





QUÍMICA BIOLÓGICA





Portada

El dibujo de la cubierta representa esquemáticamente una subunidad de la enzima tetramérica *lactato deshidrogenasa* (EC 1.1.1.27, L-lactato: NAD óxido-reductasa). La estructura básica indicada es común para las diferentes cadenas polipeptídicas integrantes de las diversas formas moleculares que presenta esta enzima, entre ellas la subunidad C de la isozima C_4 (LDH X o C_4), específica de testículo y espermatozoides de numerosas especies, incluida la humana.

La LDH C_4 fue co-descubierta por A. Blanco en 1963 (Blanco A. y Zinkham, W. H., *Science* 139: 601-602, 1963).



QUÍMICA BIOLÓGICA

Antonio Blanco

*Profesor Emérito,
Facultad de Ciencias Médicas
Universidad Nacional de Córdoba.
Córdoba. Argentina.
10/5/1929-23/4/2020*

Gustavo Blanco

*Profesor Titular
Director (Chairman) del Departamento
de Cell Biology and Physiology
The University of Kansas Medical Center
Kansas City, EE.UU.*

 **Editorial El Ateneo**

Química biológica

© Antonio Blanco y Gustavo Blanco, 2023

Derechos mundiales de edición en castellano

© Grupo ILHSA S. A. para su sello Editorial El Ateneo, 2023

Patagones 2463 - (C1282ACA) Buenos Aires, Argentina

Tel.: (54 11) 4943-8200 Fax: (54 11) 4308-4199

editorial@elateneo.com - www.editorialelateneo.com.ar

Dirección editorial: Marcela Luza

Edición: Marina von der Pahlen

Producción: Pablo Gauna

Diseño de interiores y cubierta: Claudia Solari

Agradecemos la generosidad de Tonio Blanco por su esmerado trabajo en la realización y la actualización de las ilustraciones de este libro.

1ª edición en Editorial El Ateneo: abril de 1988

10ª edición: febrero de 2016

11ª edición: febrero de 2023

ISBN 978-950-02-1337-0

Impreso en Talleres Trama,
Pasaje Garro 3160, CABA,
en febrero de 2023.

Tirada: 3.000 ejemplares.

Libro de edición argentina.

Queda hecho el depósito que establece la Ley 11.723.

El editor se reserva todos los derechos sobre esta obra. En consecuencia, no puede reproducirse total o parcialmente por ningún método de reproducción existente o por existir incluyendo el gráfico, electrónico y/o mecánico (como ser el fotocopiado, el registro electromagnético y/o el almacenamiento de datos, entre otros), sin el expreso consentimiento de su editor, Grupo Ilhsa S.A. (Ley n° 11.723).

Blanco, Antonio

Química biológica / Antonio Blanco ; Gustavo Blanco. - 11a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : El Ateneo, 2023.

760 p. ; 26 x 18 cm.

ISBN 978-950-02-1337-0

1. Bioquímica. I. Blanco, Gustavo. II. Título.

CDD 612.1111



A Noemí

A Gladis



Prólogo de la undécima edición

La buena recepción dispensada a este texto desde su aparición, allá por el año 1988, hizo que nos impusiéramos la tarea, en sucesivas versiones, de mantenerlo actualizado. En un campo en el cual los conocimientos evolucionan con asombrosa rapidez, es imperioso acompañar el ritmo de esa evolución.

La actualización de un texto de Química Biológica dirigido primariamente a estudiantes de grado plantea un gran desafío: ¿Cuánto de la enorme y creciente masa de nueva información es aconsejable ofrecer para asegurar una adecuada preparación básica?

Según criterios elaborados a lo largo de muchos años de experiencia docente, nuestra respuesta ha sido brindar los conocimientos elementales indispensables en la materia y a su vez incorporar información reciente, en la medida en que cuente con sólido apoyo experimental, hayan alcanzado amplia aceptación de la comunidad científica y sea relevante para la formación del futuro profesional. En esta oportunidad hemos realizado una revisión y actualización de la edición anterior e incluido cambios significativos. Incorporamos nuevos temas, agregamos nuevas referencias a trastornos clínicos relacionados con alteraciones bioquímicas y modificamos secciones a fin de lograr una mejor organización del contenido. Además, se han recoloreado todas las figuras, añadido nuevas, e incluido una serie de tablas que resumen la información y creemos facilitan el aprendizaje.

