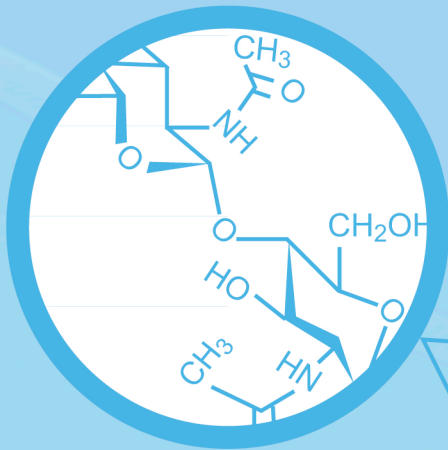


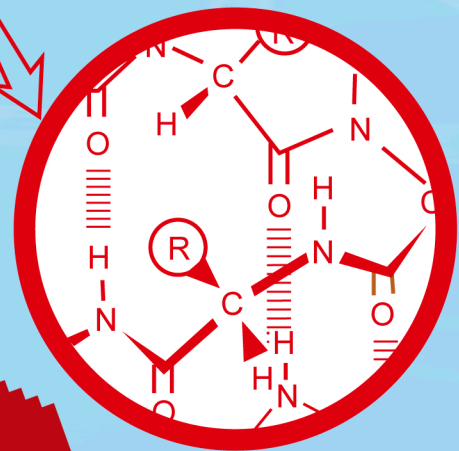
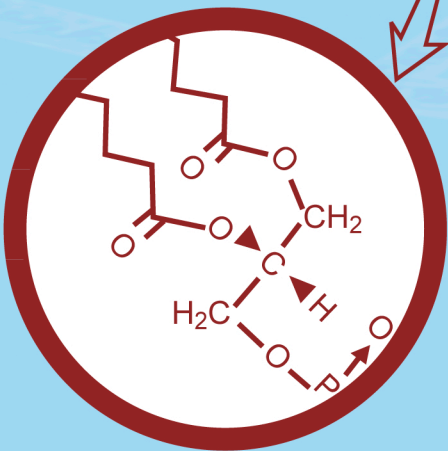
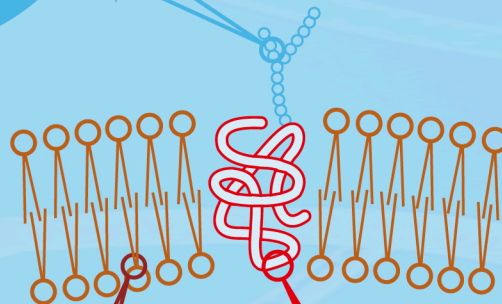
BIOMOLÉCULAS

LECCIONES DE
**BIOQUÍMICA
ESTRUCTURAL**

JOSÉ M. MACARULLA
FELIX M. GOÑI



TERCERA EDICIÓN



EDITORIAL REVERTÉ

BIOMOLÉCULAS

LECCIONES DE BIOQUÍMICA ESTRUCTURAL

TERCERA EDICIÓN

José M. Macarulla

CATEDRÁTICO DE BIOQUÍMICA DE LA
UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO

Félix M. Goñi

CATEDRÁTICO DE BIOQUÍMICA DE LA
UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO



EDITORIAL
REVERTÉ

Barcelona · Bogotá · Buenos Aires · México

Copyright © J. M. Macarulla y F. M. Goñi

Edición en papel:

© Editorial Reverté, S. A., 1984

ISBN: 978-84-291-7338-3

Edición e-book (PDF):

© Editorial Reverté, S. A., 2021

ISBN:978-84-291-9184-4

Propiedad de:

EDITORIAL REVERTÉ, S. A.

Loreto, 13-15, Local B

08029 Barcelona

Tel: (34) 93 419 33 36

E-mail: reverte@reverte.com

Internet: <http://www.reverte.com>

Reservados todos los derechos. La reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos, queda rigurosamente prohibida sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas por las leyes.

PRÓLOGO A LA PRIMERA EDICIÓN

Pocos serán los profesores universitarios que no hayan sentido alguna vez de modo acuciante la tentación de escribir un libro de texto, para fijar, siquiera provisionalmente, sus criterios didácticos y así sustentar su docencia. Sin embargo, al menos en el caso de los profesores de Bioquímica, dicha tentación se halla fuertemente contrarrestada por un simple hecho: la cantidad y calidad, a veces excepcional, de los textos que, de esta asignatura, existen en el mercado. En el caso que nos ocupa, es evidente que los autores no se han arredrado ante tan formidable competencia, que ellos son los primeros en reconocer. Queda, pues, en pie la necesidad ineludible de justificar su salida a la palestra.

