

Estructura de Lípidos

María de la Luz Velázquez Monroy & Miguel Ángel Ordorica Vargas

7.1. Introducción. Definición y funciones de los Lípidos

7.1.a. Definición. Es un grupo de moléculas estructuralmente heterogéneas, ampliamente distribuidas en animales y vegetales, que tienen como característica común la propiedad física de **ser insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos**, no polares como éter, benceno, cloroformo, etc., esto se explica por la escasa polaridad de sus moléculas. Existe gran variedad de lípidos en diferentes estados de agregación. Sus propiedades químicas son diversas.

Los lípidos no forman estructuras poliméricas macromoleculares como las proteínas ó polisacáridos, por lo cual sus pesos moleculares no alcanzan valores elevados.

En cuanto a su estado de agregación existen tres tipos de lípidos:

- **Líquidos.** Llamados aceites, de peso molecular pequeño, con ácidos grasos cortos o insaturados, que son almacenados en los vegetales.
- **Semilíquidos.** Grasas con ácidos grasos largos e insaturados que almacenan los animales.
- **Sólidos.** Llamadas ceras, que contienen ácidos grasos largos y saturados.

En cuanto a su composición existen tres tipos de lípidos.

- **Simple:** Están constituidos únicamente por alcohol y ácidos grasos. Incluyen aceites, grasas y ceras.
- **Complejos:** Son moléculas anfipáticas. Llevan este nombre porque, además del alcohol y ácidos grasos constituyentes de los lípidos simples, poseen compuestos variados no lipídicos como: fosfato, aminoácidos, Glúcidos, aminas, etc.
- **Derivados.** Son moléculas que no se pueden clasificar en los grupos anteriores, pero que por sus características de solubilidad están asociadas a los lípidos, incluyen moléculas muy diversas como, esteroides, esterole, aldehídos de las grasas, terpenos, vitaminas liposolubles y hormonas.

7.1.b. Funciones de los lípidos. El estudio de los Lípidos tiene especial interés desde el punto de vista biológico pues desempeñan funciones importantes. Las funciones de los Lípidos son muy diversas, por ejemplo:

- **Fuente de energía.** La mayoría de los tejidos (excepto en eritrocitos y cerebro) utilizan ácidos grasos derivados de Lípidos, como fuente de energía, ya que los lípidos proporcionan 9 kcal/g, mientras que proteínas y Glúcidos sólo proporciona 4 kcal/g. El músculo no puede usar Lípidos cuando hay ausencia de O₂ y tiene que utilizar Glúcidos de corta duración, por eso fácilmente se fatiga. Los Lípidos viajan por el organismo alejados del agua.
- **Reserva de energía.** En los animales forman el principal material de reserva energética, almacenados en el tejido adiposo. Las grasas y los aceites son las principales formas de almacenamiento, en muchos organismos **se almacenan como triacilglicéridos anhidros, en cantidad ilimitada**, a diferencia del Glucógeno que se almacena hidratado y muy limitado.

- **Vitaminas liposolubles.** Las vitaminas A, D, K y E son liposolubles.
- **Hormonas.** Hormonas de tipo esteroide controlan procesos de larga duración, por ejemplo caracteres sexuales secundarios, peso corporal, embarazo.
- **Aislantes térmicos.** Se localizan en los tejidos subcutáneos y alrededor de ciertos órganos. Por lo que son muy importantes para los animales que viven en lugares con climas muy fríos.
- **Aislantes eléctricos.** Los lípidos (no polares) actúan como aislantes eléctricos que permiten la propagación rápida de la despolarización a lo largo de los axones mielinizados de las neuronas. El contenido de lípidos en el tejido nervioso es muy alto. Diversas patologías provocan la destrucción de la vaina de mielina de las neuronas.
- **Protección mecánica.** El tejido adiposo que se encuentran en ciertas zonas del cuerpo humano, evita daños por agresiones mecánicas como golpes.
- **Protección contra la deshidratación.** En vegetales la parte brillante de las hojas posee ceras que impiden la desecación, los insectos poseen ceras que recubren su superficie, en los humanos los lípidos se secretan en toda la piel para evitar la deshidratación.
- **Transporte.** Coenzima Q. Participa como transportador de electrones en la cadena respiratoria. Es un constituyente de los lípidos mitocondriales, con estructura muy semejante a la de las vitaminas K y E, que tienen en común una cadena lateral poli-isoprenoide.
- **Agentes emulsificantes.** Las sales y pigmentos biliares de naturaleza lipídica, disminuyen la tensión superficial durante la digestión.
- **Estructural.** Los lípidos forman todas las membranas celulares y de organelos. Los complejos de lipoproteínas también se forman para transportar los lípidos en la sangre.
- **Reconocimiento y antigenicidad.** Existen células cancerosas que para evitar la respuesta inmunológica cambian la composición de los lípidos de su membrana.
- **Transductores o segundos mensajeros.** El fosfatidilinositol es precursor de segundos mensajeros de varias hormonas. Su acción es mediada por la enzima Fosfolipasa C.
- **Sabor y aroma.** Los lípidos (terpenos y carotenos) que están contenidos en carne y vegetales proporcionan el sabor y aroma a los alimentos.

7.2. Clasificación. Lípidos saponificables y no saponificables

7.2.a. Lípidos saponificables. Son aquellos que reaccionan con álcalis formando jabones. Existen dos grupos de este tipo de lípidos.

7.2.a.1. Lípidos simples. Están formados únicamente por un alcohol y ácidos grasos. Los ácidos grasos **se unen mediante enlaces éster** con diversos alcoholes (glicerol, colesterol, alcohol cetílico). Entre sus funciones encontramos que son moléculas de reserva, aislamiento térmico y mecánico, y función estructural. Existen tres tipos de lípidos simples.

1.a. Ceras. Son ésteres de ácidos grasos y alcoholes monohidroxilados de peso molecular elevado, como el alcohol cetílico de 16 átomos de carbono, que se encuentra en la cera de abejas.

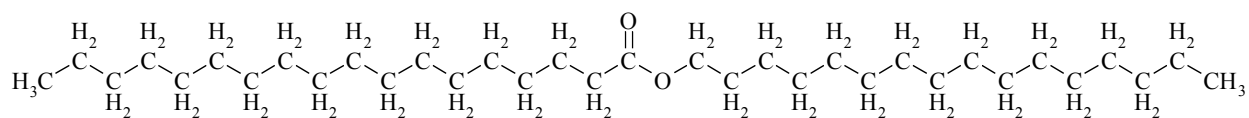


Figura 1. *Estearato de cetilo, una cera con alcohol cetílico.*

Estructura de Lípidos

1.b. Esteres de colesterol. En los animales están formados por un ácido graso unido al colesterol. Proporcionan fluidez a las membranas celulares.

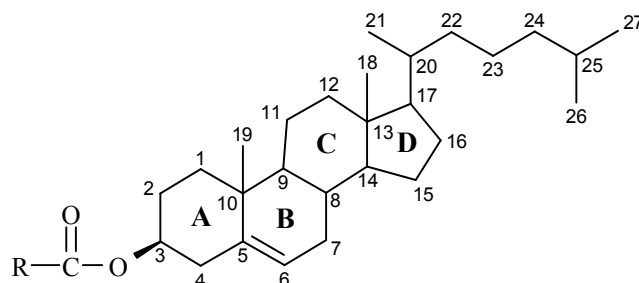
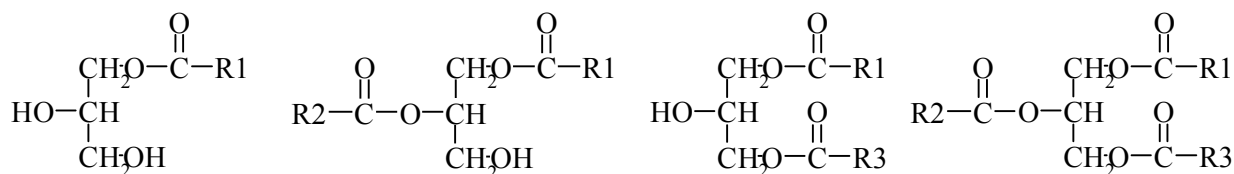


Figura 2. Ester de Colesterol

1.c. Acilglicéridos. Son ésteres de ácidos grasos con glicerol, son moléculas compuestas por uno dos o tres ácidos grasos, unidos por enlace éster a una molécula de glicerol.



Monoacilglicérido

1,2-Diacilglicérido

1,3-Diacilglicérido

Triacilglicérido

Figura 3. Estructura de los acilglicéridos

7.2.a.2. Lípidos complejos, compuestos o derivados. Están formados por un alcohol más un ácido graso, más una molécula polar no lipídica, y son anfipáticos. También se les consideran ésteres de ácidos que contienen otros grupos químicos además de un alcohol y del ácido graso. Tienen función estructural porque forman parte de las membranas celulares en proporción variable. Se dividen en varios grupos como:

2.a. Fosfolípidos. Son lípidos que contienen además de ácidos grasos y un alcohol, un residuo de ácido fosfórico. Dentro de este grupo encontramos a los:

- **Fosfoacilglicéridos o fosfoacilgliceroles.** Contienen glicerol, dos ácidos grasos, H_3PO_4 más moléculas no lipídicas y por lo tanto, son compuestos anfipáticos.
- **Plasmalógenos.** Contienen glicerol, un ácido graso, un aldehído graso, H_3PO_4 , más diversas moléculas polares. También son moléculas anfipáticas.

2.b. Esfingósidos. Contienen esfingosina más ácido graso. Algunos contienen otras moléculas más. Existen dos grupos:

- **Ceramidas.** Únicamente contienen esfingosina y un ácido graso.
- **Esfingomielina.** Contiene esfingosina, un ácido graso, H_3PO_4 y colina. Se encuentran en membranas celulares y mielina de los axones de las neuronas.

