


# 1

## BIOELEMENTOS Y BIOMOLÉCULAS INORGÁNICAS





La materia viva está formada por elementos químicos que se encuentran también en nuestro planeta y en otros astros, si bien en proporciones diferentes. La investigación astrofísica nos ha permitido conocer los procesos que han generado los diferentes elementos químicos: El hidrógeno, el más abundante del universo, se originó en el Big Bang. Más tarde, formadas las estrellas, otros elementos se fueron fabricando en ellas. Las estrellas masivas pueden sintetizar mediante el proceso de fusión nuclear, elementos como oxígeno, carbono, nitrógeno y otros más pesados. Cuando se obtiene el hierro como producto de fusión la estrella sufre una explosión cataclísmica -supernova- y lanza al espacio interestelar gran parte de su materia. Las altas energías producidas en la explosión llevan a la síntesis de nuevos elementos.

La enorme nebulosa que originó nuestro Sistema Solar, además de una masa mucho mayor de hidrógeno y elementos ligeros, contenía una cantidad significativa de elementos más pesados, presumiblemente procedentes de la explosión de supernovas anteriores. Desde sus orígenes, la vida en nuestro planeta utilizó algunos de esos elementos para construir sus estructuras y para poder funcionar. Por ser parte integrante de la materia viva se conocen con el nombre de **bioelementos**. Sus combinaciones moleculares se denominan **biomoléculas**.

**1** Los elementos de la vida

**2** Las biomoléculas

**3** El agua

**4** Las sales minerales

Resumen

Actividades

Documento

Polvo de estrellas

# 1 LOS ELEMENTOS DE LA VIDA

Una de las características de la vida es su composición elemental. El análisis químico revela que de los 92 elementos naturales, unos 27 son esenciales para los diferentes seres vivos si bien sólo 16 son comunes a todos ellos.

Se denominan **elementos biogénicos** o **bioelementos** a aquellos elementos químicos que forman parte de los seres vivos.

En la figura 1.1 se representa el porcentaje en masa de los elementos más abundantes en los seres vivos, en la corteza terrestre y en el planeta globalmente. Al comparar las tres gráficas podemos llegar a algunas conclusiones:

Aunque todos los elementos que constituyen los seres vivos se encuentran en el planeta Tierra, la proporción que mantienen en ellos es muy diferente de la del núcleo e incluso de la de la corteza, en cuyo límite superior se desarrolla la vida. Ello se debe a que los seres vivos son entes selectivos que han utilizado aquellos elementos más idóneos para sus estructuras y funciones, no los más abundantes.

La abundancia no es sinónimo de disponibilidad. El Al es un elemento muy abundante en la corteza terrestre pero difícil de obtener en forma soluble, como lo habrían podido utilizar los seres vivos. Es lógico pensar que la vida además de necesitar elementos idóneos tuvo que tenerlos disponibles. Algunos de los elementos más abundantes de la vida (C, H, O, N) se obtienen fácilmente en las

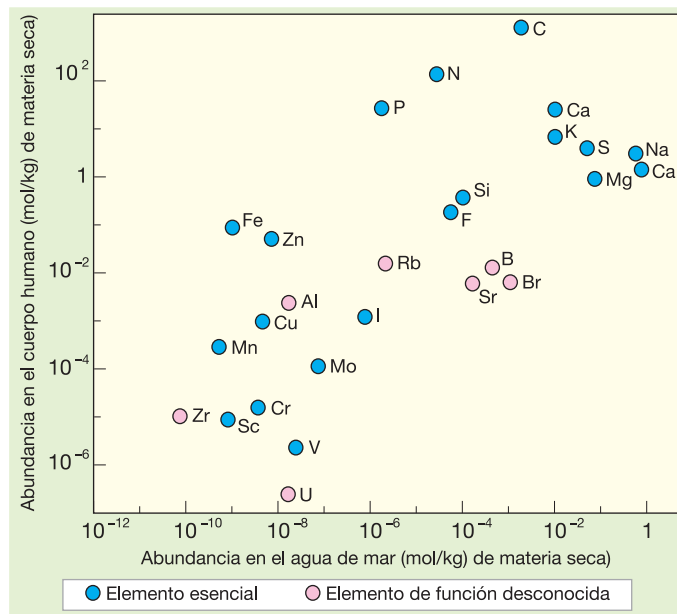


Fig. 1.2. Correlación entre la abundancia de bioelementos en el mar y en el ser humano (J. Peretó).

envueltas fluidas de la Tierra: la atmósfera y la hidrosfera. La figura 1.2 nos muestra que hay buena correlación entre la abundancia de elementos en el mar y en el ser humano.

Atendiendo a su abundancia en la materia viva y al papel que desempeñan en ella, podemos clasificar los bioelementos en tres categorías (fig 1.3):

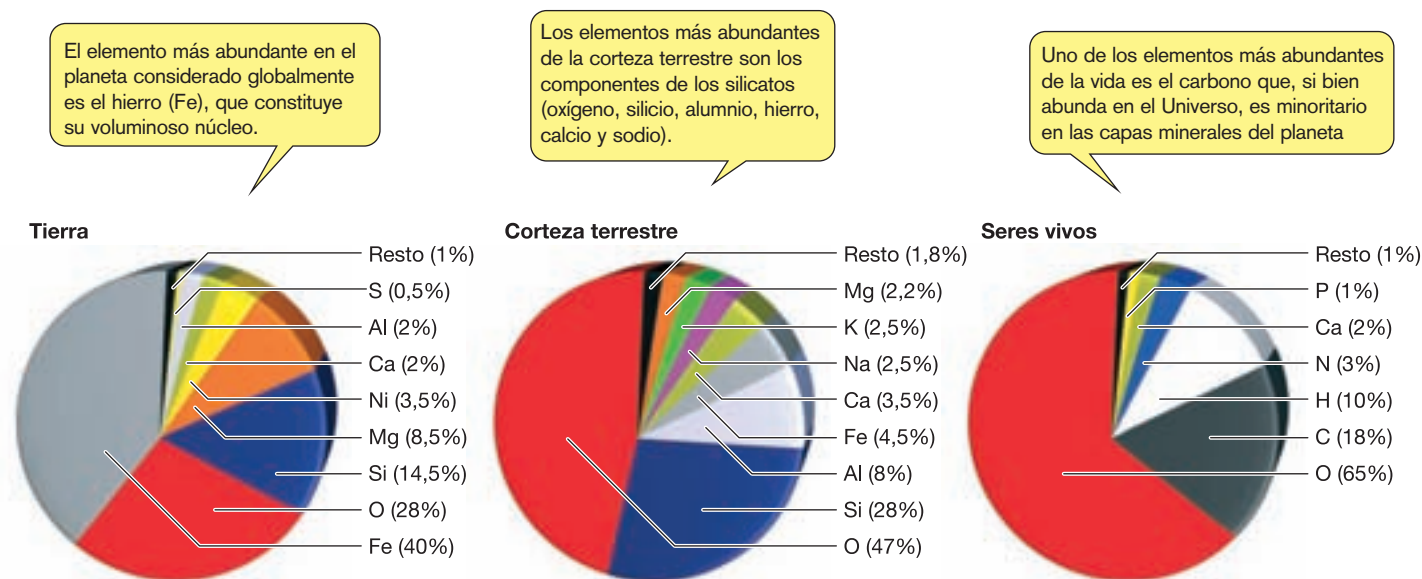


Fig. 1.1. Diagramas de la composición química (%) de la Tierra en su conjunto, de la corteza terrestre y de los seres vivos.

Los elementos marcados en color rojo (bioelementos principales) constituyen algo más del 97% de la materia viva.

Los elementos marcados en color naranja (bioelementos secundarios) forman alrededor del 2,5% de la materia viva.

Los elementos marcados en color verde, llamados oligoelementos, representan algo menos del 0,5% de la materia prima.

1 <b>H</b> Hidrógeno																	2 He Helio	
3 Li Litio	4 Be Berilio																	10 Ne Neón
11 Na Sodio	12 Mg Magnesio																	18 Ar Argón
19 K Potasio	20 Ca Calcio	21 Sc Escandio	22 Ti Titanio	23 V Vanadio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganeso	26 Fe Hierro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Zinc	31 Ga Galio	32 Ge Germanio	33 As Arsénico	34 Se Selenio	35 Br Bromo	36 Kr Kriptón	
37 Rb Rubidio	38 Sr Estroncio	39 Y Ytrio	40 Zr Circonio	41 Nb Niobio	42 Mo Molibdeno	43 Tc Tecnecio	44 Ru Rutenio	45 Rh Rodio	46 Pd Paladio	47 Ag Plata	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Estaño	51 Sb Antimonio	52 Te Telurio	53 I Yodo	54 Xe Xenón	
55 Cs Cesio	56 Ba Bario	Lantánidos		72 Hf Hafnio	73 Ta Tántalo	74 W Wolframio	75 Re Renio	76 Os Osmio	77 Ir Iridio	78 Pt Platino	79 Au Oro	80 Hg Mercurio	81 Tl Talio	82 Pb Plomo	83 Bi Bismuto	84 Po Polonio	85 At Astatina	86 Rn Radón
87 Fr Francio	88 Ra Radio	Actínidos																

Fig. 1.3. Localización de los bioelementos en la tabla periódica.

## ■ Bioelementos principales: C, H, O, N, P y S

Los elementos **carbono, hidrógeno y oxígeno** forman parte de todas las biomoléculas orgánicas.

El **nitrógeno** es un componente fundamental de las proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos, clorofila, hemoglobina y numerosos glúcidos y lípidos. Estos cuatro elementos forman el 95 % de la materia viva.

El **azufre** se halla en dos aminoácidos (cisteína y metionina) presentes en casi todas las proteínas. También está en otras sustancias de interés biológico, como vitaminas del complejo B y en la Coenzima A.

El **fósforo** es parte integrante de los nucleótidos, compuestos que forman parte de los ácidos nucleicos y de sustancias de gran interés biológico, como muchas coenzimas (NAD<sup>+</sup>, NADP<sup>+</sup>, etc.). También forma parte de los fosfolípidos, sustancias fundamentales en la constitución de las membranas celulares y de los fosfatos, sales minerales abundantes en los seres vivos.