La presente obra aborda exclusivamente los aspectos estructurales de la Bioquímica. En los textos modernos más difundidos, estos temas suelen ser tratados de modo insuficiente o carente de sistemática. No es esta falta imputable a los diversos autores: los senderos de la investigación actual se encaminan sobre todo hacia los aspectos dinámicos del metabolismo y la genética molecular, y es justo que la enseñanza universitaria sea un reflejo de la investigación contemporánea. Por otra parte, algunos de los mejores textos están dirigidos a lectores con una buena base de química orgánica, que puede suplir la deficiencia señalada. Pero no es menos cierto que, en numerosos ambientes universitarios, los estudiantes llegan a la Bioquímica sin la deseable formación previa. A estos estudiantes va dirigida nuestra obra. No se trata, pues, de suplir a ninguno de los buenos tratados sistemáticos, pero sí de ofrecer un pórtico para su estudio y una clave para su comprensión profunda.

El contenido del libro trata de responder fielmente a este carácter introductorio. Los cuatro capítulos obligados, correspondientes a los cuatro principios inmediatos clásicos

—glicidos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos— van precedidos de una breve consideración de las biomoléculas como sustancias orgánicas, con sus grupos funcionales y estructura espacial característica. El libro se cierra con un capítulo dedicado a las asociaciones supramoleculares, que pretende conectar la estructura química de las macromoléculas con la estructura celular submicroscópica. En todos los capítulos se han incluido prácticas y problemas que permiten en cierto modo la autoevaluación del estudiante, al tiempo que complementan en ocasiones la teoría con nuevos datos.

La realización de este libro no es tanto el resultado de la yuxtaposición de esfuerzos e ideas de dos autores como la plasmación, párrafo a párrafo, de un mismo enfoque de la enseñanza de la Bioquímica, compartido por quienes un día fueron profesor y alumno y son ahora colegas en la tarea docente. En este sentido, la Universidad de Bilbao jugó un papel decisivo en la génesis de este libro, al permitir el reencuentro de sus autores, separados un tiempo por azares administrativos. Este papel catalítico de la Universidad se vio modulado, siempre positivamente, por nuestros compañeros del Departamento de Bioquímica. La labor de mecanografía de Ana Pujana resultó especialmente eficaz. Doña Eloísa Plaza nos proporcionó cobijo apacible, al amparo de distracciones inoportunas, que permitió la materialización del manuscrito en un tiempo razonable. Finalmente, de la excelente realización técnica de Editorial Reverté, S. A., puede juzgar el lector mejor que nosotros.

J. M. MACARULLA
F. M. GOÑI

PRÓLOGO A LA TERCERA EDICIÓN

La difusión de «Biomoléculas» no ha decrecido con el paso de los años. Al parecer los estudiantes que utilizan los textos habituales de bioquímica (Lehninger, Stryer, Metzler, Zubay,...) siguen considerando que nuestra obra tiene utilidad para comprender los procesos metabólicos descritos en esos tratados. Aunque la bioquímica estructural ha evolucionado a un ritmo menor que otras áreas de la biología molecular, los propios avances en el terreno metabólico y genético han propiciado la aparición de nuevos conocimientos sobre la estructura de las macromoléculas biológicas. En consecuencia esta nueva edición ha exigido, aparte de una revisión general del texto anterior, una actualización más detallada de los capítulos dedicados a proteínas y ácidos nucleicos. Con ello pretendemos seguir ofreciendo un libro útil y moderno a los estudiantes que se inician en la bioquímica.

J. M. MACARULLA
F. M. GOÑI

ÍNDICE ANALÍTICO

CAPÍTULO 1. BIOMOLECULAS Y SUS GRUPOS FUNCIONALES

- 1.1. Concepto y clasificación 1**
- 1.2. Elementos biogénicos 1**
- 1.3. Biomoléculas inorgánicas 2**
 - 1.3.1. Agua 3
 - 1.3.2. Otras biomoléculas inorgánicas 3
- 1.4. Funciones orgánicas de interés biológico 4**
 - 1.4.1. Hidrocarburos y radicales 5
 - 1.4.2. Alcoholes y funciones relacionales 7
 - 1.4.3. Aldehídos, cetonas y funciones relacionadas 8
 - 1.4.4. Ácidos carboxílicos y funciones relacionadas 10
 - 1.4.5. Funciones nitrogenadas 12
 - 1.4.6. Funciones azufradas 13
 - 1.4.7. Heterociclos 14
- Prácticas 15**
- Problemas 16**

CAPÍTULO 2. ESTRUCTURA ESPACIAL DE LAS BIOMOLECULAS

- 2.1. Fórmulas moleculares y ordenación espacial 18**
- 2.2. Isomería 18**
 - 2.2.1. Isomería de cadena, posición y función 18
 - 2.2.2. Isomería geométrica (cis-trans) 19
 - 2.2.3. Estereoisomería (isomería óptica) 20
- 2.3. Configuración absoluta. Convención de Cahn, Ingold y Prelog. 22**
- 2.4. Configuración absoluta de isómeros geométricos 23**
- 2.5. Conformación 24**
 - Prácticas 27**
 - Problemas 28**

