



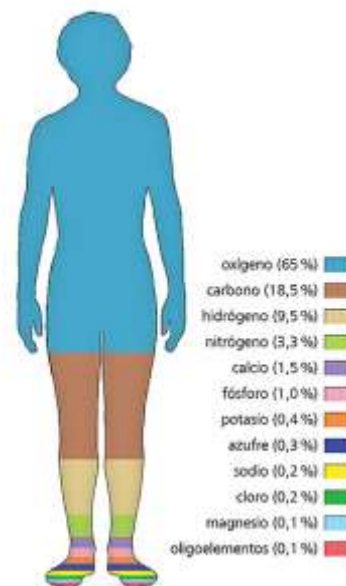
La vida se construye con moléculas que facilitan las estructuras de nuestros tejidos, nuestros órganos y sistemas. Estas moléculas están a su vez compuestas por una serie de elementos químicos. Lo primero que observamos es que los elementos que componen la materia viva son principalmente unos pocos y que en algunos casos no tienen que ver precisamente con la abundancia de éstos en el medio. En los seres vivos es posible encontrar unos 70 bioelementos diferentes (así llamaremos a los elementos químicos que están presentes en los seres vivos). Todos ellos están sujetos a las mismas características fisicoquímicas dentro y fuera de un ser vivo; siendo algunas de ellas el comportamiento en el medio acuoso (si son solubles o insolubles) y la reactividad de los átomos que permite la formación de enlaces y creación de moléculas más complejas.

I. BIOELEMENTOS

Ya hemos comentado que los bioelementos o elementos biogénicos son aquellos que encontramos en los seres vivos

Los criterios con los que los clasificamos no son por su importancia sino por la **abundancia**.

Así por ejemplo el Mg es absolutamente imprescindible para la vida a pesar de que se necesita en muy pequeñas cantidades. Sin él nosotros no tendríamos comida (esencial en la fotosíntesis ya que forma parte de la clorofila; y toda nuestra comida procede de la actividad vegetal, directa o indirectamente). Ni tendríamos qué hacer con ella si la tuviéramos (el Mg actúa sobre la unión de las subunidades que conforman el ribosoma; ya que eso tiene una importancia capital en la síntesis de proteínas).



GRUPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H 1,008	He 4,0026																
2	Li 6,94	Be 9,0122											B 10,81	C 12,011	N 14,007	O 15,999	F 18,998	Ne 20,180
3	Na 22,990	Mg 24,305											Al 26,982	Si 28,086	P 30,974	S 32,06	Cl 35,45	Ar 39,948
4	K 39,098	Ca 40,078	Sc 44,956	Ti 47,887	V 50,942	Cr 51,996	Mn 54,938	Fe 55,845	Co 58,933	Ni 58,693	Cu 63,546	Zn 65,38	Ga 69,723	Ge 72,64	As 74,922	Se 78,96	Br 79,904	Kr 83,798
5	Rb 85,468	Sr 87,62	Y 88,906	Zr 91,224	Nb 92,906	Mo 95,94	Tc 98	Ru 101,07	Rh 102,91	Pd 106,42	Ag 107,87	Cd 112,41	In 114,82	Sn 118,71	Sb 121,76	Te 127,60	I 126,90	Xe 131,29
6	Cs 132,91	Ba 137,33	La-Lu 57-71	Hf 178,49	Ta 180,95	W 183,84	Re 186,21	Os 190,23	Ir 192,22	Pt 195,08	Au 196,97	Hg 200,59	Tl 204,38	Pb 207,2	Bi 208,98	Po 209	At 210	Rn 222
7	Fr 223	Ra 226	Ac-Lr 89-103	Rf 261	Db 262	Sg 266	Bh 264	Hs 277	Mt 268	Ds 271	Rg 272	Cn 285	Nh 284	Fl 289	Mc 288	Lv 293	Ts 294	Og 294

a) Bioelementos primarios (C, H, O, N, S, P)