Las propiedades físicoquímicas que los hacen tan adecuados para la vida son las siguientes:

1. Forman entre ellos con facilidad **enlaces covalentes**, compartiendo pares de electrones.
2. Pueden compartir más de un par de electrones, formando **enlaces dobles o triples**, lo cual les dota de una gran versatilidad para formar compuestos químicos diferentes.
3. La estabilidad de un enlace covalente es mayor cuanto menor es masa atómica de los átomos que lo forman. Los bioelementos principales son los elementos más ligeros con capacidad de formar enlaces covalentes, por lo que dichos enlaces son muy estables.
4. A causa de la configuración tetraédrica de los enlaces del carbono, los diferentes tipos de moléculas orgánicas tienen estructuras tridimensionales diferentes. Ello da lugar a la existencia de estereoisómeros que los seres vivos diferencian y seleccionan. (Fig 1.4 a).

5. Es particularmente significativa la capacidad del carbono para formar **enlaces estables carbono-carbono**, llegando a formar largas cadenas carbonadas lineales, ramificadas, anillos, etc., así como para unirse a otros elementos químicos, aumentando la posibilidad de crear nuevos grupos funcionales (aldehído, cetona, alcohol, ácido, amina, etc.) que originan compuestos orgánicos muy diversos (fig 1.4 b).

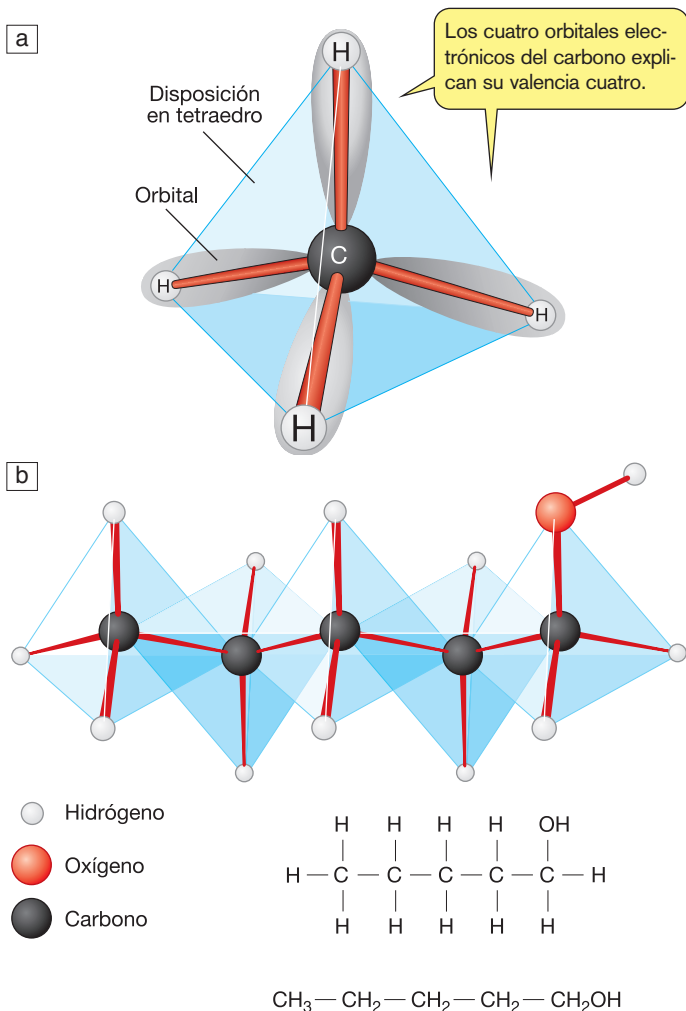


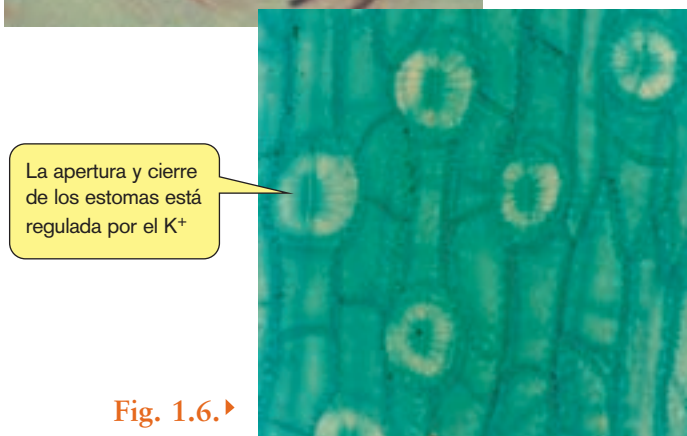
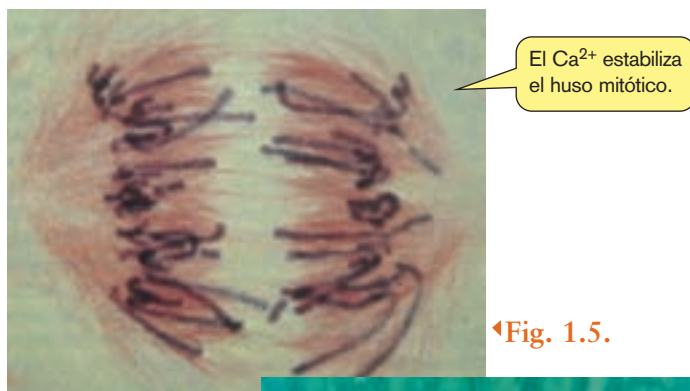
Fig. 1.4. a) Estructura tetraédrica del carbono; b) Representación de la estructura tridimensional de una cadena carbonada.

6. Los compuestos formados por C, H, O y N en los organismos vivos se hallan en estado reducido. Como el oxígeno es muy abundante en la superficie del planeta, los compuestos tienden a oxidarse para formar compuestos de baja energía, como el dióxido de carbono y el agua. La energía desprendida en esas oxidaciones es aprovechada para las funciones vitales de los organismos.

## ■ Bioelementos secundarios: Ca, Mg, Na, K, Cl.

Los encontramos formando parte esencial de todos los seres vivos, si bien en conjunto no superan, generalmente, el 2,5 % del peso total del organismo.

El **calcio** (aproximadamente 2% del total, más abundante que el fósforo y que el azufre) forma parte del carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), que es el componente principal de las estructuras esqueléticas de muchos animales. En forma iónica estabiliza muchas estructuras celulares, como el huso mitótico (fig. 1.5), e interviene en muchos procesos fisiológicos, como la contracción muscular y la coagulación de la sangre.



El **magnesio** forma parte de la molécula de clorofila, y en forma iónica actúa como catalizador, junto con enzimas, en muchas reacciones químicas de los organismos. También es un estabilizador de los ribosomas, de la membrana plasmática y de los ácidos nucleicos.

**Sodio, potasio y cloro** forman parte, como iones, de las sales minerales disueltas en el agua de los organismos. Intervienen directamente en muchos procesos fisiológicos, como la transmisión del impulso nervioso. El potasio regula la apertura y el cierre de los estomas de las hojas (fig. 1.6).

## ■ Oligoelementos

La palabra deriva del griego *oligos* que significa escaso. Se denomina de esta forma al conjunto de elementos químicos que están presentes en los organismos en pequeñas proporciones (en conjunto, no representan más allá del 0,5 % del peso total del organismo). Tanto su déficit como su exceso pueden producir graves trastornos en los seres vivos.

El que un determinado elemento químico aparezca, en proporciones traza, formando parte de un ser vivo no basta para caracterizarlo como un oligoelemento: podría muy bien tratarse de una contaminación ambiental procedente del medio (agua, aire, tierra, alimentos...).

La categoría de oligoelemento se reserva para aquellos elementos que, aunque se encuentran en proporciones muy pequeñas, forman parte esencial de alguna actividad fisiológica del organismo considerado, de forma que su presencia sea necesaria para el desarrollo normal de la vida del ser vivo en cuestión.

Lo exiguo de su proporción hace que, con frecuencia, la investigación de qué elementos pertenecen o no a esta categoría sea difícil.

Se han podido aislar varias decenas de oligoelementos en los seres vivos, pero solamente 5 de ellos (Mn, Fe, Co, Cu y Zn) existen en todos los seres vivos por lo que se denominan **oligoelementos universales**. Otros oligoelementos (B, F, Si, V, Cr, Ni, Cr, As, Se, Mo, Sn, I) sólo están presentes en determinados grupos de organismos.

Entre las funciones que desempeñan algunos de estos elementos, podemos destacar las siguientes:

El **hierro** es fundamental para la síntesis de clorofila; interviene en los procesos de transporte electrónico en la respiración y la fotosíntesis y forma parte de proteínas como la hemoglobina – pigmento rojo de los hematíes – que actúa como transportador de oxígeno.

El **manganeso** es un activador de muchas enzimas; interviene en la fotólisis del agua durante el proceso de fotosíntesis en las plantas.

El **cobalto** forma parte de la vitamina B<sub>12</sub> necesaria para la síntesis de la hemoglobina. También es necesario para los microorganismos fijadores del nitrógeno y para muchos otros.

El **zinc** es un componente esencial de un centenar de enzimas diferentes, como las polimerasas del DNA y del RNA y otras que catalizan procesos de oxidación – reducción.

El **cobre** forma parte (junto con el hierro) de una enzima, la citocromooxidasa que interviene en el transporte de electrones en la respiración.

El **iodo** es necesario para la síntesis de la hormona tiroidea de los vertebrados.

El **flúor** forma parte del esmalte dentario y de los huesos.

El **silicio** proporciona resistencia al tejido conjuntivo, y forma parte del óxido de silicio que constituye el esqueleto de muchas plantas, como las gramíneas y los equisetos, y el caparazón de muchos microorganismos, como las diatomeas (fig. 1.7).

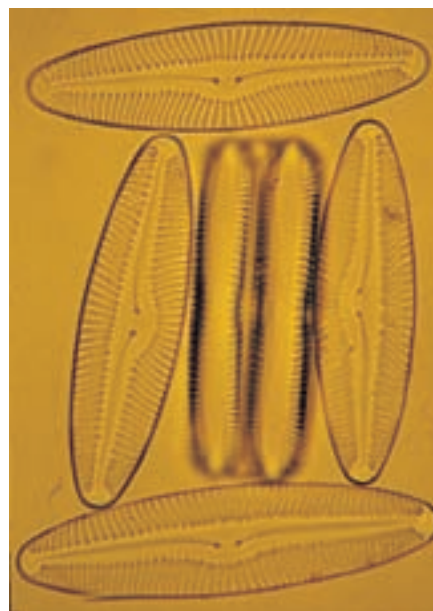


Fig. 1.7. El SiO<sub>2</sub> forma el caparazón de las diatomeas.