La información que se expone procura satisfacer los requerimientos del curso regular de la materia; hemos ampliado más allá de esos límites algunos capítulos que pueden servir de consulta en etapas más avanzadas de la carrera de Medicina o en asignaturas afines.

Originalmente esta obra fue gestada en la entonces Cátedra de Química Biológica (hoy Cátedra de Bioquímica y Biología Molecular) de la Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina). Agradecemos mucho la colaboración de los integrantes de la Cátedra quienes, con el aporte constante de valiosas sugerencias, ayudaron a mejorar la obra a través de los años. Asimismo, valoramos la colaboración de las Dras. Alicia Bollati y Noemi Gardenal por su contribución en el editado de distintas partes de este libro. Finalmente, agradecemos el excelente trabajo de ilustración gráfica realizado por Tonio Blanco quien, con el diseño de nuevas figuras y tablas ha contribuido a que el libro resulte más didáctico.

Siempre ha sido nuestra intención hacer de este texto una herramienta útil para el aprendizaje de la Bioquímica a nivel inicial. Esperamos que esta nueva edición cumpla con ese propósito.

Los autores



Índice

<i>Introducción</i>	1
<i>Tabla periódica de los elementos</i>	5
1. Composición química de los seres vivos	7
2. Agua.....	9
3. Proteínas	23
4. Hidratos de carbono	71
5. Lípidos	95
6. Ácidos nucleicos.....	117
7. Elementos de termodinámica y cinética bioquímicas.....	135
8. Enzimas.....	145
9. Oxidaciones biológicas. Bioenergética.....	167
10. Antioxidantes.....	191
11. Membranas.....	201
12. Digestión. Absorción	237
13. Metabolismo	259
14. Metabolismo de hidratos de carbono	267
15. Metabolismo de lípidos.....	303
16. Metabolismo de aminoácidos	339
17. Metabolismo del hemo	369
18. Metabolismo de purinas y pirimidinas	379
19. Integración y regulación del metabolismo.....	389
20. Metabolismo en algunos tejidos	409
21. La información genética (I). Replicación y transcripción	425
22. La información genética (II). Biosíntesis de proteínas.....	453
23. Regulación de la expresión génica	481
24. Modificaciones postraducción de proteínas.....	491
25. Bases bioquímicas de la endocrinología (I). Receptores y transducción de señales	503
25. Bases bioquímicas de la endocrinología (II). Hormonas y otros intermediarios químicos	529
27. Vitaminas	593
28. Balance hídrico y equilibrio ácido-base	633
29. Componentes minerales.....	655
30. Bases moleculares de la inmunidad.....	683
31. Hemostasis.....	717
32. Muerte celular	725
<i>Índice alfabético</i>	733



Introducción

La Química Biológica, ciencia que procura explicar los procesos vitales a nivel molecular, comprende dos grandes áreas: una está destinada al estudio de los componentes de los seres vivos y ha sido llamada *Bioquímica estática o descriptiva*; la otra investiga las transformaciones químicas que acontecen en los sistemas biológicos y suele denominarse *Bioquímica dinámica*. Ambas han sido escenario de un asombroso desarrollo en los últimos cien años.

Bioquímica descriptiva. El conocimiento de los componentes de los seres vivos demanda intensos esfuerzos de investigación. La empresa es ardua, dada la gran complejidad de la materia viviente. Aun el organismo unicelular más simple contiene miles de sustancias diferentes.

El estudio de los constituyentes de células y tejidos exige su separación, purificación, determinación de estructura y propiedades. Al comienzo, los bioquímicos trataron con las sustancias más sencillas, que podían extraerse fácilmente de organismos animales o vegetales, o bien obtenerse por descomposición de sustancias más complejas.

Como en otras disciplinas científicas, el avance de la Química Biológica ha ido de la mano de los progresos tecnológicos. La disponibilidad de instrumental y métodos cada vez más sensibles, penetrantes y resolutivos, permitió superar limitaciones y enfrentar el desafío que plantea el estudio de moléculas de organización más compleja. La separación, purificación y análisis de macromoléculas (proteínas, ácidos nucleicos y polisacáridos), que alguna vez fueron inimaginables, se convirtieron hoy

en moneda corriente en los laboratorios bioquímicos gracias a nuevos recursos técnicos. En este campo hemos asistido a progresos extraordinarios en los últimos setenta años.