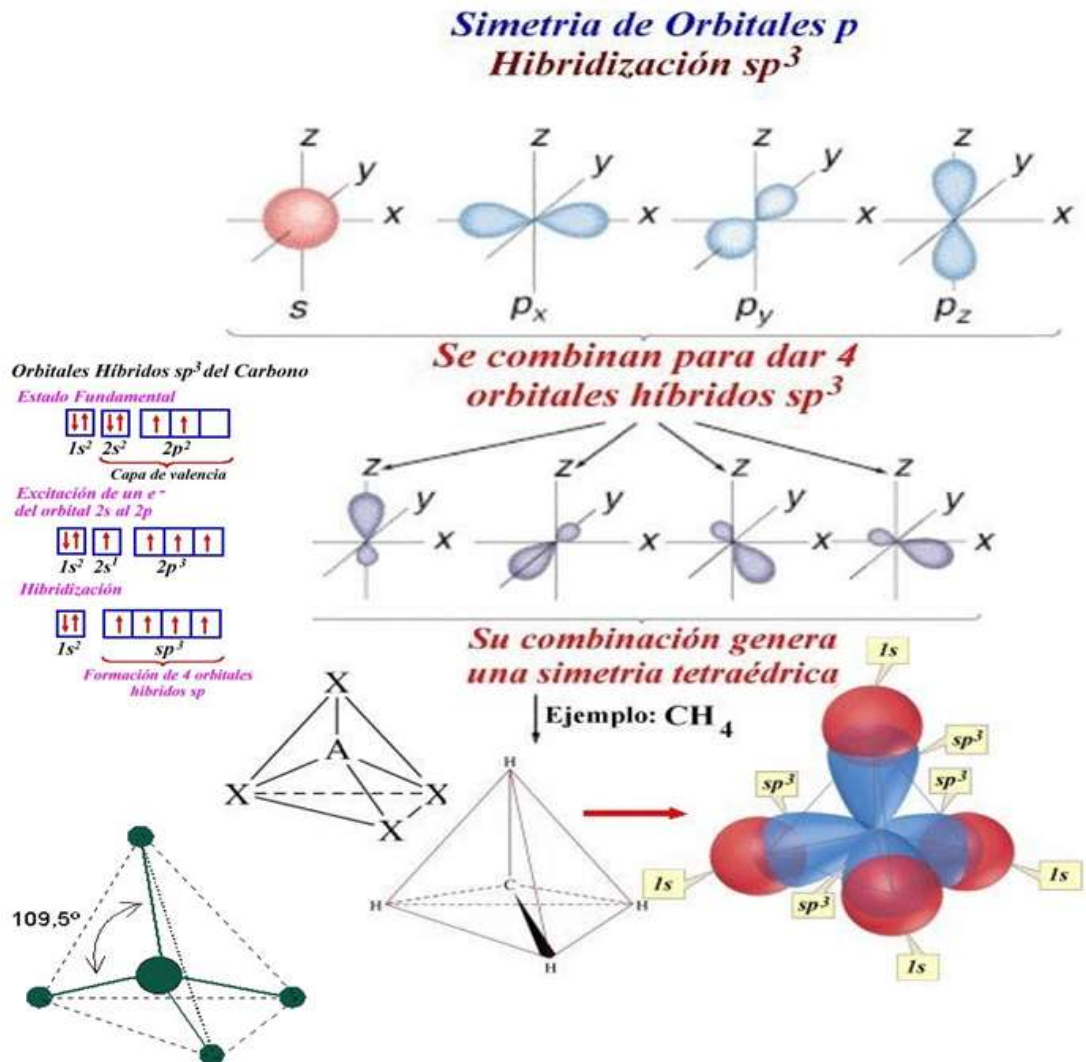
Aparecen en una proporción media del 95% en la materia viva, y son carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno (en algunos manuales aparecen también fósforo y azufre). Las propiedades físico-químicas que los hacen idóneos son las siguientes:

- 1 Forman entre ellos **enlaces covalentes**, compartiendo electrones.
- 2 El carbono, nitrógeno y oxígeno, pueden compartir más de un par de electrones, formando **enlaces dobles y triples**, lo cual les dota de una gran **versatilidad** para el enlace químico.

- 3 Son los elementos más ligeros con capacidad de formar enlace covalente, por lo que dichos enlaces son muy **estables**.

Y del Carbono:

- 4 A causa de la **configuración tetraédrica** de los enlaces del carbono, los diferentes tipos de moléculas orgánicas tienen **estructuras tridimensionales** diferentes. Esta conformación espacial es responsable de la **actividad biológica**.



- 5 Las posibilidades del carbono para unirse con otros elementos, como el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno, etc., permiten la aparición de una gran variedad de **grupos funcionales** que dan lugar a las diferentes familias de sustancias orgánicas.

Estos aportan características físicas y químicas diferentes, y dan a las moléculas orgánicas propiedades específicas (por

GRUPO FUNCIONAL	ESTRUCTURA	FAMILIA	BIOMOLÉCULAS EN LAS QUE SE ENCUENTRAN
HIDROXILO	<chem>—OH</chem>	Alcoholes	Glicidos
CARBONILO	<chem>C=O</chem>	Aldehídos	Glicidos
	<chem>C(=O)C</chem>	Cetonas	Glicidos
CARBOXILO	<chem>C(=O)OH</chem>	Ácidos orgánicos	Lípidos y aminoácidos (proteínas)
AMINO	<chem>C—NH2</chem>	Aminas	Aminoácidos (proteínas) y nucleótidos (ácidos nucleicos)
ÉSTER	<chem>C(=O)OC</chem>	Ésteres	Lípidos
AMIDA	<chem>C(=O)N</chem>	Amidas	Proteínas
TIOL	<chem>—SH</chem>	Tióles	Aminoácidos (proteínas)
FOSFATO	<chem>—O—P(=O)(OH)2</chem>	Ésteres fosfóricos	Lípidos y ácidos nucleicos

ejemplo, solubilidad o insolubilidad).

