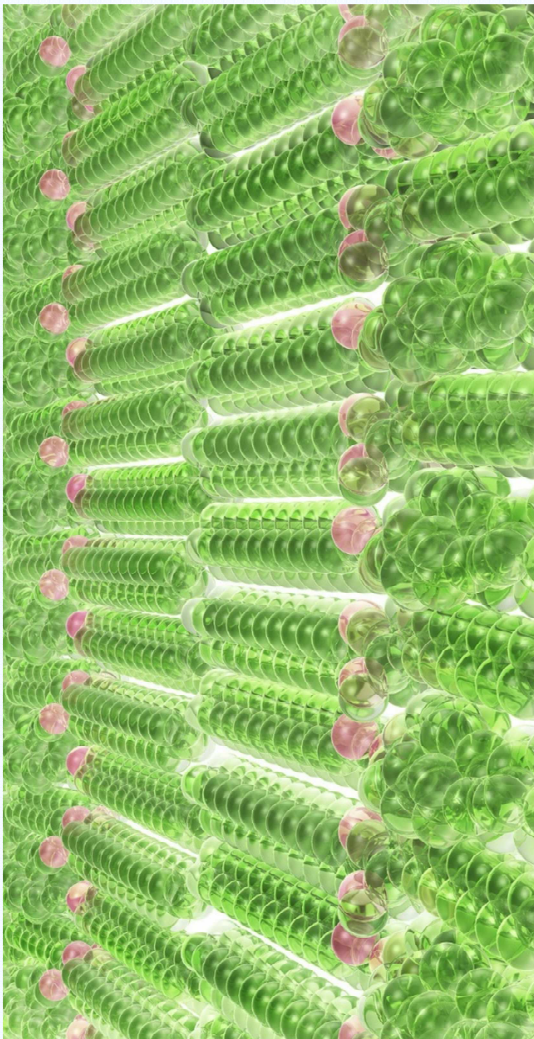


# 4

## Lípidos



- 1. LOS LÍPIDOS SON QUÍMICAMENTE DIVERSOS**  
Los lípidos pueden ser saponificables o insaponificables
- 2. LOS ÁCIDOS GRASOS TIENEN LARGAS CADENAS HIDROCARBONADAS**  
Los ácidos grasos son anfipáticos  
Su punto de fusión depende de la longitud y el grado de insaturación
- 3. HAY LÍPIDOS SAPONIFICABLES SIMPLES**  
Los glicéridos son los lípidos más sencillos  
Las grasas son compuestos muy energéticos  
Las ceras llevan monoalcoholes de cadena larga
- 4. OTROS LÍPIDOS SAPONIFICABLES SON COMPLEJOS**  
Los fosfolípidos son componentes de las membranas  
El aminoalcohol de los esfingolípidos es la esfingosina  
Las prostaglandinas son hormonas de efectos locales
- 5. TAMBIEN HAY LÍPIDOS INSAPONIFICABLES**  
Los terpenos derivan del isopreno  
Los esteroides tienen anillos rígidos
- 6. LOS LÍPIDOS REALIZAN DIVERSAS FUNCIONES**

Ordenación de moléculas de lípidos en la córnea. Ver <http://ki.se/en/cmb/lars-norlens-group>

## DÓNDE BUSCAR INFORMACIÓN



### **Bibliografía y páginas web**

- Castaños, E. Lidia con la química  
<https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/biomoleculas/>
- Nelson DL y Cox MM. Dpto. Bioquímica. Universidad Nacional de México.  
<http://laguna.fmedic.unam.mx/lenpres/>
- Profesor Pere. Apuntes de Biología  
[http://www.geocities.ws/batxillerat\\_biologia/lipids.htm](http://www.geocities.ws/batxillerat_biologia/lipids.htm)
- Sancho López, P. 2013. Bioquímica  
[http://www3.uah.es/bioquimica/Sancho/farmacia/temas/tema-11-12\\_lipidos.pdf](http://www3.uah.es/bioquimica/Sancho/farmacia/temas/tema-11-12_lipidos.pdf)



### **Noticias curiosas**

- Relación entre colesterol y Alzheimer. Elevar la tasa de colesterol en neuronas del hipocampo ayuda a luchar contra el Alzheimer  
<http://www.muyinteresante.es/salud/articulo/vinculan-el-colesterol-cerebral-bajo-y-deficits-cognitivos-como-el-alzheimer-411407152787>
- Relación entre lípidos y cáncer. Las células cancerosas producen y utilizan una gran cantidad de lípidos y los metabolizan de manera diferente que las células normales. Si se evita su procesamiento con los enzimas adecuados se puede limitar el desarrollo del cáncer  
<http://www.abc.es/salud/noticias/20130827/abci-lipidos-claves-tratamiento-cancer-201311291149.html>
- En la misma línea se ha descubierto la relación entre la proteína CD36 y la presencia de lípidos en las células tumorales, en relación al desarrollo de metástasis en el cáncer.  
<http://www.nature.com/nature/journal/vaop/ncurrent/full/nature20791.html>
- El ácido docosahexaenoico (DHA) es un ácido omega-3, se ha demostrado que protege a los pulmones de la sílice cristalina, un compuesto que los daña gravemente y que puede desencadenar lupus o cáncer de pulmón  
<http://www.muyinteresante.es/salud/articulo/los-acidos-grasos-omega-3-previenen-el-lupus-171476088016>

## OBJETIVOS

1. Conocer la composición química y funciones generales de los lípidos.
2. Clasificar los lípidos según su composición en saponificables e insaponificables.
3. Explicar la estructura de la molécula de un ácido graso y deducir sus propiedades químicas.
4. Diferenciar los dobles enlaces cis y trans
5. Describir el enlace éster como característico de los lípidos.
6. Diferenciar los procesos de esterificación, hidrólisis y saponificación (jabones).
7. Recordar la importancia del carácter anfipático en la estructura y fluidez de la membrana.
8. Conocer los principales tipos de lípidos y diferenciarlos entre si
9. Reconocer las fórmulas desarrolladas de los principales lípidos
10. Describir las funciones más importantes de los lípidos en base a su estructura química

## CONCEPTOS CLAVE

*aceite, 13*

*ácido fosfatídico, 14*

*acilglicérido, 7*

*anfipático, 9*

*bicapa, 10*

*cadena*

*hidrocarbonada, 5*

*ceramida, 16*

*cera, 7*

*cerebrósido, 17*

*ciclopentanoperhidrof  
enantreno*

*cis y trans, 8*

*colesterol, 22*

*esfingofosfolípido,  
17*

*esfingolípido, 7*

*esfingomielina, 17*

*esfingosina, 15*

*esterano, 22*

*esteroide, 7*

*fosfolípido, 7*

*gangliósido, 17*

*insaponificable, 6*

*insaturado, 8*

*isopreno, 19*

*isoprenoide, 7*

*liposoma, 10*

*micela, 10*

*prostaglandina, 19*

*saturado, 7*

*sustancias apolares, 6*

*terpeno, 7*

*Van der Waals, 6*

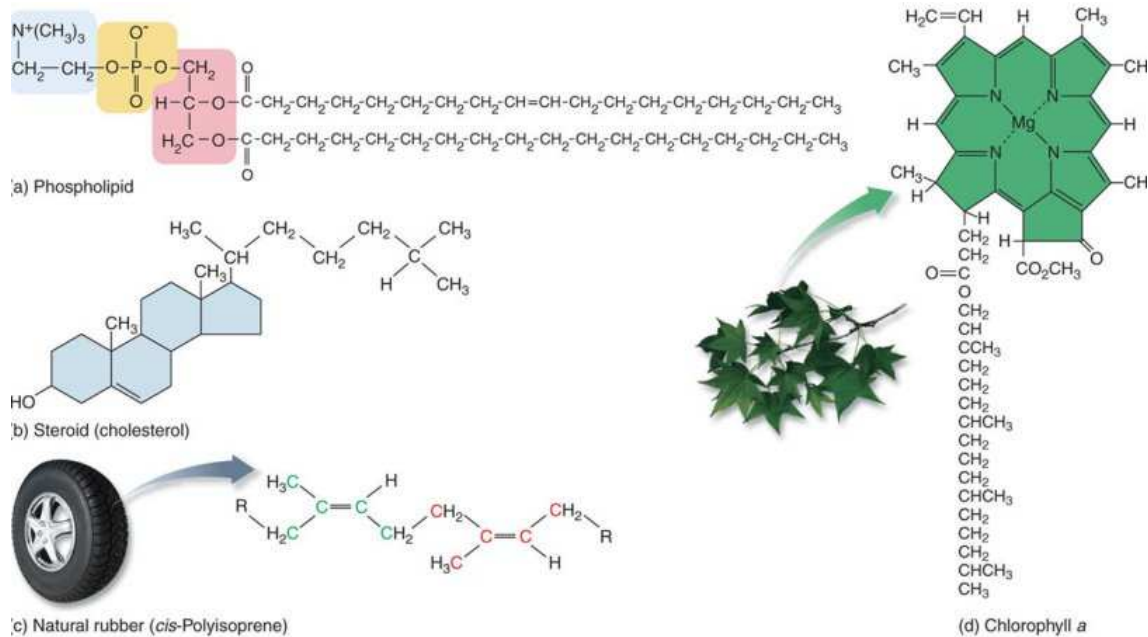


Figura 4.1. Ejemplos de lípidos para mostrar su diversidad química. Fuente:

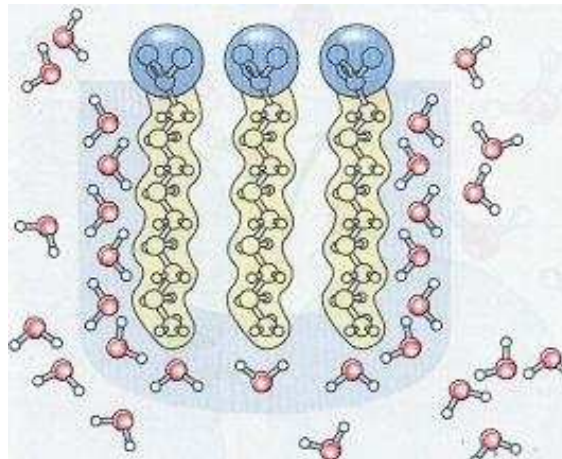
## 4.1 LOS LÍPIDOS SON QUÍMICAMENTE DIVERSOS

Los **lípidos** son biomoléculas orgánicas con **largas cadenas** hidrocarbonadas que incluyen sustancias muy **diferentes**, tanto desde el punto de vista funcional (energética, aislante, estructural, vitaminas, hormonas...) como estructural pues presentan estructuras químicas bastante diversas

Químicamente los lípidos están constituidos por C, H y O (igual que glúcidos) y en múltiples ocasiones también P y N. A diferencia de los glúcidos, la cantidad de O en estos compuestos es muy inferior en proporción a la cantidad de C e H, circunstancia que determina sus propiedades (insolubilidad o **poca solubilidad** en agua) y los diferencia de otros compuestos orgánicos.