El conocimiento de la estructura de moléculas que desempeñan un papel protagónico en los procesos biológicos permitió adentrarse en su intimidad, interpretar sus funciones sobre bases más firmes y explicar sus mecanismos de acción.

Bioquímica dinámica. En todo ser vivo ocurren a cada instante innumerables reacciones químicas, cuyo estudio se engloba bajo el nombre de *metabolismo*. Naturalmente, los primeros interrogantes estaban relacionados con los cambios que experimentan las sustancias incorporadas al organismo con los alimentos y el origen de los productos de desecho; más tarde se encaró el estudio de la síntesis de los propios componentes del organismo.

El gran desarrollo de los estudios metabólicos fue favorecido por el progreso de la enzimología. El mejor conocimiento de las *enzimas*, catalizadores de las reacciones bioquímicas, ha sido factor decisivo en la actual comprensión de los fenómenos biológicos.

La mayor parte de las conversiones químicas en los seres vivos se cumple en forma gradual, a través de series de reacciones o *vías metabólicas*, que en etapas sucesivas convierten el compuesto inicial en un producto final determinado.

Desde las primeras observaciones en la segunda mitad del siglo XIX hasta la actualidad, los hallazgos de miles de investigadores han ido brindando una visión de la gran variedad y complejidad de esas vías y de sus interrela-

ciones. Esto se suele representar en los llamados “mapas metabólicos” que representan, como en una intrincada red de caminos, la existencia de interconexiones, desvíos y encrucijadas en los recorridos que pueden cumplir diferentes compuestos. El conjunto da la impresión de una confusa maraña cuyo funcionamiento ordenado es difícil de concebir. Sin embargo, en el individuo normal todo transcurre con un ritmo y magnitud exquisitamente adaptados a las necesidades de cada célula en particular y del organismo en general. Esto depende de la existencia de dispositivos de control que ordenan el “tránsito” a lo largo de las distintas vías metabólicas. La investigación de los procesos de regulación e integración ha sido particularmente activa en los últimos sesenta años. Se han puesto en evidencia múltiples y sutiles mecanismos de modulación de la actividad de enzimas, con los cuales se logra adecuar el flujo de compuestos a través de una vía determinada a las necesidades locales en un momento dado.

En los seres multicelulares, los sistemas nervioso y endocrino aseguran el funcionamiento integrado del organismo. Ante determinados estímulos, estos sistemas liberan sustancias intermediarias o *mensajeros químicos* (neurotransmisores, hormonas, citoquinas y otros factores) que ponen en marcha, con gran selectividad, *sistemas de transmisión o transducción de señales* hacia el interior de las células y provocan respuestas definidas. Los datos disponibles actualmente en el campo de la transducción de señales celulares muestran una llamativa complejidad, expresada por la diversidad de integrantes de esos sistemas y por sus frecuentes conexiones e interacciones.

La unidad del mundo biológico. Del cúmulo de conocimientos adquiridos surge la siguiente evidencia: a pesar de la enorme diversidad en el mundo de los seres vivos, existe una notable unidad en las estructuras y en los mecanismos básicos sobre los cuales se asienta y transcurre la vida. Así, las macromoléculas fundamentales de los organismos vivientes, vale decir, las proteínas y los ácidos nucleicos, son distintos de especie a especie y aun de individuo a individuo. Pero la estructura básica es la misma: están construidas por el ensamble de unidades idénticas en todos los seres, siguiendo un mismo plan general. Todas las proteínas existentes en la naturaleza resultan del enlace, en extensas cadenas, de veinte unidades fundamentales (aminoácidos). Todos los ácidos nucleicos están compuestos por la unión, en larguísimas hebras, de cuatro unidades constitutivas (nucleótidos).

Los mecanismos metabólicos, por su parte, también muestran gran semejanza aun en espe-

cies filogenéticamente muy distantes. Las reacciones mediante las cuales el músculo esquelético humano deriva energía para su contracción reproducen, en casi todas sus etapas, las transformaciones que acontecen en la levadura y otros microorganismos durante el proceso de fermentación. La comprensión del funcionamiento de vías metabólicas en tejidos de seres multicelulares de gran complejidad se alcanzó en muchos casos estudiando organismos más simples que realizan iguales transformaciones.