### Actividades

- ¿Cuáles son los oligoelementos universales? ¿Por qué se denominan así?
- ¿Qué características comunes presentan los bioelementos primarios? ¿Y los bioelementos secundarios? ¿Y los oligoelementos?
- El As es un veneno violento para las personas. Sin embargo viene en nuestra lista de oligoelementos. ¿Cómo se puede explicar esta aparente contradicción?
- ¿Qué elemento es más importante para el mantenimiento de la vida de un mamífero, el C o el Co? ¿Por qué?
- Busca en la red la función biológica y algunos organismos en los que aparecen los siguientes oligoelementos: níquel, arsénico, cromo y vanadio.

## 2 LAS BIOMOLÉCULAS

Los bioelementos no están generalmente en forma libre dentro del organismo, sino que se agrupan en moléculas más o menos grandes, denominadas **biomoléculas**, que constituyen los sillares arquitectónicos básicos para la construcción de la compleja estructura de los seres vivos.

Las biomoléculas se denominan también con el nombre clásico de principios inmediatos, nombre en desuso, que hace referencia al hecho de que se trata de sustancias que pueden obtenerse en el laboratorio, a partir de los organismos, de forma inmediata cuando se aplican técnicas de análisis físico: trituración, disolución, filtración, decantación, cromatografía, electroforesis, etc. En la actualidad es más utilizado el término biomolécula.

Entre las biomoléculas hay sustancias tan distintas entre sí como el agua y el DNA, por lo que conviene construir una clasificación que facilite su estudio. La más utilizada es la siguiente:

- **Biomoléculas inorgánicas**, presentes también en la materia inerte: agua; sales minerales; gases.
- **Biomoléculas orgánicas**, exclusivas de los seres vivos: glúcidos; lípidos; proteínas; ácidos nucleicos.

La tabla I muestra la abundancia y la diversidad de biomoléculas en una célula procariótica, la bacteria *Escherichia coli*.

Tipo de molécula	% en peso	nº de moléculas diferentes
Agua	70	1
Proteínas	15	3000
DNA	1	1
RNA	6	>3000
Polisacáridos	3	5
Lípidos	2	20
Componentes de macromoléculas e intermediarios	2	500
Iones inorgánicos	1	20

### Actividades

- ¿Cuál es la sustancia que mayor número de moléculas diferentes presenta en la bacteria *E. coli*? ¿Por qué?
- El  $\text{CaCO}_3$  tiene un átomo de carbono en su molécula. ¿Es una biomolécula orgánica o inorgánica?
- ¿Por qué hay, en *E. coli*, más moléculas de RNA que proteínas?

## 3 EL AGUA

La vida, depende de la presencia de agua: impregna todas las partes de la célula, constituye el medio en el que se realiza el transporte de los nutrientes, las reacciones del metabolismo y la transferencia de energía química.

El agua es el componente mayoritario de los seres vivos, si bien el porcentaje de agua no es el mismo en todos ellos, ni en las diferentes partes de un mismo ser (tabla II).

### Contenido hídrico en algunos seres vivos

Animales	%
Feto humano (3 meses)	94
Hombre adulto	63
Cangrejo de río	77
Caracol	80
Lombriz terrestre	88
Medusa	95
Insecto	72

Vegetales	%
Algas	98
Espárrago	93
Tabaco	93
Espinaca	93
Hongos	91
Zanahoria	87
Líquén	55

### Contenido hídrico en diferentes órganos

Animales	%
Cerebro	86
Sangre	79
Músculo	75
Hígado	70
Cartílago	55
Hueso	22
Diente	10

Vegetales	%
Sandía	95
Patata	78
Plátano	76
Grano de trigo	11
Semilla de guisante	11
Semilla de garbanzo	11
Grano de arroz	10

Tabla II. Porcentaje de agua en diferentes órganos y organismos.

El contenido en agua de los seres vivos está en función de la actividad metabólica que desarrollan las células. Así, las esporas y semillas, que están en estado de vida latente contienen un 10 % de agua; el tejido nervioso, que presenta una gran actividad, tiene un 86 %.

En los seres vivos o en las partes de los mismos que contienen estructuras minerales u orgánicas densas la proporción es más pequeña: el tejido óseo contiene sólo un 22% de agua.

El porcentaje de agua varía también a lo largo de la vida de los organismos: el ser humano tiene en la infancia un 78%, y en la ancianidad un 60%.

### ■ Estructura de la molécula del agua

La molécula del agua está formada por dos átomos de hidrógeno unidos a un átomo de oxígeno mediante sendos enlaces covalentes. El átomo de oxígeno tiene dos pares de electrones no enlazantes que se repelen entre ellos. Es además muy electronegativo por lo que atrae hacia sí los electrones compartidos con el hidrógeno. Todo ello genera en el hidrógeno una densidad de carga positiva ( $\delta^+$ ) y en el oxígeno una densidad de carga negativa ( $\delta^-$ ). Esta estructura de cargas se denomina **dipolo permanente**. Por ello decimos que el agua es una sustancia **polar** (fig 3.1).

Así, aunque la molécula de agua es neutra (tiene el mismo número de protones y de electrones), presenta

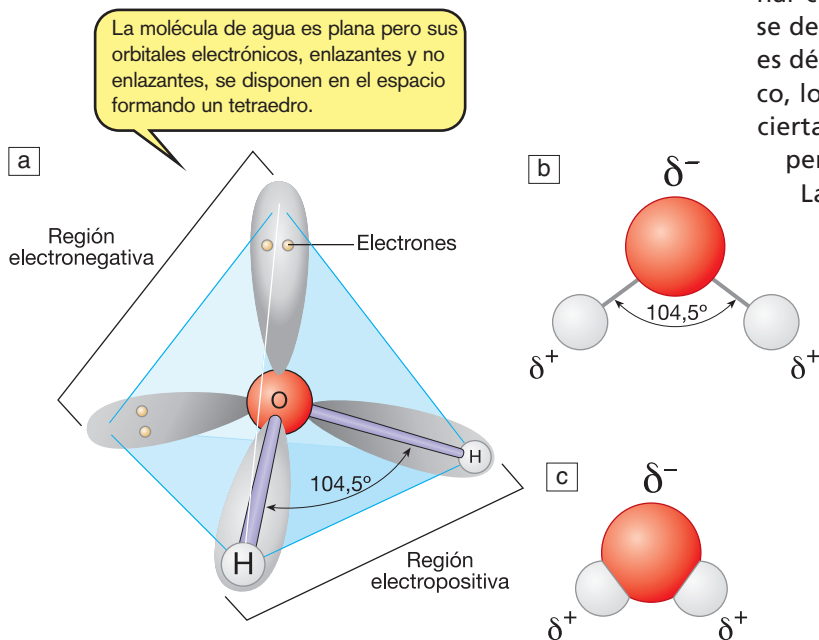


Fig. 3.1. a) Estructura de la molécula del agua; b y c) representaciones habituales de la molécula de agua.

una distribución de cargas asimétrica. Aunque la molécula de agua es plana, los pares de electrones (enlazados y no enlazados) de la molécula se disponen en el espacio formando un tetraedro.

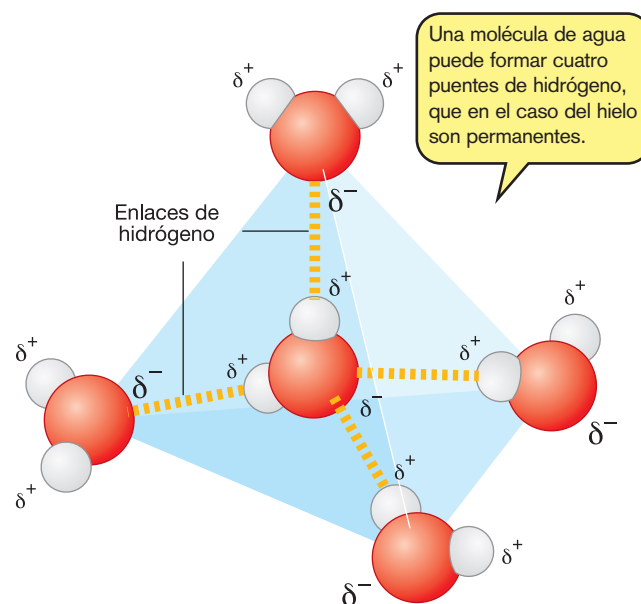


Fig. 3.2 Puentes de hidrógeno con otras moléculas de agua.

La naturaleza polar de las moléculas de agua hace que el oxígeno de una molécula ( $\delta^-$ ), pueda interactuar con el hidrógeno de otra ( $\delta^+$ ), estableciendo lo que se denomina **enlace o puente de hidrógeno**. Este enlace es débil en comparación con un enlace covalente o iónico, lo que implica que puede formarse y deshacerse con cierta facilidad (debilidad que a veces se puede compensar por la formación de gran cantidad de enlaces).

La estructura tetraédrica en la distribución electrónica hace que una molécula de agua pueda formar hasta **cuatro puentes de hidrógeno** (fig 3.2).

### Actividades

- Estudia la tabla II y justifica la diferencia porcentual en las siguientes parejas: 1) Medusa – Hombre adulto; 2) Diente – Cerebro. 3) Feto humano- Hombre adulto. 4) Alga- Liquen.
- ¿Tiene sentido que los científicos espaciales investiguen la presencia de agua en otros mundos? ¿Por qué?
- ¿Cómo te explicas que siendo el agua una molécula plana, el hielo tenga estructura tetraédrica?



## ■ Propiedades físicoquímicas del agua: importancia para la vida

El agua es una sustancia tan próxima que es fácil pasar por alto sus extraordinarias propiedades físicoquímicas.

### Densidad en estado sólido

El hielo flota sobre el agua líquida. A medida que el agua líquida se enfría, se contrae y su densidad aumenta. Al llegar a 4 °C alcanza su máxima densidad. A partir de aquí si seguimos enfriando su densidad se mantiene prácticamente constante pero cuando se llega a 0 °C y solidifica, la densidad disminuye bruscamente, "el hielo se expande": **el agua en estado sólido es menos densa que el agua líquida.**

Esta propiedad se debe (fig 3.3 a y b) a que, en estado líquido, se forman y destruyen continuamente los puentes de hidrógeno (a temperatura ambiente cada molécula forma un promedio de 3'4 puentes de hidrógeno). Estos enlaces confieren al agua una estructura de red **dinámica** empaquetada, sin posiciones fijas en las moléculas (el empaquetamiento es máximo a 4 °C). En estado sólido cada molécula de agua forma cuatro puentes de hidrógeno con otras tantas moléculas de agua, que mantienen **posiciones fijas** en una estructura cristalina tridimensional más expandida y, por lo tanto, menos densa.

La flotabilidad del hielo sobre el agua en mares, lagos y ríos, es crucial para la vida en esos medios. Si el hielo fuese más denso se hundiría y se acumularía en el fondo haciendo imposible la vida acuática.

