

Bioquímica Estructural y Metabólica

Tema 1. Estructura y propiedades de las principales biomoléculas



TEMA 1. Estructura y propiedades de las principales biomoléculas.

Composición química de los seres vivos. Principales biomoléculas: aminoácidos, azúcares, lípidos, bases y nucleótidos. Grupos funcionales. Isomería. Propiedades físico-químicas del agua. Solubilidad de las biomoléculas. Interacciones débiles en los sistemas acuosos. Regulación del pH en los fluidos biológicos. Soluciones tampón. Principales tampones biológicos.

RELACION ESTRUCTURA-FUNCIÓN

Conocer la estructura de las biomoléculas permite explicar cuál es su función biológica en el organismo.

IMPORTANCIA DEL METABOLISMO

- La Bioquímica ayuda a entender cómo funciona el organismo y a mejorar su funcionamiento mediante la nutrición y el ejercicio físico.
- Los ciclos alimentación/ayuno marcan la dirección de las vías metabólicas.



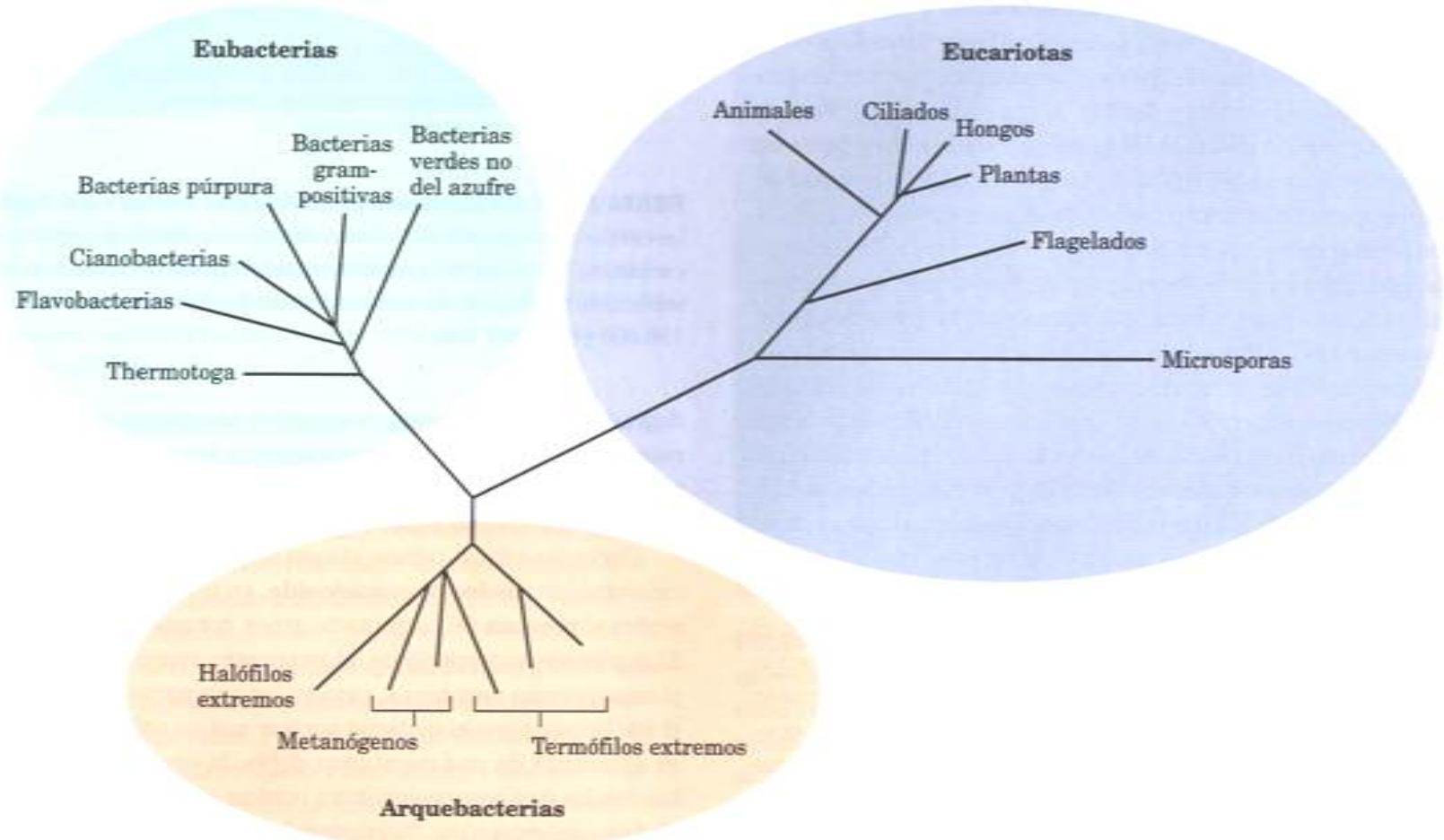
**Los seres vivos son muy variados y muy complejos.
Sus componentes están muy organizados.**

