

Lípidos

3

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- Clasificar los lípidos en función de su composición y función en la célula.
- Conocer la composición química, estructura y función de los ácidos grasos.
- Comprender la naturaleza química, grupos funcionales y características de los distintos tipos de lípidos.
- Reconocer la variedad de funciones biológicas que presentan los lípidos.
- Valorar la importancia fisiológica de los distintos tipos de lípidos.

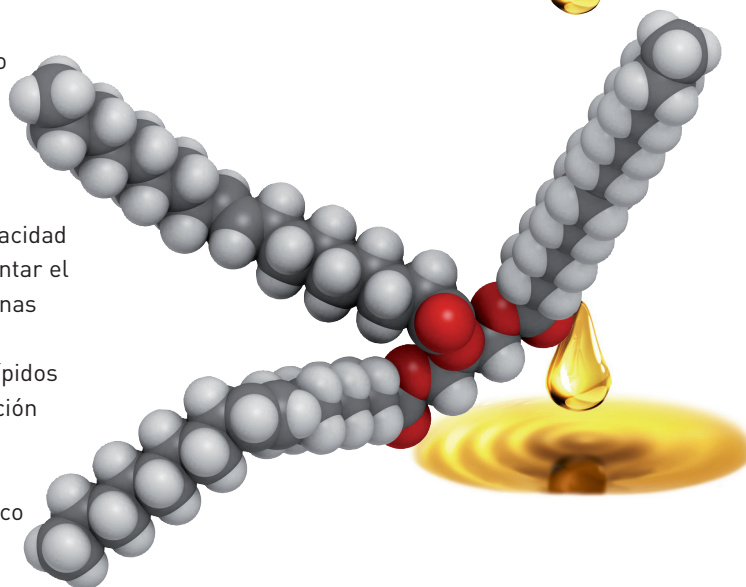
CONTENIDOS

- Introducción
- La naturaleza química de los ácidos grasos
- Lípidos saponificables
- Lípidos insaponificables
- Vitaminas liposolubles

Este capítulo, el tercero de la sección del libro dedicada a los materiales de la célula, se ocupa de las biomoléculas más hidrofóbicas y con mayor poder energético: los lípidos. Con su estudio se profundiza en el conocimiento de las moléculas biológicas, iniciado con los hidratos de carbono en el capítulo 2.

A lo largo del presente capítulo se analiza la composición química, estructura y clasificación de los lípidos, así como sus principales funciones biológicas. Comprender la naturaleza química de los lípidos y su capacidad para formar bicapas será fundamental a la hora de presentar el papel de estas moléculas en la formación de las membranas biológicas (capítulo 4).

Las variadas funciones biológicas que presentan los lípidos denotan su importancia fisiológica, así como su participación en diversas funciones celulares, algunas de las cuales se tratan en esta sección. El conocimiento de estos aspectos resulta básico para la comprensión del metabolismo lipídico y su conexión con las rutas centrales del metabolismo intermediario (capítulos 12 y 13).



INTRODUCCIÓN

Los lípidos son moléculas orgánicas insolubles en agua. Una de sus propiedades más importantes es la hidrofobicidad. Son un grupo químicamente diverso y, por tanto, desempeñan funciones biológicas muy variadas. Algunos son moléculas que almacenan gran cantidad de energía química, como los triacilglicéridos. Los fosfolípidos y los esfingolípidos constituyen los principales componentes estructurales de las membranas biológicas. Otros lípidos desempeñan funciones de protección, como los que se encuentran en las superficies limitantes con el medio externo (ceras). También existen lípidos que desempeñan funciones muy importantes, tales como vitaminas, pigmentos (carotenoides), hormonas y mensajeros intracelulares, a pesar de estar presentes en cantidades relativamente pequeñas en los organismos.

Según su estructura, los lípidos se pueden clasificar en:

- **Lípidos saponificables:** contienen ácidos grasos. En presencia de NaOH o KOH, dan jabones:
 - Acilglicéridos
 - Lípidos complejos (fosfoglicéridos, esfingolípidos)
 - Ceras
- **Lípidos insaponificables:** no contienen ácidos grasos, por ello no pueden formar jabones:
 - Terpenos
 - Esteroides
 - Eicosanoides

LA NATURALEZA QUÍMICA DE LOS ÁCIDOS GRASOS

Para comprender la naturaleza y función de los lípidos saponificables es necesario estudiar su principal componente, los ácidos grasos.

Estructura y composición química

Son ácidos carboxílicos de cadena larga con un único grupo carboxílico y una «cola» hidrocarbonada no polar. Los ácidos grasos difieren unos de otros en la longitud de la cadena y en la presencia, número y posición de dobles enlaces. La mayor parte de los ácidos grasos presentes en los sistemas biológicos contienen un número par de átomos de carbono, generalmente entre 14 y 24, siendo los de 16 y 18 átomos de carbono los más abundantes.

La cola hidrocarbonada puede estar **saturada** si sólo contiene enlaces simples (todos los C están saturados con H), o **insaturada** si posee uno o más enlaces dobles. Estos últimos son los más abundantes. Además, los dobles enlaces en los ácidos grasos poliinsaturados están separados entre sí por, al menos, un grupo metileno (es decir, son no conjugados).



CONCEPTOS CLAVE

- En función de la presencia o no de ácidos grasos en su estructura, los lípidos pueden ser **saponificables** o **insaponificables**.
- Los **ácidos grasos** se diferencian en la longitud de la cadena hidrocarbonada y en la presencia, número y posición de los dobles enlaces.



En la **tabla 3-1** se muestran diversos ejemplos de ácidos grasos naturales. El nombre sistemático de un ácido graso deriva del nombre de su cadena hidrocarbonada, sustituyendo la terminación **-o** por **-oico**. Por ejemplo, al ácido graso saturado de 16 carbonos (C_{16}) se le denomina **ácido hexadecanoico** porque su hidrocarburo de origen es el hexadecano. El ácido graso C_{18} saturado es el **ácido octadecanoico**; si lleva un doble enlace se le llama **ácido octadecenoico**; con dos dobles enlaces **ácido octadecadienoico**; y con tres

Tabla 3-1. Ejemplos de ácidos grasos naturales: estructura, nomenclatura y punto de fusión

Símbolo	Fórmula estructural	Nombre sistemático	Nombre común	Presente en	Punto de fusión (°C)
12:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	Ácido <i>n</i> -dodecanoico	Ácido láurico	Nueces, aceite de laurel	44,2
14:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	Ácido <i>n</i> -tetradecanoico	Ácido mirístico	Nueces	53,9
16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	Ácido <i>n</i> -hexadecanoico	Ácido palmítico	Grasas animales y vegetales	63,1
18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	Ácido <i>n</i> -octadecanoico	Ácido esteárico	Grasas animales y vegetales	69,6
20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	Ácido <i>n</i> -eicosanoico	Ácido araquídico	Aceite de cacahuete	76,5
22:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	Ácido <i>n</i> -docosanoico	Ácido behénico	Aceite de cacahuete	81
16:1 Δ^9	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Ácido <i>cis</i> -9-hexadecenoico	Ácido palmitoleico	Animales de sangre fría	1 a -0,5
18:1 Δ^9	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Ácido <i>cis</i> -9-octadecenoico	Ácido oleico	Animales y vegetales	13,4
18:2 $\Delta^{9,12}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Ácido <i>cis-cis</i> -9,12-octadecadienoico	Ácido linoleico	Pescado, huevos, vegetales	1-5
18:3 $\Delta^{9,12,15}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Ácido <i>cis-cis-cis</i> -9,12,15-octadecatrienoico	Ácido α -linolénico	Fosfolípidos, pescado	-11
20:4 $\Delta^{5,8,11,14}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	Ácido <i>cis-cis-cis-cis</i> -5,8,11,14-eicosatetraenoico	Ácido araquidónico	Cerebro, hígado	-49,5

dobles enlaces **ácido octadecatrienoico**. La nomenclatura de los ácidos grasos especifica la longitud de la cadena y el número de dobles enlaces separados por dos puntos. Los átomos de carbono de los ácidos grasos se numeran empezando por el extremo carboxilo. Así, la abreviatura 18:0 indica un ácido graso C_{18} sin dobles enlaces, mientras que 18:2 significa que tiene dos dobles enlaces. Las posiciones de los dobles enlaces se especifican por exponentes que siguen a la letra delta (Δ). Por ejemplo, el **ácido oleico**, que tiene 18 átomos de carbono y es insaturado (doble enlace entre C-9 y C-10) \Rightarrow 18:1 Δ^9 . Un ácido graso de 20 carbonos con dos dobles enlaces, uno entre C-9 y C-10, y otro entre C-12 y C-13, se designa 20:2 $\Delta^{9,12}$. Existe otra nomenclatura utilizada cada vez más en alimentación que se denomina **sistema omega** (**Recuadro 3-1**).

Los dobles enlaces de casi todos los ácidos grasos naturales están en la configuración *cis*. Los ácidos grasos *trans* se producen durante la fermentación en el rumen de los animales productores de lácteos y de carne. También se forman durante la hidrogenación de aceites de pescado y vegetales. Dado que las dietas ricas en ácidos grasos *trans* están correlacionadas con niveles elevados de LDL (colesterol «malo») y bajos de HDL (colesterol «bueno»), se recomienda evitar la ingestión de grandes cantidades de estos ácidos grasos (**Recuadro 3-2**).



Vídeo 3-1. ¿A qué se debe que dos moléculas tan parecidas como el ácido esteárico y el ácido oleico presenten puntos de fusión tan diferentes?



CONCEPTOS CLAVE

→ Es conveniente reducir al máximo la ingesta de ácidos grasos *trans*, relacionados con niveles elevados de **LDL** y bajos de **HDL**.