CAPÍTULO 3. GLICIDOS

- 3.1. Concepto y clasificación 30**
- 3.2. Monosacáridos simples 30**
 - 3.2.1. Configuración 31
 - 3.2.2. Propiedades físicas 34
 - 3.2.3. Anomerización 35
 - 3.2.4. Fórmulas de proyección de Haworth 36
 - 3.2.5. Estructura tridimensional. Conformación 38
 - 3.2.6. Propiedades químicas 38
- 3.3. Monosacáridos derivados 42**
- 3.4. Oligosacáridos 45**
 - 3.4.1. Nomenclatura y propiedades químicas 46
 - 3.4.2. Análisis estructural 47
- 3.5. Polisacáridos simples 48**
 - 3.5.1. Polisacáridos simples con funciones de reserva 48
 - 3.5.2. Polisacáridos simples con funciones estructurales 50
- 3.6. Polisacáridos derivados 51**
 - Prácticas 54**
 - Problemas 56**

CAPÍTULO 4. LÍPIDOS

- 4.1. Concepto y clasificación 58**
- 4.2. Ácidos grasos 58**
- 4.3. Lípidos relacionados con ácidos grasos 61**
 - 4.3.1. Alcoholes superiores y ceras 61
 - 4.3.2. Glicéridos simples 61
 - 4.3.3. Fosfoglicéridos 64
 - 4.3.4. Esfingosina, cerámidos y esfingofosfolípidos 65
 - 4.3.5. Esfingoglicolípidos 66
 - 4.3.6. Otros glicolípidos 67
 - 4.3.7. Prostaglandinas, tromboxanos y leucotrienos 68
- 4.4. Lípidos no relacionados con ácidos grasos 69**
 - 4.4.1. Terpenoides 70
 - 4.4.2. Carotenoides 71
 - 4.4.3. Esteroides 71
 - 4.4.4. Hidrocarburos 75
 - 4.4.5. Lípidos pirrólicos 75
 - Prácticas 78**
 - Problemas 81**

CAPÍTULO 5. PROTEÍNAS

- 5.1. Introducción 83**
 - 5.1.1. Clasificación 83
 - 5.1.2. Funciones biológicas 84
 - 5.1.3. Niveles de estructuración 84

5.2. Aminoácidos	85
5.2.1. Clasificación y estructura	88
5.2.2. Propiedades	89
5.2.3. Reacciones químicas características	92
5.3. Péptidos	96
5.3.1. Enlaces peptídicos	97
5.3.2. Nomenclatura y notación de péptidos	99
5.3.3. Péptidos naturales	101
5.3.4. Secuencia de un péptido (estructura primaria)	102
5.3.5. Conformación de los péptidos (estructura secundaria)	105
5.3.6. Estructuras supersecundarias	109
5.3.7. Acodamientos	109
5.4. Proteínas	109
5.4.1. Estructura terciaria de las proteínas	110
5.4.2. Dominios estructurales	111
5.4.3. Asociación de cadenas peptídicas (estructura cuaternaria)	112
5.4.4. Propiedades	115
5.4.5. Métodos de separación de proteínas	117
Prácticas	120
Problemas	122

CAPÍTULO 6. ÁCIDOS NUCLEICOS

6.1. Introducción	125
6.1.1. Origen histórico y funciones biológicas	125
6.1.2. Estructura	126
6.2. Bases púricas y pirimidínicas	126
6.2.1. Estructura. Tautomería	126
6.2.2. Propiedades	128
6.3. Nucleósidos	128
6.3.1. Estructura	128
6.3.2. Hidrólisis	129
6.4. Nucleótidos	130
6.4.1. Estructura	130
6.4.2. Polinucleótidos. Formulación	133
6.4.3. Nucleasas	133
6.4.4. Secuenciación de polinucleótidos	135
6.4.5. Nucleótidos libres con funciones específicas	137
6.5. RNA	141
6.5.1. hnRNA	141
6.5.2. snRNA	141
6.5.3. tRNA	141
6.5.4. rRNA	144
6.5.5. mRNA	144
6.5.6. vRNA	144
6.6. DNA	144
6.6.1. Estructura secundaria del DNA. Doble helicoide y emparejamiento de las bases.	145
6.6.2. Propiedades ópticas	148
6.6.3. Estructuras terciarias del DNA.	150

6.6.4. Mutación y agentes mutagénicos 152

Prácticas 154

Problemas 155

CAPITULO 7. ESTRUCTURAS SUPRAMOLECULARES

7.1. Estructuras supramoleculares con uniones covalentes 148

7.1.1. Estructuras fundamentalmente proteicas 160

7.1.2. Estructuras de carácter mixto 163

7.2. Estructuras supramoleculares con uniones no covalentes 165

7.2.1. Asociaciones de proteínas 165

7.2.2. Asociaciones mixtas 171

Prácticas 176

Problemas 176

Tablas y constantes 178

Bibliografía fundamental 182

Soluciones a los problemas 184

Índice alfabético 189

BIOMOLÉCULAS Y SUS GRUPOS FUNCIONALES

1.1. Concepto y clasificación

Los seres vivos están compuestos por una serie de sustancias llamadas clásicamente **principios inmediatos**. En la actualidad se conoce como **biomoléculas** a aquellas organizaciones moleculares que integran la materia viva. Con un criterio químico, se podrían clasificar las biomoléculas dentro de la química inorgánica o de la química orgánica, como sigue:

Biomoléculas inorgánicas:

Agua

Gases: oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno...