### Regulación de la temperatura

El agua presenta un **elevado calor específico**: la absorción (o el desprendimiento) de 1 cal por 1 g de agua aumenta (o disminuye) 1 °C su temperatura.

Ello se debe a que el calor que absorbe el agua se emplea para romper los puentes de hidrógeno entre las moléculas antes que para aumentar la velocidad de las mismas (a mayor temperatura, mayor velocidad de las partículas). Por lo mismo, cuando la temperatura del agua cae levemente se forman muchos enlaces de hidrógeno adicionales y se libera mucha energía en forma de calor.

Por ello, mares, ríos y lagos, almacenan mucha energía calorífica en verano (variación estacional) y durante el día (variación diurna) sin que cambie mucho su temperatura y la liberan cuando la temperatura de aire es más baja. Los organismos, compuestos en gran parte de agua, pueden resistir los cambios de la temperatura exterior sin apenas cambiar la temperatura propia.

El agua posee un **elevado calor de vaporización**. Pasar 1 g de agua de líquido a vapor requiere mucha energía, 580 calorías, puesto que para ello han de romperse todos los puentes de hidrógeno que mantienen a las moléculas en estado líquido (fig 3.3 c). Al contrario, la condensación de 1 g de vapor a líquido, devuelve 580 calorías.

La evaporación del agua de los mares y la condensación del vapor de agua contribuyen a regular el clima del planeta. También los seres vivos terrestres refrigeran su superficie mediante el mecanismo de evaporación.

Gracias a sus elevados calor específico y calor de vaporización **el agua es un regulador térmico global y para los seres vivos** individualmente considerados.

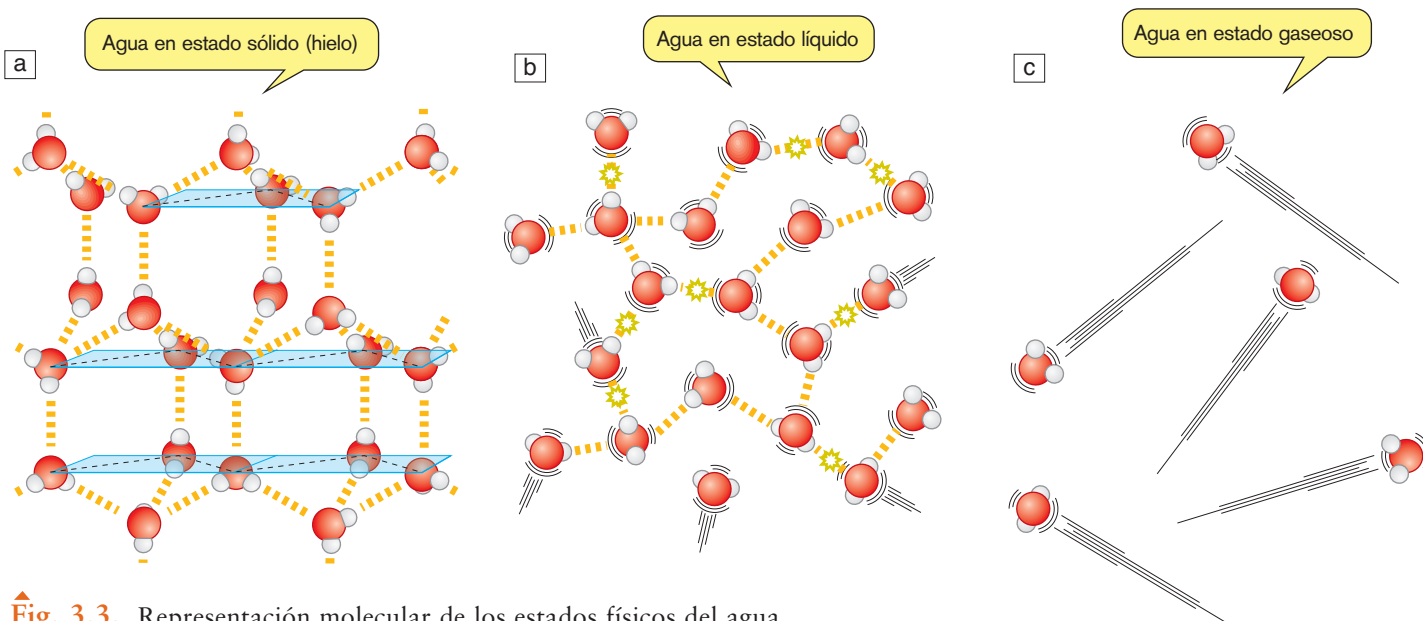
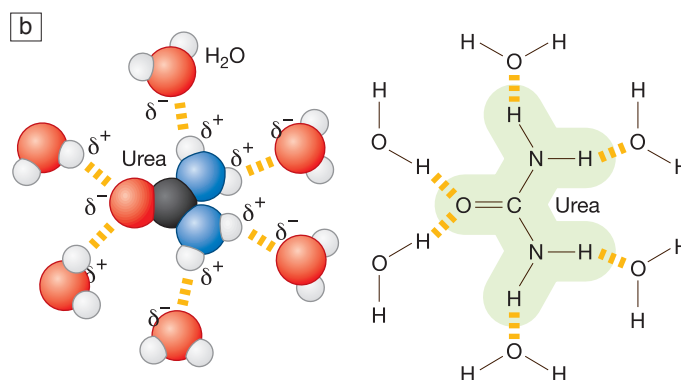
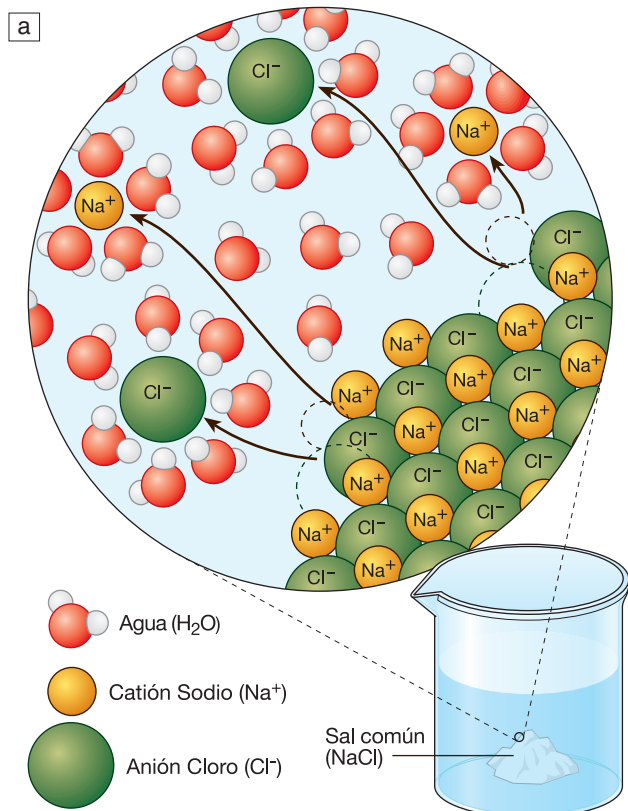


Fig. 3.3. Representación molecular de los estados físicos del agua.

## Capacidad disolvente



c

Algunos grupos polares	Algunos grupos no polares
Hidroxilo: $-\text{OH}$	Radical alquílico: $-(\text{CH}_n)_2-\text{CH}_3$
Carboxilo: $-\text{COOH}$	Radical fenilo: $-\text{C}_6\text{H}_5$
Carbonilo: $>\text{C}=\text{O}$	Radical etilénico: $-\text{CH}=\text{CH}_2$

Fig. 3.4. El agua disuelve: a) compuestos iónicos y b) compuestos polares; c) algunos grupos polares y no polares de los compuestos orgánicos

El agua es un disolvente muy versátil, mejor que la mayoría de otros disolventes usuales.

Disuelve a la mayor parte de los **compuestos iónicos**, lo que se debe a su naturaleza polar. Cuando colocamos una sustancia iónica, p. e., un cristal de  $\text{NaCl}$  en agua, los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  situados en la superficie del sólido son expuestos al disolvente. Las regiones de oxígeno de las moléculas de agua cargadas negativamente interactúan con los cationes  $\text{Na}^+$ . Las regiones de hidrógeno cargadas positivamente interactúan con los aniones  $\text{Cl}^-$ . Los iones salinos son separados del cristal y rodeados cada uno de ellos por moléculas de agua formando una **capa de hidratación**. Esta situación se repite y puede llevar a la total disolución del cristal (fig 3.4 a).

El agua también disuelve a sustancias **covalentes polares** como glúcidos, alcoholes, aldehidos, cetonas, aminas y amidas. En estos casos es la capacidad del agua para formar puentes de hidrógeno con algunos grupos de esos compuestos (fig 3.4 b y c) lo que causa la disolución.

Algunas moléculas, como las proteínas, se disuelven en agua debido a que poseen grupos polares y grupos iónicos.

Los solutos cambian algunas propiedades del agua: disminuyen el punto de congelación y aumentan el punto de ebullición y la presión osmótica. Determinados líquidos orgánicos como el líquido sinovial que actúa de lubricante en las articulaciones son disoluciones acuosas, cuya viscosidad está modificada.

Determinadas sustancias, como la celulosa, tienen grupos polares pero, por su gran tamaño molecular, aunque retienen agua no se disuelven en ella. Se denominan sustancias **hidrófilas** en contraposición a las que poseen grupos no polares que se llaman **hidrófobas** (fig. 3.4 c).

### Actividades

- ¿Por qué no se hielan los líquidos corporales de los peces cuando nadan en agua a temperaturas próximas a  $-0.5\text{ }^\circ\text{C}$ ? ¿Se podrían beber esas aguas?
- El alcohol se disuelve muy bien en agua, pero la gasolina no. ¿Cómo te explicas que siendo ambas sustancias compuestos orgánicos y combustibles de alto poder calorífico tengan un comportamiento tan diferente?
- Generalmente, antes de llover hace más frío que después. ¿Tiene explicación este fenómeno?
- ¿A qué se denomina capa de hidratación?

## Cohesión y tensión superficial

Los puentes de hidrógeno mantienen unidas las moléculas de agua. Continuamente se están formando y deshaciendo de manera que en cualquier instante la mayor parte de las moléculas de agua se hallan unidas por dichos enlaces. Debido a ello el agua líquida tiene una gran **cohesión interna**. No obstante como la duración media de un enlace de hidrógeno es tan sólo del orden de  $10^{-9}$  s, el agua no es viscosa sino muy fluida.

Gracias a la cohesión y la adhesión a las paredes de los finos tubos leñosos, el agua puede ascender desde las raíces de las plantas hasta la copa de los árboles, sin que la columna de agua se rompa. La cohesión explica también las propiedades del agua como elemento **estructural** en el relleno de células y órganos complejos.