Ácidos grasos omega 3

El sistema «omega» (ω) para la nomenclatura de los ácidos grasos toma como referencia el grupo metilo terminal de la molécula (carbono más alejado del carboxilo, al que se asigna la letra ω , la última del alfabeto griego) y a la posición únicamente del primer doble enlace contando desde el grupo $-\text{CH}_3$ terminal. Así, un ácido graso ω -3 tiene su primer doble enlace entre los carbonos 3 y 4, y un ácido graso ω -6 tiene el primer doble enlace entre los carbonos 6 y 7, contando siempre desde el extremo $-\text{CH}_3$.

Esta nomenclatura se ha popularizado especialmente en alimentación, donde destacan los **ácidos grasos omega 3**. Son ácidos grasos esenciales poliinsaturados, derivados del ácido linoléico, que se encuentran en alta proporción en pescados azules (como el salmón) y en algunas fuentes vegetales como las semillas de lino, los cañamones y las nueces.

La función biológica de estos ácidos grasos se descubrió al observar que existía una población de esquimales en Groenlandia

cuyo índice de mortalidad por enfermedades cardiovasculares era muy bajo, a pesar de su dieta rica en grasa. En la sangre de estos esquimales se detectaron niveles muy altos de ácidos grasos omega 3, provenientes del gran consumo de aceites y grasa de pescado, alimento predominante en su dieta. Fue a partir de aquí cuando los científicos empezaron a investigar los beneficios de estos ácidos grasos sobre la salud.

El consumo de grandes cantidades de este tipo de ácidos grasos se ha asociado con una disminución en los niveles de colesterol total y de triacilglicéridos en sangre, mejorando el perfil lipídico, lo que disminuye la incidencia de enfermedades cardiovasculares. También se les ha relacionado con una reducción en la presión arterial y con efectos beneficiosos para el cerebro.

En la actualidad, ciertos alimentos como pueden ser la leche, los huevos, galletas o bebidas de soja entre otras, son enriquecidos artificialmente con los ácidos grasos omega 3 con el fin de proporcionarles un valor añadido.

RECUADRO 3-1

Mantequilla o margarina: ¿qué es más saludable?

La mantequilla y la margarina constituyen las grasas más utilizadas en la gastronomía de todo el mundo, por lo que resulta interesante analizar sus aportes a la salud.

La mantequilla aporta entre un 80 y un 85 % de grasas, de las cuales un 60 % son saturadas (véase **Tabla 3-2**). La principal diferencia entre las grasas y los aceites es el porcentaje de ácidos grasos insaturados en su composición. Esta diferencia es mucho más importante para determinar el punto de fusión que la longitud de la cadena hidrocarbonada. La mantequilla tiene un alto porcentaje de ácidos grasos de cadena corta y por ese motivo «se derrite en la boca».

Dado que las enfermedades cardiovasculares se correlacionan con dietas altas en grasas saturadas, una dieta con más grasas insaturadas podría reducir el riesgo de ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares. Además, los alimentos ricos en grasas poliinsaturadas son más saludables. Una opción adecuada es el aceite de oliva, pero en muchos países su consumo es escaso. Otra alternativa son las margarinas, grasas semisólidas que se obtienen mediante procedimientos industriales a partir

de grasas insaturadas de origen 100 % vegetal, o bien, de un porcentaje de éstas complementadas con otras de procedencia animal (mixtas). Para su elaboración, la materia prima se somete a un proceso de endurecimiento que le permite adquirir su consistencia sólida y untable. Esto se consigue hidrogenando de forma parcial los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados de los aceites. Resulta curioso que, para evitar comer los ácidos grasos saturados de la mantequilla, se crearon sustitutos a partir de aceites poliinsaturados eliminando algunos de los dobles enlaces, lo que los hace más saturados. Por otra parte, durante el proceso de hidrogenación, algunos dobles enlaces se convierten en la forma *trans*. Estudios recientes demuestran que los ácidos grasos *trans* incrementan la proporción del LDL (colesterol «malo») frente al HDL (colesterol «bueno»), lo que se correlaciona con problemas cardíacos. Así pues, los efectos de los ácidos grasos *trans* son similares a los de los ácidos grasos saturados. La mejora en los procesos de producción de la margarina ha permitido disminuir el porcentaje de grasas *trans*. También han aparecido en el mercado nuevas margarinas: con fitosteroles que reducen el nivel de colesterol en sangre; o enriquecidas con vitaminas A, D, E y B₂.

RECUADRO 3-2

Propiedades de los ácidos grasos

Las propiedades de los ácidos grasos dependen de la longitud de su cadena y del grado de insaturación. La cadena hidrocarbonada apolar explica la escasa solubilidad de los ácidos grasos en agua. A temperatura ambiente, los ácidos grasos saturados tienen una consistencia cerosa (sólidos blandos), mientras que los insaturados son líquidos viscosos. A igual longitud de cadena, los ácidos grasos insaturados tienen un punto de fusión más bajo que los saturados (véase **Tabla 3-1**). Así, por ejemplo, el punto de fusión del ácido esteárico es de 69,6 °C, mientras que el del ácido oleico (con un único doble enlace) es de 13,4 °C. Los puntos de fusión de los ácidos grasos poliinsaturados de la serie C₁₈ son, incluso, más bajos. La longitud de la cadena también afecta al punto de fusión; por ejemplo, la temperatura de fusión del ácido palmítico (C₁₆) es 6,5 grados inferior a la del esteárico (C₁₈). Por lo tanto, las longitudes cortas de la cadena y la insaturación aumentan la fluidez de los ácidos grasos y sus derivados.

Estas diferencias en los puntos de fusión se deben a los diferentes grados de empaquetamiento de las moléculas de los ácidos grasos (**Fig. 3-1**). Los ácidos grasos saturados presentan gran flexibilidad, por lo que cuando se empaquetan tienden a establecer la conformación más estable, que es la forma totalmente



CONCEPTOS CLAVE

- Como consecuencia de su grado de empaquetamiento, los ácidos grasos **saturados** tienen puntos de fusión más altos que los **insaturados**.
- Los diferentes **puntos de fusión** de los ácidos grasos determinan su consistencia a temperatura ambiente.

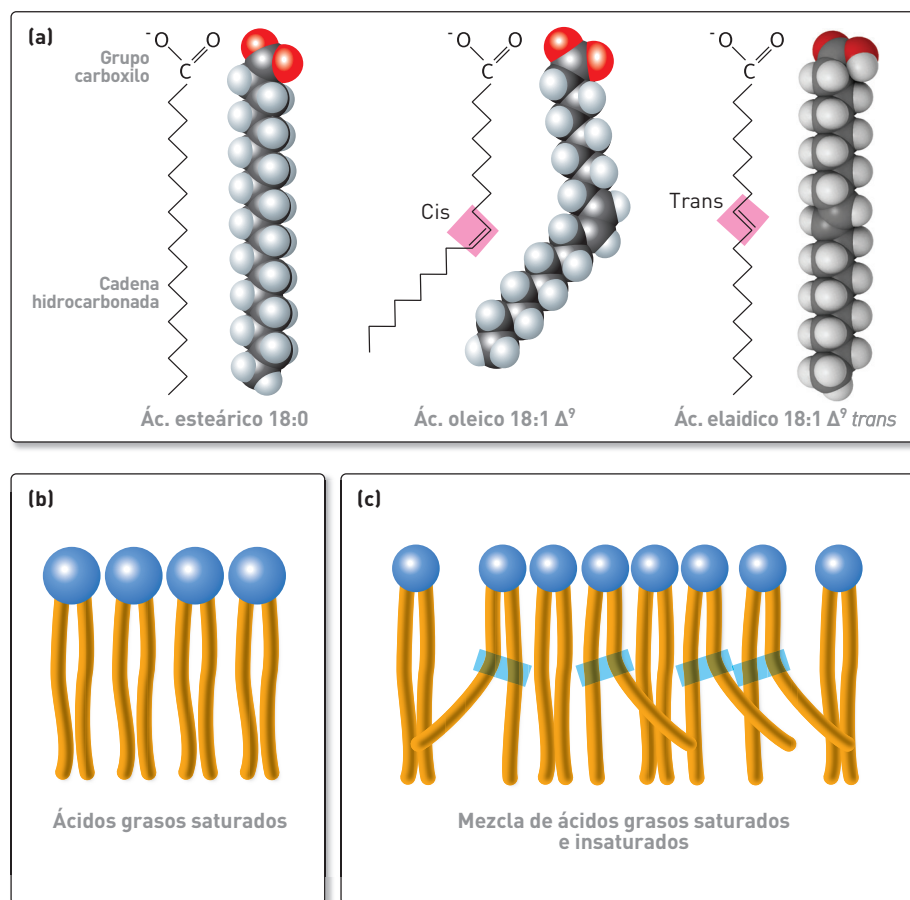
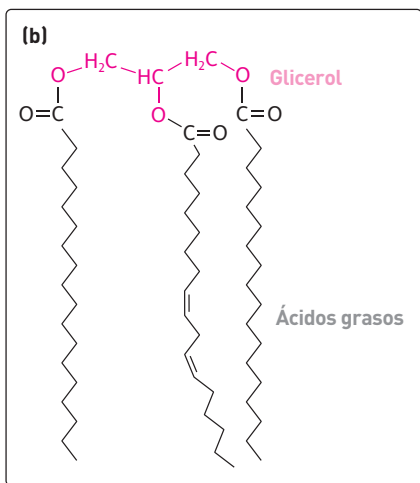
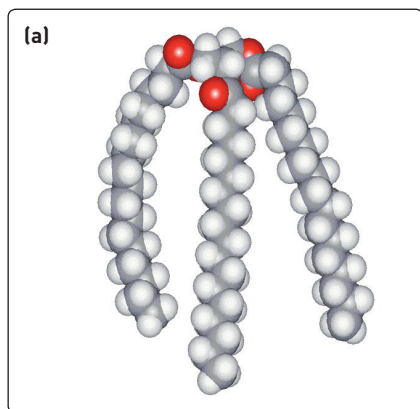