2.c. Glucolípidos (glucoesfingolípidos). Son lípidos que contienen esfingosina, carbohidratos y un ácido graso. Forman parte de este grupo:

- **Cerebrósidos.** Contienen esfingosina o glicerol, ácido graso, y un monosacárido (glucosa o galactosa).
- **Gangliósidos.** Contienen esfingosina o glicerol más ácido graso, y un oligosacárido que contiene ácido siálico.

7.2.b. Lípidos no saponificables. Son aquellos que no tienen ácidos grasos y no reaccionan con álcalis, ni forman jabones, Se dividen en:

b.1. Isoprenoides. Pertenecen a este grupo:

a. Terpenos o terpenoides. Son moléculas que contienen al menos dos isoprenos, son parte de aceites esenciales que dan olor a algunos productos. Las moléculas que contienen 10 unidades de isoprenos se llaman monoterpenos, las que tienen 20 unidades diterpenos, etc.

b. Carotenos o carotenoides. Poseen 40 unidades, que incluyen vitaminas y provitaminas como el beta caroteno.

c. Esteroides. Se forman a partir del escualeno (terpeno de 30 átomos de carbono) comprende los siguientes grupos:

- **Esteroles.** Colesterol que es un colestano de 27 carbonos.
- **Ácidos y sales biliares.** Colano de 24 carbonos.
- **Geninas.** Con 23 átomos de carbono
- **Hormonas.** Comprenden a los grupos siguientes:
 - **Pregnanos** de 21 carbonos. Que incluye corticoides y gestágenos.
 - **Androstanos** de 19 carbonos. Incluyen a los andrógenos.
 - **Estranos** de 18 carbonos. Incluyen a los estrógenos.

b.2. Pirroles Al combinarse cuatro grupos pirroles se forman los tetrapirroles (grupo hemo, pigmentos biliares y vitamina B₁₂)

7.3. Ácidos grasos. Definición. Clasificación

7.3.a. Definición. Son los ácidos que se liberan al hidrolizar los lípidos. La mayoría se encuentra formando ésteres, pero también pueden existir libres, como ácidos grasos no esterificados (AGNE) en la sangre, donde para ser transportados, deben unirse a moléculas de proteínas, en especial Albúmina. Son ácidos carboxílicos alifáticos, esto significa que todos tienen un grupo ácido que es el grupo carboxilo –COOH (monocarboxílicos), su cadena tiene número par de carbonos. Todos son lineales solo con ramificaciones en los extremos con grupos alcohol (–OH) o metilo (–CH₃).

7.3.b. Clasificación. Tamaño, estructura y requerimiento.

b.1. Tamaño. Las propiedades físicas y fisiológicas de los ácidos están determinadas por la longitud de su cadena y su grado de insaturación, así que los puntos de fusión de ácidos grasos se elevan con la longitud de la cadena y disminuyen de acuerdo a la insaturación. Existen tres grupos.

- **Cadena corta.** Este grupo incluye ácidos grasos con 8 carbonos como máximo.
- **Cadena mediana.** Este grupo incluye ácidos grasos con 10 a 14 carbonos en su cadena.
- **Cadena larga.** Los ácidos grasos de este grupo tienen 16 o más carbonos en su cadena.

b.2. Estructura. Esta clasificación es con base en el grado de saturación, esto significa que posean únicamente enlaces sencillos (saturados) ó enlaces dobles (insaturados).

- **Ácidos grasos saturados.** Son ácidos grasos poco solubles en agua. Se consideran provenientes del ácido acético, que es el primer miembro de la serie que no es graso, en la cual se adicionan progresivamente dos radicales metileno (-CH₂-) entre los grupos carboxilo (-COOH) y el metilo (-CH₃) terminal.
- **Ácidos grasos insaturados.** Contienen uno ó más dobles enlaces, casi todos en forma cis y no conjugados (no alternados, significa que existen de menos dos enlaces simples y uno doble), se pueden dividir según el grado de insaturación, en dos grupos:
 - **Ácidos monoinsaturados (monoetenoide, monoenoico).** Contienen un doble enlace.
 - **Ácidos poli-insaturados (polietenoide, polienoico).** Poseen dos o más dobles enlaces.

b.3. Requerimiento. Existen dos tipos con base en esta característica:

- **Ácidos grasos esenciales.** Son aquellos ácidos grasos que no podemos sintetizar los humanos y por lo tanto se deben adquirir en la dieta; únicamente son dos, el ácido linoléico (cis-9,12-octadecadienoico), que posee 18 carbonos en su cadena y el linolénico (cis-9,12,15-octadecatrienoico) de 18 carbonos.
- **Ácidos grasos no esenciales.** Son todos los ácidos grasos que los humanos sí podemos sintetizar.

7.3.1. Nomenclatura. Existen dos formas de numerar los átomos de carbono de los ácidos grasos, como se muestran en la figura siguiente.

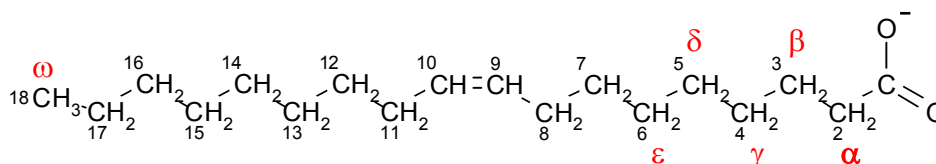


Figura 4. *Ácido Oleico*

1. En la **Numeración Química**, los átomos de carbono de los ácidos grasos se numeran a partir del carbono carboxílico (-COOH) que siempre será el **carbono 1**.

2. En la **Numeración Común**, los átomos se designan usando letras griegas, en forma semejante a como sucede con los aminoácidos. El átomo carboxílico se considera sustituyente del primer átomo de carbono de la cadena, el cual se designa como alfa (α). El siguiente átomo de carbono se designa como beta (β) y así sucesivamente. El último carbono de la cadena, sin importar su número, se designa siempre con la letra omega (ω).

- **Nombre sistemático.** Los nombres sistemáticos de los ácidos grasos se forman añadiendo la terminación **-ico** al nombre del hidrocarburo con el mismo número de átomos de carbono, por considerarlos derivados de estos. Por ejemplo, el ácido derivado del octano, con ocho átomos de carbono se llama **octanoico**. Para los ácidos grasos insaturados, los nombres se forman añadiendo la terminación **-ico** al nombre del alqueno correspondiente.

Ejemplo:

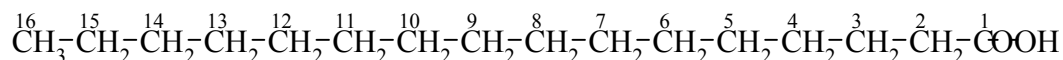
El alcano 18 átomos de carbono de llama octadecano. El ácido graso saturado de 18 átomos de carbono será el ácido **octadecanoico**. El ácido con una insaturación será el ácido **octadecenoico**, el que tiene dos enlaces dobles será el ácido **octadecadienoico**, etc.

- **Nombre común.** Son los nombres que tradicionalmente se han dado a los ácidos grasos, la mayoría de ellos derivan de la fuente original de donde se obtuvieron. Ejemplos: ácido oleico, linoléico, etc., cuyo nombre se deriva de *oleum*, que en latín significa aceite. Las equivalencias de nomenclatura para los ácidos más comunes se resumen en la Tabla de Ácidos Grasos del material adicional.
- **Representación abreviada de ácidos grasos.** Existen varios esquemas para la representación abreviada de los ácidos grasos, pero todos ellos proveen información sobre el número de átomos de carbono de la cadena y la cantidad y posición de los dobles enlaces, si los hay.

1. Hay tres formas de representar la longitud de la cadena. La más simple es indicar el número de metenilos ($-\text{CH}_2-$) que se repiten en la cadena. En el segundo esquema, se usa una letra C, seguida del número de átomos de carbono. En el último esquema basta indicar el número de átomos, sin usar la letra C.

Ejemplo:

Ácido Palmítico, saturado de 16 átomos de carbono:

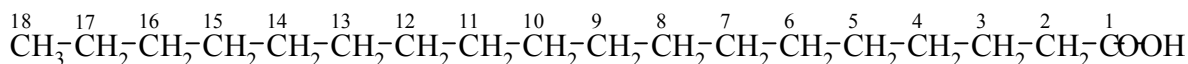


Puede representarse como:



Ácido Esteárico, saturado de 18 átomos de carbono:

Estructura de Lípidos



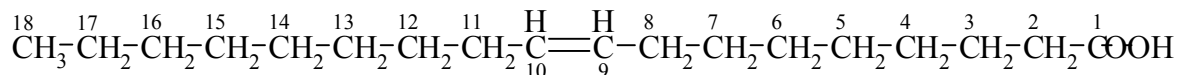
Puede representarse como:



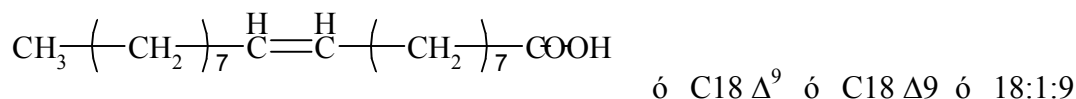
2. En cualquiera de los formatos se pueden incluir los enlaces dobles. En el primer esquema, los dobles enlace se representan interrumpiendo la agrupación en los átomos correspondientes, para continuarla después. En el segundo, la presencia de dobles enlaces se indica escribiendo la letra griega **Delta** mayúscula (Δ) después del número de átomos de la cadena, y a continuación el número del átomo en el que se inicia el doble enlace; es común escribir este número como un exponente de Δ , pero no es indispensable que sea así. Cuando hay dos o más dobles enlaces, los números de las posiciones se separan con comas. En el tercer esquema, el número de dobles enlaces, si los hay, se escribe después del número de átomos de la cadena, separado de esta con dos puntos, y a continuación, se escribe el número del carbono en que se inicia el doble enlace, también separado por dos puntos. En los últimos dos formatos, cuando los dobles enlaces tienen conformación *cis*, no es necesario indicarla, pero cuando son *trans*, se añade una letra *t*, al número de la posición de inicio del doble enlace.