La **tensión superficial** mide la dificultad para extender o romper la superficie de un líquido. El agua tiene una tensión superficial muy alta. Gracias a los puentes de hidrógeno las moléculas de agua superficiales se mantienen unidas entre ellas y con otras que están debajo. Ello hace que su superficie se comporte como si estuviera recubierta por una película, por lo que muchos insectos y animales pequeños pueden mantenerse o caminar sobre su superficie.

## Disociación del agua

El agua se disocia en iones lo que hace que en realidad el agua pura sea una mezcla de tres especies en equilibrio químico: agua sin disociar ( $H_2O$ ), protones hidratados ( $H_3O^+$ ), e iones hidroxilo ( $OH^-$ ):

$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$  (por comodidad escribiremos  $H^+$  en lugar de  $H_3O^+$ ).

Esta disociación es muy débil. El producto iónico  $K_w$  a  $25^\circ C$  es:

$$K_w = [H^+][OH^-] = 1,0 \cdot 10^{-14} \rightarrow [H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$$

Este producto iónico es constante, lo cual significa que un incremento en la concentración de uno de los iones supondría una disminución en la concentración del otro, para mantener constante el producto mencionado.

Determinadas sustancias, al disolverse en agua, pueden alterar la concentración de hidrogeniones, y entonces se utilizan los términos de **acidez** y **alcalinidad**. Una **disolución acuosa** es **ácida** cuando la concentración de hidrogeniones es mayor de  $10^{-7}$  moles/litro; es **alcalina** cuando la concentración de hidrogeniones es menor de  $10^{-7}$  moles/litro, y es **neutra** cuando la concentración de hidrogeniones es  $10^{-7}$  moles/litro.

Para simplificar los cálculos y las notaciones, Sørensen ideó expresar dichas concentraciones utilizando logaritmos, y así definió el **pH** como el logaritmo cambiado de signo de la concentración de hidrogeniones. Según esto:

- disolución neutra:  $pH = 7$
- disolución ácida:  $pH < 7$
- disolución alcalina o básica:  $pH > 7$

La escala de pH es logarítmica. Por ejemplo:

- $pH = 3$  significa que  $[H^+] = 0'001$  mol/litro.
- $pH = 4$  significa que  $[H^+] = 0'0001$  mol/litro.
- $pH = 5$  significa que  $[H^+] = 0'00001$  mol/litro.

Por tanto una disolución a  $pH = 3$  contiene 10 veces más hidrogeniones que una a  $pH = 4$ , y ésta 10 veces más que otra a  $pH = 5$ .

En la (fig. 3.5) se señala el pH de algunas disoluciones presentes en los seres vivos y de otras de uso frecuente en la vida diaria. En general, hay que decir que los procesos bioquímicos se desarrollan a valores de pH próximos a la neutralidad.

### Actividades

- Al iluminar un cloroplasto, el pH de los tilacoides pasa de  $pH = 7$  a  $pH = 5$ . ¿Cuánto ha variado la concentración de iones hidrógeno por litro?
- Bebo un zumo de tomate  $pH = 4$  y al cabo de poco tiempo de mezclarse con el jugo estomacal el  $pH = 2$ ? ¿Cuánto ha variado la concentración de iones hidrógeno por litro?
- Compara el caso a y el b. ¿Es igual la variación?

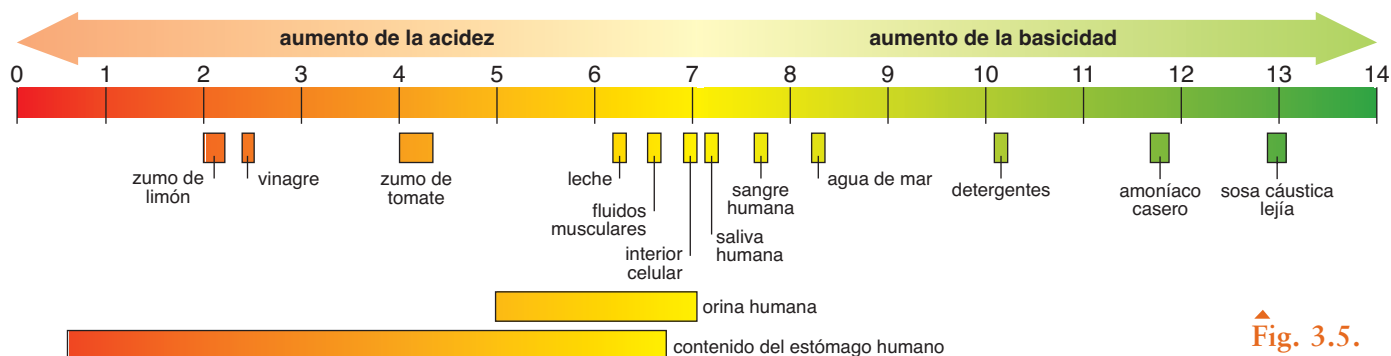


Fig. 3.5.

## 4 LAS SALES MINERALES

Los organismos presentan en su composición muchas sales minerales, unas sólidas y otras disueltas, que constituyen un pequeño porcentaje del total.

Las sales minerales sólidas tienen una función principalmente esquelética o de sostén, como el carbonato cálcico,  $\text{CaCO}_3$ , que forma el caparazón de gasterópodos y bivalvos, de corales y muchos protozoos, impregna el caparazón de los crustáceos, etc.; el fosfato cálcico,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , constituye la materia mineral de los huesos de los vertebrados.

Aunque no es una sal, la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) desempeña una función semejante: impregna y endurece los tallos de muchas plantas, como gramíneas y equisetos, y forma el caparazón de muchos microorganismos.

Las sales minerales disueltas aportan diferentes iones que intervienen en numerosas reacciones del metabolismo. Además contribuyen a regular el pH y el equilibrio osmótico. Entre los iones más abundantes, podemos destacar:

- **aniones:** sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), fosfatos ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y cloruro ( $\text{Cl}^-$ ).
- **cationes:**  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ .

### Regulación del pH

El mantenimiento de la vida requiere que el pH de los fluidos celulares y orgánicos se mantenga dentro de ciertos límites, ya que de lo contrario, podría producirse un cambio de estructura de muchas biomoléculas y la alteración de muchas reacciones químicas. Para ello, en las soluciones acuosas de los seres vivos están presentes los llamados sistemas **tampón** o **amortiguadores de pH**, formados por disoluciones de ácidos débiles y de su correspondiente base conjugada.

La adición de pequeñas cantidades de  $\text{H}^+$  o de  $\text{OH}^-$  a uno de estos sistemas no produce cambios de pH en un cierto intervalo. Ello se debe a que el ácido neutraliza los iones  $\text{OH}^-$  y la base los  $\text{H}^+$ .

Entre los tampones más comunes en los seres vivos, podemos citar el **tampón bicarbonato** y el **tampón fosfato**.

El tampón bicarbonato es común en los líquidos intercelulares. Mantiene el pH en valores próximos a 7,4 gracias al equilibrio entre el ión bicarbonato y el ácido carbónico, que a su vez se disocia en dióxido de carbono y agua:

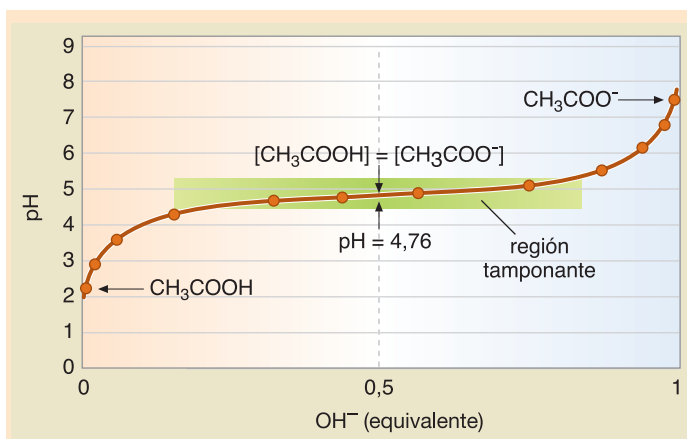
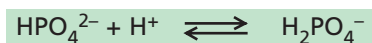


Fig. 4.1. Variación del pH en un tampón de ácido acético-acetato.

A una solución de ácido acético 0,1 M, se le añaden progresivamente gotas de una solución de  $\text{NaOH}$  0,1 M. En la curva se representa el valor del pH de la solución conforme aumenta la concentración de hidroxilos. Se señala en cada extremo de la curva el predominio del ácido disociado o sin disociar, y al valor de  $\text{pH} = 4,76$ , hay la misma cantidad de ácido disociado como sin disociar. En torno a este punto, los cambios de concentración de hidroxilos apenas influyen en el cambio de pH de la disolución. A esta región se le denomina **región tamponante** (fig. 4.1).

Si aumenta la concentración de hidrogeniones en el medio por cualquier proceso químico, el equilibrio se desplaza a la derecha, y se elimina el exceso de dióxido de carbono producido. Si por el contrario disminuye la concentración de hidrogeniones del medio, el equilibrio se desplaza a la izquierda, para lo cual se toma dióxido de carbono del medio.

El **tampón fosfato** se encuentra en los líquidos intracelulares, y mantiene el pH en torno a 6,86 debido al equilibrio:



### Actividades

- ¿Por qué es importante que los fluidos biológicos mantengan su pH dentro de ciertos límites?
- Indica cómo reacciona el tampón fosfato: a) cuando se añade un ácido; b) cuando se añade una base; c) cuando se añade una sustancia a  $\text{pH} = 7$ ; cuando se añade agua de mar; cuando se añade agua pura.

## ■ Propiedades de las dispersiones

Los líquidos presentes en el interior de los seres vivos son dispersiones de diversas sustancias en el seno del agua.

Si las partículas dispersas son de tamaño inferior a  $10^{-7}$  cm se habla de dispersiones moleculares o **disoluciones verdaderas**. Están formadas por sales minerales o por moléculas orgánicas pequeñas, como los azúcares y los aminoácidos.

Cuando las partículas dispersas están comprendidas entre  $10^{-5}$  cm y  $10^{-7}$  cm se habla de **dispersiones coloidales**, formadas principalmente por sustancias orgánicas, como las proteínas, los ácidos nucleicos y los polisacáridos. Las dispersiones coloidales concentradas reciben el nombre de **geles**, y las diluidas se llaman **soles**.