Figura 3-1. Disposición espacial y empaquetamiento de los ácidos grasos. El nivel de empaquetamiento de los ácidos grasos depende de su grado de saturación. **(a)** Representaciones de dos ácidos grasos mostrando su conformación normal extendida. Cada línea del zigzag representa un enlace simple entre carbonos adyacentes. Los dobles enlaces no permiten la rotación e introducen un giro rígido en la cola hidrocarbonada. Todos los demás enlaces de la cadena pueden rotar libremente. La configuración *cis* provoca un codo en la molécula, sin embargo el doble enlace en configuración *trans* no provoca dicho giro y el ácido graso tiene una estructura parecida al ácido graso saturado. **(b)** Los ácidos grasos saturados se empaquetan en ordenamientos casi cristalinos, estabilizados por múltiples interacciones hidrofóbicas. **(c)** La presencia de uno o más dobles enlaces interfiere en este empaquetamiento dando lugar a agregados menos estables.

extendida, en la que los impedimentos estéricos entre átomos vecinos están reducidos al mínimo. En los ácidos grasos insaturados, un doble enlace *cis* provoca un giro en la cadena hidrocarbonada, impidiendo que se puedan empaquetar tan fuertemente como los ácidos grasos saturados, y como consecuencia las interacciones entre ellos son más débiles. Por este motivo, los ácidos grasos insaturados tienen puntos de fusión claramente más bajos que los ácidos grasos saturados de la misma longitud de cadena. En la [tabla 3-2](#) se indica la composición de ácidos grasos de algunas grasas naturales. Las grasas con abundantes ácidos grasos insaturados (como el aceite de oliva) son líquidas a temperatura ambiente, mientras que las que tienen un contenido más elevado en ácidos grasos saturados (como la mantequilla) son más sólidas. De hecho, una grasa totalmente saturada es un sólido bastante duro, en especial si las cadenas hidrocarbonadas son largas, lo que queda claro observando los datos de los puntos de fusión de la [tabla 3-1](#).

Tabla 3-2. Porcentaje de ácidos grasos totales en algunas grasas naturales				
	Número de átomos de C en la cadena	Aceite de oliva	Mantequilla	Grasa bovina
Saturados	4-12	2	12	2
	14	2	10	2
	16	13	26	29
	18	3	12	21
Insaturados	16-18	80	40	46

Vídeo 3-2. ¿Por qué la grasa bovina tiene mayor punto de fusión que el aceite de oliva y la mantequilla?



? ¿Cuál es más insoluble, un monoglicérido, un diglicérido o un triglicérido?

Figura 3-2. Triacilglicéridos. (a) Representación de un triacilglicérido constituido por glicerol y dos ácidos grasos insaturados y uno saturado. (b) Fórmula esquemática de un triacilglicérido con un solo ácido graso insaturado en la posición C-2.

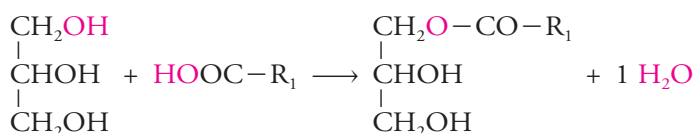
LÍPIDOS SAPONIFICABLES

Todos los lípidos saponificables contienen ácidos grasos y por ello pueden formar jabones después de una reacción de saponificación.

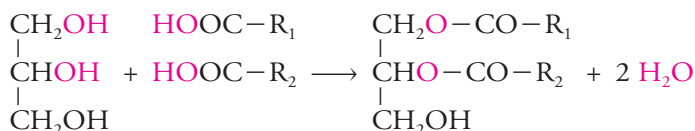
Los acilglicéridos como almacén de energía

Los **acilglicéridos** son ésteres constituidos por el alcohol **glicerol** y ácidos grasos (tanto saturados como insaturados), y se forman mediante una reacción de condensación denominada **esterificación**. Una molécula de glicerol (o glicerina, son equivalentes en la nomenclatura) puede reaccionar con hasta tres moléculas de ácidos grasos, puesto que tiene tres grupos hidroxilo. Según el número de ácidos grasos que aparezcan esterificados, los acilglicéridos pueden ser de tres tipos:

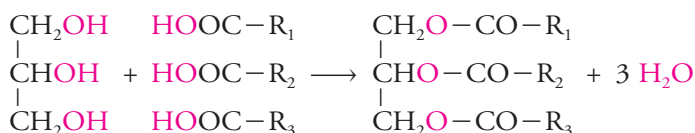
- **Monoacilglicéridos:** cuando el glicerol sólo se esterifica en un grupo alcohol con un ácido graso. Se libera una molécula de agua:



- **Diacilglicéridos:** cuando el glicerol se esterifica con dos ácidos grasos. Se liberan dos moléculas de agua:



- **Triacilglicéridos (Fig. 3-2):** ésteres de glicerol con tres ácidos grasos. Se liberan tres moléculas de agua:



Los triacilglicéridos son **simples** si los tres ácidos grasos son iguales, y se denominan según el ácido graso. Por ejemplo: tripalmitina (16:0), triestearina (18:0), trioleína (18:1). Son **mixtos** si contienen dos o más ácidos grasos diferentes. Por ejemplo: 1-estearoil, 2-oleil, 3-palmitoil glicerol.

Los **triacilglicéridos** funcionan como almacén de energía en las células, constituyendo reservas de energía mucho más eficaces que los hidratos de carbono. Las grasas y los aceites que se encuentran en plantas y animales son en gran medida mezclas de triacilglicéridos.

La esterificación con glicerol reduce considerablemente el carácter hidrofílico de los grupos de cabeza de los ácidos grasos. Como consecuencia de ello, los triacilglicéridos son muy insolubles en agua. Las grasas acumuladas en las células vegetales y animales forman pequeñas gotas oleosas en el citoplasma. En los adipocitos, que son las células animales especializadas en el almacenamiento de las grasas, casi todo el volumen de una célula está ocupado por una gota de grasa. Estas células constituyen la mayor parte del tejido adiposo de los animales. El contenido medio de grasa en los seres humanos (21 % para los hombres, 26 % para las mujeres) les permitiría sobrevivir a la inanición durante dos o tres me-



CONCEPTOS CLAVE

- Los acilglicéridos son **ésteres** del glicerol con uno, dos o tres ácidos grasos.
- Los **triacilglicéridos** son el principal tipo de acilglicéridos y desempeñan funciones de almacenamiento y reserva de energía.

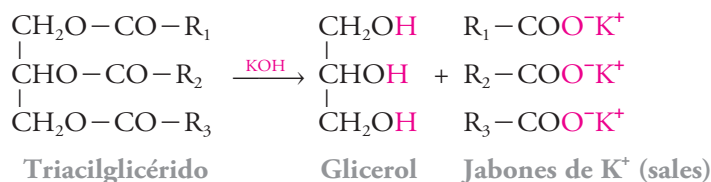
ses. Por el contrario, la proporción de glucógeno del cuerpo, que funciona como una reserva de energía de corto plazo, puede abastecer las necesidades de energía del cuerpo durante menos de un día. Además, la capa de grasa subcutánea proporciona aislamiento térmico, lo que es especialmente importante para los animales acuáticos de sangre caliente, como las ballenas, las focas o los pingüinos, que están expuestos a bajas temperaturas.

El almacenamiento de grasas en los animales tiene tres funciones distintas:

1. **Producción de energía:** la mayor parte de la grasa de la mayoría de los animales se oxida para generar ATP, que impulsa los procesos metabólicos.
2. **Producción de calor:** algunas células especializadas (como las de la «grasa parda» de los animales homeotermos) oxidan los triacilglicéridos para producir calor, en lugar de utilizarlos para formar ATP.
3. **Aislamiento:** en los animales que viven en un entorno frío, las capas de células adiposas situadas debajo de la piel actúan como un aislante térmico.

La **saponificación** es una reacción química entre un ácido graso o un lípido saponificable, y una base, en la que se obtiene como principal producto la sal correspondiente. Así, los jabones son sales de ácidos grasos y metales alcalinos que se obtienen mediante este proceso.

Como ejemplo, si un triacilglicérido se hidroliza con potasa (KOH), se obtiene una mezcla de sales potásicas (jabones) de los ácidos grasos y glicerol:



La reacción de saponificación es la reacción de ruptura de un triglicérido, por lo tanto, sería una reacción inversa a la esterificación. En las células la reacción de ruptura de un triglicérido se realiza mediante las enzimas lipasas que hidrolizan los enlaces éster implicados en la formación de este lípido. Por lo tanto, la saponificación y la hidrólisis son reacciones de ruptura (hidrólisis = ruptura con agua), mientras que la esterificación será la reacción de formación o condensación del triglicérido.

Los fosfoglicéridos como principales constituyentes de las membranas

Los **fosfoglicéridos**, también denominados **fosfoacilglicéridos** o **glicerofosfolípidos**, están constituidos por dos ácidos grasos esterificados al primer y segundo -OH del glicerol. El tercer grupo -OH está unido por un enlace fosfodiéster a un grupo de cabeza muy polar o cargado (X). Todos los fosfoglicéridos poseen dos colas no polares aportadas por los dos ácidos grasos de cadena larga, generalmente uno saturado (C_{16} o C_{18} en la posición C-1 del fosfoglicérido) y otro insaturado (de C_{16} a C_{20} , en la posición C-2 del fosfoglicérido). El fosfoglicérido más simple, en el que $\text{X} = \text{H}$, es el **ácido fosfatídico**. Los demás derivan de él y se forman por unión de diferentes compuestos al grupo fosfato. Los fosfoglicéridos se nombran según el alcohol polar en el grupo de cabeza (Fig. 3-3). Por ejemplo, la **fosfatidilcolina** y la **fosfatidiletanolamina** tienen colina y etanolamina, respectivamente, en sus grupos polares. En todos estos compuestos, el grupo de cabeza se une al glicerol mediante un enlace fosfodiéster.