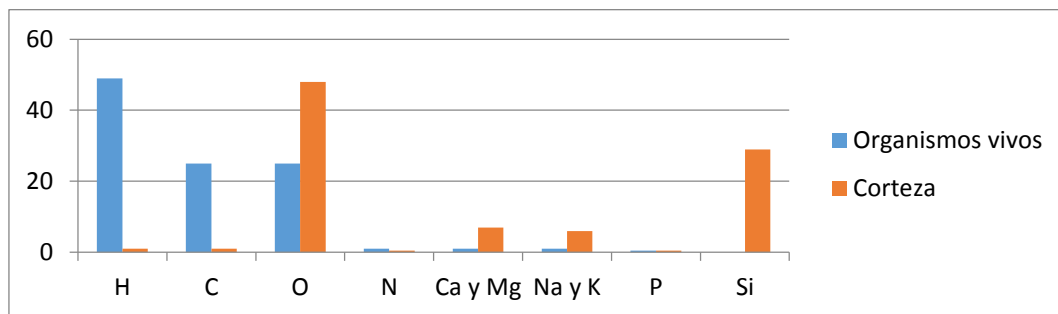
Además, aumenta las posibilidades de creación de nuevas moléculas orgánicas por reacción entre los diferentes grupos.

- 6 Los enlaces entre los átomos de carbono pueden ser **simples** (C - C), **dobles** (C = C) o **triples**.



Esto permite ir creando cadenas en las que el carbono es el eslabón principal. Además, el tipo de enlace hace que la cadena tenga características espaciales diferentes. Por ejemplo, los enlaces dobles hacen que estos sean rígidos y no puedan girar sobre sí mismos.

- 7 El carbono además es fácil de incorporar a la vida (fotosíntesis) ya que se encuentra en forma gaseosa y soluble en agua (CO_2) frente al silicio (SiO_2) que a pesar de tener una estructura y propiedades parecidas (y mayor cantidad en la corteza terrestre) sin embargo se encuentra en forma cristalizada e insoluble. Además, ambos pueden formar largas cadenas, pero los enlaces Si-Si son mucho más débiles que los C-C, que tienen el grado de estabilidad perfecto para hacer moléculas permanentes que puedan ser hidrolizadas por los seres vivos.



b) Bioelementos secundarios (Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{2+} , Cl^-)

Aparecen en una proporción próxima al 3,3%.

Son: calcio, sodio, potasio, magnesio y cloro, desempeñando funciones de vital importancia en fisiología celular.

c) Oligoelementos

Micro constituyentes, o elementos vestigiales, que aparecen en la materia viva en proporción inferior al 0,1% siendo también esenciales para la vida (su carencia puede suponer enfermedades o la muerte).

- Indispensables: presentes en todos los organismos: Fe, Mn, Cu, Zn, Co
- Variables: no son esenciales para todos los organismos, y forman un grupo grande hasta rellenar los 70 bioelementos. En humanos podemos destacar: I (regula metabolismo), F (constituyente de dientes, huesos, glándulas), Co (componente de la vitamina B12), Si (constituyente de piel, pelo y conjuntivo otorgando elasticidad), Li (interviene en el estado de ánimo). En el resto de organismos cabe destacar el V, Cr, Se, Mo, Sn, Al, As, Ga, W, Ni,...

II. BIOMOLÉCULAS

Los bioelementos se combinan entre sí en función de sus características para componer diversas moléculas que por su importancia biológica llamaremos **principios inmediatos** o **biomoléculas**.

Algunas de éstas se encuentran de manera exclusiva en los seres vivos o en materia procedente de éstos. Por ello las denominamos orgánicas (en alusión a su naturaleza). Otras por el contrario las podemos encontrar en la naturaleza inorgánica por lo que las clasificamos de la siguiente

manera:

- Inorgánicas (Agua, sales minerales, algunos gases: O_2 , CO_2 , N_2 ,...)
- Orgánicas (glúcidos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos)

Para conocer las propiedades de algunas biomoléculas, debemos entender cómo se han unido los distintos bioelementos que lo forman. Es por ello que diferenciamos los distintos tipos de enlaces:

- **Covalente**

Se produce entre dos elementos NM que comparten electrones en el enlace, ya que los valores de electronegatividad (tendencia de un elemento químico a ganar electrones) son parecidos. Los electrones compartidos son los que están presentes en la última capa; electrones de valencia, que se encuentran en orbitales (regiones más probables del espacio dónde se encuentra $1e^-$)

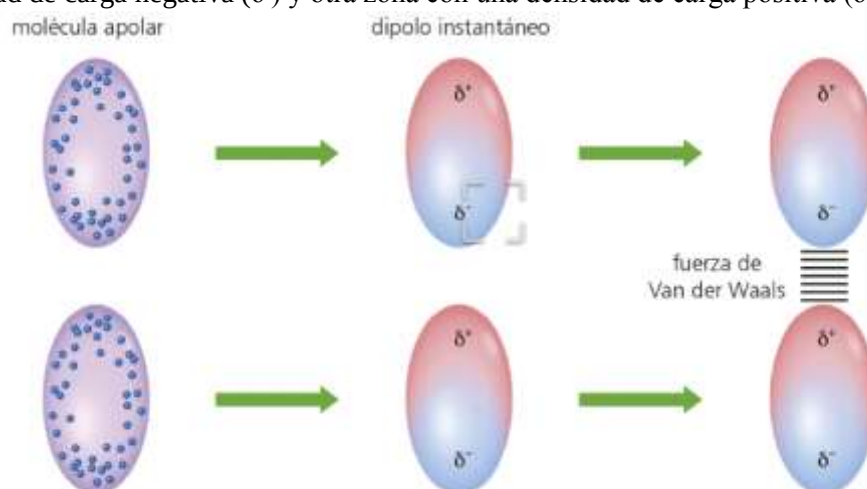
- **Iónico**

Tiene lugar entre elementos con valores de electronegatividad muy dispares; un Metal (que cede electrones; catión) y un No Metal (que gana electrones; anión). Al quedarse como iones, forman redes cristalinas entre los cationes y los aniones. Un ejemplo sencillo sería el NaCl ($Na^+ Cl^-$)