Aniones: cloruros, fosfatos, carbonatos...

Cationes: sodio, potasio, amonio, calcio, magnesio...

Biomoléculas orgánicas:

Glúcidos o azúcares, como la glucosa o la celulosa.

Lípidos o grasas, como los triacilgliceroles o los esteroides.

Proteínas, como la insulina o la hemoglobina y sus componentes (aminoácidos).

Ácidos nucleicos como el DNA o el RNA, y sus componentes (nucleótidos).

1.2. Elementos biogénéticos

La inmensa mayoría de los elementos químicos han sido detectados, en mayor o menor cantidad, en la materia viva. Sin embargo, sólo unos pocos, casi todos localizados en los

cuatro primeros períodos de la *Tabla de Mendelejeff*,* se hallan en cantidad apreciable y poseen funciones biológicas bien definidas. En la figura 1-1 se pueden observar estos elementos, en color rojo, junto con su estructura electrónica. Ya *Lavoisier*** había señalado la existencia de cuatro de ellos, **C**, **H**, **O** y **N**, como integrantes universales de los seres vivos. La investigación posterior ha ampliado esta lista inicial con elementos como *P*, *S*, *Cl*, *Na*, *K*, *Mg*, *Fe* y otros muchos.

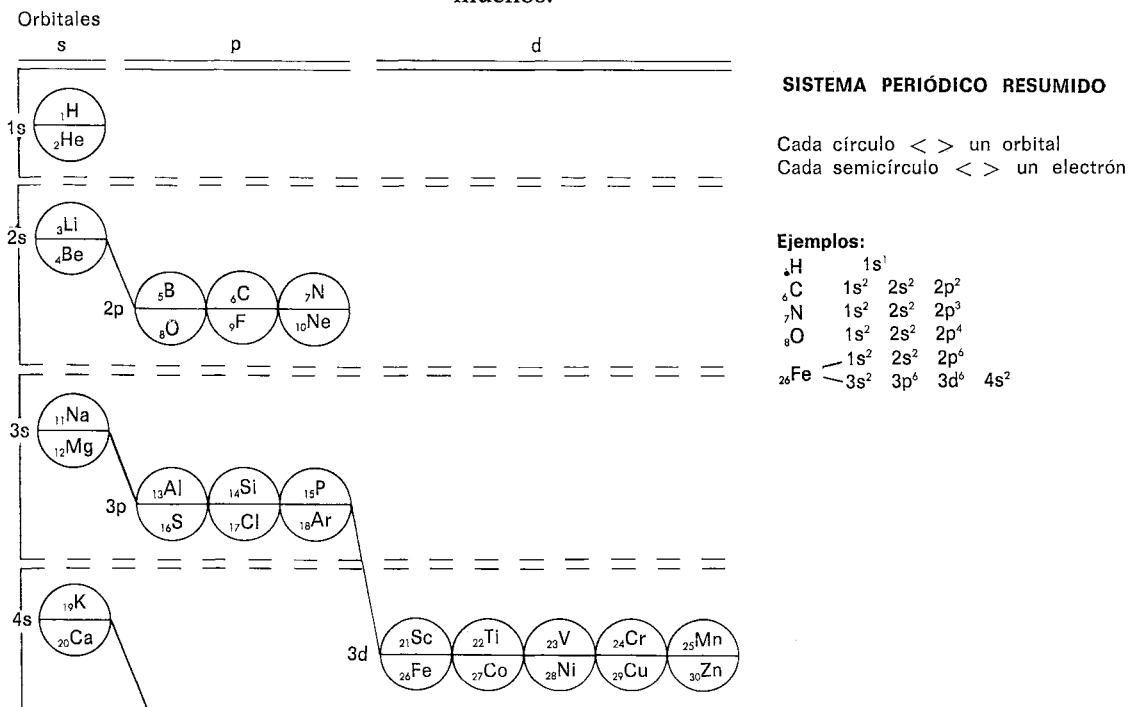


Figura 1-1 Distribución en el Sistema Periódico de los elementos biogénicos principales.

1.3. Biomoléculas inorgánicas

Las agrupaciones de elementos que constituyen las biomoléculas inorgánicas se estudian con detalle en los textos de química. Aquí sólo se comentan las principales propiedades de estos compuestos en cuanto a su interés biológico.

* Mendelejeff, Dmitri Ivanovich. Químico ruso, nacido en Tobolsk, Siberia, en 1834. Publicó su primera versión de la Tabla Periódica de los Elementos en 1869. Fue el pionero de la investigación química en Rusia. Por sus ideas liberales se vio obligado a abandonar su cátedra en 1890. Murió en San Petersburgo en 1907.

** Lavoisier, Antoine Laurent. Químico francés. Nació en París, de familia acomodada, en 1743. Introdujo el método cuantitativo en la química, destruyó la teoría del flogisto y demostró la ley de conservación de masas. En 1794 fue guillotinado en París, en parte por resentimiento personal de Marat.