El organismo como máquina transformadora de energía. De acuerdo con sus requerimientos, los organismos pueden dividirse en *autótrofos* y *heterótrofos*. Los vegetales verdes son autótrofos, pueden sintetizar compuestos orgánicos complejos (hidratos de carbono, grasas, ácidos nucleicos y proteínas) a partir de sustancias inorgánicas muy simples (agua, dióxido de carbono, nitrógeno, fosfatos). La energía para estas síntesis proviene del sol.

Los animales multicelulares, en cambio, son heterótrofos, dependen de la ingesta de compuestos producidos por otros seres. Normalmente la dieta incluye hidratos de carbono, lípidos, proteínas, vitaminas y minerales. En general, los cambios experimentados por las sustancias incorporadas al organismo tienden a cumplir dos fines principales: a) transferencia de la energía contenida en esas sustancias y b) obtención de materia prima para la síntesis de las moléculas propias. Esta síntesis, como otras actividades de las células, requiere energía.

El aprovechamiento de la energía química existente en diversos componentes de la dieta representa una parte muy importante de las actividades celulares. Los organismos vivos pueden ser considerados verdaderas máquinas de conversión de energía. Las reacciones químicas llamadas exergónicas, esto es, las que transcurren con liberación de energía, frecuentemente se acoplan con otras que la requieren (endergónicas). En muchas de esas reacciones se producen moléculas capaces de captar, retener y finalmente ceder esa energía cuando sea necesaria. Existen varias de estas moléculas; la principal de ellas en todas las especies vivientes es la *adenosina trifosfato* o *ATP*, el más importante portador de energía química fácilmente utilizable.

Capacidad de reproducción. Una propiedad distintiva de los seres vivos es su capacidad de reproducirse y de crear, generación tras generación, otros organismos semejantes a sus antecesores en estructura externa e interna y en características fisiológicas.

Ello es posible gracias a la transmisión de caracteres heredables, contenidos como *informa-*

ción genética en las enormes moléculas de *ácido desoxirribonucleico (ADN)* constituyentes de los cromosomas. Esa información está representada por la secuencia de nucleótidos del ADN, la cual es transmitida de padres a hijos y de célula a célula, y en última instancia expresada por la síntesis de proteínas con características únicas para cada especie o aun para cada individuo. El “código” o “lenguaje” con el cual se inscribe la información genética del ADN es universal, es decir, es prácticamente el mismo para todos los seres vivos. Esto señala nuevamente la unidad del mundo biológico; nos habla de un origen común de toda la materia viviente.

Los cambios (mutaciones) operados en el “mensaje genético” a través de millones y millones de años han creado la actual diversidad y las características peculiares adquiridas por cada especie durante ese proceso de evolución.

El avance de los conocimientos en esta área ha sido notable en las últimas décadas. No solo se ha logrado una mejor comprensión de los mecanismos responsables de la transmisión y eventual modificación de los caracteres hereditarios; también se han creado posibilidades de aplicación imprevisibles hasta hace pocos años. En el seno de la Bioquímica se ha desarrollado una nueva disciplina, la *Biología Molecular*, que cuenta en su haber con aportes sorprendentes, como el haber descifrado la secuencia completa del ADN que constituye el genoma humano y el de cada vez mayor número de especies vegetales y animales, la manipulación de genes, la creación de organismos transgénicos con propiedades inéditas y la terapia de enfermedades hereditarias.

La aplicación de estos conocimientos ha posibilitado los enormes avances de la biotecnología y la medicina a los que asistimos en la actualidad.

Más allá de los indudables beneficios que las conquistas de la Biología Molecular reportan a la humanidad, el progreso conlleva nuevos problemas de orden ético que el científico, como miembro de la sociedad, no debe soslayar.

Límites de la Química Biológica. Los avances de la Química Biológica han posibilitado la apertura de nuevos horizontes y han impulsado el desarrollo de otras disciplinas, como la Biología Celular. El resultado ha sido una gran expansión de la Bioquímica hacia los territorios de reciente conquista de la Biología Molecular y hacia zonas de interdependencia y superposición con la Biología Celular. Los límites se han tornado impre-

cisos; en la actualidad, un texto de Química Biológica no puede eludir la “invasión” de áreas del conocimiento que no hace mucho le eran ajenas.