Existen también **dispersiones coloidales hidrófobas**, en las que las partículas dispersas no son afines al agua; pero estas dispersiones no son estables, sino que las partículas dispersas tienden a reunirse y formar una fase separada del agua. Las dispersiones hidrófobas pueden estabilizarse formando las llamadas **emulsiones** cuando actúan sustancias que impiden la unión entre partículas dispersas. Así están presentes las grasas en la leche, y son algunas proteínas las que estabilizan la emulsión.

Las partículas dispersas pueden provocar tres fenómenos en relación con su movimiento en el seno del agua: la **difusión**, la **diálisis** y la **ósmosis**.

La **difusión** es el fenómeno por el cual las moléculas de un soluto se mueven continuamente en todas direcciones tendiendo a distribuirse uniformemente en el seno del agua hasta ocupar todo el espacio disponible.

Las moléculas se mueven desde las zonas de mayor a menor concentración hasta que ésta sea la misma en todo el espacio de difusión.

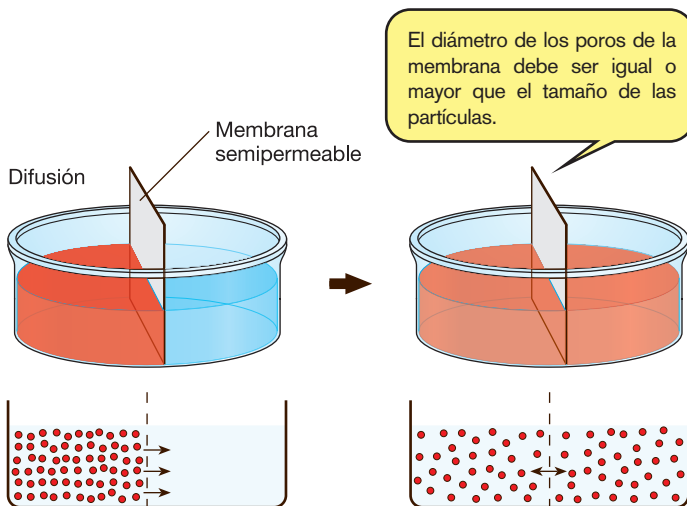


Fig. 4.2. Difusión a través de una membrana.

La difusión puede ocurrir también a través de una membrana si ésta es lo suficientemente permeable como para que la puedan atravesar las partículas del soluto (fig. 4.2). Así se realizan los intercambios de gases y de algunos nutrientes entre la célula y su entorno (fig. 4.3).

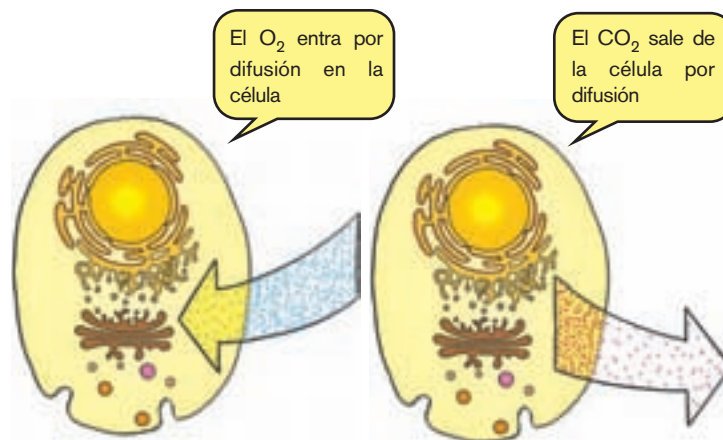


Fig. 4.3. Difusión de gases entre la célula y el medio.

La **diálisis** es una difusión selectiva que separa uno o varios solutos de una disolución a través de una membrana cuya permeabilidad solamente permite el paso de las partículas más pequeñas. (fig. 4.4).

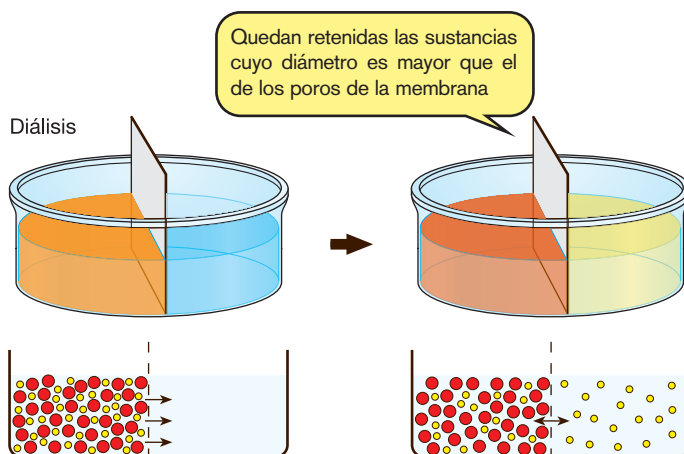


Fig. 4.4. Diálisis.

La diálisis de la sangre o **hemodiálisis** sustituye a la filtración renal en las personas en las que ésta no funciona utilizando membranas artificiales. Se elimina así de la sangre urea y otros metabolitos y se mantienen las moléculas más grandes como las proteínas plasmáticas

La **ósmosis** (fig. 4.5) es el fenómeno por el cual tiende a igualarse la concentración de dos disoluciones separadas por una membrana semipermeable (es decir, que permite el paso de las moléculas de agua pero no las del soluto). Las moléculas de agua se mueven desde las zonas de mayor concentración de agua (agua pura o disoluciones diluidas) a las zonas donde la concentración de agua es menor (disoluciones concentradas, en las que las moléculas de el agua están ligadas a las partículas de soluto) El flujo de agua a través de la membrana es por consiguiente asimétrico: pasa de la disolución diluida a la concentrada.

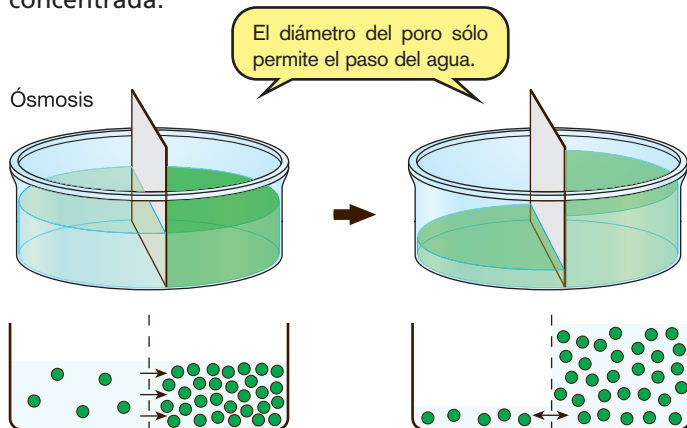


Fig. 4.5. Ósmosis.

La cantidad de agua que atraviesa una membrana semipermeable depende de la concentración de partículas disueltas a uno y otro lado, y no de su naturaleza.

La ósmosis genera una diferencia de contenido en agua a un lado y otro de la membrana, lo cual provoca una presión sobre la misma que recibe el nombre de **presión osmótica**. Dicha presión equivale a la debería aplicarse sobre la membrana para neutralizar el flujo osmótico.

Cuando dos disoluciones se hallan separadas por una membrana semipermeable, se denomina **hipertónica** a aquella disolución que está más concentrada, pues es la que generará más presión sobre la membrana; se denomina **hipotónica** a la solución más diluida, pues generará menos presión sobre la membrana; si las dos disoluciones tienen la misma concentración, se denominan **isotónicas**.

### Fenómenos osmóticos

Las membranas celulares funcionan como si fueran semipermeables; por tanto, el fenómeno de ósmosis puede provocar intercambios de agua entre el interior y el exterior de la célula. El resultado de dichos intercambios depende de la concentración de la disolución acuosa presente en el medio externo (fig. 4.6).

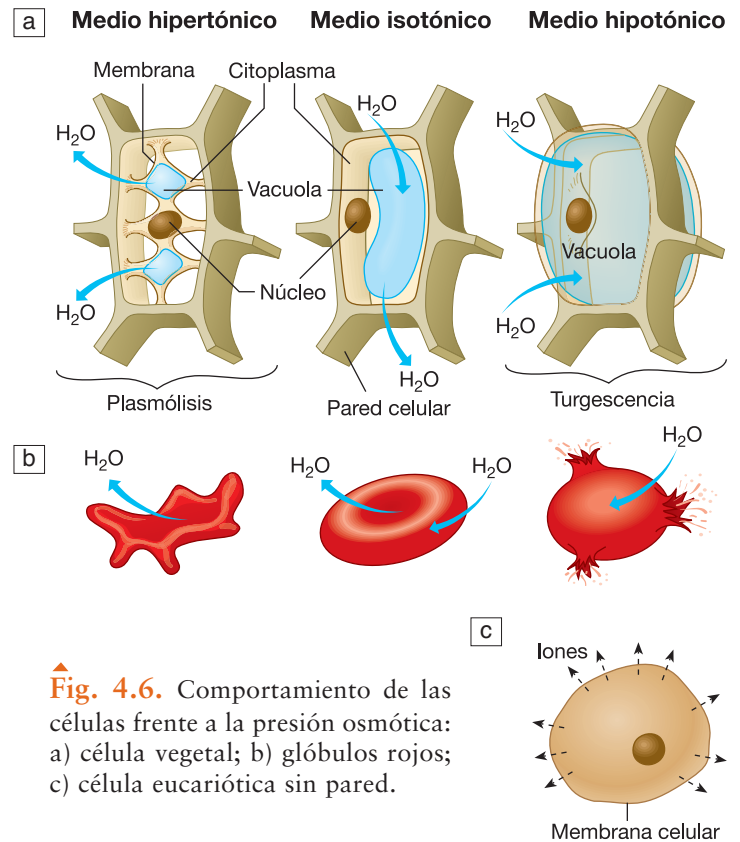


Fig. 4.6. Comportamiento de las células frente a la presión osmótica: a) célula vegetal; b) glóbulos rojos; c) célula eucariótica sin pared.

a) Si el medio externo es hipertónico, el agua tenderá a salir de la célula. Las células animales pierden agua y se contraen. En las células vegetales, la vacuola y el citoplasma se contraen y la membrana plasmática se separa de la rígida pared celular, fenómeno que recibe el nombre de **plasmólisis** (fig. 4.7). En ambos casos, una pérdida excesiva de agua puede producir la muerte celular.