1.3.1. Agua. La vida, tal como se conoce en el planeta Tierra, se desarrolla siempre en medio acuoso. Incluso en los seres no acuáticos el medio interno es esencialmente hídrico. La inmensa mayoría de las reacciones bioquímicas se desarrollan en el seno del agua y obedecen las leyes físico-químicas de las disoluciones acuosas.

Efectivamente, el agua reúne una serie de características que la convierten en un disolvente único e insustituible en la biosfera. En cuanto a sus propiedades físicas cabe destacar:

- a) El amplio margen de temperaturas en que permanece en *fase líquida* (0-100°) proporciona variadas posibilidades de vida, desde los organismos psicrófilicos, que pueden desarrollarse a temperaturas próximas a 0°, hasta los termófilicos, que viven a 70-80°.
- b) La anómala variación de la *densidad* con la temperatura (densidad máxima a 4°) determina que el hielo flote en el agua, actúe como aislante térmico, y en consecuencia posibilite el mantenimiento de la gran masa de agua de los océanos, que alberga a la mayor parte de la biosfera, en fase líquida a 4°.
- c) Su elevada *constante dieléctrica* permite la disociación de la mayoría de las sales inorgánicas en su seno.
- d) Su *carácter dipolar* hace que las moléculas de agua se orienten en torno a las partículas polares o iónicas, formando una envoltura de solvatación, lo que se traduce en una modificación de las propiedades de estas partículas.
- e) Su *calor específico* y *calor de vaporización* elevados permiten que el calor liberado en reacciones bioquímicas exotérmicas sea fácilmente absorbido y/o eliminado con pequeña variación de la temperatura del individuo.

Con respecto a las propiedades químicas del agua hay que señalar:

- a) Su gran capacidad de formación de *enlaces de hidrógeno* (4 por molécula) determina, aparte de alguna de las propiedades físicas enumeradas (por ejemplo, alto punto de ebullición y de fusión), la capacidad de solubilización de moléculas con grupos polares y los mecanismos de muchas reacciones hidrolíticas.
- b) Su capacidad de *disociación* y la rápida emigración de los iones resultantes (H^+ y OH^-), explica la importancia crítica del pH en muchos procesos biológicos.

1.3.2. Otras biomoléculas inorgánicas. Al lado del papel preponderante del agua, la importancia de las otras biomoléculas inorgánicas aparece restringida a aspectos particulares.

En general, los **gases** entran y salen de las células en disolución acuosa. Algunos son utilizados como sustrato metabolizable (N_2 en bacterias nitrificantes, CO_2 en plantas verdes); otras veces son productos de desecho (el mismo CO_2

en animales); por último el oxígeno es el aceptor final de los equivalentes de reducción en los seres aerobios.

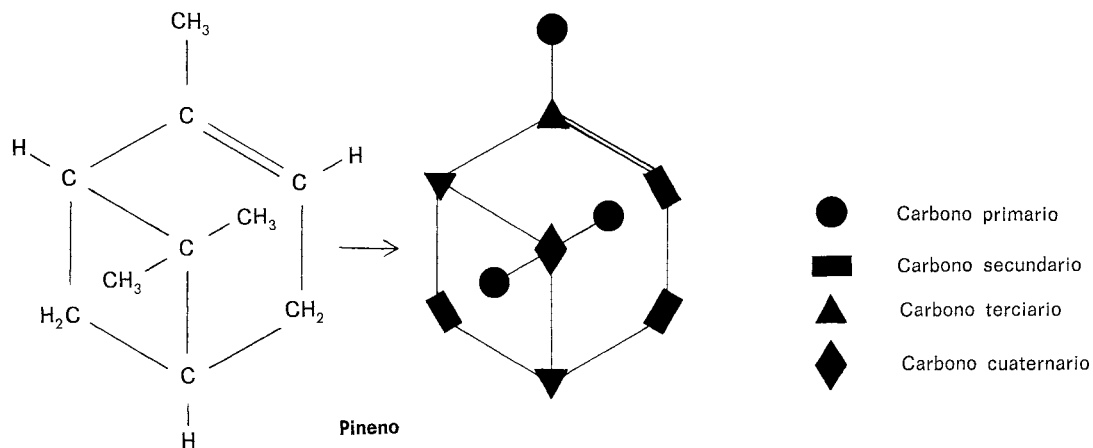
Los diversos **aniones** y **cationes** se encuentran en proporción variable en los medios intra y extracelulares, donde a menudo actúan como *cofactores* de reacciones específicas (ejemplo: el Cl^- en la hidrólisis del almidón por las amilasas). Otras veces tienen *misión estructural*, como el hidroxapatito $(\text{PO}_4)_3\text{Ca}_5(\text{OH})$ que condiciona la microestructura cristalina en el tejido óseo. Los iones inorgánicos son los principales responsables del mantenimiento de la *presión osmótica* en los seres vivos y de la generación de *potenciales de membrana* e intervienen activamente en fenómenos fisiológicos tan dispares como la contracción muscular, la visión y la coagulación de la sangre.

1.4. Funciones orgánicas de interés biológico

Las biomoléculas orgánicas son mucho más complejas y variadas que las de naturaleza inorgánica. Su misma complejidad hace ineludible una breve revisión de las biomoléculas como portadoras de funciones químico-orgánicas.