Reduccionismo - Complejidad. Los resultados de la investigación científica permiten disponer en la actualidad de explicaciones satisfactorias acerca de las propiedades y funciones de muchas biomoléculas. La Bioquímica tiene hoy una sólida base experimental, fruto de una concepción *reduccionista* en el estudio e interpretación de los fenómenos. Esta estrategia ha demostrado notable eficiencia en la adquisición de nuevos conocimientos. A partir de los resultados obtenidos con moléculas aisladas y sistemas reconstituidos *in vitro*, se han elaborado modelos que intentan describir la situación *in vivo*. A medida que estos modelos se enriquecen en detalles, se hace más evidente la complejidad de los sistemas biológicos. Paradójicamente, los logros del reduccionismo han puesto de manifiesto sus limitaciones. Resulta ahora indudable que una entidad tan extraordinariamente compleja como un ser vivo no puede definirse por la simple suma de sus componentes. El funcionamiento integrado de esos componentes genera multitud de interacciones y nuevas variables cuyo análisis y comprensión se tornan cada vez más difíciles.

Al igual que en casi todas las áreas del saber, también para los fenómenos biológicos la complejidad ofrece un nuevo escenario de discusión. Es otro gran desafío a la mente humana. Estos desafíos son precisamente el motor de la Ciencia, el estímulo de su incesante búsqueda de explicaciones de la realidad. El fruto cierto de esa búsqueda es la continua expansión de las fronteras del conocimiento.

Importancia de la Química Biológica. Indudablemente, el progreso de la Química Biológica ha sido uno de los factores que más han aportado al desarrollo actual de las Ciencias Biológicas. Las disciplinas médicas, por ejemplo, se han beneficiado significativamente con las contribuciones de esta ciencia y todo indica que ellas serán aun más trascendentes en el futuro.

Esto impone a los biólogos en general, y a los médicos en particular, la responsabilidad ineludible de poseer una sólida preparación en ciencias básicas. En la Química Biológica no solo encontrarán fundamentos para la interpretación racional de muchos fenómenos fisiológicos y patológicos, sino además el acicate para una actitud inquisitiva, que haga de su actividad una permanente búsqueda de nuevos conocimientos.



TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS																	
1	2	Metales de transición										13	14	15	16	17	18
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H 1.01 Hidrógeno	2 He 4.00 Helio	3 Li 6.94 Litio	4 Be 9.01 Berilio	5 B 10.81 Boro	6 C 12.01 Carbono	7 N 14.01 Nitrógeno	8 O 16.00 Oxígeno	9 F 19.00 Fluor	10 Ne 20.18 Neón	11 Na 22.99 Sodio	12 Mg 24.31 Magnesio	13 Al 26.98 Aluminio	14 Si 28.09 Silicio	15 P 30.97 Fósforo	16 S 32.06 Azufre	17 Cl 35.45 Cloro	18 Ar 39.95 Argón
19 K 39.10 Potasio	20 Ca 40.08 Calcio	21 Sc 44.96 Escandio	22 Ti 47.88 Titanio	23 V 50.94 Vanadio	24 Cr 52.00 Cromo	25 Mn 54.94 Manganeso	26 Fe 55.85 Hierro	27 Co 58.93 Cobalto	28 Ni 58.69 Níquel	29 Cu 63.55 Cobre	30 Zn 65.38 Zinc	31 Ga 69.72 Galio	32 Ge 72.64 Germanio	33 As 74.92 Arsénico	34 Se 78.96 Selenio	35 Br 79.90 Bromo	36 Kr 83.80 Kriptón
37 Rb 85.47 Rubidio	38 Sr 87.62 Estroncio	39 Y 88.91 Ytrio	40 Zr 91.22 Zircónio	41 Nb 92.91 Níobio	42 Mo 95.94 Molibdeno	43 Tc 98 Tecnecio	44 Ru 101.07 Rutenio	45 Rh 102.91 Rodio	46 Pd 106.42 Paladio	47 Ag 107.87 Plata	48 Cd 112.41 Cadmio	49 In 114.82 Indio	50 Sn 118.71 Estano	51 Sb 121.75 Antimonio	52 Te 127.60 Teluro	53 I 126.90 Yodo	54 Xe 131.29 Xenón
55 Cs 132.91 Cesio	56 Ba 137.33 Bario	57-71 Lantánidos	72 Hf 178.49 Hafnio	73 Ta 180.95 Tungsteno	74 W 183.85 Wolframio	75 Re 186.21 Renio	76 Os 190.20 Osmio	77 Ir 192.22 Iridio	78 Pt 195.08 Platino	79 Au 196.97 Oro	80 Hg 200.59 Mercurio	81 Tl 204.38 Talio	82 Pb 207.2 Plomo	83 Bi 208.98 Bismuto	84 Po 209 Polonio	85 At 210 Astato	86 Rn 222 Radón
87 Fr 223 Francio	88 Ra 226.03 Radio	89-103 Actínidos	104 Ku 261 Kurchatovio	105 Ha 262 Hahnio	106 Sg 266 Seaborgio	107 Bh 264 Bohrio	108 Hs 269 Hassium	109 Mt 268 Meitnerio	110 Ds 281 Darmstadtio	111 Rg 282 Roentgenio	112 Cn 285 Copernicio	113 Nh 286 Nihonio	114 Fl 287 Flerovio	115 Mc 288 Moscovio	116 Lv 291 Livermorio	117 Ts 294 Teneso	118 Og 294 Oganesson