- **Interacciones débiles**

Son enlaces más débiles que los anteriores, lo que propicia q se formen y destruyen con relativa facilidad. Aunque individualmente son enlaces débiles, el conjunto y repetición de este tipo de enlaces crea una buena cohesión entre moléculas, tanto es así, que determinan ciertas propiedades físico-químicas de las moléculas que unen.

- **Interacciones electrostáticas.** Se producen entre moléculas con cargas opuestas, como ocurre entre el grupo carboxilo ($R-COO^-$) y el amino ($R-NH_4^+$) de dos aminoácidos. Pueden ser enlaces atractivos si se tratan de compuestos de cargas opuestas, o bien repulsivos si son cargas idénticas.
- **Fuerzas de Van der Waals.** Son atracciones de carga que se producen entre moléculas que originalmente son neutras, pero que debido a la gran diferencia de electronegatividad en el enlace covalente, los electrones se desplazan más hacia un lado de la molécula, creando una densidad de carga negativa (δ^-) y otra zona con una densidad de carga positiva (δ^+).



- **Puentes de hidrógeno.** Es un tipo concreto de Fuerzas de Van der Waals que ocurre entre moléculas que tienen un H, como son todas aquellas moléculas con grupos funcionales hidroxilo ($-OH$) o amino ($-NH$) y moléculas de agua.

- **Interacciones hidrofóbicas.** Ocurren en moléculas que no son solubles en agua (apolares), disueltas en agua, que adquieren una conformación espacial para minimizar el contacto con el agua (como por ejemplo en las membranas celulares).

III BIOMOLÉCULAS INORGÁNICAS

a) El agua:

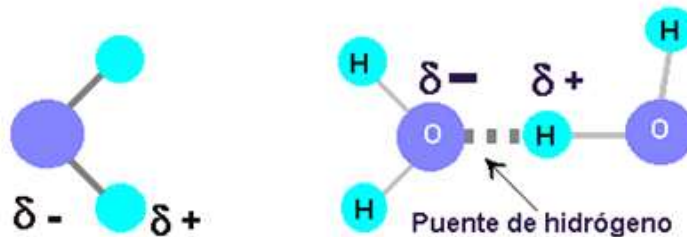
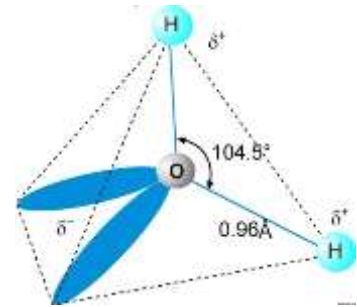
El **agua**: La vida se apoya en su comportamiento anormal

El agua, una molécula simple y extraña, puede ser considerada como el **líquido de la vida**.

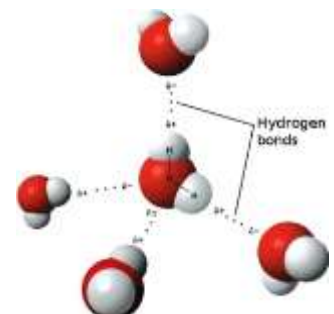
- 1 Es la sustancia más abundante en la **biosfera**, dónde la encontramos en sus *tres estados* y es además el componente mayoritario de los seres vivos, pues entre el 65 y el 95% del peso de la mayor parte de las formas vivas es agua.
- 2 El agua fue además el soporte donde surgió la vida. Molécula con un extraño comportamiento que la convierten en una sustancia diferente a la mayoría de los líquidos, posee una manifiesta reaccionabilidad y posee unas extraordinarias **propiedades físicas y químicas** que van a ser responsables de su importancia biológica.
- 3 Durante la evolución de la vida, los organismos se han adaptado al ambiente acuoso y han desarrollado sistemas que les permiten aprovechar las inusitadas propiedades del agua.

1. Estructura del agua

- A. La molécula de agua está formada por dos átomos de H unidos a un átomo de O por medio de dos **enlaces covalentes**. La disposición tetraédrica de los orbitales **sp³** del oxígeno determina un ángulo entre los enlaces **H-O-H** aproximadamente de 104'5
- B. Además, el oxígeno es más **electronegativo** que el hidrógeno y atrae con más fuerza a los electrones de cada enlace.
- C. El resultado es que la molécula de **agua**, aunque tiene una carga total neutra (igual número de protones que de electrones), presenta una distribución asimétrica de sus electrones, lo que la convierte en una **molécula polar**, *alrededor del oxígeno* se concentra una **densidad de carga negativa**, mientras que los núcleos de **hidrógeno** quedan desnudos, desprovistos parcialmente de sus electrones y manifiestan, por tanto, una **densidad de carga positiva**. Por eso en la práctica la molécula de agua se comporta como un **dipolo**



- D. Esta polaridad permite establecer puentes de hidrógeno, uniones débiles que configuran la **estructura reticular** del agua, responsable en gran parte de su comportamiento anómalo. Cabe destacar que el agua en estado sólido puede unirse a otras 4 moléculas de agua, mientras que en estado líquido se calcula que es a 3,4 moléculas.