Una de las principales características que comparten todos los lípidos es que son escasamente solubles en agua y son solubles en **disolventes apolares** orgánicos como éter, cloroformo, o benceno. Esto es debido a que su estructura química es fundamentalmente hidrocarbonada, con gran cantidad de enlaces C-H y C-C. El agua, al ser una molécula polar que tiene facilidad para formar puentes de hidrógeno (N-H, O-H), no es capaz de interactuar con estas moléculas. En presencia de moléculas lipídicas, el agua adopta en torno a ellas una estructura muy ordenada que maximiza las interacciones entre las propias moléculas de agua, de modo que las moléculas lipídicas se unen entre sí para evitar lo máximo posible el contacto con el agua y reducen su movilidad.

En consecuencia los lípidos no se disuelven en agua, son muy **ligeros** y menos densos que el agua y flotan sobre ella.



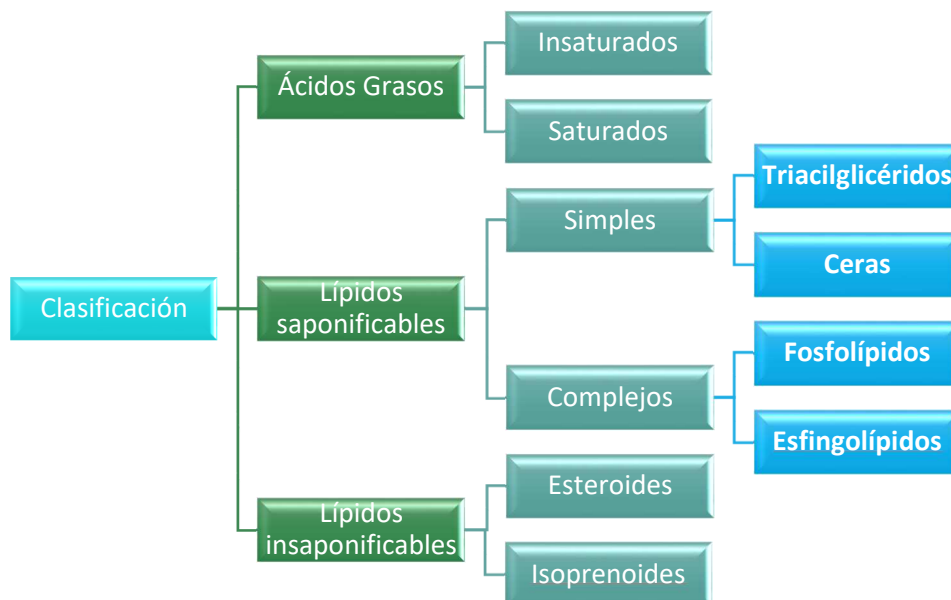
**Figura 4.2.** Disposición de las moléculas lipídicas en el agua

La unión de unas moléculas lipídicas con otras se realiza mediante **fuerzas de Van der Waals**, que son interacciones hidrófobas (ver [Tema 3](#)) entre grupos  $-CH_2-$  de sus cadenas hidrocarbonadas. Estos mismos enlaces sirven para que se unan también a otras moléculas hidrófobas (sustancias apolares), y por tanto se pueden disolver en ellas.

### Los lípidos pueden ser saponificables o insaponificables

En realidad los lípidos no son polímeros, la posible unidad es el **ácido graso**. Según tengan o no ácidos grasos los lípidos se clasifican en saponificables e insaponificables,

Los lípidos **saponificables** contienen en su molécula ácidos grasos, reciben este nombre porque al tener ácidos grasos puedan dar lugar a jabones.



**Figura 4.3.** Clasificación de los lípidos

Los lípidos **saponificables** pueden ser moléculas simples, si están formados únicamente por C, H y O, o más complejas, cuando contienen otros bioelementos como el P, o moléculas no lipídicas, tipo glúcidos. Las **grasas** o acilglicéridos y las **ceras** son lípidos saponificables simples mientras que los fosfolípidos o fosfoglicéridos y los esfingolípidos son lípidos saponificables complejos; las prostaglandinas que derivan de los ácidos grasos también son lípidos saponificables.

Los lípidos **insaponificables**, no contienen ácidos grasos y por tanto no pueden formar jabones. La unidad teórica es el isopreno. En este grupo se incluyen los **terpenos** o isoprenoides y los **esteroides**.

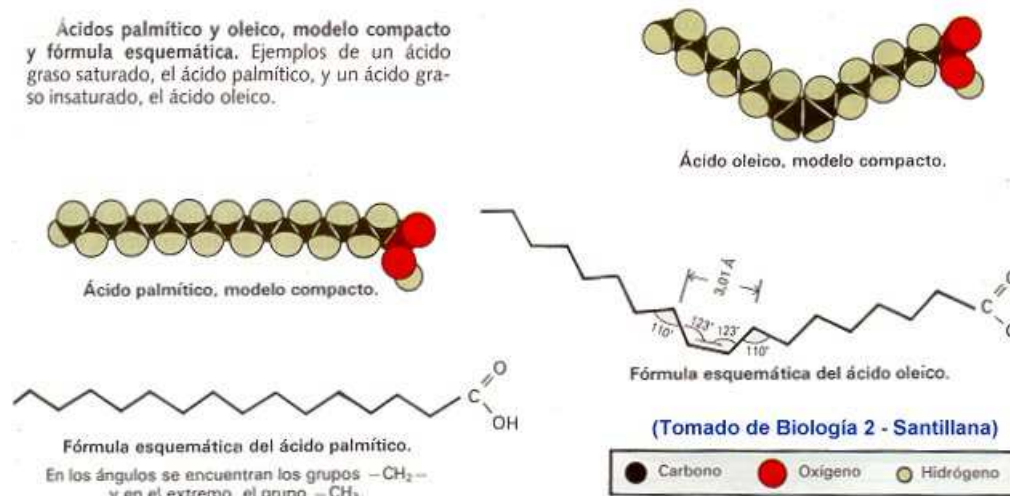
## 4.2

## LOS ÁCIDOS GRASOS TIENEN LARGAS CADENAS HIDROCARBONADAS

Los **ácidos grasos** son ácidos carboxílicos de cadena lineal larga, con un **número par** de átomos de carbonos, siendo n entre 12 y 24, siendo los más comunes los que contienen entre 16 y 18 C. La fórmula general es  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$ , siendo n un número par. En la **Tabla 4.1** aparece la lista de los ácidos grasos más comunes con su fórmula y temperatura de fusión.

Los ácidos grasos no existen libres en la naturaleza como tales, sino que forman parte de moléculas de lípidos. Generalmente se diferencian por la presencia o ausencia de dobles enlaces en la cadena hidrocarbonada, clasificándose en saturados e insaturados.

Los ácidos grasos **saturados** no contienen dobles enlaces en su cadena hidrocarbonada, tienen temperaturas de fusión elevadas, por eso son sólidos a temperatura ambiente. Abundan en las grasas animales (nata de la leche, manteca de cerdo, tocino...) aunque el palmítico, por ejemplo, es un ácido graso saturado sólido de origen vegetal. Los más conocidos son el palmítico (16C) y el esteárico (18C).



**Figura 4.4.** Estructura de ácidos grasos saturados e insaturados. Fuente:

<http://www.um.es/molecula/lipi01.htm>

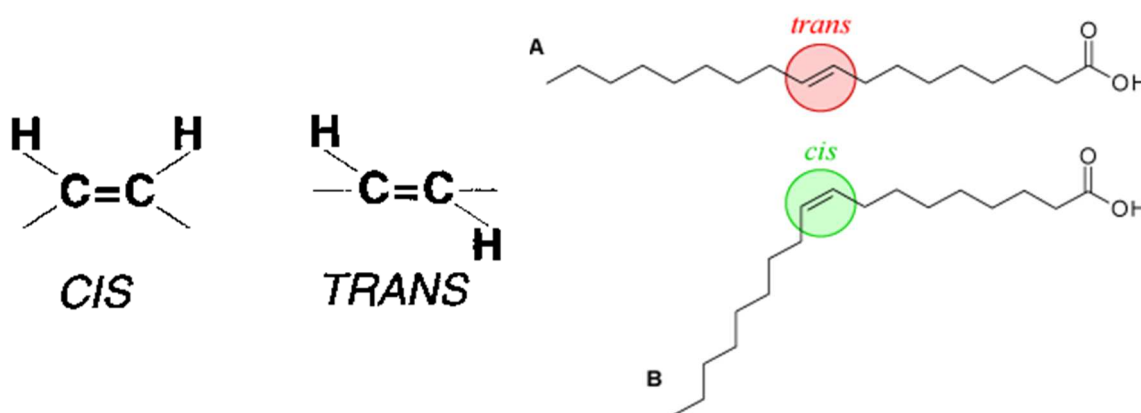
**Tabla 4.1. Ácidos grasos más importantes**

Nombre	Símbolo	Formula molecular	Tª fusión
Láurico	12:0	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> -COOH	44'2
Mirístico	14:0	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> -COOH	53'9
Palmítico	16:0	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> -COOH	63'1
Esteárico	18:0	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> -COOH	69'6
Araquídico	20:0	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>18</sub> -COOH	76'5
Behénico	22:0	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>20</sub> -COOH	80'0
Lignocérico	24:0	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>22</sub> -COOH	86'0
Oleico	18:1 <sup>9</sup>	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -CH=CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -COOH	13'4
Linoleico	18:2 <sup>9,12</sup>	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> -(CH=CH-CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> -COOH	-5
Linolénico	18:3 <sup>9,12,15</sup>	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -(CH=CH-CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> -COOH	-11
Araquidónico	20:4 <sup>5,8,11,14</sup>	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> -(CH=CH-CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -COOH	-49'5

En símbolo, el primer nº representa el nº de C de la cadena, y el segundo nº las insaturaciones. La posición de estas se indica con exponentes separados por comas

Los ácidos grasos **insaturados** presentan uno o más dobles enlaces en su cadena hidrocarbonada, siendo monoinsaturados y poliinsaturados respectivamente. Su temperatura de fusión es más baja por lo que suelen ser líquidos a temperatura ambiente y son abundantes en sustancias grasas de origen vegetal. Como ej., el ácido oleico del aceite de oliva.

