “colesterol bueno”.
- **Lipoproteínas de baja densidad (VLDL, IDL, LDL)**, constituyen la **Vía Endógena del Colesterol**. Los lípidos que se procesan en el hígado son empaquetados en las lipoproteínas VLDL. Bioquímicamente son iguales que los quilomicrones y, cuando circulan por la sangre, son utilizados por la *lipoproteína lipasa*, convirtiéndolos en IDL y después en LDL, que transpor-

ta sobre todo colesterol y ésteres de colesterol hacia los tejidos. La partícula de LDL entra en las células por medio de endocitosis mediada por receptor. El principal problema de esta partícula, a la que coloquialmente se conoce como “colesterol malo”, radica en que es fácilmente oxidada y puede ser captada por los macrófagos, acumulándose en éstos y formando las células espumosas que dan lugar a las placas de ateroma en la pared vascular.

7. REFERENCIAS

1. Mataix Verdú J. Nutrición y alimentación humana. Barcelona: Océano/Er-gon;1984. 247-269.
2. Palma I, Farran A, Cantos D. Tablas de composición de alimentos por medi-das caseras de consumo habitual en España. McGrawHill; 2008. 1:216-261.
3. Moreiras O, Carbajal A, Cabrera L, Cuadrado C. Ingestas Recomendadas de energía y nutrientes. Madrid: Pirámide; 2004.127-131.
4. Burkitt D, Walter ARP, Painter NS. Effect of dietary fibre on stools and tran-sit time and its role in the causation of disease. Lancet 1972; 2:1408-1411.
5. García Peris P, Velasco Gimeno C. Evolución en el conocimiento de la fibra. Nutr Hosp. 2007;22(Supl. 2):20-5.
6. Thibodeau GA, Patton KY. Estructura y función del cuerpo humano. Ma-drid: Elsevier; 2003.
7. Nelson DL, Michael MC, Lehninger. Principios de Bioquímica. Barcelona: Omega; 2001.
8. Constanzo LS. Fisiología. México: McGraw-Hill Interamericana; 2002.

Descarga autorizada a 48621253
GEMA POMARES CAMPELLO,
gpomaresc@hotmail.com, IP:
185.93.47.53