BIOQUÍMICA: DEFINICIÓN Y PRINCIPIOS

La Bioquímica es la ciencia que estudia los seres vivos a nivel molecular mediante técnicas y métodos físicos, químicos y biológicos.

Bioquímica Estructural y Metabólica

Tema 1. Estructura y propiedades de las principales biomoléculas



LENNTech
Tabla Periódica
<http://www.lenntech.com/escanol/tabla-periodica.htm>

Clasificación periódica de los elementos químicos



Metal	Seleccione el elemento
Semi-conductor	Seleccione el elemento
No-metal	Seleccione el elemento
Gases nobles	Seleccione el elemento
Lantánidos y actinídos	Seleccione el elemento



Cada elemento químico contiene un enlace que explica sus [propiedades químicas](#), [efectos sobre la salud](#), [efectos sobre el medio ambiente](#), datos de aplicación, fotografía y también información acerca de la historia y el descubridor de cada elemento. También puede consultar el apartado especial de [terminología de los efectos de las radiaciones](#) sobre la salud.

I	II	Elija los elementos por su nombre , símbolo y número atómico .																		III	IV	V	VI	VII	VIII
1	H ₁																			H e ₂					
2	L ₂	B _e ₄																		B ₃	C ₄	N ₅	O ₆	F ₇	N e ₁₀
3	N _a ₁₁	M _g ₁₂																		A l ₁₃	S i ₁₄	P ₁₅	S i ₁₆	C l ₁₇	A r ₁₈
4	K ₁₉	C _a ₂₀	S _c ₂₁	T _i ₂₂	V ₂₃	C _r ₂₄	M _n ₂₅	F _e ₂₆	C _o ₂₇	N _i ₂₈	C _u ₂₉	Z _n ₃₀	G _a ₃₁	G _e ₃₂	A _s ₃₃	S _e ₃₄	B _r ₃₅	K _r ₃₆							
5	R _b ₃₇	S _r ₃₈	Y ₃₉	Z _r ₄₀	N _b ₄₁	M _o ₄₂	T _c ₄₃	R _u ₄₄	R _h ₄₅	P _d ₄₆	A _g ₄₇	C _d ₄₈	I _n ₄₉	S _n ₅₀	S _h ₅₁	T _e ₅₂	I _s ₅₃	X _e ₅₄							
6	C _s ₅₅	B _a ₅₆	L _a ₅₇	H _f ₅₈	T _a ₅₉	W ₇₄	R _e ₇₅	O _s ₇₆	I _r ₇₇	P _t ₇₈	A _u ₇₉	H _g ₈₀	T _l ₁	P _b ₈₂	B _i ₈₃	P _o ₈₄	A _t ₈₅	R _n ₈₆							
7	F _r ₈₇	R _a ₈₈	A _c ₈₉	R _f ₁₀₄	D _b ₁₀₅	S _g ₁₀₆	B _h ₁₀₇	H _s ₁₀₈	M _t ₁₀₉	U _{un} ₁₁₀	U _{uu} ₁₁₁	U _{ub} ₁₁₂	U _{ut} ₁₁₃	U _{uq} ₁₁₄	U _{up} ₁₁₅	U _{uh} ₁₁₆	U _{us} ₁₁₇	U _{uo} ₁₁₈							
	L _a ₅₇	C _e ₅₈	P _r ₅₉	N _d ₆₀	P _m ₆₁	S _m ₆₂	E _u ₆₃	G _d ₆₄	T _b ₆₅	D _y ₆₆	H _o ₆₇	E _r ₆₈	T _m ₆₉	Y _b ₇₀	L _u ₇₁										
	A _c ₉₃	T _h ₉₄	P _a ₉₅	U ₉₂	N _p ₉₃	P _u ₉₄	A _m ₉₅	C _m ₉₆	B _k ₉₇	C _f ₉₈	E _s ₉₉	F _m ₁₀₀	M _d ₁₀₁	N _o ₁₀₂	L _r ₁₀₃										