En los ácidos grasos la posición del doble enlace puede ir en **cis** o en **trans**: un ácido graso insaturado es cis, si posee los grupos H en el mismo lado del doble enlace; y es trans si los H se disponen uno a cada lado del doble enlace.



**Figura 4.5.** Enlaces cis y trans en los ácidos grasos insaturados

La geometría de las moléculas es diferente, en la posición *cis* la molécula está doblada, mientras que en posición *trans* no hay impedimentos y es recta. Por tanto influye en el empaquetamiento y como veremos a continuación en el punto de fusión del compuesto. Los dobles enlaces *cis* son propios de los lípidos obtenidos de manera natural, los *trans* se obtienen artificialmente.

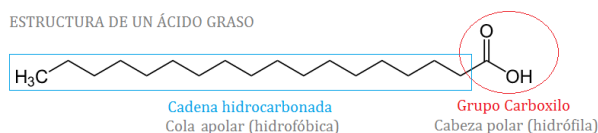
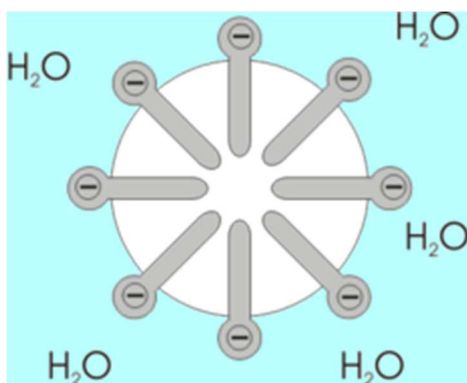
### Los ácidos grasos son anfipáticos

Los ácidos grasos no son totalmente insolubles en agua, son moléculas **anfipático**, un término que viene del griego *anfi* = ambas y *pathos* = sentimiento, y que significa que en su estructura molecular hay una parte polar hidrófila y otra apolar hidrófoba. La zona polar hidrófilo se corresponde con el grupo carboxilo (-COOH), es la parte llamada *cabeza*, que puede establecer enlaces intermoleculares por puente de H con el agua u otras moléculas polares. La zona apolar hidrófoba es la cadena hidrocarbonada más o menos larga, llamada *cola*, que es atraída débilmente, por fuerzas de Van der Waals, por otras cadenas hidrocarbonadas de ácidos grasos adyacentes. La insolubilidad en agua aumenta con la longitud de la cadena debido a que la parte apolar y la cantidad de enlaces por fuerzas de Van der Waals que se establecen son mayores. Los ácidos grasos de 4 o 6 carbonos son solubles en agua, ya que el grupo carboxilo es polar (soluble en agua), pero a partir de 8 carbonos son prácticamente insolubles en agua.

### Su punto de fusión depende de la longitud y el grado de insaturación

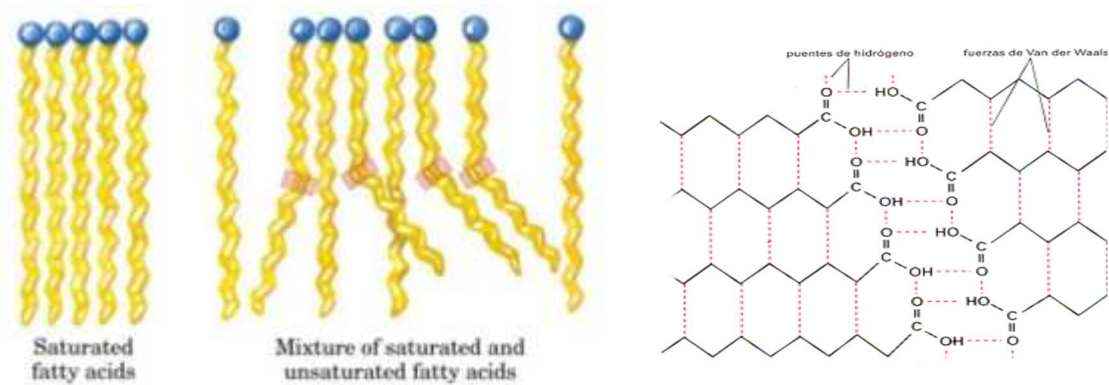
El **grado de insaturación** y la **longitud** de las colas hidrocarbonadas determinan el punto de **fusión**. El punto de fusión aumenta con la longitud de la cadena ya que las interacciones de Van der Waals con otras cadenas se incrementan. Sin embargo, la presencia de dobles enlaces origina giros en las moléculas que suponen una disminución del punto de fusión al reducir el número de interacciones de Van der Waals con las otras cadenas.

Los dobles enlaces producen inclinaciones en la cadena, que al no ser recta no puede unirse por fuerzas de van der Waals a otras cadena de forma eficaz, y por esta causa baja su temperatura de fusión.



**Figura 4.6.** Orientación de las cabezas y colas de lípidos saponificables en agua. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Mol%C3%A9cula\\_anfif%C3%ADlica](https://es.wikipedia.org/wiki/Mol%C3%A9cula_anfif%C3%ADlica) y <https://lidiacnlaquimica.wordpress.com/tag/acidos-grasos/>

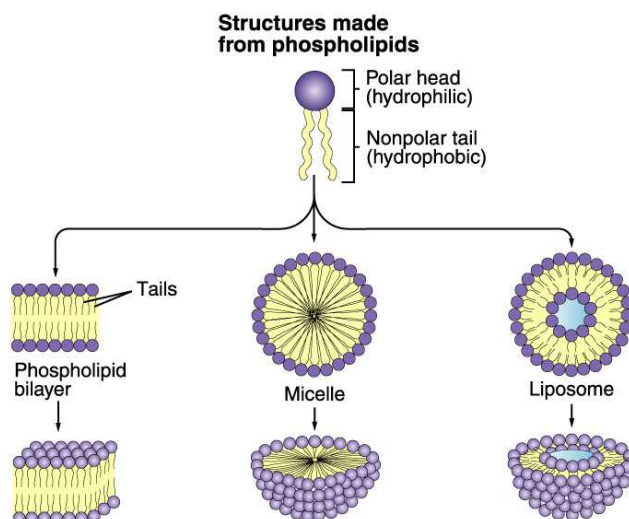




**Figura 4.7.** Disposición de las cadenas de las moléculas lipídicas y punto de fusión. A la izqda., los ácidos grasos saturados están fuertemente empaquetados, los insaturados no. A la drcha., detalle de las atracciones entre moléculas. Fuente: <http://es.slideshare.net/Jlaral/lipidos-29053580> y [Santillana 2º bach](#)

Por ser anfipáticos, los ácidos grasos (y los lípidos saponificables, por extensión) pueden formar en disolución acuosa **monocapas** superficiales, bicapas o micelas (**Fig. 4.8**), ya que se disponen orientadas con el grupo hidrófilo dirigido hacia el agua, mientras que la región hidrófoba se aleja de ella, adoptando siempre la forma más estable.

En el laboratorio, a partir de una suspensión de fosfolípidos, se han obtenido unas formaciones vesiculares, formadas por **bicapas** enrolladas sobre sí mismas llamadas liposomas. Gracias a que su interior es hidrófilo (al contrario que el interior de las **micelas**), en ellas se pueden introducir diversas sustancias para incorporarlas a las células (medicamentos, cosméticos e, incluso, genes).



**Figura 4.8.** Bicapas, micelas y liposomas de lípidos saponificables

Algunos ácidos grasos **poliinsaturados** son **esenciales**, es decir, nuestro cuerpo no puede sintetizarlos, dado que la maquinaria celular es incapaz de colocar dobles enlaces en dichas posiciones, por lo que debemos ingerirlos en la dieta. Los ácidos grasos esenciales más conocidos son el linoleico (omega-6) y  $\alpha$ -linolénico (omega-3), de origen vegetal; y el araquidónico (omega-6), de origen animal, que se encuentra en la carne y huevos. Estos ácidos grasos son importantes para la **síntesis** de **prostaglandinas**, que veremos más adelante. La denominación en omega empieza por el final, pues omega ( $\Omega$ ) es la última letra del alfabeto griego. Por ej., un ácido omega-6 es el que presenta el primer doble enlace en el carbono 6 empezando a contar por el final de la cadena hidrocarbonada.

### 4.3 HAY LÍPIDOS SAPONIFICABLES SIMPLES

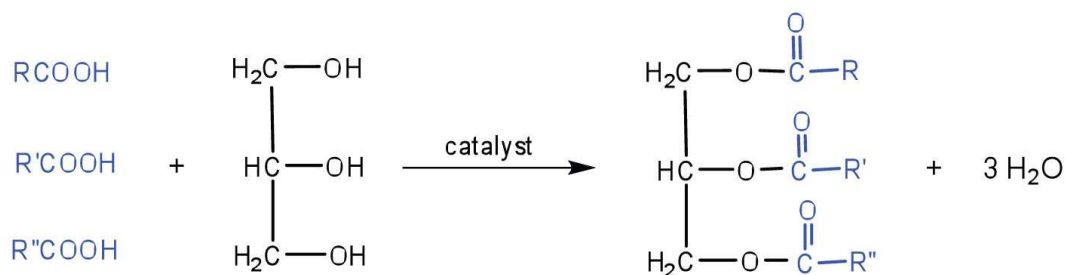
Todos los lípidos saponificables simples se forman por una reacción de esterificación de un alcohol con un ácido graso. La unión de cada  $-OH$  del ácido carboxílico al  $-OH$  del alcohol forma un enlace éster  $-O-CO-$  y se libera una molécula de agua.