Los fosfoglicéridos son lípidos estructurales de las membranas biológicas. Estas membranas están formadas por una doble capa lipídica que constituye una



CONCEPTOS CLAVE

- La **saponificación** permite obtener jabones (sales de ácidos grasos) a partir de un ácido graso [o un lípido saponificable] y una base.



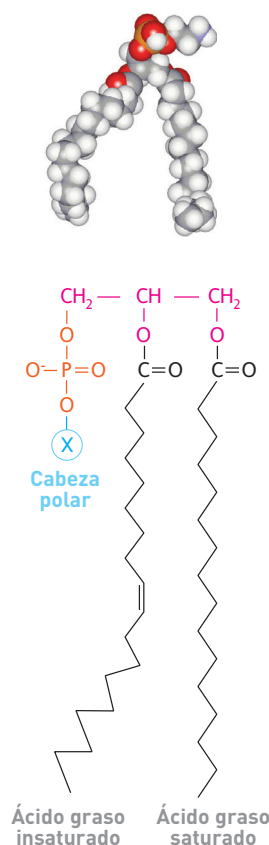
Actividad interactiva 3-1. A partir de las siguientes moléculas dibujar la reacción de esterificación, saponificación e hidrólisis.



CONCEPTOS CLAVE

- Los **fosfoglicéridos** están constituidos por una molécula de glicerol, dos ácidos grasos y una cabeza polar.
- El **carácter anfipático** de los fosfoglicéridos hace que sean constituyentes fundamentales de las membranas biológicas.

Fosfatidiletanolamina



	CABEZA POLAR	FOSFOLÍPIDOS
	$-H$	Ácido fosfatídico
Etanolamina	$-CH_2-CH_2-NH_3^+$	Fosfatidiletanolamina
Colina	$-CH_2-CH_2-N^+(CH_3)_3$	Fosfatidilcolina (lecitinas)
Serina	$-CH_2-CH(NH_3^+)-C(=O)O^-$	Fosfatidilserina
Glicerol	$-CH_2-CH(OH)-CH_2-OH$	Fosfatidilglicerol
Inositol		Fosfatidilinositol
Fosfatidilglicerol		Difosfatidilglicerol (cardiolipina)

Figura 3-3. Fosfoglicéridos. Los fosfoglicéridos están constituidos por el glicerol unido a dos ácidos grasos y a alcoholes del grupo de cabeza mediante un enlace fosodiéster. El ácido fosfatídico sólo posee un grupo fosfato como cabeza polar. Cada derivado se denomina según el alcohol del grupo de cabeza (X), con el prefijo «fosfatidil-». En la cardiolipina, dos ácidos fosfatídicos quedan unidos por una molécula de glicerol.

Actividad interactiva 3-2. Construir los posibles fosfoglicéridos a partir de los diferentes alcoholes representados en esta figura.



barrera al paso de moléculas polares e iones. Los lípidos de las membranas son **anfipáticos**, es decir, un extremo de la molécula es hidrofóbico y el otro hidrofílico. Sus interacciones, hidrofóbicas entre ellos, e hidrofílicas con el agua, dirigen su empaquetamiento hacia la formación de bicapas (Fig. 3-4). En los fosfoglicéridos las regiones hidrofóbicas están compuestas por los dos ácidos grasos unidos al glicerol. La parte hidrofílica de estos compuestos anfipáticos está constituida por el grupo fosfato y la «cabeza polar». En el capítulo 4 se detalla la estructura y composición química de las membranas celulares.

Los esfingolípidos participan en el reconocimiento celular

Una segunda clase importante de componentes de la membrana es la de los esfingolípidos. También tienen una cabeza polar y dos colas apolares pero, a diferencia de los fosfoglicéridos, no contienen glicerol. Están formados por el aminoalcohol de cadena larga **esfingosina**, una molécula de un ácido graso de cadena larga y un grupo polar en la cabeza, que puede ser un alcohol o un azúcar (Fig. 3-5).

Cuando se une un ácido graso por un enlace amida al $-NH_2$ del C-2 de la esfingosina, se obtiene una **ceramida**. La ceramida es la unidad estructural fundamental común de todos los esfingolípidos.

Existen varias clases de esfingolípidos, todos ellos derivados de la ceramida, pero que difieren en sus grupos de cabeza:

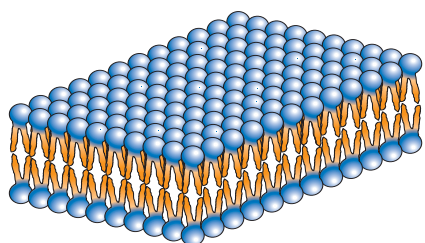


Figura 3-4. Esquema de la sección de una bicapa lipídica.

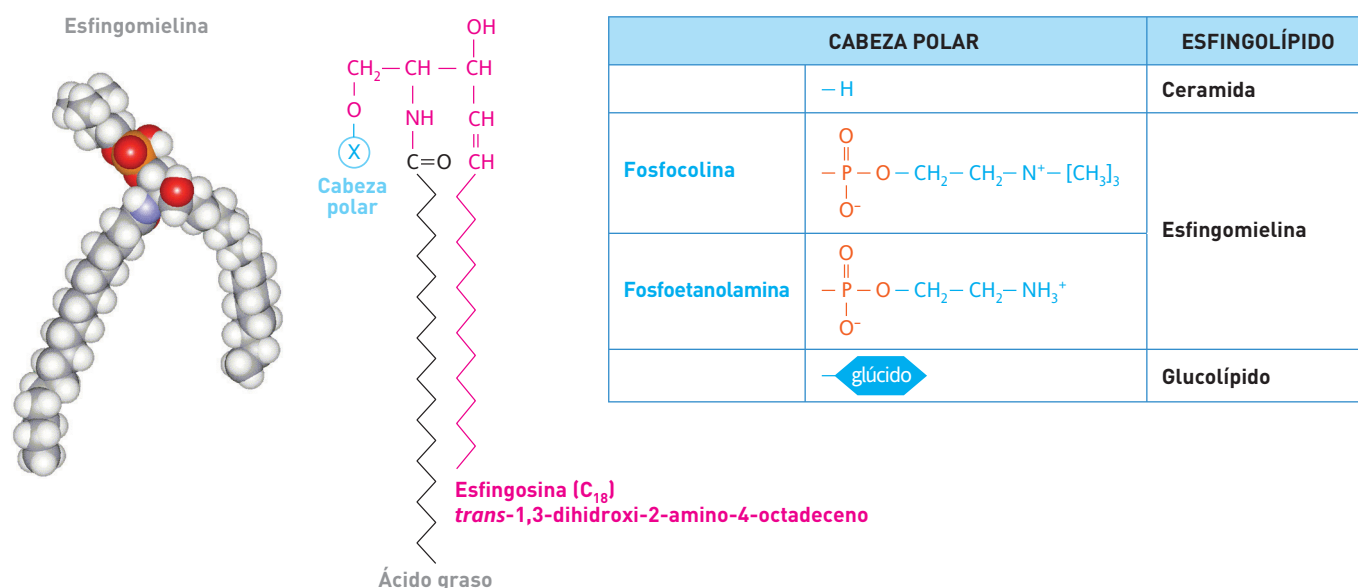


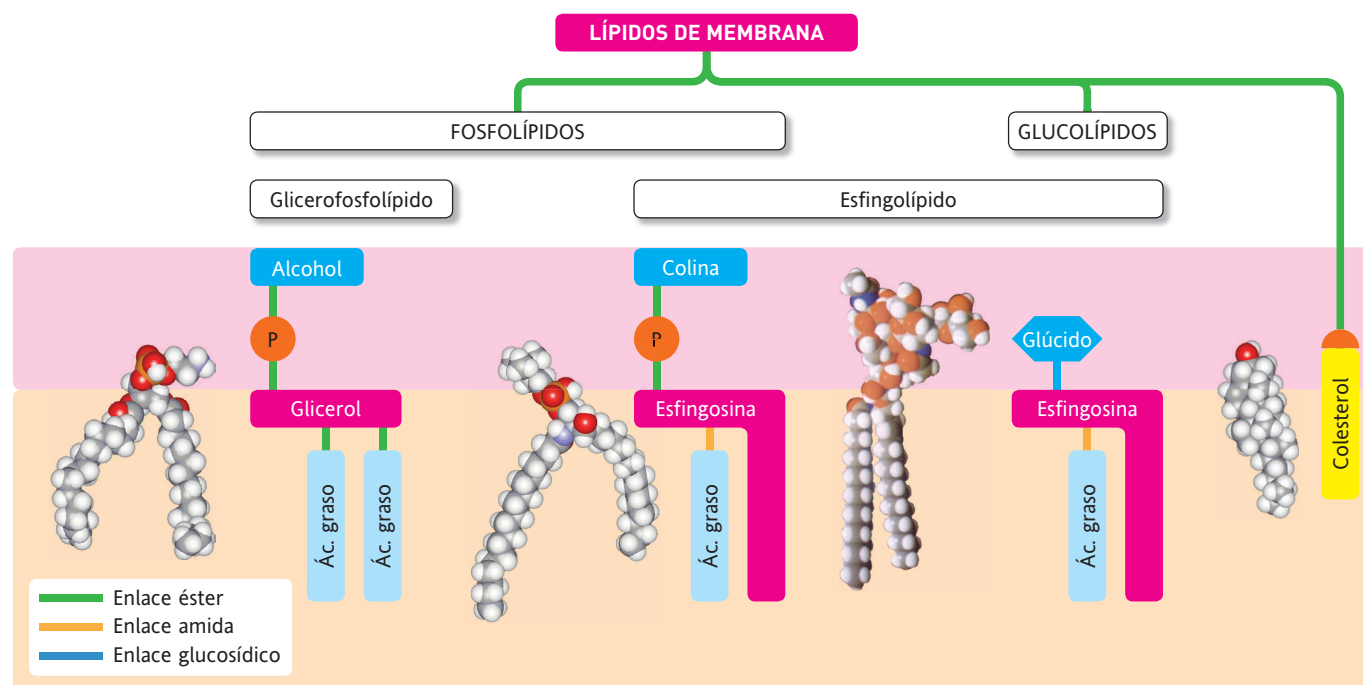
Figura 3-5. Esfingolípidos. En los esfingolípidos, el grupo amino en el C-2 lleva un ácido graso unido por un enlace amida. Los distintos esfingolípidos difieren en el grupo de cabeza polar (X) unido al C-1.