La gran variabilidad estructural de los compuestos orgánicos se debe a la situación privilegiada del *átomo de carbono* en el sistema periódico, en el centro del segundo periodo. El carbono tiene cuatro electrones en el último piso y, debido a su electronegatividad media, puede enlazar con otros átomos de carbono formando cadenas abiertas o cerradas, de longitud variable, mediante enlaces sencillos, dobles o triples. Además, esa electronegatividad intermedia le permite enlazar con otros muchos átomos, tanto electropositivos (H), como electronegativos (O, N, S).

A efectos de clasificación, se asigna a cada átomo de carbono el calificativo de primario, secundario, terciario o cuaternario según se enlace con uno, dos, tres o cuatro átomos de carbono distintos. Esta clasificación es independiente del número de valencias que pueda utilizar en cada enlace. Al margen se incluye la fórmula de un lípido de origen vegetal, el *pineno*, junto con un esquema en el que se



indica el carácter de cada átomo de carbono: primario (●), secundario (■), terciario (▲) y cuaternario (◆).

Por otra parte, las *funciones orgánicas* se clasifican según el **grado de oxidación** del carbono portador de la función. El grado de oxidación de un carbono se define como el número de valencias que utiliza para enlazar con el oxígeno o con otros átomos electronegativos (nitrógeno, halógenos, azufre). Así, los hidrocarburos saturados son funciones en grado cero de oxidación; los alcoholes son funciones en grado uno; los aldehídos, en grado dos; los ácidos carboxílicos, en grado tres y la urea en grado cuatro, como se desarrollará en este capítulo.

A continuación se describen las principales funciones orgánicas presentes en las biomoléculas. Para cada caso se indica: concepto y nomenclatura, algunas propiedades e interés bioquímico.

1.4.1. Hidrocarburos y radicales. Los hidrocarburos son compuestos binarios de carbono e hidrógeno. El interés de estos compuestos radica no sólo en sí mismos, sino en que todos los demás compuestos orgánicos se estructuran a partir de ellos.

Los hidrocarburos, según la estructura de la cadena carbonada, pueden ser abiertos, alicíclicos o aromáticos. Entre los abiertos, la cadena puede ser lineal o ramificada.

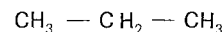
El nombre sistemático de los hidrocarburos de cadena lineal consta de tres partes: la primera alude al número de carbonos de la molécula, según se detalla al margen; la segunda, al tipo de enlaces (todos sencillos **-an-**; un doble enlace **-en-**; un enlace triple **-in-*** y la tercera, al carácter hidrocarburo (**-o**). La cadena carbonada se numera empezando por el extremo más próximo a la función principal. Al margen se citan algunos ejemplos de estos y otros compuestos.

Al sustituir un hidrógeno de un hidrocarburo por una valencia libre se obtiene un **radical**. Los radicales se nombran como el hidrocarburo de origen, sustituyendo el sufijo **-o** por la terminación **-il** o **-ilo**. Si el hidrocarburo era saturado, se omite la partícula **-an-**.

Los *hidrocarburos alicíclicos* contienen una cadena carbonada cerrada. Los hidrocarburos alicíclicos y sus radicales se nombran como los abiertos, anteponiendo el prefijo **ciclo**. Los hidrocarburos aromáticos contienen al menos un anillo bencénico, con tres dobles enlaces conjugados estabilizados por resonancia. La mayor parte de los *hidrocarburos aromáticos* y sus correspondientes radicales tienen nombres propios consagrados por el uso.

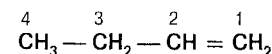
TABLA 1.1

Prefijo	N.º de C
Met-	1
Et-	2
Prop-	3
But-	4
Pent-	5
Hex-	6
Hept-	7
Oct-	8
Non-	9
Dec-	10
Undec-	11
Dodec-	12
Eicos-	20
Triacot-	30
-----	---
Alc-	n



Tres carbonos:	prop-
Enlaces sencillos:	-an-
Hidrocarburo:	-o

Nombre correcto: propano



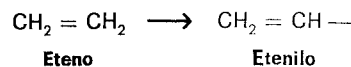
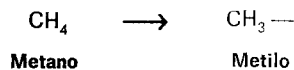
Cuatro carbonos:	but-
Un doble enlace:	-en-
(en posición 1)	
Hidrocarburo:	-o