**Figura 4.9.** Reacción de esterificación. Fuente: <http://grupoqog6.pbworks.com/w/page/16303274/Q u%C3%A9%20es%20el%20Biodiesel>

### Los glicéridos son los lípidos más sencillos

Para formar **glicéridos** se **esterifica** la **glicerina** (propanotriol) con 1, 2 o 3 ácidos grasos formándose un mono-, di- o triglicérido, respectivamente (o acilglicérido). La grasa se denomina simple si sólo hay un tipo de ácido graso en el acilglicérido, en cambio, cuando está formada por dos o tres ácidos grasos diferentes la grasa se denomina mixta. Los triglicéridos o triacilglicéridos son los más abundantes y se llaman a menudo **grasas neutras**, porque no queda libre ningún grupo hidroxilo de la glicerina, por tanto son apolares e insolubles en agua.

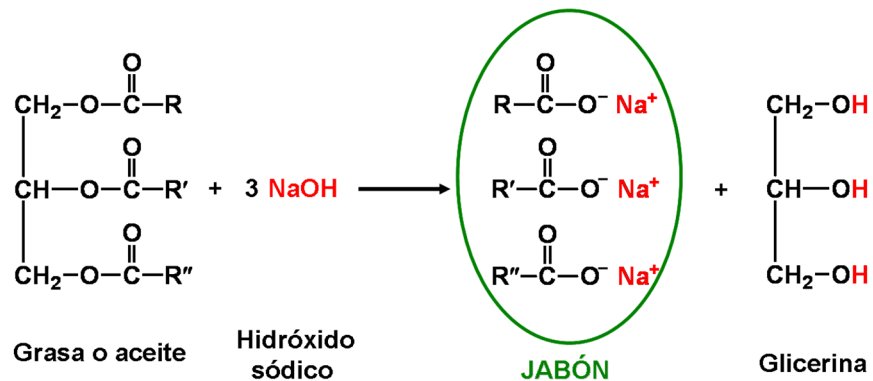


**Figura 4.10.** Formación de un triglicérido por esterificación

Los glicéridos, a temperatura ambiente, pueden ser líquidos o sólidos en función del tipo de ácido graso que contengan:

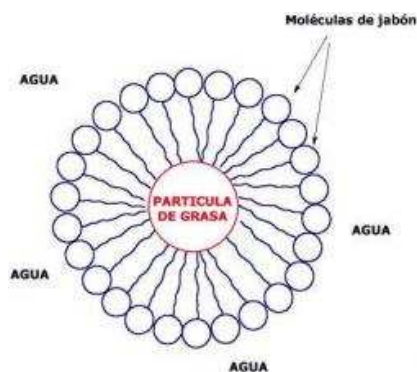
- Las líquidas son los **aceites** y contienen ácidos grasos insaturados. Principalmente, se encuentran en los frutos de algunas plantas, como en las aceitunas, y en las semillas, como en las del girasol.
- Las sólidas son los **sebos** y **mantecas** y contienen ácidos grasos saturados. Abundantes en los animales (grasas animales, mantequilla, etc.).

Las grasas son lípidos saponificables, por tanto de ellas se obtienen jabones. La reacción de saponificación no es exclusiva de los triacilglicéridos, sino en general de todos los lípidos saponificables, y se utiliza industrialmente para la fabricación de jabones. La reacción de **saponificación** se realiza en caliente, consiste en romper el enlace éster mediante hidrólisis alcalina al añadir una **base fuerte** (KOH o NaOH); el resultado es tres moléculas de **jabón**, que son la sal del ácido graso, y una molécula de glicerina.



**Figura 4.11.** Reacción de saponificación

Como se comentó antes, los ácidos grasos no existen libres, pero sí sus sales que son los jabones. Una molécula de jabón (**Fig. 4.12**) es una sustancia **anfipática** cuya cabeza polar (representada con un círculo) se une a otras sustancias polares como el agua y cuya cola apolar (representada con una línea irregular) atrae sustancias apolares como las grasas. De esta manera, el jabón lava porque las sustancias apolares son rodeadas por la parte apolar del jabón, y el agua, al arrastrar el jabón (se une a la parte polar del jabón), se lleva la suciedad.



**Figura 4.12.** El jabón como molécula anfipática.

En los animales la hidrólisis de las grasas es **enzimática** y se produce en el tubo digestivo mediante las lipasas que rompen los enlaces éster del triacilglicérido obteniéndose así tres ácidos grasos y una molécula de glicerina, pero no se forman jabones. Esta hidrólisis sirve para digerir las grasas ingeridas en la alimentación.

### Las grasas son compuestos muy energéticos

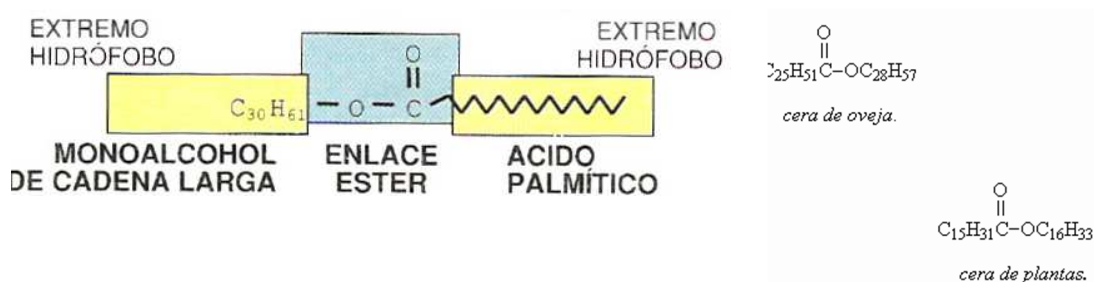
La principal función de los acilglicéridos es la de **reserva energética**, que supone 9 Kcal/g. Los animales almacenan la mayor parte de la energía en forma de grasas, que se acumulan en los adipocitos del tejido adiposo, porque, al ser más energéticas que los glúcidos (4 Kcal/g), acumulan en menos volumen mayor cantidad de energía. Es un almacenamiento de energía que requiere menor aumento de peso, lo cual facilita la movilidad. Los vegetales, en cambio, almacenan la energía tanto en forma de lípidos como en forma de glúcidos.

Otra función es la de servir de **aislante térmico** y protección, ya que, bajo la piel se acumula una capa de grasa formando el panículo adiposo; en animales que viven en zonas muy frías, como focas y pingüinos, está más desarrollado, evitando la pérdida de calor corporal al exterior. Muchos órganos vitales, como los riñones, también se encuentran rodeados de grasa que les **protege** de los golpes.

### Las ceras llevan monoalcoholes de cadena larga

Las ceras son lípidos saponificables simples, formados por la unión de un ácido graso con un **monoalcohol** de cadena larga, mediante enlace éster.

Al tener los dos cadenas largas apolares, la del alcohol y la del ácido, las ceras son totalmente **insolubles** en agua, por lo que se encuentran recubrimiento y protegiendo las superficies externas de los seres vivos. Es decir tienen función **impermeabilizante** y protectora. Se encuentran por ejemplo en la superficie de la piel, del exoesqueleto de los artrópodos, de las hojas de las plantas, etc...



**Figura 4.13.** Formación de una cera y ejemplos. Fuente: [http://www.monografias.com/trabajo\\_s31/lipidos/lipidos.shtml](http://www.monografias.com/trabajo_s31/lipidos/lipidos.shtml) y <http://elmundodesaccharomyces.blogspot.com.es/2013/11/lipidos-2.html>

La cera del oído externo de los mamíferos también cumple una función protectora, retiene partículas de polvo que podrían entrar en el oído y taponar manteniendo la humedad del conducto auditivo interno.

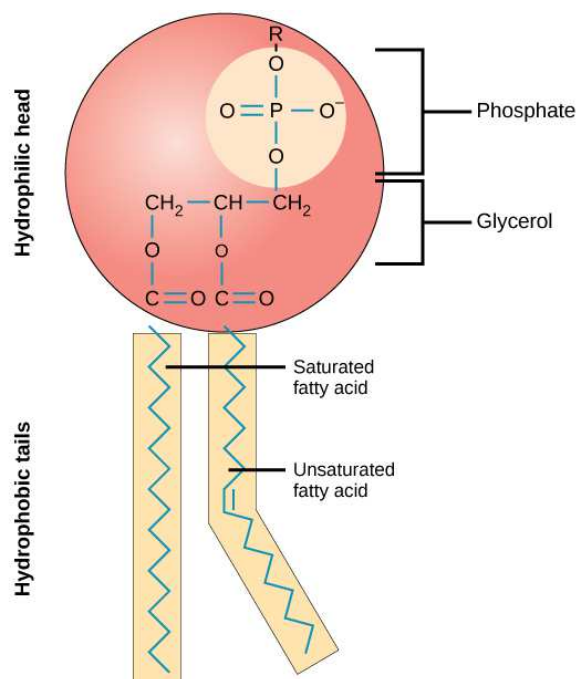
Cuando se vierte **petróleo** al mar, se disuelve la cera de las plumas de las **aves marinas**, por lo que al recoger a las aves y retirarles el petróleo, se elimina también la cera. Las glándulas sebáceas tienen que volver a fabricar cera; cuando las plumas han perdido su protección impermeable, absorben gran cantidad de agua por lo que el ave pesa demasiado y ello le impide volar.