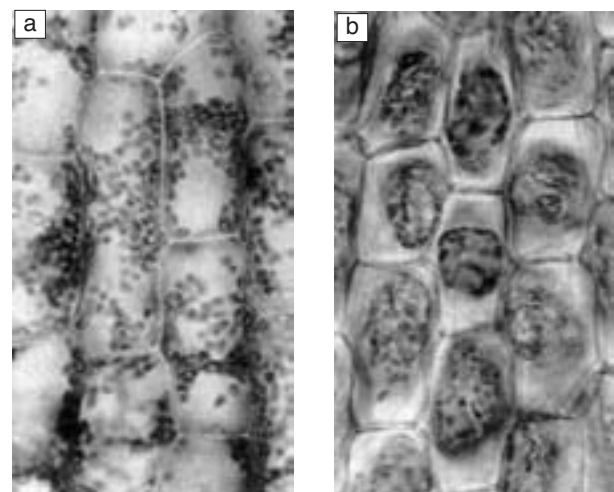


Fig. 4.7. Plasmólisis: a) célula normal; b) célula plasmolizada.

- b) Si el medio externo es hipotónico, el agua tenderá a entrar en la célula, y ésta se hinchará, fenómeno que, en las células vegetales, recibe el nombre de **turgescencia**. Las células sin pared, expulsan iones para rebajar la presión osmótica interna aunque en algunos casos pueden llegar a reventar (fig. 4.6 b y c). En las células vegetales, la vacuola se hincha y presiona al citoplasma contra la pared celular. Sin embargo, no llega a reventar debido a que la fuerte pared celular que la contiene es algo elástica y puede estirarse un poco pero no se rompe. Cuando la pared ya no puede estirarse más, impide que siga entrando agua y la célula deja de hincharse (fig. 4.6 a).
- c) Si el medio externo es isotónico entra y sale la misma cantidad de agua (fig. 4.6 a y b).

Muchos **fenómenos biológicos** se deben a la **ósmosis**:

- Los protozoos de agua dulce tienen vacuolas contráctiles para bombear continuamente al exterior el exceso de agua que absorben por ósmosis (fig. 4.8).

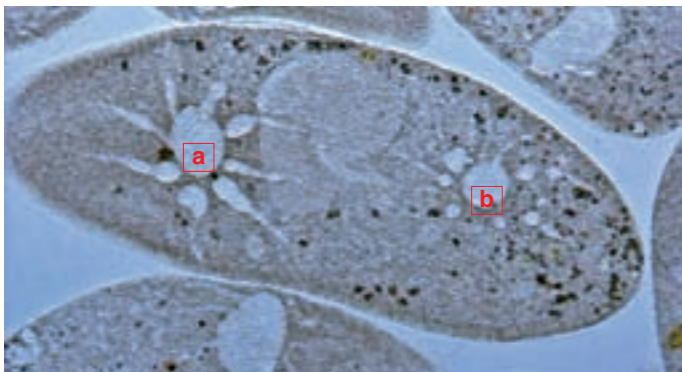


Fig. 4.8. Vacuolas contráctiles (a y b) en un paramecio.

- Algunos movimientos en las plantas, como el cierre rapidísimo de la trampa de la planta carnívora Venus atrapamoscas (*Dionaea muscipula*) (fig. 4.9), se producen al perder agua las células turgentes que la mantienen abierta. El contacto con el insecto hace que esas células eliminen potasio al exterior lo que produce la salida de agua por ósmosis y la caída de la turgescencia. Un fenómeno semejante cierra las hojas de las mimosas cuando son rozadas.



Fig. 4.9. *Dionaea muscipula*.

- Las raíces absorben agua cuando las disoluciones del suelo son hipotónicas respecto del citoplasma de las células de la planta. En caso contrario, el agua sale de la planta y ésta acaba secándose.

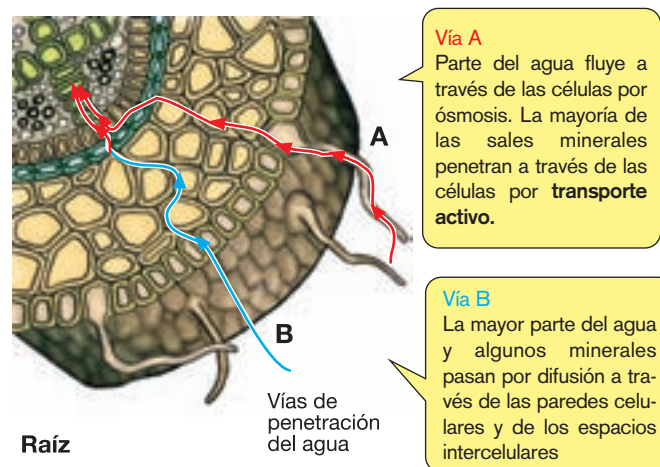


Fig. 4.10. Vías de penetración del agua y las sales minerales en la raíz.

Otros mecanismos de transporte de agua y nutrientes son la **difusión facilitada** y el **transporte activo**. Ambos procesos serán ampliamente estudiados en el tema 7

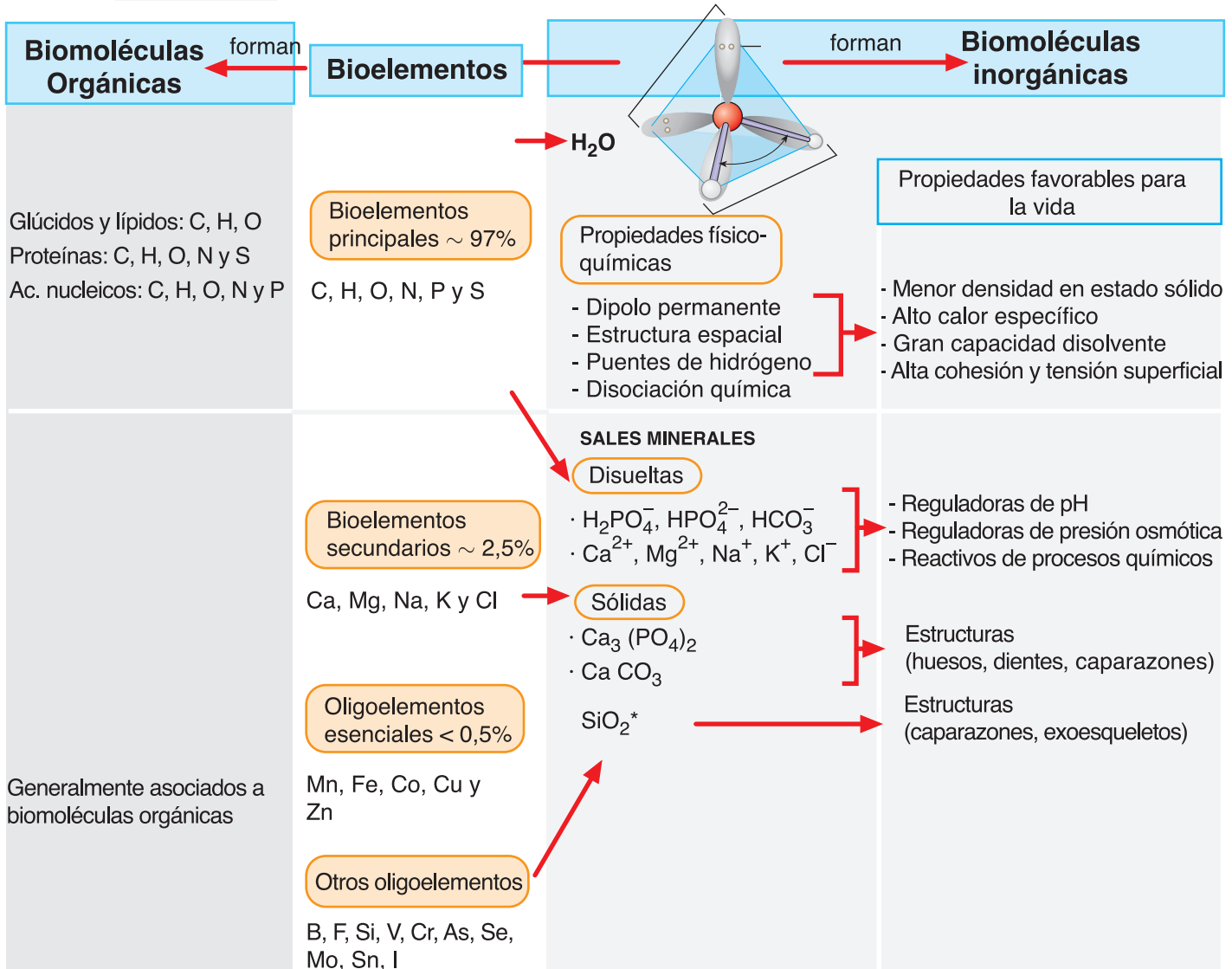
## Actividades

- a) Los colirios son medicamentos que se aplican depositando gotitas sobre la superficie del ojo. El prospecto nos indica que se trata de una disolución isotónica (isomótica). ¿Es importante ese dato o realmente lo único importante es el principio activo (la sustancia que cura) contenido en el colirio.
- b) ¿Es lo mismo una diálisis que una filtración? ¿En que se parecen? ¿En qué se diferencian?
- c) ¿Por qué no se puede regar con agua del mar?
- d) ¿Por qué no explotan las células de una planta cuando se riegan con agua dulce que es claramente hipotónica con respecto al citoplasma celular?

# Bioelementos y biomoléculas inorgánicas

Se denominan bioelementos a aquellos elementos químicos que forman la materia viva.