2. Propiedades del agua

A. Acción disolvente

El agua es el líquido que más sustancias disuelve, por eso decimos que es el **disolvente universal**. Esta propiedad, tal vez la más importante para la vida, se debe a su capacidad para formar **puentes de hidrógeno** con otras sustancias que pueden presentar grupos polares o con carga iónica. Alcohólos, azúcares con grupos **R-OH**, aminoácidos y proteínas con grupos que presentan cargas $+$ y $-$, lo que da lugar a **disoluciones moleculares** (Fig. A) o **Coloide**. También las moléculas de agua pueden disolver a sustancias salinas que se disocian formando **disoluciones iónicas**. (Fig. B)

En el caso de que la sustancia no se pueda disolver en agua, es porque no tiene carga, se llama apolar y es hidrofóbico. Por otro lado, las sustancias que son parcialmente solubles en agua, y con otra parte que no lo sea, se conocen como anfipática.

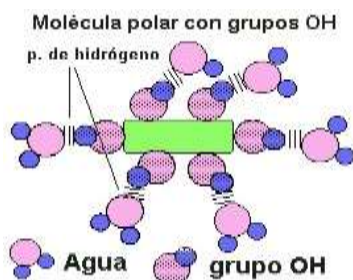


Fig. A. Disolución molecular

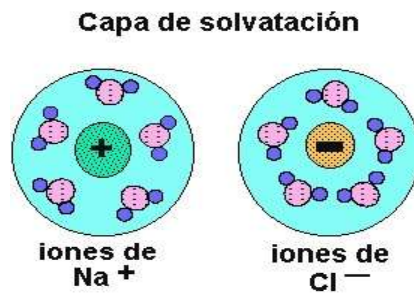
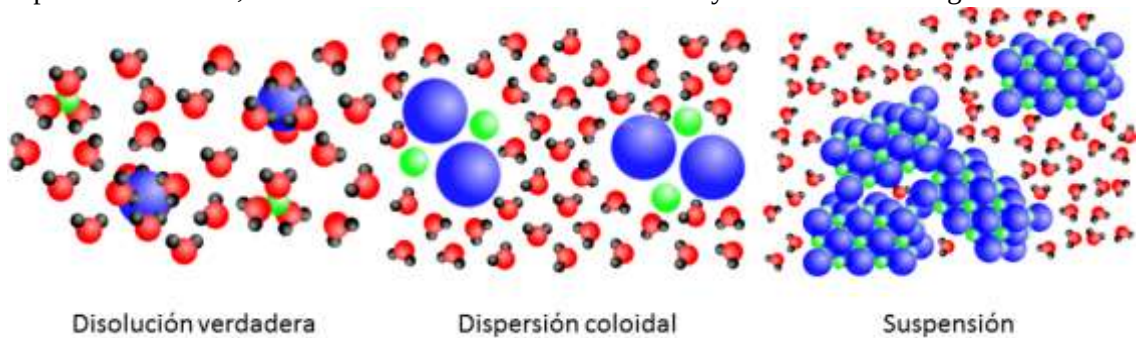


Fig. B. Disolución iónica

Los tipos de disoluciones son:

- **Disolución molecular:** son solutos con carga iónica, polares o de pequeño tamaño, como los glúcidos con su grupo (R-OH) o los aminoácidos (R-NH_3^+ ó R-COO^-)
- **Disolución iónica:** los iones son atraídos por los dipolos del agua, de tal forma que los cationes se juntan con los oxígenos del agua, mientras que los aniones se juntan con los hidrógenos del agua. Estos iones disueltos en agua ya no forman una estructura cristalina, lo que forman es una capa de solvatación, entre los iones hidratados o solvatados y las moléculas de agua.



- **Dispersiones coloidales:** un coloide no es una disolución verdadera, sino que son partículas englobadas por moléculas de agua. En el caso de los organismos podemos destacar las proteínas, ácidos nucleicos o polisacáridos (con tamaños desde los $1\mu\text{m}$ - 1mm), que mediante sus grupos funcionales hidrófilos interaccionan con moléculas de agua que lo engloban. En las dispersiones coloidales hay que diferenciar si es **sol** o **gel**, si es más fluido o viscoso respectivamente, siendo el citoplasma celular un estado generalmente sol, aunque puede modificarse según las necesidades del organismo, pasando a gel y produciéndose la formación de pseudópodos.