#### 4.4. OTROS LÍPIDOS SAPONIFICABLES SON COMPLEJOS

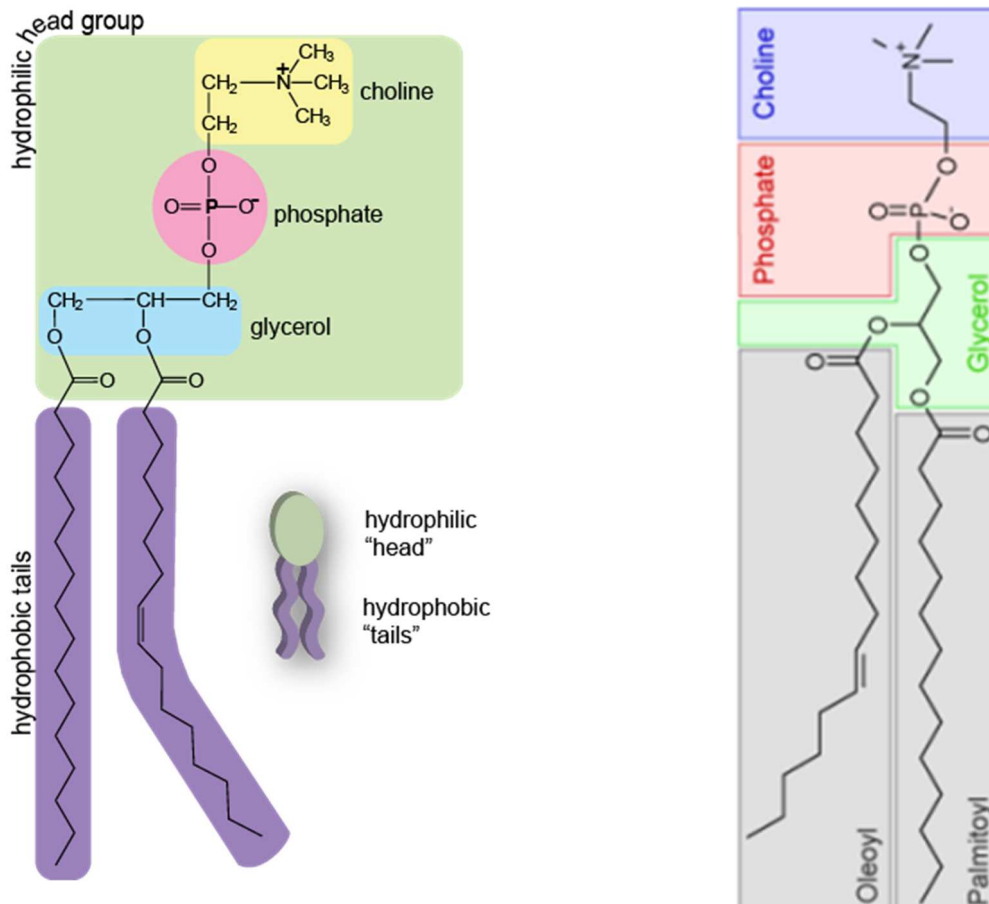
Los **fosfoglicéridos** o fosfoacilglicéridos son lípidos saponificables complejos formados por la unión de la glicerina a dos ácidos grasos y a un grupo **fosfato**. El alcohol del C1 de la glicerina está esterificado con un ácido graso saturado, generalmente el ácido esteárico, el C2 con un ácido graso insaturado, generalmente el ácido oleico y el fosfato se esterifica con el alcohol del carbono 3. Este es el fosfolípido más sencillo y se llama ácido **fosfatídico**.

El resto de fosfolípidos se forman añadiendo al grupo fosfato del ácido fosfatídico, un **sustituyente polar** (en la imagen se representa el sustituyente polar con una R, de radical).

Como todos los fosfolípidos son derivados del ácido fosfatídico, se nombran con el prefijo fosfatidil más el nombre del sustituyente polar unido al grupo fosfato. Por ejemplo: si se une colina se llama **fosfatidilcolina** (Fig. 4.15).



**Figura 4.14.** Fórmula general de un fosfolípido. Fuente: <https://www.boundless.com/biology/>



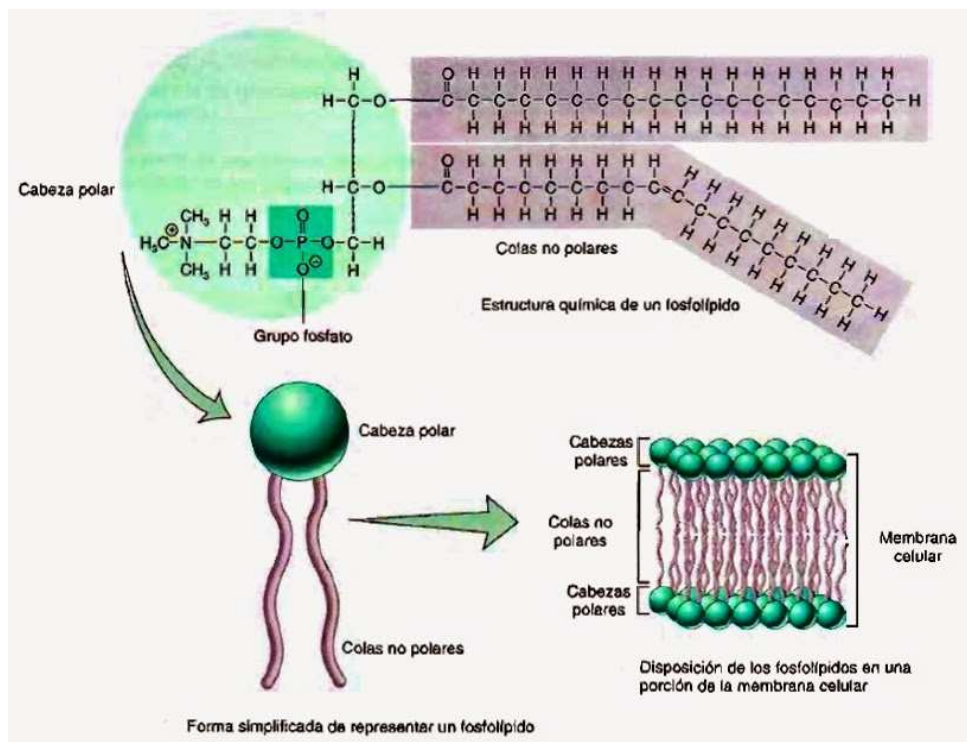
**Figura 4.15.** Representación de la fosfatidilcolina en fórmula completa y simplificada. Fuente: <http://www.perkepi.com/cell-membrane/>

## Los fosfolípidos son componentes de las membranas

La naturaleza anfipática de los fosfolípidos les proporciona un papel fundamental en la formación de **membranas** biológicas, tanto en procariontas como en eucariotas. Para formar las membranas se disponen los grupos polares hacia el medio acuoso y las partes apolares se orientan hacia el interior formando una bicapa lipídica.

Los fosfolípidos son anfipáticos porque poseen una zona polar y otra apolar. La cabeza polar está formada por el grupo fosfato y el sustituyente polar (aminoalcohol) unido al fosfato, por ejemplo la colina. Y las colas apolares son las correspondientes a los dos ácidos grasos. La parte polar se representa mediante un círculo y la apolar mediante dos líneas.

El carácter anfipático proporciona una gran **fluidez** a la membrana, pudiéndose mover los lípidos que forman la bicapa lipídica de la membrana (ver **Tema 9**). Además de los fosfolípidos, las membranas biológicas contienen proteínas y otros lípidos como por ejemplo colesterol y esfingolípidos que también son anfipáticos. Todos estos lípidos se conocen en general como **lípidos de membrana**.



**Figura 4.16.** Membranas celulares y lípidos saponificables complejos <http://www.bioquimicayfi.silogia.com/2015/03/lipidos-trigliceridos-esteroides-fosfolipidos.html>

### El aminoalcohol de los esfingolípidos es la esfingosina

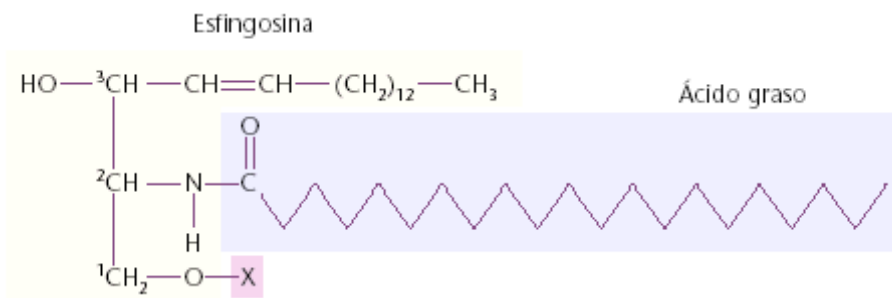
Los **esfingolípidos** son lípidos saponificables complejos similares a los fosfolípidos, que contienen un aminoalcohol insaturado de cadena larga llamado **esfingosina**, en vez de la glicerina. Por tanto sólo llevan un ácido graso, pues la segunda cadena es la del aminoalcohol.

Químicamente un esfingolípidio está formado por:

- Aminoalcohol de cadena larga (18 átomos de carbono), generalmente se trata de la esfingosina o de alguno de sus derivados.
- Ácido graso de cadena larga, que puede ser saturado o monoinsaturado.
- Sustituyente polar, que puede ser de diferente naturaleza, por ej., fosfocolina, monosacárido u oligosacárido.

La unión del aminoalcohol esfingosina con el ácido graso de cadena larga se realiza por el grupo amino y el compuesto resultante es una **ceramida**, que como su nombre indica presenta un enlace amida. Como se ve en la **Fig. 4.17** la **ceramida** tiene dos cadenas apolares, como los fosfolípidos, una correspondiente al ácido graso y otra de la propia esfingosina.