Ejemplo:

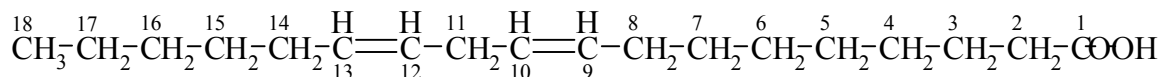
El ácido oleico, que tiene 18 átomos de carbono, con un doble enlace *cis* entre los átomos 9 y 10 de la cadena:



Se puede representar como:

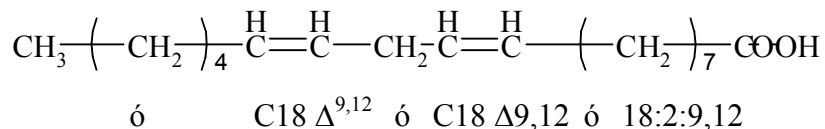


El ácido Linoléico, que tiene 18 átomos de carbono, con dos dobles enlaces ambos *cis*, entre los carbonos 9-10 y 12-13,

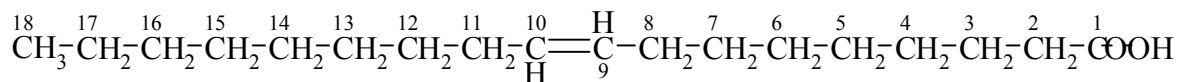


Se puede representar como:

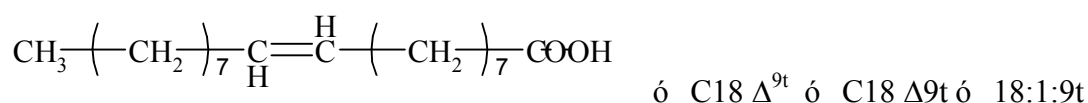
Estructura de Lípidos



El ácido Elaídico, que tiene 18 átomos de carbono con un doble enlace *trans* entre los átomos 9 y 10 de la cadena:



Se puede representar como:



7.3.2. Estructura y propiedades físicas y químicas de los ácidos grasos naturales. El nombre, estructura y algunas propiedades de los ácidos grasos de interés se muestran en la Tabla de Ácidos Grasos. A continuación, se añade información importante de algunos de ellos.

a. Saturados

- **Ácido Láurico (C12).** Es uno de los ácidos grasos saturados más ampliamente distribuidos en la naturaleza. Más abundante en los lípidos vegetales que animales. Es muy usado de la fabricación de jabones y detergentes. El monolaureato de glicerol tiene propiedades antimicrobianas.
- **Ácido Mirístico (C14).** Es muy abundante en lípidos vegetales y menos en animales. Constituye el 8 al 12% de los ácidos grasos de la leche.
- **Ácido Palmítico (C16).** Es el uno de los ácidos grasos saturados más comunes. Se encuentra tanto en lípidos vegetales como animales, aunque en pequeña cantidad (5 a 10% de los ácidos grasos).
- **Ácido Estearico (C18).** Es abundante en todas las grasas vegetales y animales, semisólido. Representa el 60% de los ácidos grasos saturados.
- **Ácido Araquídico (C20).** Se encuentra en pequeñas cantidades en el aceite de cacahuete y otros vegetales. También se encuentra en los lípidos de reserva de origen animal.
- **Ácido Lignosérico (C24).** Se encuentra en pequeñas cantidades en aceite de pescado, fosfolípidos de cerebro (cerebrósidos) y lignina vegetal.

b. Insaturados

- **Ácido Palmitoléico (C16Δ⁹).** A pesar de su nombre, está ampliamente distribuido, y es más abundante en las grasas animales que vegetales.
- **Ácido Oleico (C18Δ⁹).** Es ácido graso más común y abundante en todos los aceites (40 a 45%) y también en lípidos de animales.

- **Ácido Linoléico (C18 Δ ^{9,12})**. Es el ácido graso poliinsaturado más común tanto en plantas como animales. Es esencial en los animales porque no lo pueden sintetizar; su abundancia en los vegetales hace que su carencia sea muy rara.
- **Ácido Linolénico (C18 Δ ^{9,12,15})**. Tiene distribución igual que el linoléico (aceite de pescado), pero es menos abundante. Es esencial para los humanos. Es el ácido graso más abundante en las hojas, tallos y raíces de muchas plantas. Se le considera cardioprotector porque pertenece al grupo de los ácidos grasos **omega 3**.
- **Ácido Araquidónico (C20 Δ ^{5,8,11,14})**. Esta presente en los fosfolípidos de membrana de células animales, y es raro en vegetales. En los animales, además es importante porque es precursor de las prostaglandinas. Los humanos pueden sintetizarlo a partir del ácido linoléico.
- **Ácido Nervónico (C24 Δ ¹⁵)**. Es un ácido graso raro, presente en pequeña cantidad en el aceite de cacahuate y otros vegetales, y en los cerebrósidos del tejido cerebral.

c. Relación entre la solubilidad, el punto de fusión y la estructura de los ácidos grasos. Estudiando las propiedades de los ácidos grasos que se presentan en la Tabla de Ácidos Grasos, se pueden elaborar algunas generalizaciones importantes.

- La solubilidad de los ácidos grasos disminuye al aumentar el tamaño de la cadena de carbono.
- El punto de fusión es mayor mientras mayor sea el tamaño de la cadena de carbono.
- Al aumentar el grado de insaturación, disminuye el punto de fusión.

7.3.3. Estructura, nomenclatura y funciones de eicosanoides: Son compuestos **derivados de los ácidos grasos eicosanoicos (20 carbonos)**, comprenden compuestos de gran interés funcional y farmacológico, En general los eicosanoides actúan cerca del sitio en el cual son sintetizados, no deben ser transportados por la sangre para actuar en lugares distantes al de su origen, por ello se clasifican dentro del grupo de los **Autacoides**.

Están formados por:

- **Prostanoides.**
 1. Prostaglandinas (PG)
 2. Prostaciclina (PGI)
- Leucotrienos (LT)
- Tromboxanos (TX)

Los prostanoides incluyen:

1. **Prostaglandinas.** Fueron descubiertas originalmente en el plasma seminal, pero ahora se sabe que existen virtualmente en todos los tejidos de mamíferos. Son hidroxiácidos insaturados con un ciclopentano. Se sintetizan prácticamente en todas las células (excepción en glóbulos rojos) por ciclización del centro de la cadena de carbono de los ácidos grasos poliinsaturados de 20 carbonos (eicosanoicos) el ácido araquidónico, para formar un anillo ciclopentano. Existen varios tipos de prostaglandinas que se les designa por las letras PG seguidas de otra tercera (de la A a la I)

Estructura de Lípidos

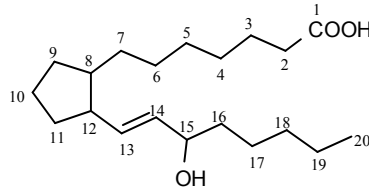


Figura 5. Ácido prostanoico

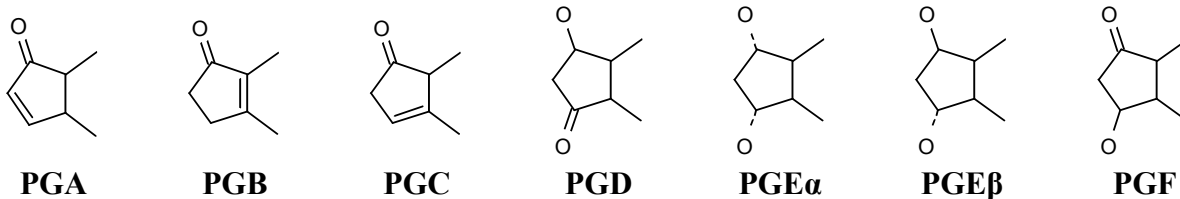


Figura 6. Nomenclatura de las prostaglandinas

Tienen varias funciones:

- a. La primera es que actúan produciendo contracción intensa de músculo liso como el útero, por lo que se usa para inducir aborto en animales, y sus derivados también se utilizan para inducir aborto en humanos a concentración baja (1 ng/ml).
- b. Estimulan la inflamación por lo que aumentan el dolor (la aspirina inhibe la síntesis de prostaglandinas, por lo que disminuyen el dolor y la fiebre).
- c. Regulación del flujo sanguíneo a órganos particulares.
- d. Control del transporte iónico a través de algunas membranas
- e. Modulación de la transmisión sináptica.
- f. Moduladores de la acción hormonal.

2. Prostaciclina. Se sintetizan en el endotelio de vasos sanguíneos a partir del ácido araquidónico, también es llamada prostaglandina PGI_2 , es un compuesto que posee **dos ciclos pentagonales** y es muy inestable en condiciones fisiológicas, ya que es rápidamente convertida en productos inactivos.

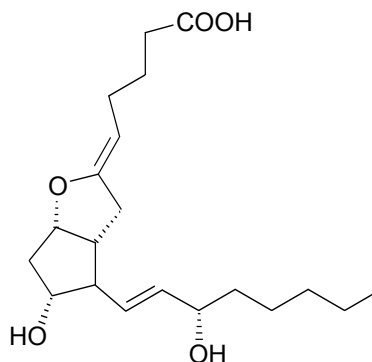


Figura 7. PGI_2

Es anti-agregante de plaquetas y vasodilatador. Aumenta la permeabilidad capilar y contribuyen a la fase vascular de la inflamación que lleva a la producción de edema.

Estructura de Lípidos

Leucotrienos. Son ácidos grasos con **cuatro dobles ligaduras** $\Delta^{7,9,11,4}$. Son poderosos constrictores del músculo liso de bronquios.

Producen vasoconstricción en arteriolas pequeñas y aumentan la permeabilidad capilar, a través de esta acción contribuyen al edema que se produce en las inflamaciones.

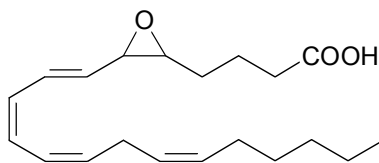


Figura 8. LTA4

Están relacionados con respuestas inmunológicas anormales como alergias.