- Las **esfingomielinas** contienen **fosfocolina** o **fosfoetanolamina** como grupo de cabeza polar, por lo que se clasifican como fosfolípidos junto con los glicerofosfolípidos (Fig. 3-6). Las esfingomielinas se encuentran en las membranas plasmáticas de las células animales; también se encuentran (de ahí su nombre) en la vaina de mielina que rodea y aísla los axones de las neuronas mielinizadas (Recuadro 3-3).



CONCEPTOS CLAVE

→ Los **esfingolípidos** están constituidos por una molécula de esfingosina, un ácido graso y una cabeza polar.



? Observar esta figura e identificar la parte polar y las colas hidrofóbicas de cada tipo de molécula. Describir las semejanzas y diferencias entre glicerofosfolípidos y esfingolípidos. ¿Puede un fosfolípido no llevar glicerol en su estructura?

Figura 3-6. Lípidos de membrana. En esta figura puede observarse la semejanza estructural entre los fosfoglicéridos y los esfingolípidos, así como su carácter anfipático. En los fosfolípidos, el grupo de cabeza polar está unido por un enlace fosfodiéster, mientras que los glucoesfingolípidos (glucolípidos) tienen una unión glucosídica directa entre el azúcar del grupo de cabeza y la esfingosina. También aparece representado el colesterol, un importante componente de las membranas celulares eucariotas.

Vainas de mielina y esclerosis múltiple

Las vainas de mielina están formadas por capas gruesas de lípidos y proteínas que envuelven los axones de las neuronas mielinizadas. Tienen un alto contenido en esfingomielinas. Su estructura consiste en segmentos de mielina separados por nodos, lo que permite la rápida transmisión de los impulsos nerviosos, que saltan de nodo en nodo, al actuar la capa de mielina como aislante.

La pérdida de la mielina ocasiona graves trastornos del sistema nervioso, y entre las enfermedades que causa destaca la **esclerosis múltiple**. Se trata de un trastorno neurológico progresivo caracterizado por una desmielinización (pérdida de mielina) de la sustancia blanca del sistema nervioso central.

Aunque no se conozca realmente la causa, se sabe con certeza que hay diversos mecanismos autoinmunes involucrados. Se estima que unos dos millones de personas en todo el mundo están afectados de esclerosis múltiple.

El 70 % son mujeres y la edad de aparición de la enfermedad varía entre los 20 y 40 años. Los afectados padecen, entre otros síntomas, debilidad, falta de coordinación y problemas en el habla y la visión, pudiendo llegar a verse alteradas las principales funciones neurológicas (alteraciones motoras, cognitivas, sensoriales, etc.).



CONCEPTOS CLAVE

- Como en el caso de los fosfoglicéridos, el carácter anfipático de los esfingolípidos les permite formar parte de las **membranas biológicas**.
- Cerebrósidos, globósidos y gangliósidos son **glucolípidos** que se diferencian en la naturaleza de los azúcares unidos a la ceramida.
- Los esfingolípidos desempeñan diversas funciones relacionadas con el **reconocimiento celular**.
- El carácter extremadamente hidrofóbico de las **ceras** las hace desempeñar funciones de **aislamiento y protección**.

- Los **glucoesfingolípidos** o **glucolípidos**, que se encuentran en la cara externa de la membrana plasmática, tienen uno o más azúcares en su grupo de cabeza unidos al C-1 de la ceramida. No contienen fosfato. Dentro de este grupo, los **cerebrósidos** tienen un único azúcar unido a la ceramida; los que contienen galactosa se encuentran de manera característica en las membranas plasmáticas de las células del tejido nervioso, mientras que los que contienen glucosa se hallan en las membranas plasmáticas de células de tejidos no nerviosos. Los cerebrósidos, en contraposición con los fosfolípidos, carecen de grupo fosfato y, por lo tanto, no tienen carga. Los **globósidos** son glucoesfingolípidos neutros (sin carga) con dos o más azúcares, normalmente D-glucosa, D-galactosa o N-acetil-D-galactosamina. Los **gangliósidos** son los esfingolípidos más complejos. Contienen grupos de cabeza polares formados por oligosacáridos y uno o varios residuos terminales de ácido N-acetilneuramínico (ácido siálico) (véase capítulo 2, Fig. 2-7). El ácido siálico aporta a los gangliósidos una carga negativa a pH = 7. Los gangliósidos se concentran en la superficie exterior de las células. Sus complejas cabezas de hidratos de carbono y actúan como receptores específicos para funciones fisiológicas importantes. También son receptores para determinadas toxinas proteicas de origen bacteriano, como la toxina colérica (Recuadro 3-4).

En humanos se han identificado al menos 60 esfingolípidos diferentes en las membranas celulares. Muchos desempeñan un papel importante en las membranas plasmáticas de neuronas y algunos actúan en procesos de reconocimiento en la superficie celular, pero sólo se ha descubierto la función específica de unos pocos. La porción glucídica de ciertos esfingolípidos define los grupos sanguíneos humanos y determina el tipo de sangre que los individuos pueden recibir en las transfusiones sanguíneas (Fig. 3-7).

Ceras: protectores y aislantes

Son ésteres de ácidos grasos de cadena larga (de 14 a 36 átomos de carbono), saturados o insaturados, con alcoholes de cadena larga (de 16 a 30 átomos de carbono). Sus puntos de fusión (60 a 100 °C) son generalmente más elevados que los de los triacilglicéridos. Como ejemplo, en la figura 3-8 se presenta la fórmula del triacontanilpalmitato, componente mayoritario de la cera de abeja.

Las ceras realizan diversas funciones en la naturaleza, que tienen que ver con su hidrofobicidad y su consistencia. Las glándulas de la piel de los vertebrados secretan ceras para mantenerla flexible, lubricada e impermeable. Las aves acuáticas las secretan para mantener la repelencia al agua en sus plumas. Muchas plantas, como el acebo, tienen las hojas recubiertas de ceras para evitar la evaporación excesiva de agua y el ataque de parásitos. Además, las ceras biológicas tienen diversas aplicaciones en la industria farmacéutica o cosmética. Ceras como la lanolina o la cera de abeja se utilizan en la fabricación de lociones, pomadas, etc.

Toxina colérica

Vibrio cholerae es la bacteria causante del cólera. Produce la toxina colérica, principal factor de virulencia. Esta toxina se une específicamente al gangliósido GM1, presente en las células del epitelio intestinal. Su entrada en la célula provoca la activación de la adenilato ciclasa, produciendo un aumento prolongado en la concentración de AMPcíclico, que genera la secreción a la luz intestinal de un gran flujo de agua y electrolitos, causantes de la diarrea debilitante característica de esta enfermedad. El cólera es todavía una enfermedad común en zonas del mundo como el África subsahariana o el Sureste asiático, y causa una gran mortalidad.

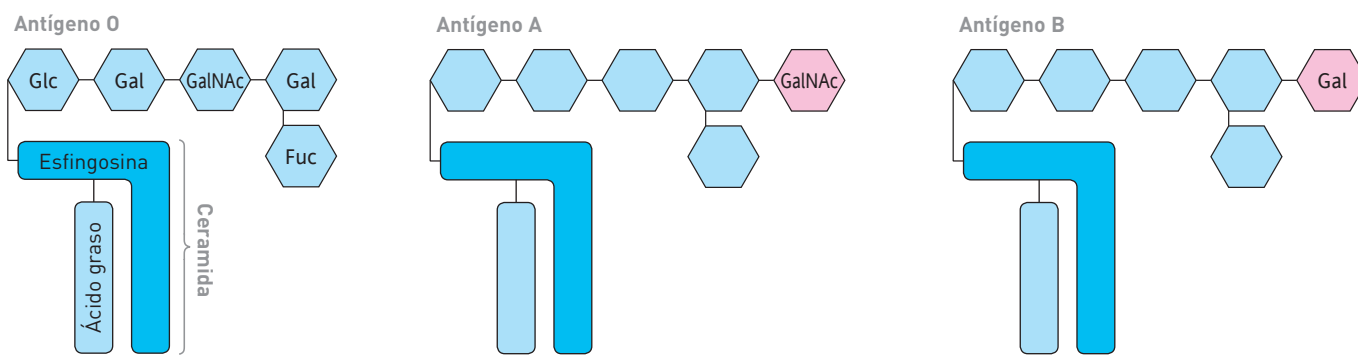


Figura 3-7. Glucoesfingolípidos como determinantes de los grupos sanguíneos. Los grupos sanguíneos humanos [A, B, O] vienen determinados en parte por los grupos polares de estos glucolípidos. Los mismos tres oligosacáridos se encuentran también unidos a ciertas proteínas sanguíneas de individuos de los tipos A, B y O. Glc: glucosa; Gal: galactosa; GalNAc: *N*-acetilgalactosamina; Fuc: fucosa.

LÍPIDOS INSAPONIFICABLES

Estos lípidos se caracterizan por no poseer ácidos grasos en su composición. Por ese motivo, no pueden ser sometidos a la reacción de saponificación y por ello no forman jabones (de ahí su nombre).