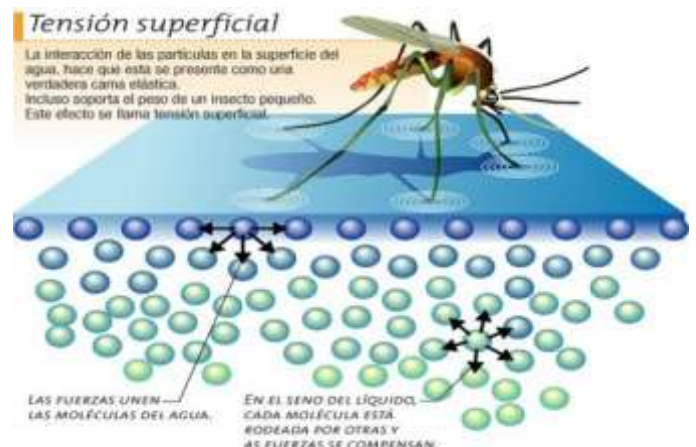
La capacidad disolvente es la responsable de varias funciones:

- Medio donde ocurren las reacciones del metabolismo
- Sistemas de transporte
- Eliminación de sustancias de desecho

B. Elevada fuerza de cohesión

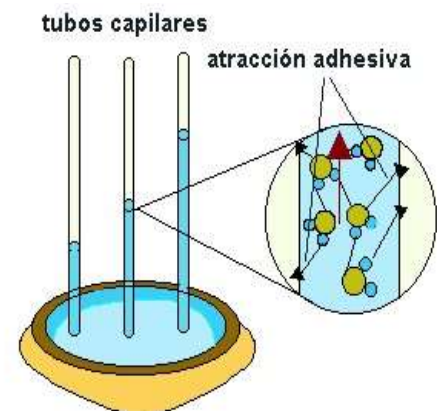
Los puentes de hidrógeno mantienen las moléculas de agua fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incompresible. Al no poder comprimirse puede funcionar en algunos animales como un esqueleto hidrostático, como ocurre en algunos gusanos perforadores capaces de agujerear la roca mediante la presión generada por sus líquidos internos. También la elevada cohesión es importante para explicar el esqueleto hidrostático de las herbáceas, por ejemplo.

Como consecuencia también de la fuerza de cohesión, se produce la **tensión superficial**. Una molécula de agua en la parte interna de la masa de agua, se ve sometida a fuerzas iguales y opuestas, por lo que se compensan, mientras que una molécula en la superficie no se compensa y las fuerzas “tiran” de la molécula, provocando que la superficie se comporte como si fuese una finísima capa elástica, que puede ser aprovechada por determinados insectos para caminar sobre el agua.



C. Elevada fuerza de adhesión

Esta fuerza está también en relación con los puentes de hidrógeno que se establecen entre las moléculas de agua y otras moléculas polares y es responsable, junto con la cohesión del llamado fenómeno de la **capilaridad**. Cuando se introduce un capilar en un recipiente con agua, ésta asciende por el capilar como si trepase agarrándose por las paredes, hasta alcanzar un nivel superior al del recipiente, donde la presión que ejerce la columna de agua, se equilibra con la presión capilar. A este fenómeno se debe en parte la ascensión de la **savia bruta** desde las raíces hasta las hojas, a través de los vasos leñosos.



D. Gran calor específico

El calor específico se define como la cantidad de calor que se debe suministrar a toda la masa de una sustancia para elevar su temperatura en una unidad (kelvin o Celsius). También esta propiedad está

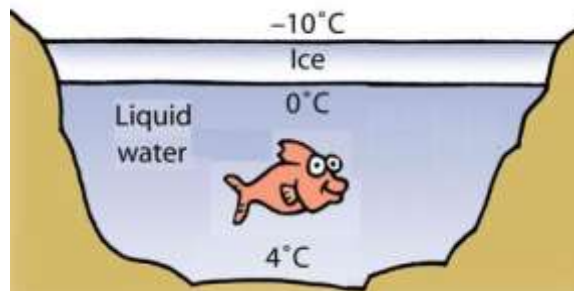
en relación con los puentes de hidrógeno que se forman entre las moléculas de agua. El agua puede absorber grandes cantidades de "calor" que utiliza para romper los puentes de hidrógeno por lo que la temperatura se eleva muy lentamente. Esto permite que el citoplasma acuoso sirva de protección ante los cambios de temperatura. Así se mantiene la temperatura constante, en lo que se conoce a veces como tampón térmico.

E. Elevado calor de vaporización

Sirve el mismo razonamiento, también los puentes de hidrógeno son los responsables de esta propiedad. Para evaporar el agua, primero hay que romper los puentes y posteriormente dotar a las moléculas de agua de la suficiente energía cinética para pasar de la fase líquida a la gaseosa. Para evaporar un gramo de agua se precisan 540 calorías, a una temperatura de 20°C. La importancia biológica radica en que gracias a este elevado calor de vaporización se libera mucha energía sobrante sirviendo como sistema de refrigeración (sudor)

F. Menor densidad del hielo que del agua líquida

El agua permanece líquida en un amplio espectro de temperatura (desde los 0°C hasta los 100°C). Cuando el agua se encuentra en estado sólido su estructura reticular mejora y es más estable, de tal forma que cada molécula de agua forma puentes de hidrógeno con otras 4 moléculas de agua (en estado líquido son 3,4) y esto disminuye su densidad, lo que permite que el hielo flote. Esta propiedad, muy poco habitual en la naturaleza, actúa como aislante térmico ya que el agua que está debajo de la capa de hielo se encuentra a mayor temperatura y esto favorece las condiciones de vida de los organismos que habitan las regiones polares.