Tromboxanos. Fueron descubiertos en plaquetas. Tienen estructura parecida a la de las prostaglandinas pero poseen **un anillo hexagonal en lugar de pentagonal**, también se sintetizan a partir de ácido araquidónico.

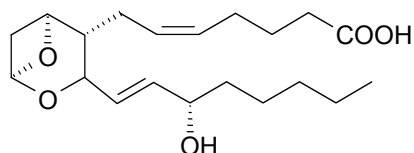


Figura 9. TXA2

Poseen acción agregante de plaquetas y son poderosos vasoconstrictores.

7.4. Lípidos simples. Acilgliceroles. Principal fuente de almacenamiento de lípidos en humanos.

1. **Estructura.** Son ésteres de ácidos grasos con glicerol; en este enlace éster el -COOH del ácido graso se combina con el -OH del glicerol, eliminando una molécula de H₂O. Por ejemplo los triacilglicéridos o grasas neutras, son moléculas compuestas de tres ácidos grasos (R₁, R₂, R₃), cada una de ellas por unión éster a una molécula con tres funciones alcohol, el glicerol.

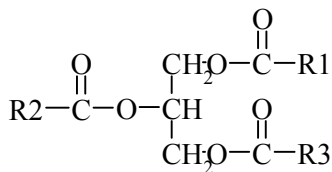


Figura 10. Un triacilglicérido

Antiguamente, estos compuestos recibían el nombre de *triglicéridos*, pero esta nomenclatura obsoleta es incorrecta y se recomienda no usarla.

2. **Nomenclatura de mono, di y triacilglicéridos.** El glicerol posee tres funciones alcohol, una en cada uno de los carbonos. Los carbonos del glicerol se designan con números arábigos o también con letras del alfabeto griego, los carbonos primarios 1 y 3 son también llamados alfa

Estructura de Lípidos

(α) y el carbono 2 se llama beta (β). Según el número de funciones alcohólicas esterificadas por ácidos grasos podemos obtener monoacilglicérols, diacilglicérols o triacilglicérols (grasas neutras)

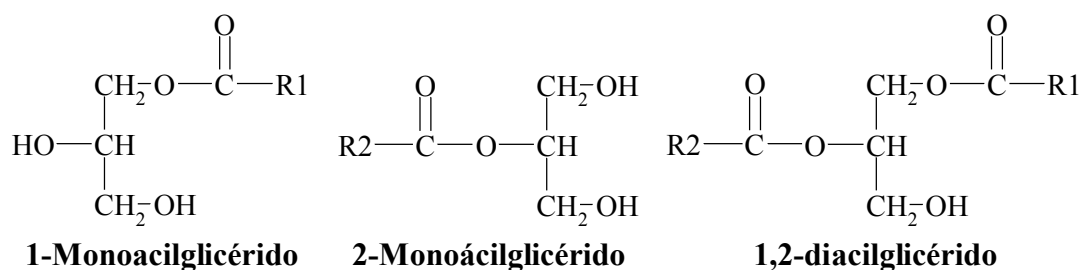


Figura 11. Nomenclatura de Mono- y Diacilglicéridos

R indica la cadena de carbonos del ácido graso.

Si los ácidos grasos son iguales, los acilglicéridos se denominan homoacilglicéridos, si son diferentes se designan heteroacilglicéridos. Se nombran usando los nombres de los ácidos grasos, con terminación *-il*, numerados en el orden de su ubicación en la molécula. El nombre termina con la palabra glicérido.

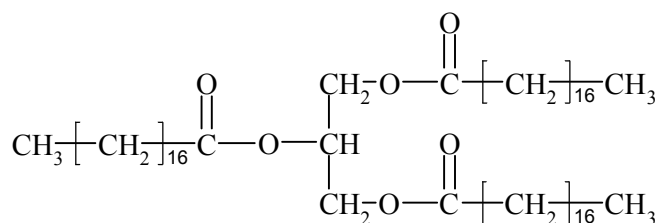


Figura 12. Triesterailglicérido o triestearina, un homoacilglicérido

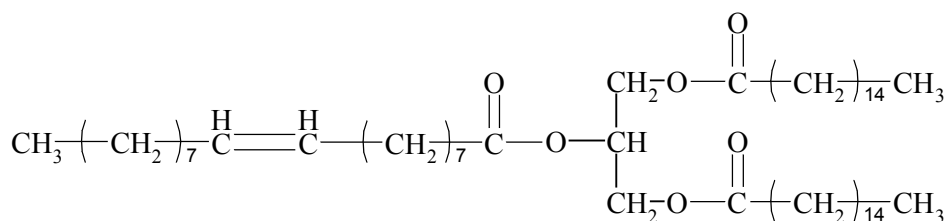


Figura 13. 1,3-dipalmitil-2-oleilglicérido, un heteroacilglicérido

Cuando los ácidos grasos esterificados en los carbonos primarios del glicerol son distintos, el carbono 2 se vuelve quiral, con 4 sustituyentes diferentes. Para evitar problemas en la numeración de los carbonos del Glicerol, se ha adoptado un esquema llamado *numeración estereo específica (sn)*. Que consiste en numerar como uno el carbono superior del Glicerol, cuando este se dibuja con el hidroxilo del carbono 2 hacia la izquierda (en configuración L). Al nombre del compuesto se le añade el prefijo *sn-* para indicar que se está usando la numeración estereoespecífica.

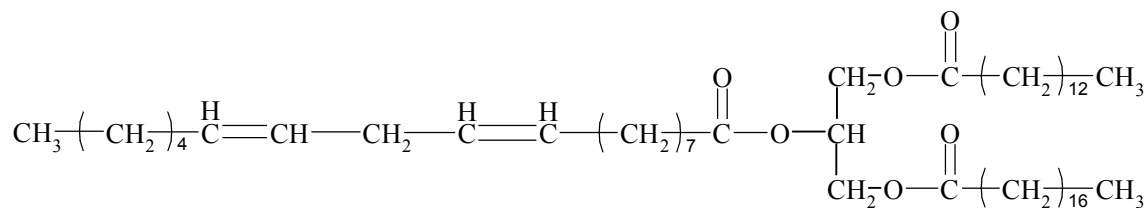


Figura 14. *sn*-1-miristil-2-linoleil-3-estearilglicérido

3. Relación entre la estructura y las propiedades físicas de los triacilglicéridos.

- Estado de agregación.** Lo que se conoce como grasas naturales son mezclas de triacilglicéridos, predominantemente heteroacilglicéridos, y pequeñas cantidades de ácidos libres, hidrocarburos, esteroides, etc. Cuando las grasas naturales son sólidas a 20 °C, se las denomina **grasas** propiamente dichas; si son líquidas a esta temperatura se les designa como **aceites**. Los triacilglicéridos formados por ácidos grasos saturados de cadena larga frecuentemente se denominan ceras, porque son sólidos como estas.
- Solubilidad.** Poseen densidad inferior a la del agua, solvente en el cual los triacilglicéridos son insolubles. Los mono y diacilglicéridos, poseen cierta polaridad debido a sus grupos hidroxilos libres, por esta razón tienen cierto poder emulsificante. Los triacilglicéridos son solubles en cloroformo, éter, alcohol caliente, solventes con los cuales se los puede extraer de los tejidos.
- Punto de fusión.** El punto de fusión de los acilglicéridos depende de los ácidos grasos que los forman. Los que poseen ácidos grasos saturados de cadena larga tienen punto de fusión más elevados; en cambio, cuando los ácidos son saturados de cadena corta o no saturados, el punto de fusión disminuye, por ejemplo la triestearina tiene punto de fusión de 71 °C, mientras que la trioleina funde a -17°C.

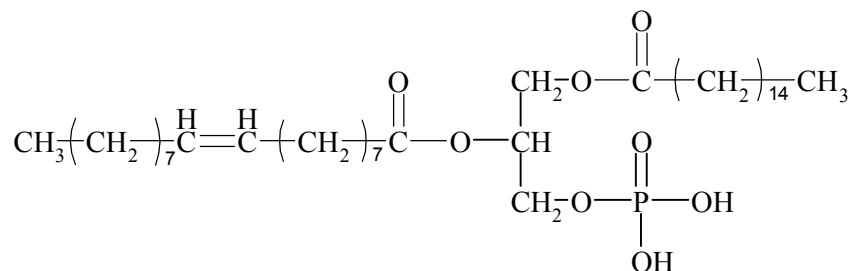
Los heteroacilglicéridos con ácidos grasos insaturados serán líquidos a temperatura ambiente, ó sólidos de bajo punto de fusión, según la proporción de ácidos grasos insaturados existentes en sus moléculas. El predominio de ácidos grasos insaturados o saturados de cadena corta es responsable del estado líquido de una grasa natural a temperatura ambiente, este es el caso de los aceites vegetales.

- Funciones de los triacilglicéridos.** Todos los animales poseen grasas neutras como reserva, esta reserva es más importante que la de los Glúcidos, los cuales en caso de ayuno, enseguida se agotan. Los triacilglicéridos constituyen una forma eficiente y concentrada de almacenar energía. Como la mayoría de los carbonos de las grasas están menos oxidados que los de hidratos de carbono, la oxidación de los primeros en el organismo hasta CO₂ y H₂O rinde más desde el punto de vista de producción de energía. Por otra parte, debido a que son hidrófobas, las grasas prácticamente no retienen agua asociada, a diferencia del Glucógeno, otro material de reserva, que está muy hidratado, como consecuencia, con las grasas se puede almacenar mucho mayor cantidad de energía en menor peso de material.

7.5. Lípidos complejos. Llevan este nombre porque, además del alcohol y ácidos grasos constituyentes de los lípidos simples, poseen compuestos polares no lipídicos que los hacen moléculas anfipáticas.