Terpenos: derivados del isopreno con múltiples funciones biológicas

Se forman a partir del **isopreno**, una unidad de cinco carbonos. Los terpenos pueden contener de una a ocho unidades de isopreno. Al unirse, forman moléculas lineales o con anillos. En su mayoría son de origen vegetal, fúngico y bacteriano. En los vegetales actúan como pigmentos, señales moleculares (hormonas y feromonas) y agentes defensivos. Constituyen el grupo más abundante de aceites de los vegetales, proporcionándoles aromas y sabores característicos. Según el número de isoprenos que tengan, se clasifican en: **monoterpenos** (dos moléculas de isopreno, como el geraniol o el limoneno, que son aceites esenciales vegetales); **sesquiterpenos**, con tres isoprenos (como el farnesol); **diterpenos**, con cuatro isoprenos (fitol, ácido giberélico); **triterpenos** (seis isoprenos, como el escualeno); y **tetraterpenos** (ocho isoprenos, como el licopeno y los carotenoides). En la **figura 3-9** se muestra la fórmula del isopreno y ejemplos de distintos tipos de terpenos. En el **recuadro 3-5** se comenta el uso clínico de los terpenos.

A partir de ciertos terpenos se forman algunas vitaminas liposolubles, como las vitaminas A, E o K, tratadas al final del presente capítulo.

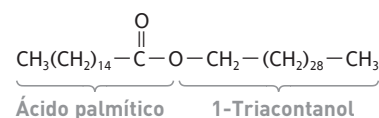


Figura 3-8. Estructura de la cera de abeja.



CONCEPTOS CLAVE

→ Los **terpenos** están constituidos por unidades de **isopreno**. Actúan como pigmentos, hormonas y agentes defensivos.

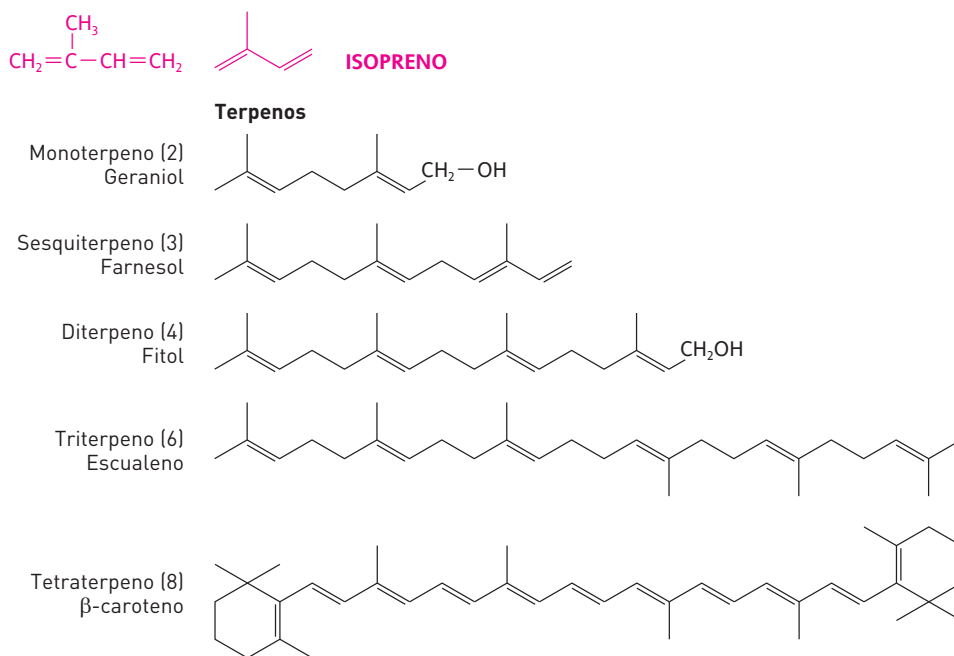
Uso clínico de terpenos

Los terpenos son los principales constituyentes de los aceites esenciales presentes en muchas plantas son usados como aditivos en la industria alimentaria, y para hacer fragancias en perfumería, en aromaterapia y en medicina natural. Algunos ejemplos de terpenos y su uso clínico son los siguientes:

- **Eucaliptol:** se obtiene a partir del eucalipto. Utilizado como antiséptico y desinfectante. También tiene actividad expectorante y antiinflamatoria.
- **Carvacrol:** presente en el orégano y el tomillo. Efecto antibacteriano y antiinflamatorio.

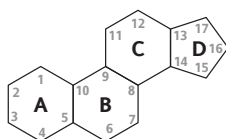
- **Eugenol:** presente en muchas especias, como en la esencia del clavo. Es un potente bactericida y anestésico. Se emplea en odontología.
- **Mentol:** se encuentra en los aceites de menta. Se utiliza ampliamente en chicles y caramelos, pastas dentífricas, enjuagues bucales, cremas, inhaladores o ungüentos para tratar la congestión nasal, etc. Tiene un efecto refrescante sobre las mucosas, así como propiedades antipruriginosas y anti-sépticas.

Figura 3-9. Estructura del isopreno y ejemplos de terpenos. Los terpenos se forman por la unión de unidades de isopreno. La mayoría son de origen vegetal. El β -caroteno es el precursor de la vitamina A.



CONCEPTOS CLAVE

- El **colesterol** es el principal precursor de los distintos tipos de esteroides.
- Los **ácidos biliares** actúan como emulsionantes naturales.



Ciclopentanoperhidrofenantreno

Figura 3-10. Estructura del ciclopentanoperhidrofenantreno.

Esteroides: colesterol y sus derivados

Estos lípidos derivan de una estructura rígida y casi plana llamada **ciclopentanoperhidrofenantreno** (Fig. 3-10).

Los esteroides se encuentran presentes en la mayoría de las células eucariotas. Difieren unos de otros en el número y posición de los dobles enlaces, localización de sustituyentes, etc. Destacan los siguientes:

- **Colesterol:** es el principal esteroide en los tejidos animales. Es anfipático, con una parte polar ($-\text{OH}$ en el C-3) y una parte no polar (núcleo esteroideo y cadena lateral del C-17 con ocho átomos de C) (Fig. 3-11). Se encuentra en las membranas de células animales y constituye típicamente del 30 al 40 % de los lípidos de membrana. En los mamíferos es el precursor metabólico de otros esteroides como hormonas y ácidos biliares. Si se esterifica con ácidos grasos se convierte en no polar. El **recuadro 3-6** se ocupa de las consecuencias de la acumulación del colesterol en las paredes de los vasos sanguíneos.
- **Ácidos biliares:** actúan como detergentes en el intestino, emulsionando las grasas de la dieta para hacerlas más accesibles a las enzimas digestivas. Son más solubles que el colesterol por tener varios grupos $-\text{OH}$ (Fig. 3-12).
- **Hormonas esteroideas:** se desplazan por la sangre unidas a proteínas transportadoras desde su sitio de producción a su tejido diana, donde entran en las células. En el núcleo se unen a proteínas receptoras y provocan

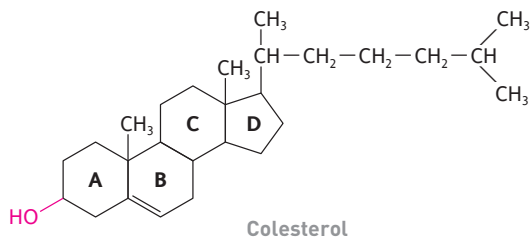


Figura 3-11. Fórmula estructural del colesterol.

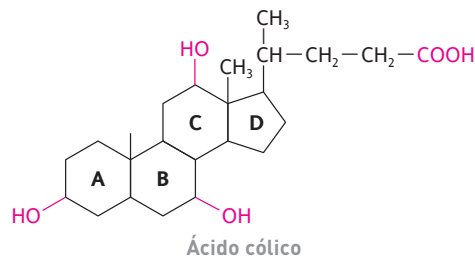


Figura 3-12. Estructura del ácido cólico, un ácido biliar.

Colesterol en sangre

El colesterol se transporta a través de la sangre dentro de lipoproteínas de distinta naturaleza. La mayor parte de este colesterol se encuentra esterificado con ácidos grasos, convirtiéndose en una molécula apolar.

Los niveles altos de colesterol en sangre pueden causar **aterosclerosis**. Esta patología se produce cuando se acumula colesterol y otras sustancias en las paredes de las arterias y se forman placas duras. Estas placas causan el estrecha-

miento de las arterias (estenosis) y pueden provocar la oclusión del vaso, impidiendo el flujo sanguíneo. Esto provoca, entre otros, accidentes cardiovasculares y cerebrovasculares, así como cardiopatías.

En el capítulo 13 se trata en mayor detalle la influencia de los niveles de las distintas lipoproteínas encargadas del transporte del colesterol en la aterosclerosis.

cambios en la expresión génica y el metabolismo. Dentro de este grupo se encuentran (Fig. 3-13):

- Los **glucocorticoides**, como el **cortisol**, que participan en el metabolismo de hidratos de carbono, proteínas y lípidos, e influyen en una amplia variedad de funciones vitales.
- La **aldosterona** y otros **mineralocorticoides**, que regulan la excreción de sal y agua por los riñones.
- Los **andrógenos** y los **estrógenos** (estradiol, testosterona), hormonas que influyen en el desarrollo y la función sexual.



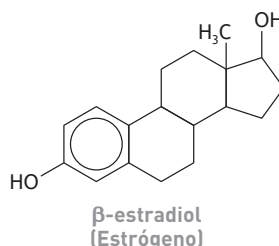
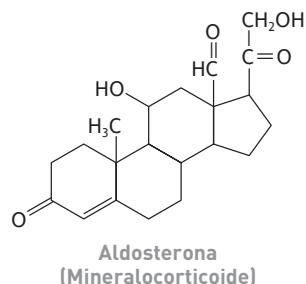
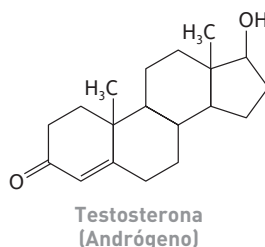
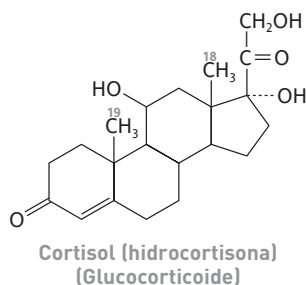
CONCEPTOS CLAVE

- Las **hormonas esteroideas** provienen de los esteroides y actúan como señales biológicas importantes, como las hormonas sexuales.