Nombre correcto: 1-buteno

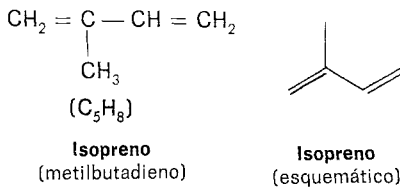
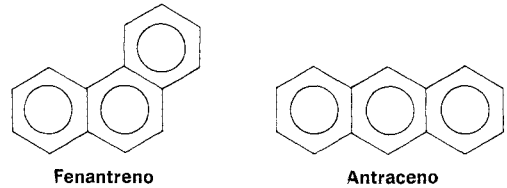
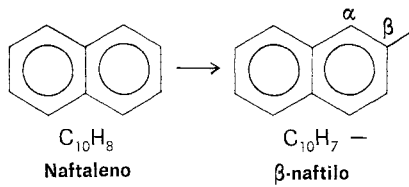
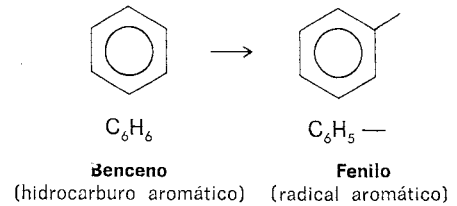
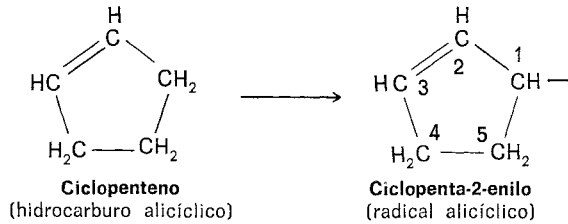


Dos carbonos:	et-
Un triple enlace:	-in-
Hidrocarburo:	-o

Nombre correcto: etino

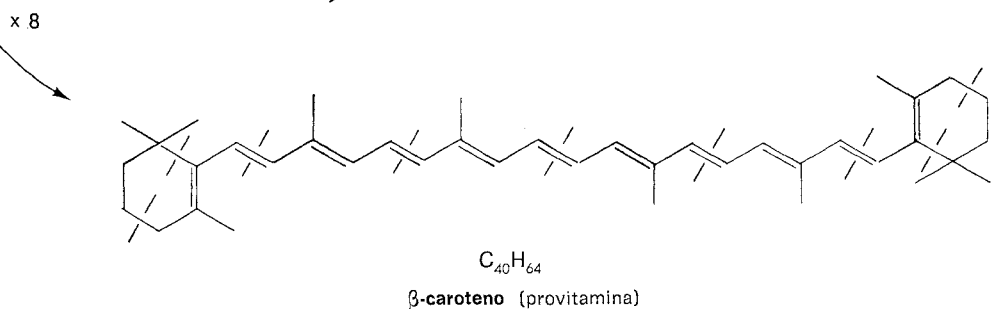
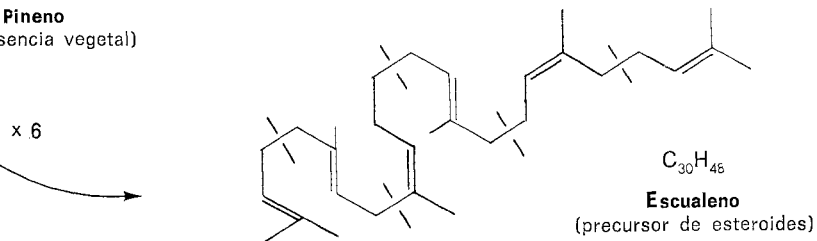
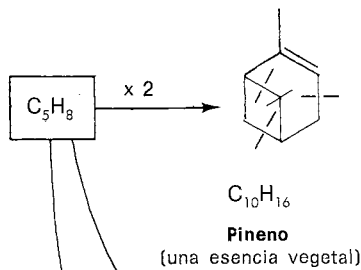


* Siempre que una función se repite en la misma molécula se le antepone un prefijo, *di, tri, tetra*....



Los hidrocarburos son sustancias muy apolares y, por lo tanto, inmiscibles con el agua y miscibles con disolventes orgánicos (cloroformo, éter).

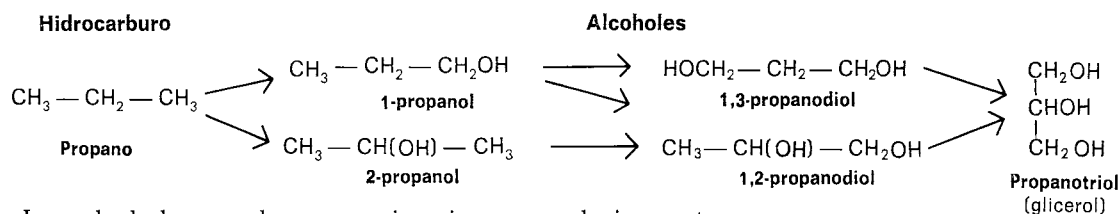
Los hidrocarburos se hallan en la naturaleza principalmente formando parte del petróleo, que es un producto de degradación de residuos biológicos. Algunos microorganismos (*Candida lipolytica*) pueden utilizar hidrocarburos como fuente de carbono y de energía, mientras que otros (*Methanomonas*) liberan hidrocarburos gaseosos como producto de desecho. También se encuentran hidrocarburos en la fracción lipídica de numerosos seres vivos. Merecen especial atención los polímeros del *isopreno* (metilbutadieno), que dan origen a una variada gama de productos, como esencias vegetales (terpenos), hormonas derivadas del escualeno (esteroides), provitaminas (carotenos) y muchos otros.



1.4.2. Alcoholes y funciones relacionadas. Los alcoholes son compuestos ternarios de **C**, **H** y **O**. Pueden considerarse derivados de los hidrocarburos por sustitución de un átomo de hidrógeno por un **hidroxilo** ($-\text{OH}$).