G. Bajo grado de ionización.

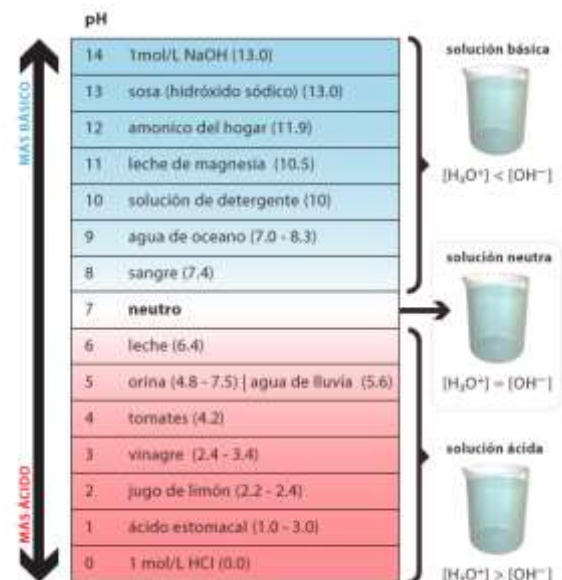
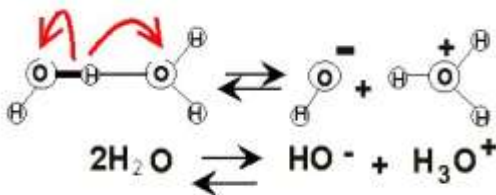
De cada 10^7 de moléculas de agua, sólo una se encuentra ionizada

Esto explica que la concentración de iones hidronio (H_3O^+) y de los iones hidroxilo (OH^-) sea muy baja. Dado los bajos niveles de H_3O^+ y de OH^- , si al agua se le añade un ácido o una base, aunque sea en poca cantidad, estos **niveles varían bruscamente**.

El pH es la escala logarítmica que mide la concentración de iones hidronio en el medio

$$\text{pH} = \log 1/[\text{H}^+] = -\log [\text{H}^+]$$

Para cualquier solución acuosa a 25°C $\text{pH} + \text{pOH} = 14$
 $\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$



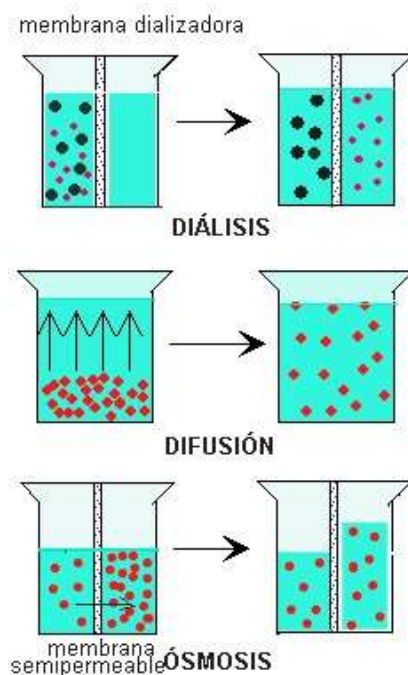
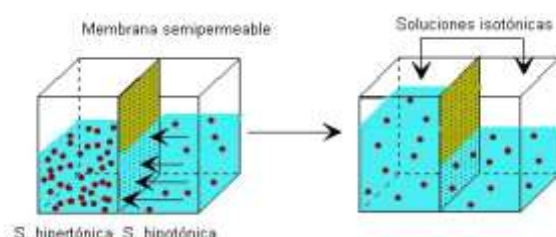
H. Elevada conductividad térmica

Transporta el calor con facilidad de un lado al otro. Esto es importante en el equilibrio de temperatura de la atmósfera y, por tanto, afecta al clima.

I. Ósmosis

La ósmosis es el movimiento de agua a través de una membrana semipermeable desde un potencial hídrico mayor a un potencial hídrico menor.

El concepto de potencial hídrico está relacionado con la energía cinética libre de las moléculas del agua. A mayor energía libre, mayor potencial hídrico.



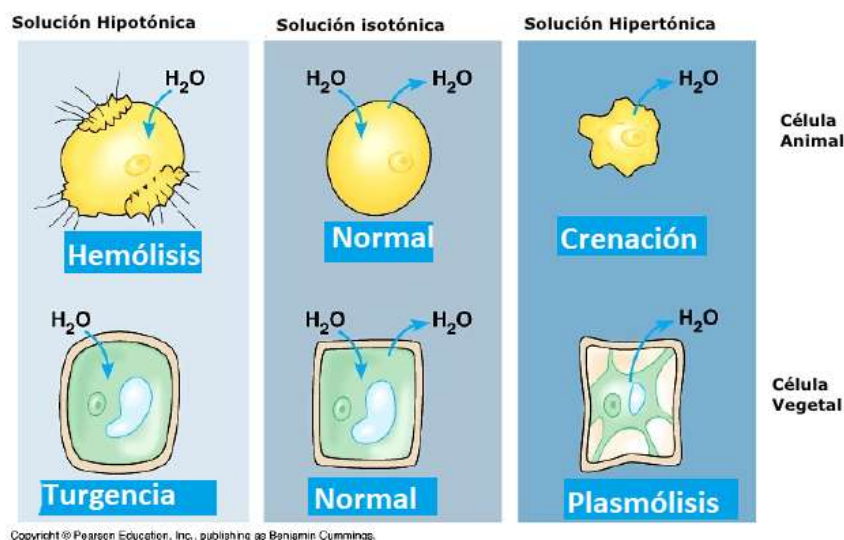
Una membrana semipermeable es aquella que sólo deja pasar pequeñas sustancias como las moléculas de agua. En ocasiones también permite pasar algunas moléculas de soluto, pero de pequeño tamaño, entonces no hablamos de ósmosis, sino de **diálisis**.