7.5.1. Propiedades de los lípidos complejos.

7.5.1.a. Estructura y propiedades de fosfoacilglicéridos o glicerofosfolípidos. Son los fosfolípidos más abundantes, aparecen en cantidades pequeñas en las grasas de depósito, pero predominan en la constitución de las membranas celulares, se consideran derivados de una estructura básica, la de los ácidos fosfatídicos.



***sn*-1-palmitil-2-oleil-3-fosfoglicérido, un ácido fosfatídico**

- **Estructura y propiedades de Ácidos fosfatídicos.** Son la estructura básica de la que derivan los fosfoacilglicéridos. Los ácidos fosfatídicos están constituidos por una molécula de glicerol con dos de sus OH esterificados por ácidos grasos y el tercero esterificado por una molécula de ácido fosfórico. El carbono 2 del glicerol es asimétrico, lo cual determina la existencia de estereoisómeros. Los glicerofosfolípidos naturales poseen la configuración L.

Los ácidos fosfatídicos son producidos en el organismo como intermediarios en la síntesis de triacilglicéridos y glicerofosfolípidos, razón por la cual se encuentran en muy pequeña cantidad.

- **Estructura y propiedades de fosfatidilcolina.** También conocida como **Lecitina**. Se obtiene cuando uno de los -OH ácidos del fosfato se **esterifica con Colina (N,N,N-trimetilaminoetanol)**.

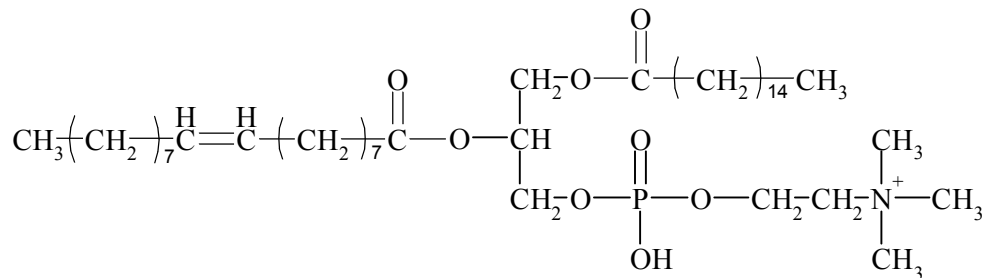


Figura 15. Fosfatidilcolina

- **Estructura y propiedades de fosfatidiletanolamina.** También conocida como **Cefalina**. Se obtiene cuando el aminoalcohol que se agrega al glicerofosfolípido es la **etanolamina**.

Estructura de Lípidos

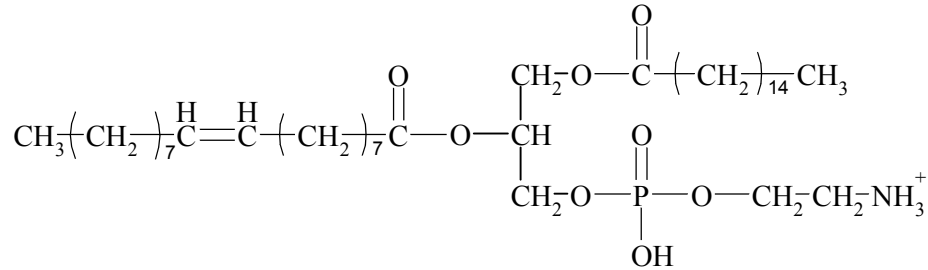


Figura 16. Fosfatidiletanolamina

- **Estructura y propiedades de fosfatidilserina.** Se obtiene cuando el grupo $-\text{OH}$ del aminoácido Serina, se esterifica con el fosfato del ácido fosfatídico.

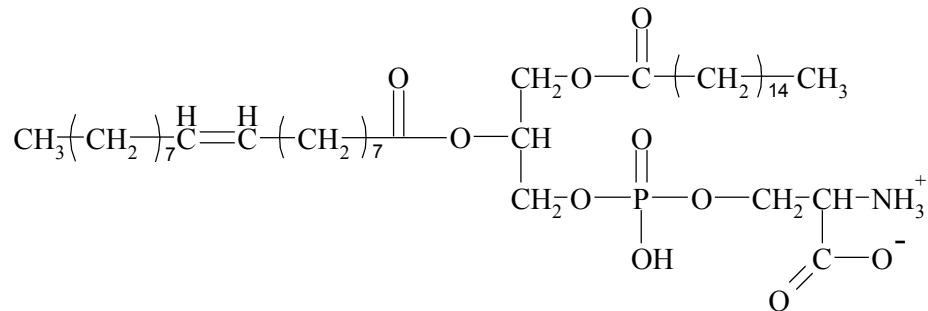


Figura 17. Fosfatidilserina

- **Estructura y propiedades de fosfatidilinositol.** Se obtiene cuando se esterifican polialcoholes cíclicos como el inositol al ácido fosfórico del glicerofosfolípido.

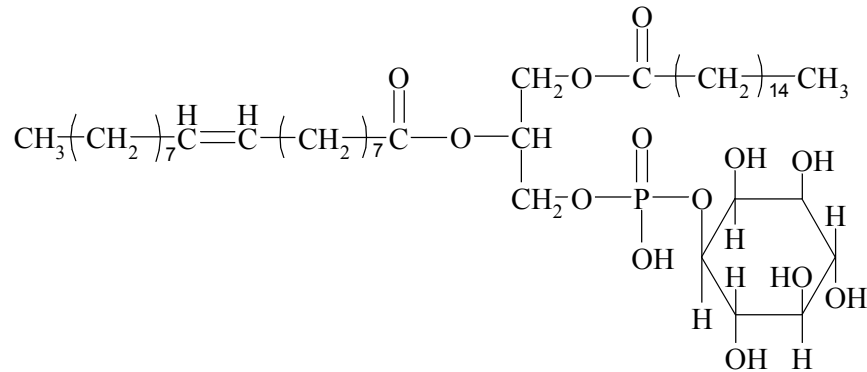


Figura 18. Fosfatidilinositol

- **Estructura y propiedades de fosfatidilglicerol.** Se obtiene cuando se agrega una molécula de glicerol al glicerofosfolípido.

Estructura de Lípidos

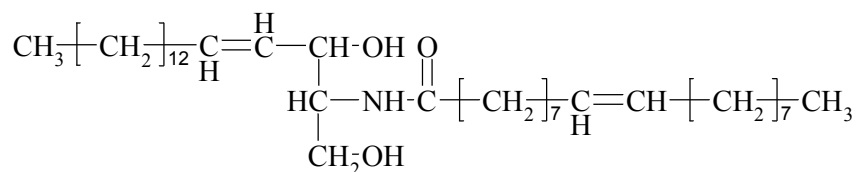


Figura 22. 2-oleil-esfingosina, una ceramida

- **Estructura y propiedades de esfingomielina.** Es el esfingósido más abundante, está constituida por una esfingosina, un ácido graso, un ácido fosfórico y Colina

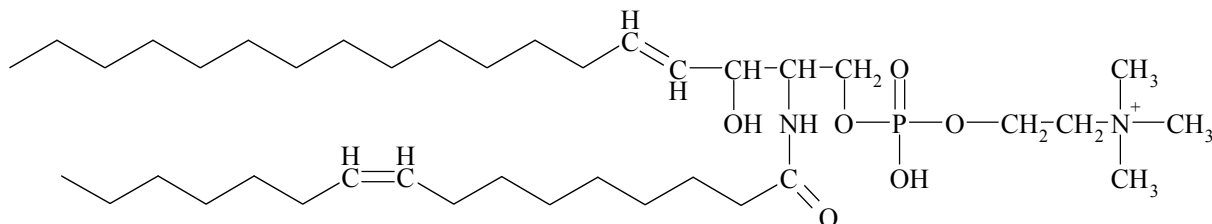


Figura 23. Esfingomielina

7.5.3. Estructura y propiedades de Glucolípidos. Se caracterizan por poseer Glúcidos en su molécula, y no tienen fosfato. Los más abundantes en animales superiores son glucoesfingolípidos entre los cuales se encuentran los cerebósidos y gangliósidos, todos ellos son compuestos anfipáticos, integrantes de membrana.

- **Estructura y propiedades de Cerebrósidos.** Están formados por **ceramida (esfingosina y ácido graso)** y un **monosacárido** unido por enlace glucosídico β al $-\text{OH}$ del carbono 1. Comúnmente el **monosacárido es Galactosa ó Glucosa**, se tiene entonces un galactocerebrósido o un glucocerebrósido. El ácido graso generalmente posee 24 átomos de carbono, los más comunes son el ácido lignosérico y el hidroxilignocérico o cerebrónico. El cerebrósido que posee ácido lignosérico se llama **querasina**; el que tiene ácido cerebrónico, se llama **frenosina** o **ce-rebrona**. Los cerebrósidos son abundantes en la sustancia blanca del cerebro y en las vainas de mielina.

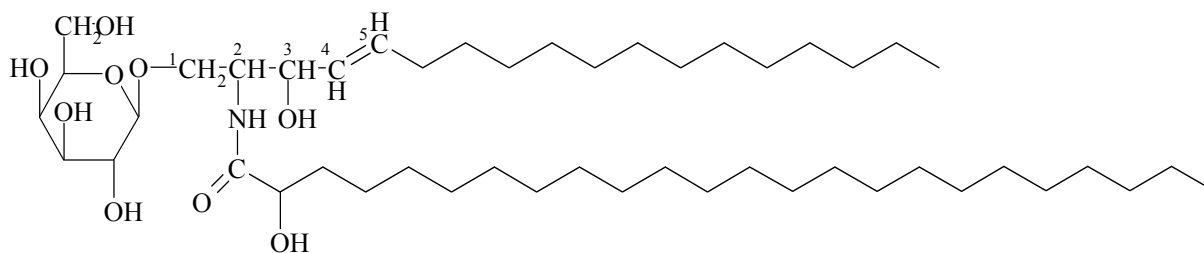


Figura 24. Un Galactocerebrósido

- **Estructura y propiedades de Gangliósidos.** Su estructura básica es **similar a la de los cerebrósidos**, pero el **Glúcido es un oligosacárido**. Unida a la ceramida posee en una cadena de **oligosacárido** compuesta por **varias hexosas y 1 a 3 restos de ácido acetilneuramínico (ácido siálico)**. En la casi totalidad de los gangliósidos, el primer resto de hexosa de oligosacárido unido a la ceramida es Glucosa. A continuación se une Galactosa, N-acetil-Galactosamina y

Estructura de Lípidos

otra Glucosa o Galactosa, todas unidas por enlaces glicosídico. Además de ser componente estructural de las membranas, los gangliósidos de superficie también sirven como sitios de unión selectivos de otras moléculas biológicamente activas como el interferón, poderoso agente anti-viral.