Número atómico

Símbolo

Radio

Peso atómico

Configuración electrónica**

Radiactivo

88

Ra

Radio

226.03

7s² 226.03

metales alcalinos

metales alcalinotérreos

metales de transición

metales

metaloideos

no metales

halógenos

gases inertes

lantánidos

actínidos

Q.B. - Blanco 2022

* El elemento 104 es también llamado **Rutherfordio** [Rf] y el 105, **Dubnio** [Db].

** En cada elemento se indican sólo el último o los dos últimos subniveles. El resto de electrones se distribuyen igual que en el elemento precedente, excepto los NA 59 (Pr) y 65 (Tb) que no poseen 5d¹, y 94 (Pu) y 97 (Bk) que no poseen 6d¹. Números entre paréntesis indican el peso atómico del isótopo más estable o más común.



Composición química de los seres vivos

Elementos biógenos

La vida apareció en la Tierra muchos millones de años después de la formación del planeta. Los elementos básicos de la materia viviente fueron seleccionados entre los existentes en la corteza y atmósfera terrestres.

No todos los elementos que forman parte de la materia inanimada se utilizaron para la estructuración de los seres vivos. Solo una pequeña proporción de ellos, a los cuales se los denomina elementos biógenos, participan en la composición de organismos vivos. En mamíferos, animales de gran complejidad, se ha demostrado la presencia de apenas veinte elementos, cuatro de los cuales (oxígeno, carbono, hidrógeno y nitrógeno) representan alrededor del 96% de la masa corporal total (tabla 1-1).

Tabla 1-1. Composición elemental del organismo humano (expresada en porcentaje de la masa corporal).

Elementos primarios			
Oxígeno	65,0 %	Nitrógeno	3,0 %
Carbono	18,5	Calcio	1,5
Hidrógeno	10,0	Fósforo	1,0
Elementos secundarios			
Potasio	0,30 %	Cloro	0,15 %
Azufre	0,25	Magnesio	0,05
Sodio	0,20	Hierro	0,005
Oligoelementos			
Flúor	0,001 %	Zinc	Vestigios
Cobre	0,0002	Cobalto	Vestigios
Yodo	0,00004	Molibdeno	Vestigios
Manganeso	0,00003	Selenio	Vestigios

Con excepción del yodo (número atómico 53), los átomos que intervienen en la constitución del cuerpo humano son miembros de los primeros cuatro períodos de la Tabla Periódica y tienen números atómicos inferiores a 34. De los cuatro elementos más abundantes, el oxígeno es el de número atómico más elevado (8).

A excepción del oxígeno, esos elementos fundamentales no son los predominantes en la corteza terrestre. Esto indica la existencia de ventajas selectivas que los convirtieron en las unidades básicas de la materia viva.

Por ejemplo, pese a la abundancia de silicio en la materia inerte de la corteza terrestre (en ésta el Si representa más del 21% del peso total), la vida se ha desarrollado alrededor de compuestos que tienen al carbono como elemento integrante esencial.

El silicio pertenece al mismo grupo que el carbono y comparte muchas de sus propiedades. Sin embargo, el carbono presenta cualidades distintivas: sus uniones son más estables, puede unirse en largas cadenas y producir ramificaciones, forma enlaces dobles y triples, se asocia covalentemente a muchos otros átomos y adopta distintas conformaciones espaciales. Estas características confieren al carbono un potencial no igualado por elemento alguno para generar multitud de combinaciones diferentes.