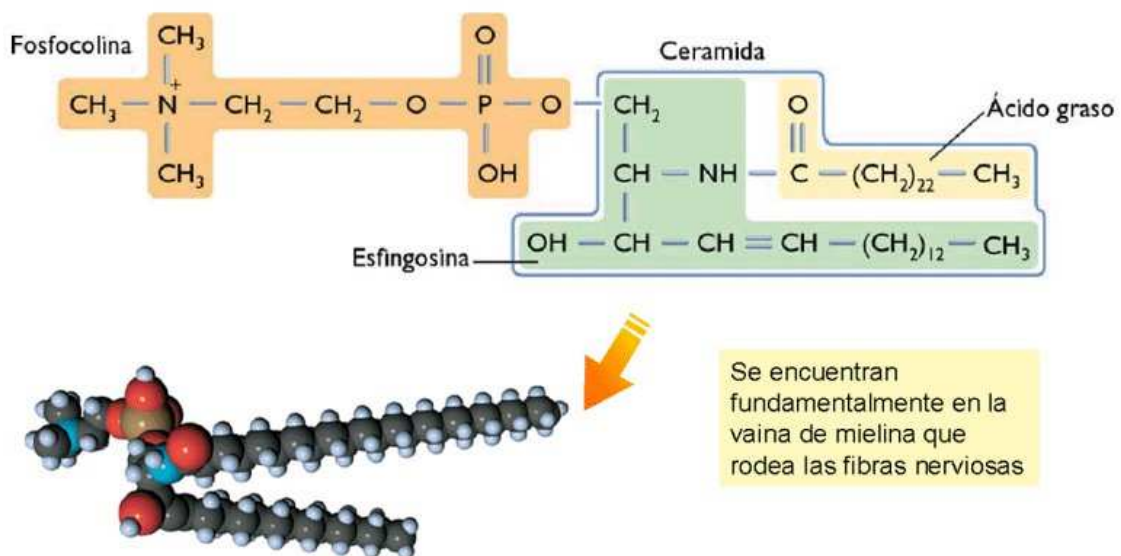
Los esfingolípidos se forman a partir de la ceramida, al unirse un sustituyente polar al grupo hidroxilo del carbono 1 de la esfingosina (grupo X en la **Fig. 4.17**)



**Figura 4.17.** Esquema general de una molécula de un esfingolípido

Si a la ceramida se une a un grupo fosfato que lleva acoplado un aminoalcohol, por ej., colina o etanolamina, se forman las esfingomielinas. Las **esfingomielinas** son **esfingofosfolípidos** dado que llevan un grupo fosfato; forman parte de las membranas de las células animales y abundan en la vaina de mielina que envuelve las neuronas.

El resto de los esfingolípidos que no contienen un grupo fosfato son los **esfingoglucolípidos**, porque tienen un glúcido como sustituyente polar. Si el glúcido es un monosacárido se denominan **cerebrósidos** y si es un oligosacárido se llaman **gangliósidos**. Además de desempeñar una función estructural de las membranas plasmáticas, actúan como marcadores biológicos y lugares de reconocimiento celular, formando junto con las glucoproteínas el glucocáliz. Cumplen funciones importantes pues intervienen en la especificidad de asociación celular en los tejidos, en la transmisión del impulso nervioso, en la especificidad del grupo sanguíneo o funcionan como anclaje de virus, microorganismos y toxinas.



Se encuentran fundamentalmente en la vaina de mielina que rodea las fibras nerviosas

**Figura 4.18.** Estructura molecular y modelo de la esfingosinomieline, un lípido de las membranas celulares, que forma vainas de mielina. Fuente: <http://www.geocities.ws/batxilleratbiologia/lipids.htm>



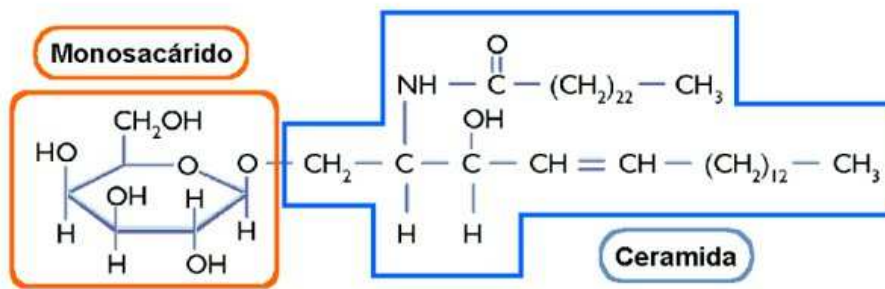


Figura 4.19. Cerebroside. Fuente: [http://www.geocities.ws/batxillerat\\_biologia/lipids.htm](http://www.geocities.ws/batxillerat_biologia/lipids.htm)

En resumen, los **esfingolípidos** son semejantes a los **fosfolípidos** tanto estructural como funcionalmente, ya que son sustancias anfipáticas y cuando se sitúan en un medio acuoso, se disponen formando bicapas lipídicas o micelas o monocapas. Por ello, están presentes en las **membranas** de células eucariotas y son muy abundantes en las membranas de tejido nervioso. Las diferencias entre fosfolípidos y esfingolípidos son:

- En los fosfolípidos el alcohol es glicerina y en los esfingolípidos hay un aminoalcohol de cadena larga llamado esfingosina; en los fosfolípidos los ácidos grasos se unen a la glicerina, mientras que en los esfingolípidos se une a la esfingosina.
- Los fosfolípidos poseen dos ácidos grasos y los esfingolípidos solo uno (la otra cadena apolar es de la esfingosina).
- En fosfolípidos, los ácidos grasos se unen a la glicerina con enlace éster y en los esfingolípidos, el ácido graso se une a la esfingosina mediante enlace amida (grupo amino con grupo carboxilo).

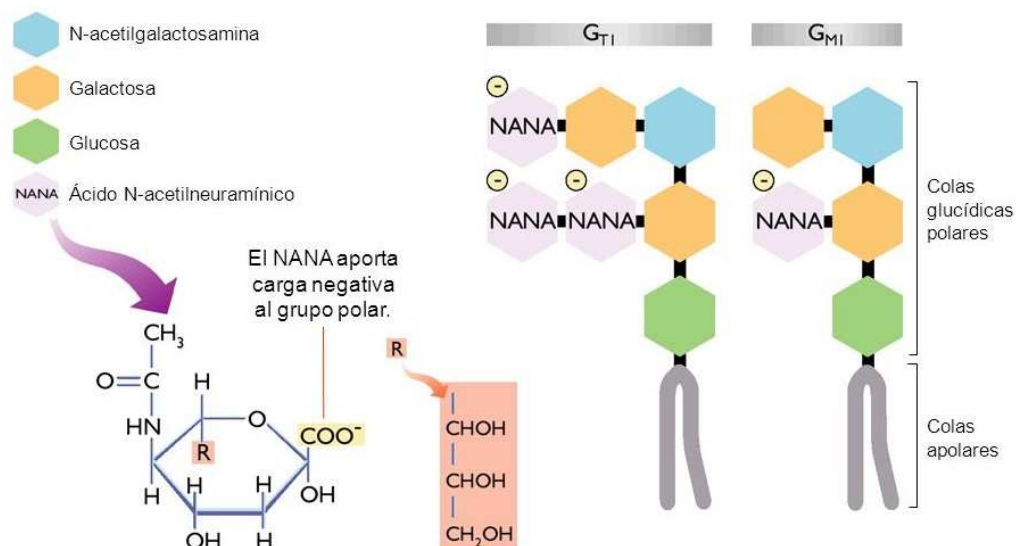
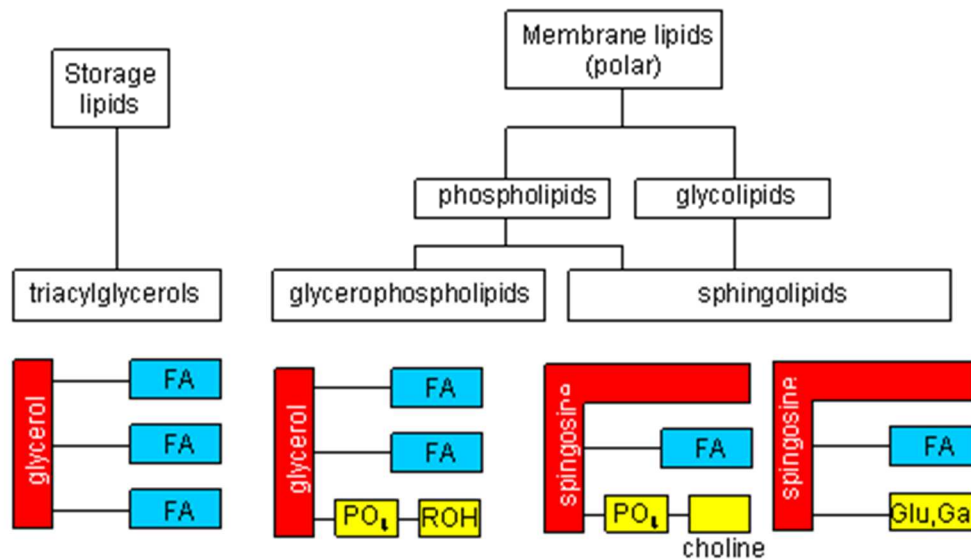


Figura 4.20. Gangliosido. Fuente: <https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/2015/07/03/los-esfingolipidos/>



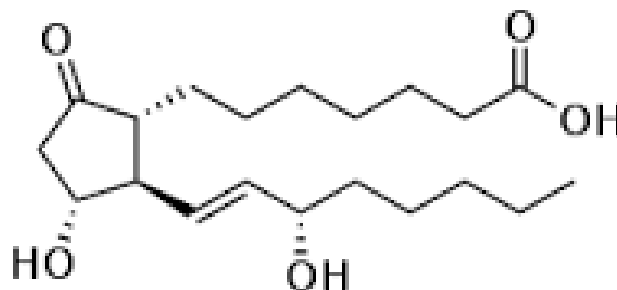
**Figura 4.21.** Comparación entre lípidos saponificables. Fuente: [Lehninger et al. 2º ed. Biochemistry](#)

- En los fosfolípidos, el sustituyente polar se une al grupo fosfato y en los esfingolípidos el sustituyente polar se une al carbono 1 de la esfingosina.
- Mientras los fosfolípidos se encuentran en todas las membranas, los esfingolípidos son más abundantes en las membranas del sistema nervioso.

### Las prostaglandinas son hormonas de efectos locales

Las **prostaglandinas** derivan de la ciclación de ácidos grasos poliinsaturados de 20 carbonos, como el ácido araquidónico, pero no son moléculas realmente saponificables. Aunque fueron descubiertas en secreciones prostáticas son producidas por casi todos los tejidos.

Las prostaglandinas actúan como **hormonas** de efectos locales y de **corta duración** en distintas partes del organismo; sobre el sistema nervioso, el músculo liso, la sangre y el sistema reproductor...regulando localmente el metabolismo, interviniendo en la coagulación y la inflamación, controlando la vasodilatación o vaso constricción, etc....