1 <b>H</b> Hidrógeno																	2 <b>He</b> Helio						
3 <b>Li</b> Litio	4 <b>Be</b> Berilio																	5 <b>B</b> Boro	6 <b>C</b> Carbono	7 <b>N</b> Nitrógeno	8 <b>O</b> Oxígeno	9 <b>F</b> Fluor	10 <b>Ne</b> Neón
11 <b>Na</b> Sodio	12 <b>Mg</b> Magnesio																	13 <b>Al</b> Aluminio	14 <b>Si</b> Silicio	15 <b>P</b> Fósforo	16 <b>S</b> Azufre	17 <b>Cl</b> Cloro	18 <b>Ar</b> Argón
19 <b>K</b> Potasio	20 <b>Ca</b> Calcio	21 <b>Sc</b> Escandio	22 <b>Ti</b> Titanio	23 <b>V</b> Vanadio	24 <b>Cr</b> Cromo	25 <b>Mn</b> Manganeso	26 <b>Fe</b> Hierro	27 <b>Co</b> Cobalto	28 <b>Ni</b> Níquel	29 <b>Cu</b> Cobre	30 <b>Zn</b> Zinc	31 <b>Ga</b> Galo	32 <b>Ge</b> Germanio	33 <b>As</b> Arsénico	34 <b>Se</b> Selenio	35 <b>Br</b> Bromo	36 <b>Kr</b> Kriptón						
37 <b>Rb</b> Rubidio	38 <b>Sr</b> Estroncio	39 <b>Y</b> Ytrio	40 <b>Zr</b> Circonio	41 <b>Nb</b> Niobio	42 <b>Mo</b> Molibdeno	43 <b>Tc</b> Tecnecio	44 <b>Ru</b> Rutenio	45 <b>Rh</b> Rodio	46 <b>Pd</b> Paladio	47 <b>Ag</b> Plata	48 <b>Cd</b> Cadmio	49 <b>In</b> Indio	50 <b>Sn</b> Estaño	51 <b>Sb</b> Antimonio	52 <b>Te</b> Telurio	53 <b>I</b> Yodo	54 <b>Xe</b> Xenón						
55 <b>Cs</b> Cesio	56 <b>Ba</b> Bario	<b>L</b> Lantánidos		72 <b>Hf</b> Hafnio	73 <b>Ta</b> Tántalo	74 <b>W</b> Wolframio	75 <b>Re</b> Renio	76 <b>Os</b> Osmio	77 <b>Ir</b> Iridio	78 <b>Pt</b> Platino	79 <b>Au</b> Oro	80 <b>Hg</b> Mercurio	81 <b>Tl</b> Talio	82 <b>Pb</b> Plomo	83 <b>Bi</b> Bismuto	84 <b>Po</b> Polonio	85 <b>At</b> Astatina	86 <b>Rn</b> Radón					
87 <b>Fr</b> Francio	88 <b>Ra</b> Radio	<b>A</b> Actínidos																					





- 1** Define los siguientes conceptos: diálisis, presión osmótica, oligoelemento, biomolécula, tampón, plasmolisis, turgescencia, amortiguador de pH.
- 2** Indica cuales de los siguientes cationes y aniones forman parte de la materia viva:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fr}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Sn}^{4+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_2\text{SbO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HNO}_2^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{MnO}_4^+$ .
- 3** Establece parejas de número-letra entre los siguientes bioelementos y sus funciones.

Bioelemento	Función
1. C	a. Forma parte de la molécula de la clorofila, es metálico.
2. P	b. Forma parte de todas las proteínas y en forma iónica lo toman las plantas.
3. Zn	c. Se encuentra en la estructura del DNA y en un sistema tampón.
4. Mg	d. Es un cofactor de enzimas de oxidación reducción.
5. N	e. Interviene en los procesos de transporte electrónico, en la respiración y en la fotosíntesis.
6. Fe	f. Se encuentra en todas las biomoléculas orgánicas y en algunas inorgánicas.
7. Co	g. Forma parte de la vitamina $\text{B}_{12}$

- 4** ¿Por qué hay tanta diferencia en el % de composición elemental entre la corteza terrestre y los seres vivos?
- 5** ¿Por qué decimos que la molécula de agua es eléctricamente neutra? ¿Cómo se establece el dipolo permanente en la molécula de agua?
- 6** Generalmente afirmamos que la vida se desarrolla en torno a valores de pH neutros. ¿Es cierto esto siempre y en todos los casos? Cita algunos ejemplos que confirmen tu respuesta.
- 7** Desde la antigüedad se conservan los alimentos disponiéndolos en disoluciones muy concentradas de sal (salmueras, salazones) o de azúcar (compotas, mermeladas).
  - a) ¿Tiene esto algo que ver con lo que hemos estudiado en el tema?
  - b) ¿Cultivarías algún microorganismo (bacteria, protozoo, hongo) en un medio muy salado o muy azucarado ¿Por qué?
- 8** ¿Qué ocurre en la sangre cuando aumenta la concentración de  $\text{CO}_2$ ? ¿En qué circunstancias fisiológicas puede darse este proceso? ¿A qué se denomina acidosis sanguínea?

- 9** Al alcanzar la menopausia se produce con frecuencia en las mujeres una dolencia denominada osteoporosis. Para diagnosticarla y tratarla se utiliza una técnica denominada densitometría ósea.
  - a) ¿Qué bioelemento está implicado en el proceso de la osteoporosis?
  - b) ¿Qué mide la densitometría?
- 10** Tenemos dos recipientes A y B separados entre si por una membrana semipermeable. En ellos colocaremos diferentes disoluciones. Indica el sentido del flujo del agua en cada caso.

A	B
Agua	Agua
Agua	$\text{NaNO}_3$ (0,1M)
Glucosa (0,1M)	$\text{NaNO}_3$ (0,05M)
Glucosa (90 g/L)	$\text{NaNO}_3$ (73 g/L)

Pm de la glucosa = 180. Pm del  $\text{NaNO}_3$  = 73

- 11** Explica por qué flota el hielo sobre el agua. ¿Qué consecuencias tiene para el desarrollo de la vida en los ecosistemas acuáticos? Describe el proceso.
- 12** Señala si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones, explicando por qué?
  - a) El agua tiene en su molécula un dipolo permanente.
  - b) El agua disuelve a sustancias polares y no polares.
  - c) El agua disuelve a sustancias iónicas y polares, pero no a las no polares.
  - d) El agua es un disolvente apolar que disuelve a las sustancias apolares.
- 13** Una de las propiedades del agua que cambia cuando se disuelve en ella un soluto es la presión de vapor:
  - a) ¿Aumenta o disminuye?
  - b) ¿Cuál es la explicación?
- 14** Justifica basándote en la estructura electrónica espacial del agua (T), en la existencia de un dipolo permanente en la molécula (DP), o en ambas (A), las siguientes propiedades físico químicas del agua:
  - a) Capacidad de disolver sustancias iónicas.
  - b) Capacidad de disolver sustancias polares.
  - c) Mayor densidad en estado sólido.
  - d) Alto calor específico.
  - e) Elevado calor de vaporización.

# Polvo de estrellas

Se denomina **nucleosíntesis** al conjunto de procesos por el que se forman los diferentes átomos que forman la materia. No hay ni hubo una nucleosíntesis especial para los bioelementos, si bien los procesos que dan lugar a los diferentes átomos pueden ser diferentes.

El Sistema Solar, en donde nació y se desarrolló la vida que conocemos, se formó a partir de una enorme nube cósmica muy rica en hidrógeno en la que ya existían los demás elementos químicos naturales y entre ellos los bioelementos. Por tanto la nucleosíntesis de nuestra materia se había producido con anterioridad. ¿Cuándo? ¿Dónde?

La investigación astrofísica reconoce cuatro escenarios para la nucleosíntesis: 1) el Big Bang; 2) las estrellas; 3) Las explosiones estelares; 4) Los rayos cósmicos

**1. Nucleosíntesis primordial:** nuestro universo surge a partir de una gran explosión (Big Bang) hace unos 13 500 millones de años y su comienzo supone el comienzo de la materia, el tiempo y el espacio. En los tres primeros minutos se forman el H y el He (y también pequeñas trazas de Li y Be) que llenan el Universo y se expanden con el.

**2. Nucleosíntesis estelar.** Se produce en las estrellas a lo largo de su vida debida, principalmente, a la fusión nuclear. Es un proceso por

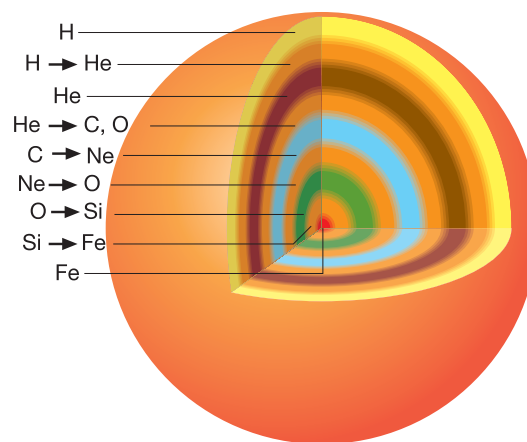
tanto que existe desde que existen las estrellas, si bien a nosotros nos afecta la que se produjo antes de la formación del sistema solar, en estrellas de primera y segunda generación (el Sol es de tercera).

Las estrellas se forman por condensación de vastas nebulosas en las que el hidrógeno es el componente mayoritario. La contracción gravitatoria hace aumentar la temperatura de la nebulosa. Cuando se alcanza valores del orden del  $10^7$  K comienza la reacción nuclear por la que el hidrógeno se fusiona en helio. Todas las estrellas comienzan así. Lo que sucede después depende de la masa de la estrella que a su vez condiciona su temperatura y los procesos nucleares que se desarrollan (Tabla I).

**Estrellas semejantes a nuestro Sol** transforman lentamente su H en He (ciclo protón-protón) que se va acumulando en su núcleo. (A partir 1,5 masas solares cada vez cobra más importancia la fusión de H a He mediante un proceso denominado ciclo CNO que produce N). La compresión gravitatoria hace aumentar la temperatura hasta alcanzar el punto de fusión nuclear del He para originar C y O que se van acumulando en el núcleo. La estrella pulsa y se expande convertida en una gigante roja. Las capas

exteriores son expulsadas por intenso viento estelar y mediante explosiones que generan una nebulosa planetaria.

En **estrellas muy masivas**, la temperatura del núcleo va aumentando hasta alcanzar la de fusión nuclear del C. Este proceso puede continuar de manera que la estrella adquiere una estructura de capas concéntricas, en donde se sintetizan elementos cada vez más pesados.



Algunos átomos como el Co pueden sintetizarse en esta fase por captura de neutrones lentos.

**3. Las explosiones estelares.** Cuando se llega al Fe el proceso cesa, el núcleo de Fe no puede fusionarse para compensar la contracción gravitatoria, se produce su ruptura (fotodisociación), las capas estelares caen sobre el núcleo y la estrella explota convertida en **supernova tipo II**. Se produce un intensísimo bombardeo de neutrones (rápidos) capaz de generar muchos elementos pesados **Cr, Fe, Ni, I, Se**, etc... que son repartidos por el espacio junto con los otros componentes de la estrella sintetizados en etapas anteriores.

**4. Rayos cósmicos.** Su interacción con la materia interestelar da lugar a numerosos elementos entre ellos el boro, **B**.

Proceso nuclear	Combustible nuclear	Productos de fusión	T <sup>a</sup> del núcleo (K)	Masa mínima de la estrella (Sol=1)
Fusión del hidrógeno	H	He	2·10 <sup>7</sup>	0,1
Fusión del helio	He	C, O	2·10 <sup>8</sup>	1
Fusión del carbón	C	O, Ne, Na, Mg	8·10 <sup>8</sup>	1,4
Fotodisociación del neon	Ne	O, Mg	1,5·10 <sup>9</sup>	5
Fusión del oxígeno	O	S, P, Si, Mg	2·10 <sup>9</sup>	10
Fusión del silicio	Si	Ni, Co, Fe	3·10 <sup>9</sup>	20

Ampliación