Los alcoholes se nombran como los hidrocarburos, cambiando el sufijo **-o** por **-ol**. Si hubiere varias funciones alcohol en la misma molécula, se antepone el prefijo *di*, *tri*, *tetra*,... correspondiente y se localiza cada una de ellas por el número del carbono al que están unidas.

Ejemplo:

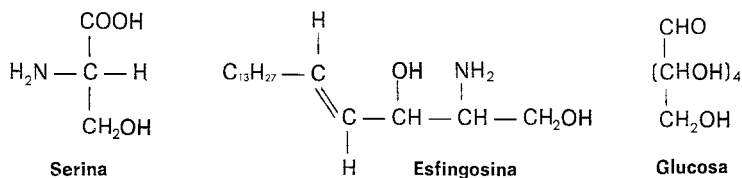
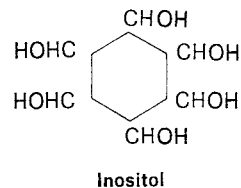
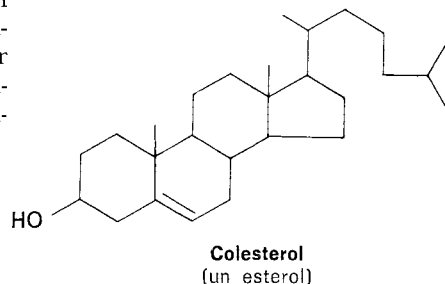


Los alcoholes pueden ser primarios, secundarios o terciarios según la naturaleza del carbono que sustenta la función. Así, en el ejemplo anterior, el 1-propanol es un alcohol primario y el 2-propanol es un alcohol secundario.

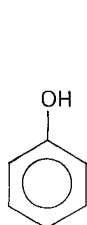
Los alcoholes, por contener en su molécula un radical alquilo y un grupo hidroxilo, tienen propiedades físicas intermedias entre los hidrocarburos y el agua. Su carácter apolar aumenta con la longitud de la cadena carbonada, mientras que su carácter polar o hidrofílico aumenta con el número de hidroxilos en la molécula.

Alcoholes	Miscibilidad en	
	Hidrocarburos	Agua
etanol $\text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{OH}$	+	+
1-butanol $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{OH}$	+	—
propanotriol $\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	—	+

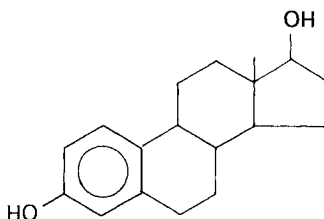
En la naturaleza se encuentran alcoholes libres, fundamentalmente etanol, como producto de fermentaciones; otros alcoholes, como los esteroides, el glicerol o el inositol integran moléculas lipídicas más complejas; finalmente, muchas biomoléculas poseen funciones alcohol, como todos los azúcares, algunos aminoácidos (serina, treonina), la esfingosina, etc.



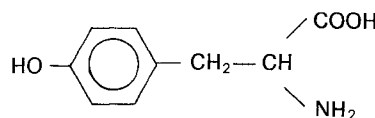
Cuando el grupo hidroxilo está unido a un carbono perteneciente a un anillo aromático, la función resultante recibe el nombre de **fenol**. Sus propiedades son parecidas a las de los alcoholes, si bien el H fenólico es ligeramente ácido. Son ejemplos de biomoléculas fenólicas la hormona estradiol y el aminoácido tirosina.



Fenol

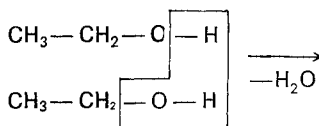


Estradiol

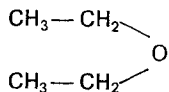
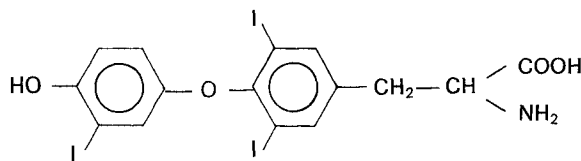


Tirosina

Por condensación de dos funciones alcohol con pérdida de una molécula de agua se obtiene la función **éter**: un éter típico es el etoxietano o éter etílico, que tiene interés para el laboratorio por sus propiedades de disolvente apolar. Contiene, por ejemplo, una función éter la hormona triiodotironina (T_3).



Etanol

Etoxietano
(éter)Triiodotironina (T_3)

1.4.3. Aldehídos, cetonas y funciones relacionadas. Los aldehídos y las cetonas son funciones en segundo grado de oxidación. Se consideran derivados de un hidrocarburo por sustitución de dos átomos de hidrógeno en un mismo carbono por uno de oxígeno, dando lugar a un grupo **oxo** ($=O$). Si la sustitución tiene lugar en un carbono primario el compuesto resultante es un **aldehído** y se nombra con la terminación **-al**. Si la sustitución tiene lugar en un carbono secundario, se trata de una **cetona**, y se caracteriza por el sufixo **-ona**.