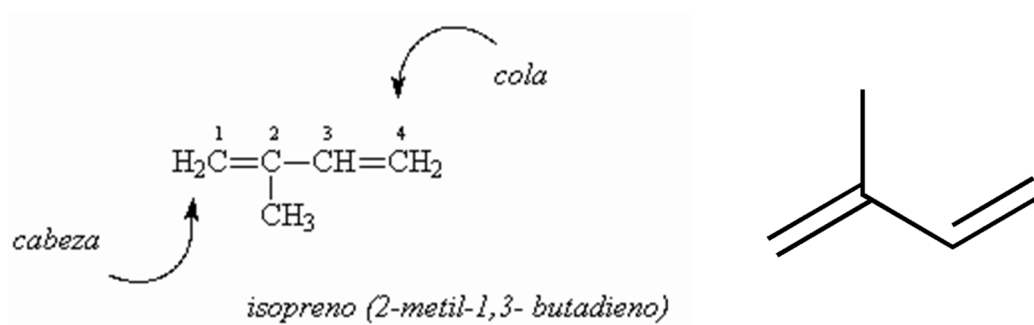
**Figura 4.22.** Prostaglandina

## 4.5 TAMBIEN HAY LÍPIDOS INSAPONIFICABLES

### Los terpenos derivan del isopreno

Los **terpenos** o isoprenoides son lípidos insaponificables, es decir, no pueden formar jabones al carecer de ácidos grasos. Químicamente están formados por la repetición de unidades de **isopreno** (2-metil-1,3-butadieno) que es una molécula de 5 carbonos con dos dobles enlaces.

Los terpenos se clasifican según las unidades de isopreno que contienen, la llamada regla del isopreno ha permitido clasificarlos y estudiarlos (**Tabla 4.2 y 4.3**), pero en realidad nunca se ha encontrado como producto natural. El verdadero precursor de los terpenos es el **ácido mevalónico** derivado del acetil coenzima A (ver **Tema 17**).



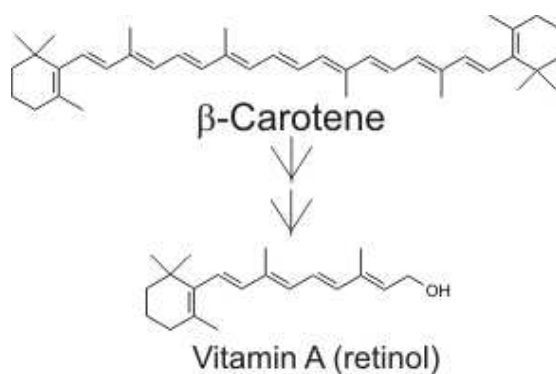
**Figura 4.23.** Fórmula del isopreno, y representación espacial de la molécula de isopreno

**Tabla 4.2.** Terpenos más destacados

Monoterpenos (2)	Limoneno, genariol Mentol, pineno
Diterpenos (4)	<b>Fitol</b> Vitamina <b>A</b> , retinol Vitamina <b>E</b> , antioxidante Vitamina <b>K</b> , anticoagulante
Triterpenos (6)	Lanosterol, escualeno
Tetraterpenos (8)	Xantofila <b>Carotenos</b> Licopeno
Politerpenos	Caucho

Los terpenos debido a su naturaleza hidrocarbonada son sustancias netamente hidrofóbicas y por lo tanto insolubles en agua. Como presentan un sistema de **dobles enlaces conjugados** los electrones se encuentran deslocalizados y no pertenecen a un enlace determinado. Cuando un electrón en el sistema conjugado absorbe un fotón de luz de longitud de onda adecuada, puede ser promovido fácilmente a un nivel de energía superior. En general tienen la propiedad de absorber luz de diferentes longitudes de onda, por lo que pueden actuar como pigmentos; producir aromas o formar parte de cadenas de transporte de electrones.

Los terpenos son especialmente abundantes en el mundo **vegetal**. Entre los pigmentos vegetales destacan los **carotenoides**, que son responsables del color de diferentes partes de las plantas. Intervienen en la fotosíntesis, absorbiendo luz de distinta longitud de onda a la que capta la clorofila. Comprenden las **xantofilas** de color amarillo y los carotenos de color anaranjado, como el  $\beta$ -caroteno presente en la zanahoria que es un precursor de la vitamina A. Si dividimos el  $\beta$ -caroteno en dos se obtiene dos moléculas de **vitamina A**, nuestro organismo puede fabricar la vitamina A a partir del  $\beta$ -caroteno



**Figura 4.24.** Fórmula del  $\beta$ -caroteno y su relación con la vitamina A

El **fitol**, un alcohol terpenoide, forma parte de la **clorofila**, el pigmento vegetal por excelencia. Muchos **aromas** de origen vegetal, como el alcanfor, el mentol y el geraniol son de naturaleza terpenoide, como también lo son algunos productos vegetales de interés económico como el caucho.

**Tabla 4.3.** Tipos de terpenos ordenados según su función

<b>Olor y sabor</b>	<b>Color</b>	<b>Transporte de energía</b>
Mentol	Caroteno (zanahoria)	Plastoquinona
Limonero	Fitol (verde clorofila)	CoA
Vainillina	Lycopeno (rojo tomate)	Plastocianina
	Xantofilia (hojas otoño)	Vitamina K
		Vitamina E

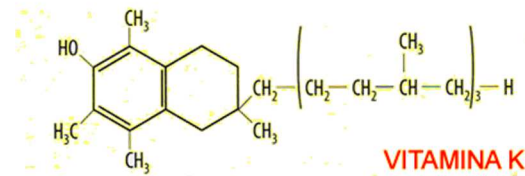
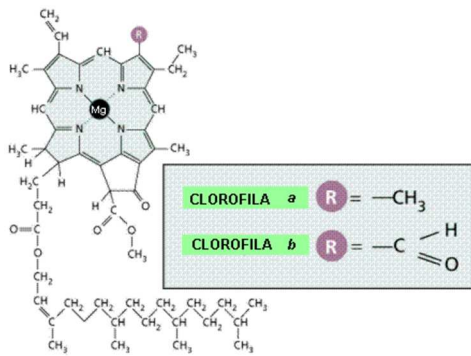


Figura 4.25. Moléculas que incluyen en su fórmula isoprenos

Otra posibilidad, al tener dobles enlaces conjugados, es participar en las **cadena**s de **transporte de electrones** y de energía, en este apartado se incluyen las **vitaminas** E y K, la E es un potente antioxidante y la K interviene en la coagulación sanguínea, así como plastocianina y plastoquinona que actúan en las membranas de los tilacoides en la fase clara de la fotosíntesis.

### Los esteroides tienen anillos rígidos

Los esteroides son lípidos insaponificables que derivan de un compuesto cíclico llamado **esterano** o **ciclopentanoperhidrofenantreno**, cuya estructura está compuesta por un ciclopentano unido al fenentreno. El fenentreno perhidrogenado está formado por tres ciclohexanos. Los esteroides se diferencian entre sí por la posición de los dobles enlaces, el tipo de grupo funcional del anillo A y la cadena final de la posición 17.

Los **esteroides** incluyen a los esteroides y a las hormonas esteroideas

Los **esteroides** llevan un grupo alcohol (posición 3 del anillo A) y un doble enlace (posición C6 del anillo B). El más importantes es el colesterol, que además es precursor de los demás: vitamina D, ácidos biliares y hormonas esteroideas.

La molécula del **colesterol** es **rígida**, con un grupo polar muy reducido (un OH en el C3) frente a los voluminosos anillos. Es una molécula anfipática que se forma parte de las membranas, particularmente en las células animales, por tanto, tiene función estructural. Se sitúa entre los fosfolípidos y reduce su **movilidad**, por lo que disminuye la fluidez de la membrana.

El colesterol se transporta en el plasma sanguíneo unido a lipoproteínas (ver **Anexo 1**). Si se encuentra en exceso en el torrente sanguíneo, se deposita en forma de **placas** en las paredes de las arterias, y origina lo que se conoce como **arteriosclerosis**. Se puede ingerir en la dieta, pero también se sintetiza en el hígado.