Eicosanoides: mensajeros entre células

Son compuestos que derivan de un ácido graso poliinsaturado de 20 carbonos, principalmente del ácido araquidónico ($20:4 \Delta^{5,8,11,14}$). Los producen la mayor parte de los tejidos de los mamíferos, pero sólo algunos vertebrados inferiores e invertebrados. Los eicosanoides tienden a actuar localmente, cerca de las células que los producen, y no son transportados por el torrente sanguíneo hasta su sitio de acción. Existen tres clases (Fig. 3-14):

- **Prostaglandinas:** su nombre procede de la glándula prostática, donde se aislaron por primera vez. Actúan en muchos tejidos regulando la síntesis del mensajero intracelular AMP cíclico. Como el AMPc interviene en la función de muchas hormonas, las prostaglandinas afectan a muchas funciones celulares y tisulares. Participan en la contracción del músculo liso



Actividad interactiva 3-3. Identificar los grupos funcionales de los esteroides.



Actividad interactiva 3-4. ¿Presentan isomería los esteroides?

Figura 3-13. Algunas hormonas esteroideas representativas.

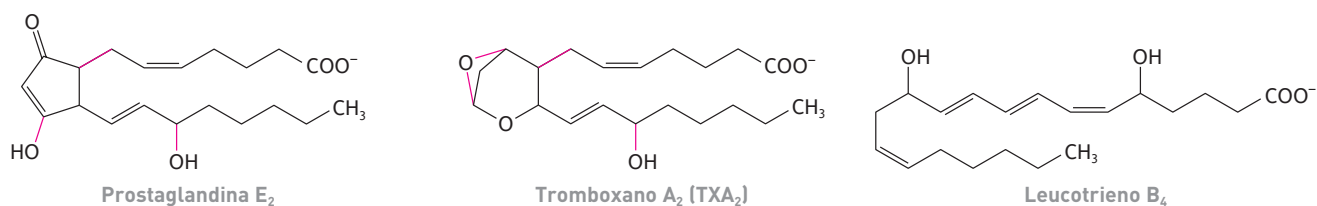


Figura 3-14. Estructuras de varios eicosanoides.



CONCEPTOS CLAVE

→ Las **prostaglandinas**, **tromboxanos** y **leucotrienos**, procedentes del ácido araquidónico, son hormonas extremadamente potentes.

del útero en el parto, el control del flujo sanguíneo a determinados órganos, la elevación de la temperatura corporal y la inflamación con su consiguiente dolor.

- **Tromboxanos:** los producen las plaquetas y actúan en la formación de coágulos sanguíneos y en la reducción del flujo sanguíneo hacia el sitio del coágulo. Estimulan la vasoconstricción y la agregación plaquetaria que facilita el inicio de la coagulación sanguínea.
- **Leucotrienos:** se aislaron en leucocitos. Son señales biológicas muy potentes. El LTD₄ induce la contracción del músculo que rodea las vías aéreas del pulmón. Un exceso de leucotrienos produce un ataque asmático. La fuerte contracción de los músculos lisos del pulmón que tiene lugar en el shock anafiláctico es parte de la reacción alérgica, potencialmente letal, en individuos hipersensibles a las picaduras de abeja, penicilina u otros agentes.

Los AINE (antiinflamatorios no esteroideos) son fármacos empleados para reducir los efectos de prostaglandinas y tromboxanos. El **recuadro 3-7** se ocupa de ellos.

VITAMINAS LIPOSOLUBLES

Las vitaminas son esenciales para el buen funcionamiento del organismo. No pueden ser sintetizadas por el ser humano y otros vertebrados, por lo que tienen que tomarse en la dieta. Las vitaminas liposolubles son las que se disuelven en grasas y aceites, y se consumen junto con alimentos que contienen grasa. Son las vitaminas A, D, E y K. Dos de ellas (D y A) son precursores hormonales. En la

Fármacos antiinflamatorios no esteroideos

Los **antiinflamatorios no esteroideos** (abreviado **AINE**) son un grupo variado de fármacos con actividad antiinflamatoria, analgésica y antitérmica, además de otros efectos. Por ello, reducen los síntomas de la inflamación, el dolor y la fiebre.

Estos fármacos ejercen sus efectos gracias a que son capaces de inhibir a enzimas que participan en la síntesis de prostaglandinas y tromboxanos (como la ciclooxigenasa). Como se explica en el capítulo, estos eicosanoides participan en procesos inflamatorios, con producción de dolor y elevación de la temperatura corporal.

Los antiinflamatorios naturales son derivados de corticoides, son esteroideos producidos por el propio organismo. Tienen una acción antiinflamatoria muy potente, pero con importantes y adversos efectos secundarios. Por ello, y en oposición a los corticoides, se aplica a los AINE el término «no esteroideo» para remarcar su estructura química no esteroidea y su menor cantidad de efectos secundarios.

Dentro de estos fármacos se incluyen el ácido acetilsalicílico (aspirina), el ibuprofeno o el naproxeno. El paracetamol se incluye también entre los AINE, a pesar de su poca acción antiinflamatoria.

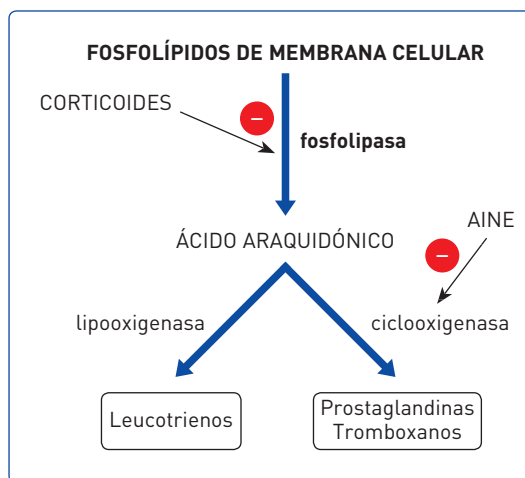


Tabla 3-3. Esquema resumen de las vitaminas liposolubles

Vitamina	Función	Fuente alimentaria	Déficit
Vitamina A	<ul style="list-style-type: none"> Mecanismo de la visión Protección de los tejidos epiteliales Crecimiento y desarrollo Antioxidante natural 	<ul style="list-style-type: none"> Mantequilla, leche, pescados, huevos Verduras, frutas, hortalizas de colores (β-caroteno) 	<ul style="list-style-type: none"> Ceguera nocturna, lesión en la córnea Daños en el tubo digestivo y aparato respiratorio Mayor riesgo de infecciones
Vitamina D	<ul style="list-style-type: none"> Metabolismo del calcio y el fósforo 	<ul style="list-style-type: none"> Lácteos y derivados Atún, hígado, cereales 	<ul style="list-style-type: none"> Raquitismo (niños): deformaciones en el esqueleto, crecimiento retrasado Osteomalacia (adultos): huesos blandos y curvados Osteoporosis
Vitamina E	<ul style="list-style-type: none"> Antioxidante natural Estabilización de las membranas celulares, protege los ácidos grasos 	<ul style="list-style-type: none"> Aceites vegetales Huevos Germen de trigo 	<ul style="list-style-type: none"> Inhibición de la producción de esperma Lesiones en músculos y nervios Rara en humanos
Vitamina K	<ul style="list-style-type: none"> Coagulación sanguínea 	<ul style="list-style-type: none"> Ampliamente distribuida (hojas de las plantas verdes) Síntesis endógena 	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de la coagulación. Hemorragias

Tabla 3-3 se presenta un esquema resumen con las principales características de las vitaminas liposolubles.

Vitamina A (retinol)

Funciona como hormona y como pigmento visual de los ojos de los vertebrados (Fig. 3-15). El ácido retinoico, derivado de la vitamina A, actúa a través de proteínas receptoras en el núcleo celular y regula la expresión génica en el desarrollo del tejido epitelial.

Otro derivado es el retinal, que es el pigmento encargado de iniciar la respuesta a la luz de los bastones y conos de la retina, produciendo una señal neuronal hacia el cerebro. Es esencial para la visión al incorporarse a la opsina para dar rodopsina (pigmento visual). Algunas fuentes son el aceite de hígado de pescado, hígado, huevos, leche entera o mantequilla. En los vertebrados, el β -caroteno (véase Fig. 3-9), pigmento que confiere a las zanahorias y otras hortalizas amarillas su color, se puede convertir enzimáticamente en vitamina A. La carencia de esta vitamina produce diversos síntomas en el ser humano, como ceguera nocturna, sequedad de la piel, los ojos y las membranas mucosas, así como retraso en el desarrollo y en el crecimiento.

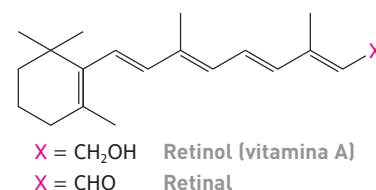
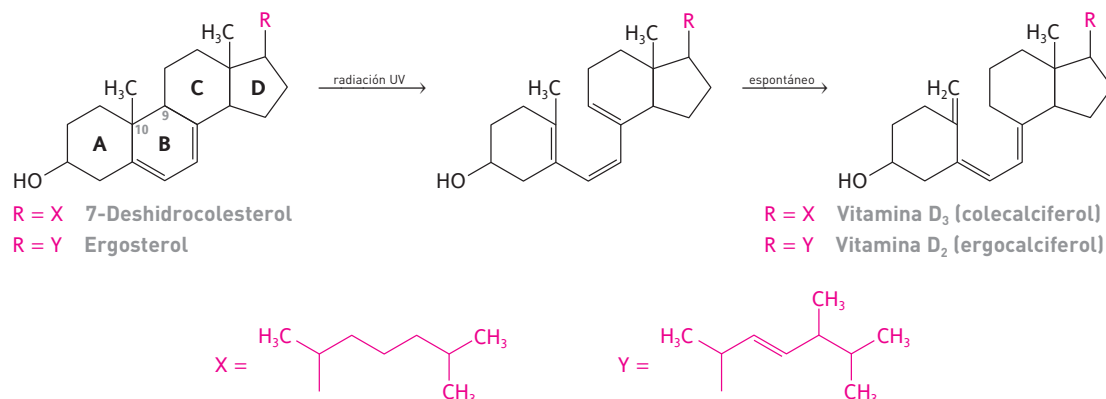


Figura 3-15. Vitamina A. Se identifica la estructura del retinol (alcohol) y del retinal (aldehído).