Comparación entre difusión, diálisis y ósmosis		
Difusión	Diálisis	Ósmosis
• Membrana permeable o ausencia de membrana • Pasan agua y solutos • De la disolución más concentrada a la más diluida	• Membrana permeable al agua y partículas no coloidales • Pasan agua y solutos no coloidales • De la disolución más concentrada a la más diluida	• Membrana semipermeable, que no permite el paso de solutos • Pasa sólo agua • De la disolución más diluida a la más concentrada

Un medio **hipotónico** (con poca concentración de soluto) tiene un potencial hídrico muy elevado. Un medio **hipertónico** (con mucha concentración de soluto) tiene un potencial hídrico bajo. Los medios celulares y extracelulares tienden a permitir el movimiento del agua para llegar a convertirse en **isotónicos**.

Las células al estar en un medio hipotónico aumentan su volumen al recibir agua del medio, pudiendo llegar incluso a estallar (**lisis**) en el caso de las células animales, pero las vegetales no estallan debido a su pared celular (**turgencia**). Si están en un medio hipertónico van a perder el agua

de su citoplasma hasta alcanzar el equilibrio, siendo en el caso de las células vegetales la **plasmólisis** y en las células animales la **crenación**.



http://2.bp.blogspot.com/-Sg7oR5yX6Pk/VZ6cyZXiDWI/AAAAAAAAABRY/ZXjrTgnMraA/s400/tumblr_nmkm82mXGj1sk2szio1_1280.gif

<https://youtu.be/HqKILm2Mjkl>

3. Funciones

Las funciones del agua se relacionan íntimamente con las propiedades anteriormente descritas. Se podrían resumir en los siguientes puntos:

Propiedad del agua	Función del agua
Alta capacidad disolvente	Función de transporte
Alta capacidad disolvente	Soporte metabólico
Elevada fuerza de cohesión	Función estructural. Forma esqueletos hidrostáticos
Elevada tensión superficial	Flotabilidad. El agua forma una fina película en su parte superior que permite la vida en la superficie
Alta fuerza de adhesión	Capilaridad. Permite la ascensión de materiales en la savia de las plantas
Alto calor específico y alto calor de vaporización	Termorreguladora. El sudor puede reducir la temperatura de un organismo
Bajo grado de ionización	Puede intervenir como reactivo, aportando OH^- o H^+ al medio. Su pH neutro es idóneo para los organismos
Reducida viscosidad	Reduce el rozamiento en los tejidos y órganos
Mayor densidad en estado sólido	Permite la formación de ecosistemas en regiones muy frías
Ósmosis	Movilidad molecular y proceso de homeostasis

b) Sales minerales

En función de su solubilidad en agua se distinguen dos tipos: insolubles y solubles en agua.

1. Sales insolubles en agua.

Forman estructuras sólidas, que suelen tener función de sostén o protectora, como:

- Esqueleto interno de vertebrados, en el que encontramos: fosfatos, cloruros, y carbonatos de calcio
- Caparazones de carbonato cálcico de crustáceos y moluscos.
- Endurecimiento de células vegetales, como en gramíneas (impregnación con sílice).
- Otolitos del oído interno, formados por cristales de carbonato cálcico (equilibrio).

2. Sales solubles en agua.

Se encuentran disociadas en sus iones (cationes y aniones) que son los responsables de su actividad biológica. Desempeñan las siguientes funciones:

- **Función catalítica.** Algunos iones, como el Fe^{2+} , Cu^+ , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Zn^+ ...actúan como cofactores enzimáticos
- **Función osmótica.** Intervienen en los procesos relacionados con la distribución de agua entre el interior celular y el medio donde vive esa célula.
- **Función electroquímica.** Los iones de Na^+ , K^+ , Cl^- y Ca^{2+} , participan en la generación de gradientes electroquímicos, imprescindibles en el mantenimiento del potencial de membrana y del potencial de acción y en la sinapsis neuronal.
- **Función tamponadora.** Se lleva a cabo por los sistemas carbonato-bicarbonato $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ (exterior celular), y también por el monofosfato-bifosfato $\text{HPO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{PO}_4^-$ (interior celular), amortiguando los cambios de pH en el medio, ya que valores anómalos podrían afectar a la estructura de las proteínas por ejemplo.

Modelo de carbonato-bicarbonato en el exterior de la célula.

Si el medio celular tiene un exceso de protones la reacción discurre hacia la derecha. Si por el contrario lo que ocurre es que hay menos protones de los que debiera para el pH 7, la reacción discurre hacia la izquierda.