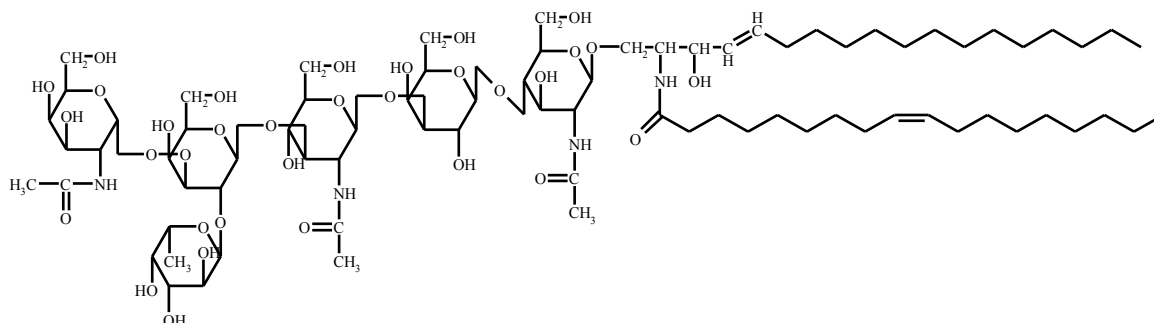


Figura 25. Un Gangliósido

7.6. Lípidos no saponificables. Son aquellos que no tienen ácidos grasos y no reaccionan con álcalis ni forman jabones, se dividen en:

7.6.1. Isoprenoides. Son sustancias asociadas a lípidos. Tienen como **estructura básica el isopreno o 2 metil-1,3-butadieno**

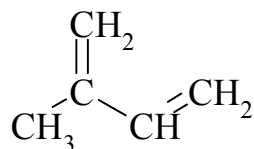
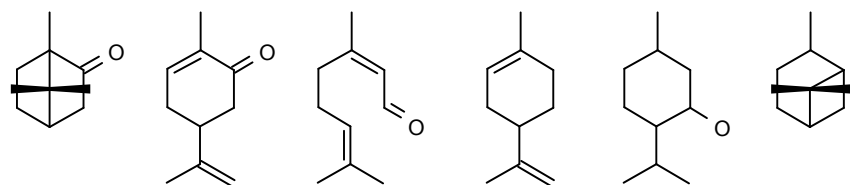


Figura 26. Isopreno

a. Terpenos o terpenoides. Son moléculas que contienen **al menos dos isoprenos**, son parte de aceites esenciales que dan olor a algunos productos. Las moléculas que contienen 10 unidades de isoprenos se llaman monoterpenos, las que tienen 20 unidades diterpenos, etc.

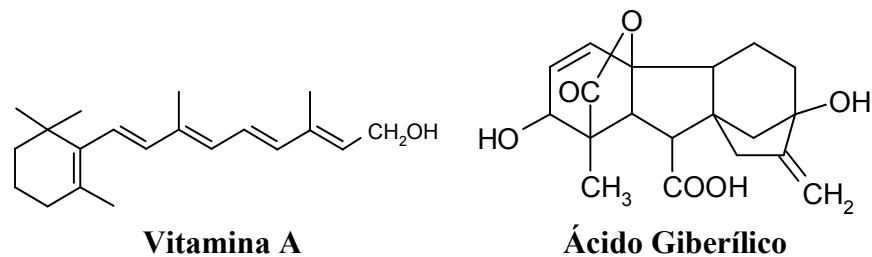
- **Monoterpenos.** Con **10 átomos de carbono**, muchos se encuentran en aceites esenciales de vegetales, proporcionando aromas característicos, algunos se presentan a continuación.



Alcanfor Carbona Citral Limoneno Mentol Pineno
Figura 27. Estructura de algunos Monoterpenos de interés

- **Diterpenos.** Están formados por **20 átomos de carbono** e incluyen compuestos tan variados como la **Vitamina A**, también llamada **Retinol**, que regula la expresión genética, la vi-

sión y protege la piel, y el **Ácido giberílico**, una hormona que induce el crecimiento de las raíces de en los vegetales.

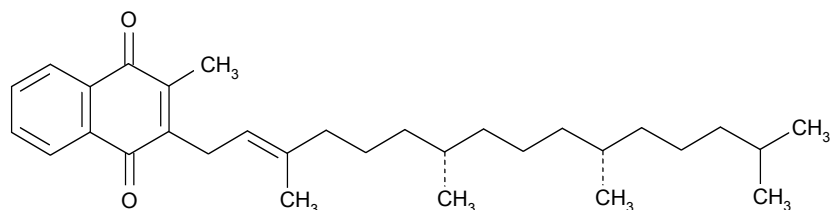


Vitamina A

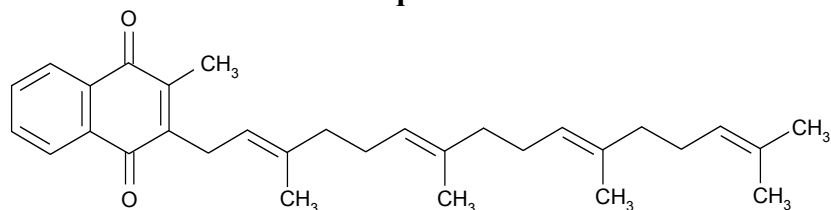
Ácido Giberílico

Figura 28. Ejemplo de Diterpenos

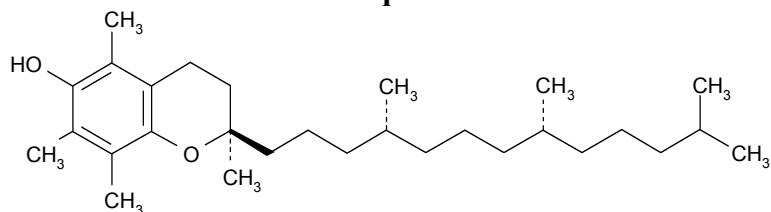
- **Triperpenos.** Son moléculas formadas por 30 átomos de carbono, con funciones muy importantes, como las **Vitaminas K y E**, y el **Escualeno**. El nombre de **Vitamina K** se aplica a un conjunto de **triterpenos** derivados de la **Naftoquinona**, que estimulan la síntesis de factores de coagulación, entre los que se incluye la **filoquinona** vegetal y la **menaquinona** de las bacterias del intestino. La **Vitamina E** o **α -tocoferol**, es un antioxidante y forma parte de la estructura de las lipoproteínas de alta densidad (HDL). El **Escualeno** es precursor del **Coolesterol**.



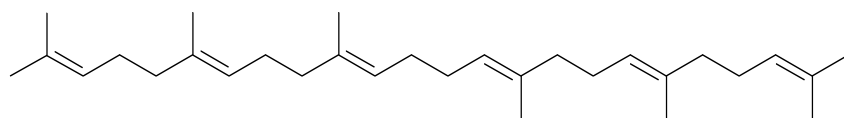
Filoquinona



Menaquinona



Vitamina E



Escualeno

Figura 29. Algunos Triterpenos importantes

Estructura de Lípidos

- **Coenzima Q.** Conocida como **Ubiquinona**, es un **terpeno mayor** ya que contiene **60 átomos de carbono** y se considera antioxidante. Su función en las células consiste en transportar electrones en la cadena respiratoria.

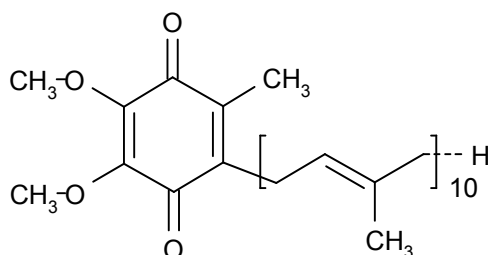


Figura 30. *Coenzima Q₁₀*

- **Sesquiterpenos.** Son moléculas formadas por números pares de unidades de isopreno, que tienen entonces **15, ó 25 átomos de carbono**. Se encuentran en vegetales, y tienen diversas funciones. Un sesquiterpeno importante es el **farnesol**, alcohol de 15 átomos de carbono presente en muchas esencias usadas en cosmética y además intermediario en la síntesis de Colesterol.

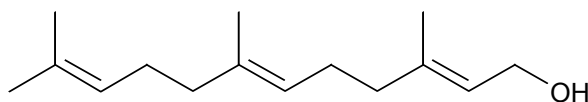


Figura 31. *Farnesol*

- b. Carotenos o carotenoides.** Poseen **40 carbonos**, que incluyen vitaminas y provitaminas como el **β-Caroteno** y pigmentos como la **Luteína**.

- b.1. β-caroteno.** Es la **provitamina A**, contiene **40 átomos de carbono**, y tiene las mismas funciones que la vitamina A.

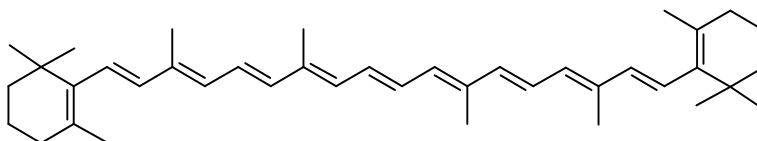


Figura 32. *β-Caroteno*

- b.2. Luteína.** Se utiliza como componente de los bronceadores.