Vitamina D

Las diversas formas de vitamina D son derivados de esteroides. La **vitamina D₂** (**ergocalciferol**) se produce de forma no enzimática en la piel de los animales

Figura 3-16. Proceso de formación de las vitaminas D₃ y D₂. La vitamina D₃ [colecalfiferol] se forma mediante la acción de la luz ultravioleta sobre el ergosterol, mientras que la vitamina D₂ [ergocalciferol] deriva de manera similar del 7-desidrocolesterol. Ambas son inactivas.



mediante la acción fotolítica de la luz ultravioleta sobre el esteroide vegetal ergosterol, mientras que la **vitamina D₃** (colecalfiferol), estrechamente relacionada, se produce en la piel a partir del 7-desidrocolesterol mediante una reacción fotoquímica desencadenada por la luz solar (Fig. 3-16).

Las vitaminas D₂ y D₃ no son biológicamente activas, pero ciertas enzimas del hígado y los riñones las convierten en **1,25-dihidroxicolecalciferol**, que es la forma de la vitamina D activa (Fig. 3-17). Esta vitamina aumenta la concentración de Ca²⁺ sérico, lo que promueve la absorción intestinal del Ca²⁺ de la dieta y, en consecuencia, su depósito en huesos y dientes.

Entre las fuentes de vitamina D destacan la yema de huevo, el atún, el hígado y los cereales, así como los suplementos añadidos a leche y mantequilla.

La deficiencia de vitamina D conduce a la formación defectuosa de los huesos propia del **raquitismo**, una enfermedad caracterizada por una disminución en el crecimiento y la deformación de los huesos, consecuencia de una mineralización ósea insuficiente.

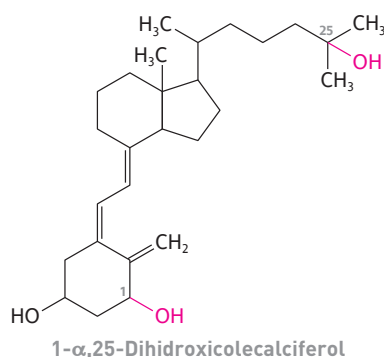


Figura 3-17. Molécula de la vitamina D activa: 1,25-dihidroxicolecalciferol.

Vitamina E

Dentro de este término se incluye un grupo de lípidos estrechamente relacionados, entre los cuales el más abundante es el **α-tocoferol** (Fig. 3-18). Los tocoferoles son antioxidantes biológicos, al ser capaces de reaccionar con las formas más reactivas del oxígeno y otros radicales libres. Éstos pueden atacar a los ácidos grasos insaturados presentes en los lípidos de membrana oxidándolos, lo que conlleva fragilidad celular. Los tocoferoles se encuentran en los huevos, los aceites vegetales y el germen de trigo. Su carencia en animales de laboratorio ocasiona piel escamosa, debilidad muscular, pérdida de peso y esterilidad. En los seres humanos la deficiencia de esta vitamina es rara.

La vitamina E suele añadirse en forma de suplemento alimenticio, lo que se fundamenta en la hipótesis de que protege a las células contra el daño oxidativo y, de esta forma, reduce los efectos del envejecimiento.

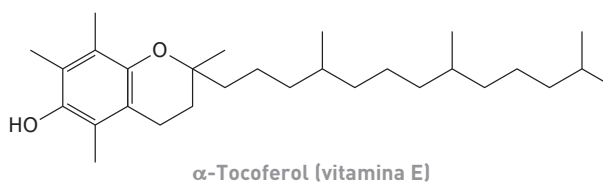


Figura 3-18. Molécula de la vitamina E.



CONCEPTOS CLAVE

→ Las **vitaminas A, D, E y K** son compuestos liposolubles que desempeñan papeles fundamentales en el metabolismo y la fisiología de los animales.

TABLA RESUMEN

CLASIFICACIÓN DE LOS LÍPIDOS			FUNCIÓN
Lípidos saponificables	Acilglicéridos	Monoglicérido	Reserva energética
		Diglicérido	
		Triglicérido	
	Fosfoglicéridos		Estructural: forma parte de las membranas
	Esfingolípidos	Esfingomielina	Función de señalización
		Glucolípidos	
Lípidos insaponificables	Ceras		Protección
	Terpenos		Función variada: pigmentos, hormonas y agentes defensivos
	Esteroides	Colesterol	Precursor de moléculas; constituyente de membranas
		Ácidos biliares	Función emulsionante
		Hormonas esteroideas	Función de señalización
	Eicosanoides	Prostaglandinas	
		Tromboxanos	
		Leucotrienos	

EJERCICIOS

- 3-1.** Una sustancia M se aísla de membranas celulares, se trata con una enzima que rompe enlaces éster y da lugar a varios productos: dos moléculas denominadas A que son anfipáticas y forman micelas; otra molécula de tres carbonos denominada B que es polar; un ácido fosfórico y un alcohol con carga positiva a pH 7. Identificar qué molécula es M?

SOLUCIÓN

La molécula M debe tener varios enlaces tipo éster, ya que sólo con el tratamiento de una enzima se obtienen cinco moléculas. De los lípidos de la membrana solo los fosfoglicéridos llevan varios enlaces éster.

La molécula M es un fosfoglicérido, queda claro que:

- Las moléculas A serán los ácidos grasos, son anfipáticos y forman micelas.
- B será el glicerol ya que es una molécula de tres carbonos y es polar debido a sus grupos OH.
- El fosfórico se separa por la actuación de la enzima ya que estaba unido por enlaces éster a este glicerol y al alcohol mediante enlace éster.
- El alcohol con carga positiva podrá ser una colina o una etanolamina, que son los únicos alcoholes con una carga positiva presente en los fosfoglicéridos.

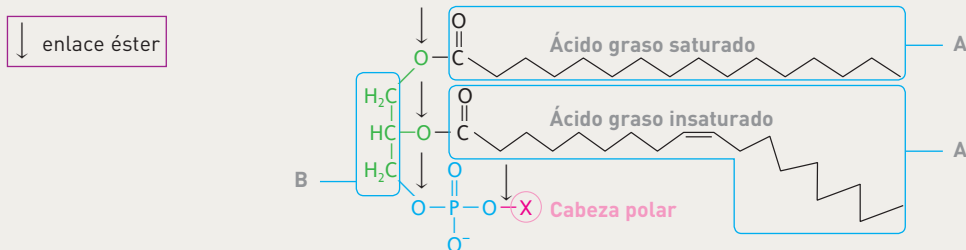
HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE



(Continúa en página siguiente)

EJERCICIOS (Continuación)

La molécula M es entonces una fosfatidiletanolamina o fosfatidilcolina.



Más ejercicios



PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

3-1. Indique cuál de las siguientes afirmaciones referidas a los esfingolípidos es cierta:

- ☐ a Los cerebrósidos y los gangliósidos son esfingolípidos.
- ☐ b Están formados por glicerol y ácidos grasos.
- ☐ c Contienen dos ácidos grasos esterificados.
- ☐ d Pueden presentar carga, pero no son moléculas anfipáticas.

3-2. Indique cuál de las siguientes moléculas no deriva del colesterol:

- ☐ a Ácido araquidónico.
- ☐ b Ácidos biliares.
- ☐ c Aldosterona.
- ☐ d Cortisol.

3-3. La esfingosina **no** es un componente de:

- ☐ a Ácido fosfatídico.
- ☐ b Ceramida.
- ☐ c Gangliósido.
- ☐ d Cerebrósido.

3-4. Indique cuál de los siguientes ácidos grasos tendrá menor punto de fusión:

- ☐ a 20:0
- ☐ b 20:3 $\Delta^{9,12,15}$
- ☐ c 18:0
- ☐ d 18:1 Δ^9

Más preguntas



ACTIVIDADES INTERACTIVAS

3-1. A partir de las siguientes moléculas dibujar la reacción de esterificación, saponificación e hidrólisis.

3-2. Construir los posibles fosfoglicéridos a partir de los diferentes alcoholes representados en esta figura.

3-3. Identificar los grupos funcionales de los esteroides.

3-4. ¿Presentan isomería los esteroides?

3-5. Identificar las regiones polares y apolares de diferentes moléculas.

3-6. A partir de las siguientes moléculas construir todos los lípidos saponificables posibles: glicerol, ácido oleico, ácido palmítico, fosfato, galactosa y esfingosina.

3-7. Después del tratamiento de un lípido problema con diferentes enzimas, identificar de qué lípido se trata y cómo se ha llegado a esta conclusión.

FAQS

Escuchar las respuestas en el audio.

3-1. ¿Cuándo una sustancia se considera anfipática?

3-2. ¿Cómo pueden tener funciones biológicas tan diferentes un triacilglicérido y un fosfoglicérido si ambos contienen ácidos grasos y glicerol?

3-3. ¿Por qué son los lípidos las moléculas con mayor contenido energético de la célula?

VÍDEOS

3-1. ¿A qué se debe que dos moléculas tan parecidas como el ácido esteárico y el ácido oleico presenten puntos de fusión tan diferentes?

3-2. ¿Por qué la grasa bovina tiene mayor punto de fusión que el aceite de oliva y la mantequilla?