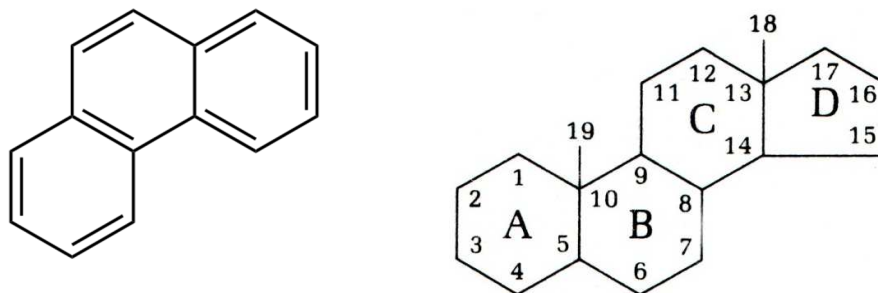


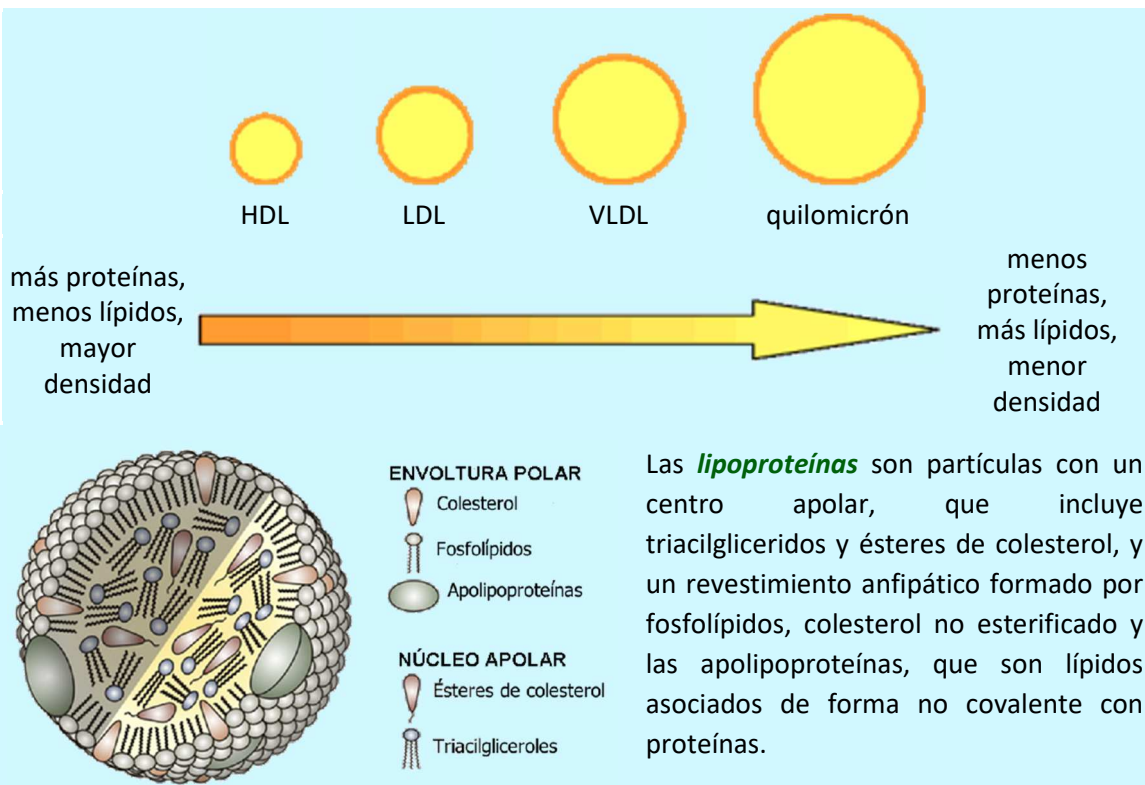
Figura 4.26. Fenentreno y esterano o ciclopentanoperhidrofenantreno

## Anexo 1. Las formas de transportar colesterol en la sangre

Hay dos fuentes de colesterol en el cuerpo:

*Exógeno*: en alimentos ingeridos

*Endógeno*: formado por el hígado.



En los análisis de sangre para conocer el riesgo de sufrir un ataque coronario se realiza un perfil de lípidos que incluye:

- Colesterol total
- Lipoproteína de baja densidad (colesterol LDL)
- Lipoproteína de alta densidad (colesterol HDL)
- Triglicéridos
- Lipoproteína de muy baja densidad (colesterol VLDL)

**Lipoproteína de muy baja densidad (VLDL)** contiene la mayor cantidad de triglicéridos. El VLDL se considera un tipo de colesterol malo puesto que ayuda a que el colesterol se acumule en las paredes de las arterias. Son las partículas que llevan los excesos de carbohidratos transformados en triglicéridos hacia el hígado

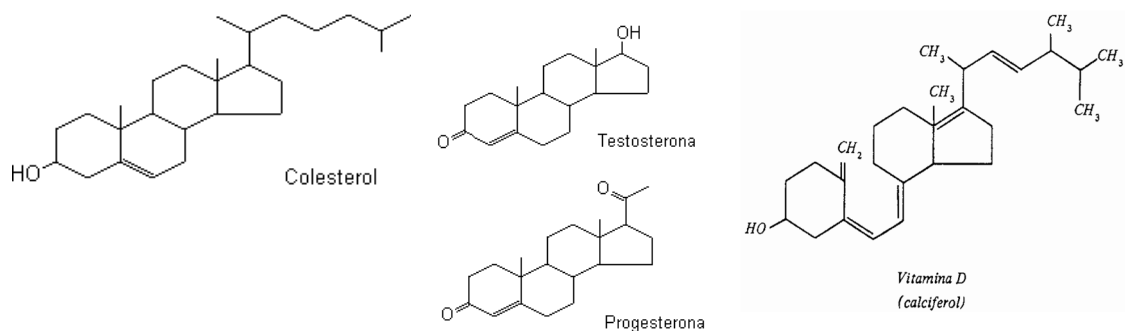
**Lipoproteínas de baja densidad o LDL**, que también se conocen como colesterol malo. Las LDL llevan colesterol a los tejidos que lo necesitan para sus membranas (incluidas arterias) o para

la síntesis de hormonas esteroideas. La mayor parte del colesterol en sangre es colesterol LDL (c-LDL). Cuanto mayor sea el nivel de colesterol LDL en sangre, mayor es el riesgo de enfermedad cardiovascular.

**Lipoproteínas de alta densidad, o HDL**, también conocidas como colesterol bueno, recogen el colesterol no utilizado y lo devuelve al hígado para su almacenamiento o excreción al exterior a través de la bilis. Un nivel bajo de colesterol HDL (c-HDL) aumenta el riesgo de enfermedad cardiovascular.)

**Aterosclerosis** es la formación de placas de ateroma en el interior de las arterias, esta placa de ateroma contiene colesterol y otras grasas, supone un aumento del gasto cardiaco que a su vez puede dar lugar a hipoxia y trombos. Los **trombos** son pequeños coágulos de sangre que taponan los vasos y pueden dejar sin riego regiones del cuerpo. Si el trombo llega al corazón se produce una situación en la que el miocardio se ve privado de oxígeno, lo que provoca a menudo un gran dolor pectoral denominado **angina de pecho**.

Se produce un **infarto de miocardio** si una parte del miocardio se queda totalmente sin riego, generalmente por un trombo en la arteria **coronaria**. Es la causa principal de muerte en países desarrollados (70.000 personas al año en España)

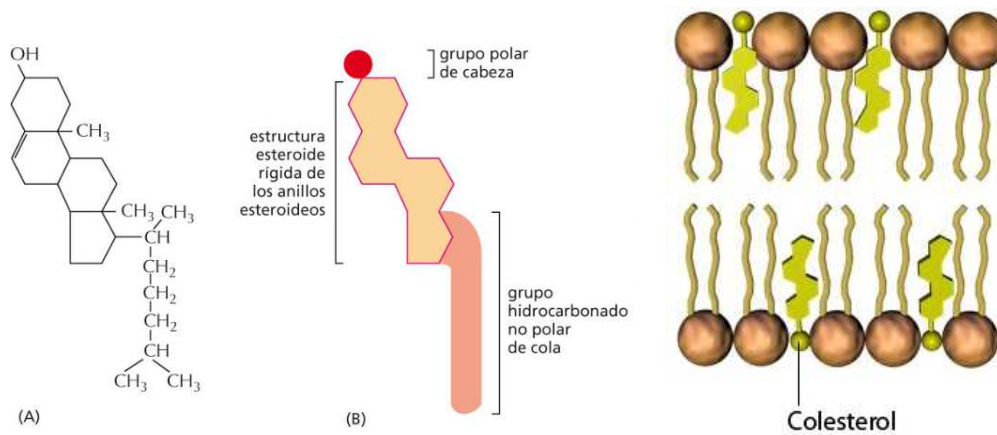


**Figura 4.27.** Colesterol y moléculas derivadas: hormonas y vitamina D

- La **vitamina D** deriva del colesterol, se encarga de regular el metabolismo del **calcio** y del fósforo y su absorción intestinal, estos minerales son indispensables para la formación del hueso. La falta de esta vitamina produce raquitismo en niños y osteomalacia en adultos.

- Los **ácidos biliares** se forman en el hígado a partir del colesterol, y se almacenan en la bilis como sales biliares. Ayudan a la **digestión** de las **grasas**, puesto que las sales biliares actúan como un jabón emulsionando las grasas y dispersándolas en gotas más pequeñas, que podrán ser atacadas más fácilmente por las enzimas.

Las **hormonas esteroideas**: También derivan del colesterol, pero la molécula presenta ligeras diferencias estructurales respecto a los esteroides. Llevan un grupo carbonilo (posición 3 del anillo A) y un doble enlace (posición C4 del anillo A). Las principales hormonas esteroideas son las **adrenocorticales** y las **sexuales**. Por ej., el **cortisol**, que interviene en el metabolismo de los carbohidratos, la **testosterona** responsable de los caracteres sexuales masculinos (voz grave,



**Figura 4.28.** Colesterol, su estructura molecular y su posición en las membranas celulares

más masa muscular, barba...) y los **estrógenos** y la **progesterona** que intervienen en el ciclo menstrual y producen los caracteres sexuales femeninos.

## 4.6 LOS LÍPIDOS REALIZAN DIVERSAS FUNCIONES

Entre las funciones de los lípidos destacan:

- **Estructural**, dado que los lípidos son los componentes fundamentales de las membranas celulares. Entre los lípidos de membrana se encuentran fosfolípidos, esfingolípidos y colesterol.
- **Energética**, pues algunos lípidos, como los acilglicéridos, son eficientes reservas de energía. Los lípidos se almacenan deshidratados, ocupando menos volumen y aportando más energía, 9 kcal/g., que los glúcidos.
- **Biocatalizadora**, cuando posibilitan o favorecen reacciones químicas que se producen en los seres vivos. Cumplen esta función las prostaglandinas, vitaminas y hormonas. Las vitaminas A, D, E y K son lípidos al igual que algunas hormonas, como las adrenocorticales y las sexuales (testosterona, estrógeno y progesterona).

## CUESTIONES Y EJERCICIOS

1. Cita un ej. de lípido saponificable y otro de no saponificable e indica su principal función biológica ¿Qué diferencias significativas existen respecto a su estructura molecular entre un lípido saponificable y otro que no lo es?

2. ¿Por qué han sido seleccionadas las grasas a lo largo de la evolución como principal reservorio de energía?



3. La trioleína es un triacilglicérido que deriva del ácido oléico, y la triestearina del ácido esteárico. Razona en qué estado se encontrarán cada una de ellas a T<sup>a</sup> ambiente.

4. La mayoría de los vegetales acumulan glúcidos como fuente de energía. ¿Por qué las pequeñas semillas de gramíneas - que se diseminan al viento - acumulan generalmente lípidos?

5. Razona si es V o F *“El punto de fusión de los ácidos grasos es tanto más bajo cuanto mayor es el número de insaturaciones que contiene, y también cuanto mayor sea el número de átomos de C que posee”*

6. Ordena de forma razonable los siguientes lípidos por su grado de polaridad: colesterol, triglicéridos, esfingolípidos, ácidos grasos, terpenos y ceras

7. Explica las principales diferencias en estructura y función de los acilglicéridos y las ceras.

8. ¿Cómo se llama la reacción opuesta a la esterificación? ¿Qué diferencias hay entre hidrólisis y saponificación?