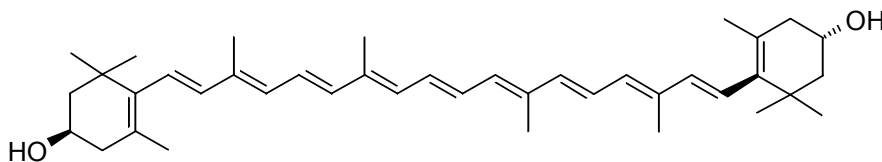


Figura 33. *Luteína*

7.6.2 Esteroides. Se forman a partir del **Escualeno (terpeno lineal de 30 átomos de carbono)** y contiene un núcleo policíclico llamado **Ciclopentanoperhidrofenantreno** ó **Esterano**.

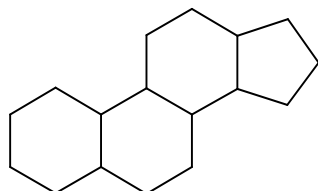


Figura 34. Esterano. Ciclopentanoperhidrofenantreno

Tienen varias funciones entre las que destacan la estructural y hormonal. Los más importantes se clasifican en categorías, según el número total de carbonos que los forman, como derivados del **Colestano (27C)**, **Colano (24C)**, **Pregnano (21C)**, **Androstano (19C)** y **Estrano (18C)**.

- **Colesterol.** Alcohol derivado del **Colestano de 27 carbonos**. Entre sus funciones están dar fluidez a todas las membranas y servir como precursor de todos los esteroides.

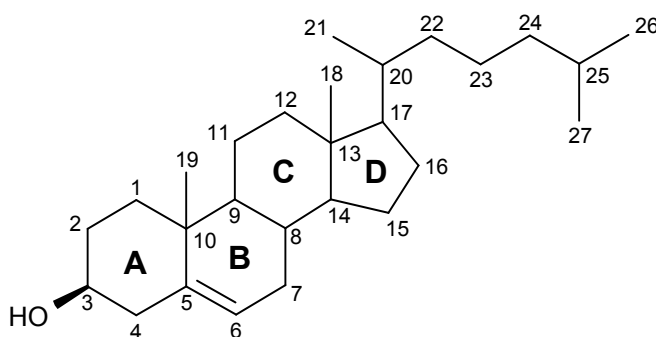


Figura 35. Colesterol. 5-cholesten-3β-ol

- **Ácidos cólicos y sales biliares.** Son derivados del núcleo **Colano de 24 carbonos**. Son productos de degradación del colesterol. En el intestino se encuentran conjugados con Glicina o Taurina, en forma de sales que disminuyen la tensión superficial del agua para emulsificar los lípidos y facilitar su digestión. Los más importantes son el ácido cólico de la figura siguiente y su isómero: **ác. desoxicólico (Ác. 3α, 12α-dihidroxicolan-24-ico)** **ác. quenocólico (Ac. 3α, 7α-dihidroxicolan-24-ico)** y **ác. litocólico (Ac. 3α-hidroxicolan-24-ico)**.

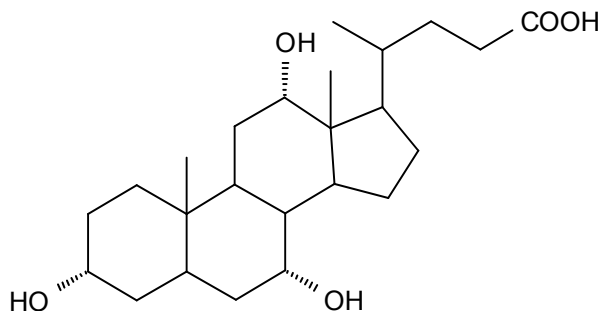


Figura 36. Ácido Cólico. Ácido 3α, 7α, 12α-trihidroxicolan-24-ico

7.6.2.1. Hormonas esteroideas

Derivados del Pregnano. Todos tienen **21 átomos de carbono**. Incluye la **Progesterona** y las hormonas de la corteza suprarrenal o **Corticoides**.

Progesterona. Esta hormona es producida por el cuerpo lúteo y la placenta. Controla el ciclo menstrual y el embarazo, también se utilizó como anticonceptivo.

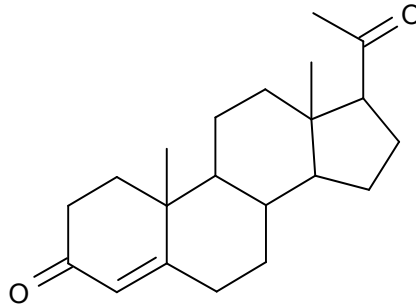


Figura 37. Progesterona. 4-pregnen-3, 20-diona

Cortisol. Es un **glucocorticoide**, porque estimula el metabolismo energético de glucosa.

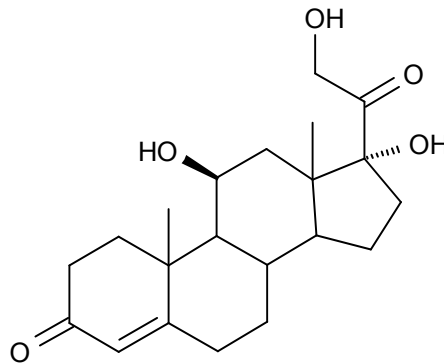


Figura 38. Cortisol. 11β, 17α, 21-trihidroxi-4-pregnen-3, 20-diona

Aldosterona. Es un **mineralocorticoide** que promueve la reabsorción renal de Sodio.

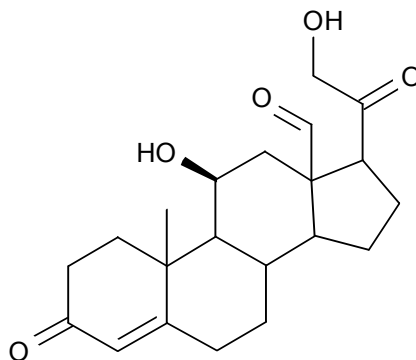


Figura 39. Aldosterona. 11β, 21-dihidroxi-3, 20 diceto-4-pregnen-18-aldo

Derivados del Androstano. Son las hormonas masculinas con **19 átomos de carbono**. **Testosterona.** Es un **andrógeno**, induce síntesis de proteínas y por lo tanto se usa para aumentar masa muscular. Es una hormona masculinizante.

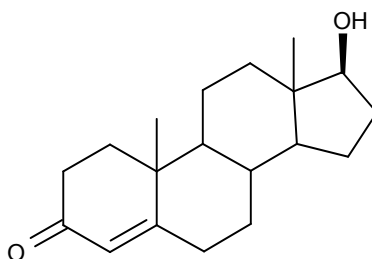


Figura 40. Testosterona. 17β-hidroxi-4-androsten-3-ona

Derivados del Estrano. Son las hormona femeninas con **18 átomos de carbono**. **Estradiol.** Es un **estrógeno** que produce la aparición de caracteres sexuales secundarios como depósito de lípidos en la cadera.

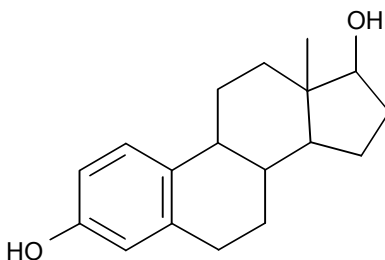


Figura 41. Estradiol. 1,3,5(19)-estratrien-3, 17β-diol

7.6.2.2. Otros esteroides de Interés. Existen un gran número de esteroides y derivado de interés médico, entre los que se encuentran los siguientes.

Vitamina D. Aunque se llama vitamina, el compuesto en realidad tiene propiedades de hormona, no tiene grupo amino, es sintetizada por los seres humano y tiene propiedades de hormona. Estimula la absorción de calcio en el intestino y la reabsorción de hueso por osteoclastos. Es derivada del esteroide 7-dehidrocolesterol, que al ser activado por la luz ultravioleta se convierte en el colecalciferol o vitamina D₃, que en hígado y riñón se transforma en la 1,25-dihidroxicolecalciferon, forma activa de la vitamina.

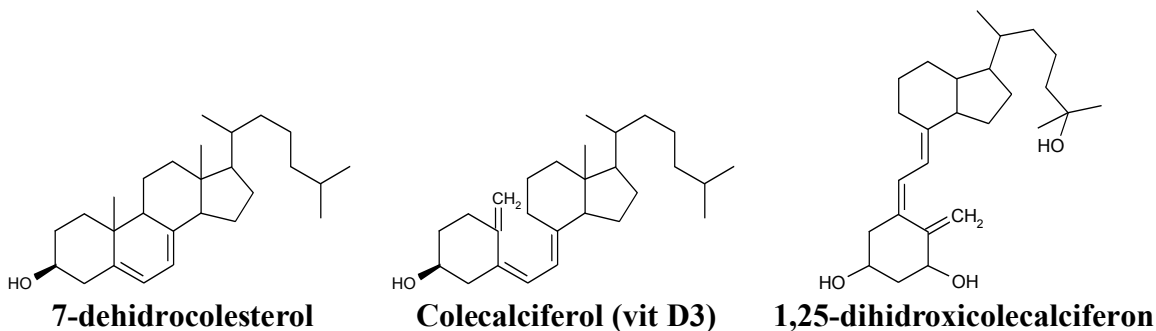


Figura 42. Tres formas de la Vitamina D

7.6.3. Estructura de los tetrapirroles. Contienen **4 grupos pirrol**. Hay dos categorías: (A) Las porfirinas, que incluyen los grupos Hemo de hemoglobina y citocromos y los pigmentos biliares. (b) Los corrinoideos, de los cuales el único de interés es el anillo de la vitamina B₁₂.