La selección de los demás elementos que acompañan al carbono como componentes de la materia viva se explicaría por el tamaño de sus átomos y por su aptitud para compartir electrones en uniones covalentes. La pequeñez atómica aumenta la estabilidad de los enlaces y hace más intensas las interacciones moleculares.

Con un criterio cuantitativo, los elementos biógenos pueden clasificarse en tres categorías:

1) **Primarios**. Estos son oxígeno, carbono, hidrógeno y nitrógeno. A este grupo suelen agregarse también calcio y fósforo. En conjunto, estos seis elementos representan más del 98% de la masa corporal total.

Oxígeno e hidrógeno forman la molécula de agua, la sustancia más abundante del organismo. Los elementos carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y fósforo participan en la constitución de las moléculas orgánicas fundamentales de la materia viva. El calcio se halla principalmente en tejido óseo y, al estado iónico, interviene en muchos procesos fisiológicos.

2) **Secundarios**. Potasio, azufre, sodio, cloro, magnesio y hierro pertenecen a este grupo. Se encuentran en cantidades porcentualmente mucho menores que las indicadas para los anteriores. Forman sales e iones inorgánicos, e integran moléculas orgánicas.

El Na^+ y el Cl^- son los principales iones extracelulares y el K^+ es el principal ion intracelular. El Mg^{2+} es indispensable en numerosas reacciones catalizadas por enzimas. El Fe es componente esencial de sustancias muy importantes, entre ellas la hemoglobina. El S forma parte de casi todas las proteínas y de otras moléculas de interés biológico.

3) **Oligoelementos**. También denominados microconstituyentes, elementos oligodinámicos o vestigiales, están presentes en los tejidos en cantidades extremadamente pequeñas en relación con la masa total.

El yodo es constituyente de la hormona tiroidea. Los otros (F, Cu, Mn, Co, Zn, Mo y Se), aun en cantidades ínfimas, son indispensables para el desarrollo normal de las funciones vitales. Casi todos son factores necesarios para la actividad de catalizadores biológicos (enzimas).

Compuestos biológicos

Los elementos químicos mencionados se encuentran formando diferentes compuestos de tipo inorgánico u orgánico.

Entre los compuestos *inorgánicos*, el agua es de extraordinaria importancia, no solo por su cantidad, ya que constituye el 65% del peso corporal de un adulto, sino también por las numerosas funciones que desempeña. En segundo lugar, en términos

cuantitativos, se hallan los sólidos minerales que participan en la formación de tejidos duros como huesos y dientes. Los compuestos inorgánicos que predominan en estos tejidos son fosfatos de calcio insolubles. El resto de componentes inorgánicos, en su mayor parte, está disuelto en los líquidos corporales y protoplasmas celulares; muchos forman iones esenciales para el mantenimiento de las funciones vitales.

En los compuestos *orgánicos*, el carbono es elemento constituyente obligado. Representan la mayor parte de los sólidos del organismo. A este grupo de sustancias pertenecen compuestos de gran jerarquía funcional, como las proteínas y los ácidos nucleicos. Por su parte, los hidratos de carbono y los lípidos son sustancias de importancia metabólica y estructural, y constituyen el material de reserva energética del organismo.

Existen también otras moléculas, fuera de las mencionadas, que desempeñan importantes funciones, como vitaminas, algunas hormonas y pigmentos. La tabla 1-2 indica la composición porcentual de algunos tejidos humanos. Las cifras representan valores aproximados y solo tienen por objeto dar una idea de la participación de cada uno de los compuestos mencionados en la constitución de los tejidos.

Tabla 1-2. Composición química de tejidos humanos
(las cifras indican porcentaje de la masa de tejido).

	Músculo	Hueso	Cerebro	Higado
Agua	75,0	22,0	77,0	70,0
Glúcidos	1,0	Escaso	0,1	5,0
Lípidos	3,0	Escaso	12,0	9,0
Proteínas	18,0	30,0	8,0	15,0
Otras sustancias orgánicas	1,0	Escaso	1,5	1,0
Otras sustancias inorgánicas	1,0	45,0	1,0	Escaso

En los capítulos siguientes se consideran estructura y propiedades de los principales grupos de sustancias componentes de la materia viva.

BIBLIOGRAFÍA

de Duve C. (1995). *The beginnings of life on Earth*. American Scientist, 83: 428-437.
Morowitz H.J. (2002). *The Emergence of Everything (How the world became complex)*, Oxford University Press. Oxford.