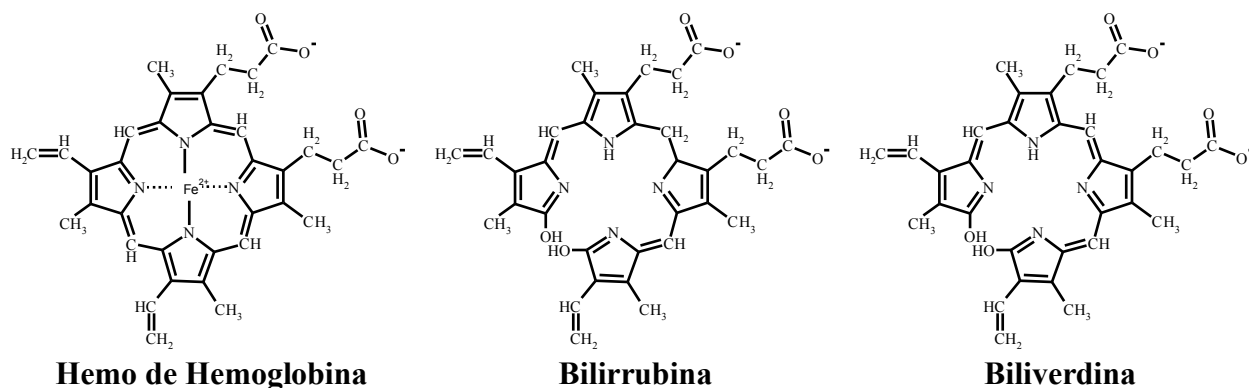


Figura 43. Estructura de tetrapirroles

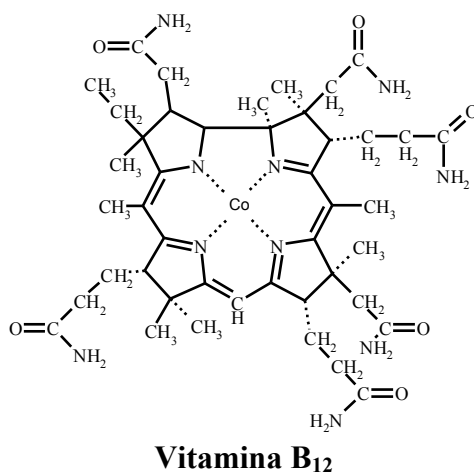


Figura 44. Anillo corrinoide de la vitamina B₁₂

Lipoproteínas plasmáticas

Son complejos supramoleculares formados por un núcleo de triacilglicéridos y/o esteres de colesterol, recubierto por una monocapa hidrófoba formada por fosfolípidos, colesterol no esterificado y proteínas específicas, cuya función principal es transportar los lípidos en la sangre. Se clasifican con base en sus propiedades fisicoquímicas en cuatro grupos principales, que se resumen en la **Tabla 1**.

El papel que desempeñan las lipoproteínas en el transporte de Colesterol, dio un impulso importante al estudio de sus propiedades y metabolismo, en especial en los casos de patologías cardiovasculares. Muchas de las propiedades funcionales de las lipoproteínas están determinadas por el tipo y cantidad de proteínas que se encuentran en ellas. Como conjunto, estas proteínas reciben el nombre de Apo-lipoproteínas. En los humanos hay cinco tipos generales, que se designan con letras de la **A** a la **E**, divididas en las categorías que se muestra en la **Tabla 2**.

Tabla 1. Clasificación y composición de las Lipoproteínas de la sangre

Clasificación		Composición %				Sustancia trasportada
Por Movilidad Electroforética	Por Densidad (g ml ⁻¹)	Proteínas	Triacilglicéridos	Fosfolípidos	Colesterol	
Quilomicrones. No se mueve	Quilomicrones < 0.94	1	87	8	4	Triacilglicéridos exógenos
Pre-beta. Delante de las proteínas β	VLDL 0.94 a 1.006	7	52	19	22	Triacilglicéridos endógenos
Beta. Con las proteínas β	LDL 1.006 a 1.063	16	18	23	43	Colesterol
Alfa. Con las proteínas α	HDL 1.063 a 1.21	45	8	25	22	Fosfolípidos

Quilomicrones. Son las Lipoproteínas más grandes y de menor densidad. Contienen un porcentaje elevado de Triacilglicéridos exógenos. Se forman en el Retículo Endoplásmico de las células del endotelio del Intestino Delgado para transportar Triacilglicéridos y Colesterol de la dieta a los tejidos. Antes de pasar a la circulación contienen principalmente apolipoproteínas **apoB-48**, que es la característica de ellas, y **apoA-I**, **apoA-II** y **apoA-IV**.

Tabla 2. Apo-lipoproteínas humanas

Apo-lipoproteína	Lipoproteína en que se encuentra	Función Conocida	Patologías asociadas
Apo A-I	HDL	Activa a la Lipoproteína: Colesterol Aciltransferasa	
Apo A-II	HDL		
Apo A-IV	HDL		
Apo B-48	Quilomicrones		
Apo B-100	VLDL, LDL	Se une al receptor de LDL	
Apo C-I	VLDL, HDL	Activa la Lipoproteín lipasa	
Apo C-II	VLDL, HDL Quilomicrones		
Apo C-III	VLDL, HDL Quilomicrones	Inhibe la Lipoproteín lipasa	
Apo D	HDL		
Apo E	VLDL, HDL Quilomicrones	Estimula la eliminación de restos de VLDL y Quilomicrones	Enfermedad de Alzheimer

Salen del intestino por vía linfática y entran a la circulación sanguínea a través de la vena subclaviana izquierda. En la circulación, los Quilomicrones adquieren las proteínas **apoE** y **apoC-II** provenientes de HDL. Los Quilomicrones liberan ácidos grasos en los capilares de tejido muscular, adiposo, cardíaco, etc. por acción de la enzima **Lipoproteín Lipasa Capilar**, que hidroliza los Triacilglicéridos; la **apoC-II** activa esta enzima. Los ácidos grasos liberados son absorbidos por las células y el Glicerol se transporta disuelto en la sangre hasta el Hígado donde se convierte en Dihidroxiacetona fosfato que se puede usar para la Gluconeogénesis, o para síntesis de Triacilglicéridos.

Al liberar los ácidos grasos, los Quilomicrones transfieren parte de sus fosfolípidos, y de las proteínas **apoA** y **apoC** a las HDL; la pérdida de **apoC-II** evita que los “Restos de Quilomicrones” se degraden en la circulación. Los “Restos de Quilomicrones” formados principalmente por Colesterol, **apoB-48** y **apoE**, son retirados de la circulación por el Hígado, mediante un receptor hepático de Quilomicrones que reconoce **apoE**.

Lipoproteínas de Muy Baja Densidad (VLDL). Se forman en el Hígado para transportar los Ácidos Grasos Endógenos a los tejidos, principalmente Músculo y Tejido Adiposo. Contiene las proteínas **apoB-100**, que sirve para unirse a receptores de LDL, **apoC-I** a **C-III** y **apoE**. Al igual que los Quilomicrones, las VLDL reciben las proteínas **apoC** y **apoE** de HDL, en la circulación. Una proteína del lumen del retículo endoplásmico hepático, llamada **MTP** (Microsomal Triacylglyceride transfer Protein o Proteína Microsomal de Transferencia de Acilglicéridos) participa en la formación de las VLDL, transfiriendo lípidos a la apoproteína **B-100** mientras esta se transloca al retículo endoplásmico. En los músculos, los ácidos grasos se oxidan para generar energía; en tejido adiposo, se almacenan en forma de Triacilglicéridos. La liberación de ácidos grasos depende de Lipoproteín Lipasa Capilar, igual que para los Quilomicrones. Al liberar sus ácidos grasos las VLDL se convierten en LDL y “Restos de VLDL”, también llamados **Lipoproteínas de Densidad Intermedia** o **IDL**. Cuando liberan sus ácidos grasos, las VLDL también ceden **apoC** a las HDL. Los Restos de VLDL, pueden convertirse en LDL, si liberan más ácidos grasos, o pueden ser eliminados por el Hígado, uniéndose a un receptor de Restos de VLDL que depende de **apoE** y **apoB-100**.

Lipoproteínas de Baja Densidad (LDL). Se forman a partir de las VLDL por pérdida de Triacilglicéridos. El núcleo lipídico de las LDL está formado principalmente por Colesterol libre y ésteres de Colesterol. La apolipoproteína característica es **apoB-100**. Mientras que las VLDL contienen 5 apoproteínas distintas (**B-100**, **C-I**, **C-II**, **C-III** y **E**), las LDL únicamente tienen **B-100**.

Las LDL son captadas en los tejidos extrahepáticos por endocitosis mediada por receptores de LDL. El receptor de las LDL es una glicoproteína transmembranal formada por una sola cadena peptídica, que reconoce **apoB-100**. En las células, las LDL se degradan liberando el Colesterol para incorporarlo en las membranas celulares. El Colesterol restante es transformado por la enzima **Acil-CoA: Colesterol Aciltransferasa (ACAT)** en ésteres de Colesterol, para su almacenamiento. La ACAT es activada por Colesterol.

El Hígado capta el 75% de las LDL, pero también es importante la participación del tejido adiposo y las glándulas suprarrenales. La captación Hepática de LDL es estimulada por Insulina y T3, lo cual explica los problemas de hipercolesterolemia que sufren los enfermos de Diabetes e Hipotiroidismo.

Lipoproteínas de Alta Densidad (HDL). Se sintetizan en Hígado e Intestino Delgado. Inicialmente contienen **apoA-I**, **apoC-I**, **apoC-II** y **apoE** y casi nada de Colesterol. También tienen la enzima **Lecitina:Colesterol Aciltransferasa (LCAT)** que cataliza la formación de Ésteres de Colesterol a partir de Lecitina y Colesterol. La LCAT es activada por **apoA-I**. Las HDL captan el colesterol libre de VLDL, IDL, LDL y Membrana celular, mediante la acción de LCAT, convirtiéndose en HDL₂ y HDL₃, estas HDL ricas en Colesterol, son captadas por endocitosis en el Hígado, donde el Colesterol sobrante es convertido en sales biliares. La endocitosis de HDL depende de receptores que reconocen la **apoA-I** de su superficie. También pueden transportar Colesterol a las glándulas suprarrenales, aunque en este papel, su participación parece menor que el de las LDL.