COMPOSICIÓN DE LOS SERES VIVOS

- Solamente unos 30 elementos químicos, de los más de 90 presentes en la naturaleza son, esenciales para los seres vivos.
- La mayoría tienen un número atómico bajo, por debajo de 34.
- Los más abundantes son: H, O, C, N (estos cuatro constituyen más del 95% de la masa celular), P, S, Na, K, Cl (3% de la masa celular).
- Oligoelementos: Fe, Mn, Mg, Zn, Mo, Se, etc. (> 0,01% de la biomasa). Imprescindibles para la actividad de ciertas proteínas.

Table 2.1 Naturally Occurring Elements in the Human Body

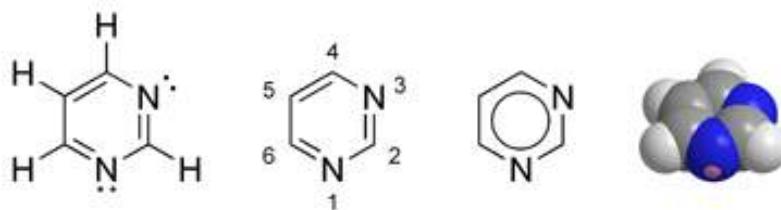
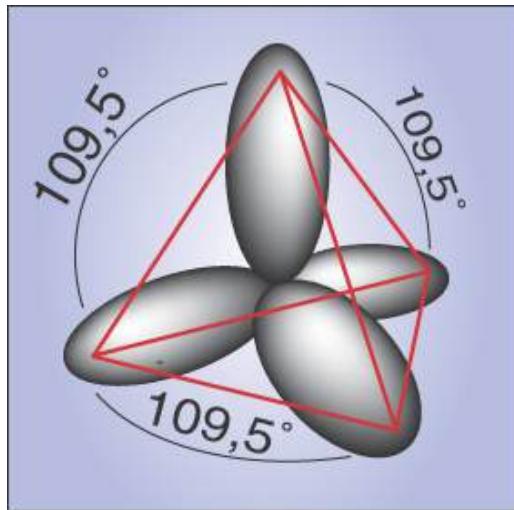
Symbol	Element	Atomic Number (See p. 34)	Percentage of Human Body Weight
O	Oxygen	8	65.0
C	Carbon	6	18.5
H	Hydrogen	1	9.5
N	Nitrogen	7	3.3
Ca	Calcium	20	1.5
P	Phosphorus	15	1.0
K	Potassium	19	0.4
S	Sulfur	16	0.3
Na	Sodium	11	0.2
Cl	Chlorine	17	0.2
Mg	Magnesium	12	0.1

Trace elements (less than 0.01%): boron (B), chromium (Cr), cobalt (Co), copper (Cu), fluorine (F), iodine (I), iron (Fe), manganese (Mn), molybdenum (Mo), selenium (Se), silicon (Si), tin (Sn), vanadium (V), and zinc (Zn).

EL CARBONO

- Poco abundante en la corteza terrestre (0,027%). Se encuentra puro (grafito, diamante) y combinado formando sales (carbonatos).
- Su importancia radica en su presencia en los seres vivos.
- Hace 150 años se le denominó compuesto orgánico.
- Gran facilidad para enlazarse con otros átomos pequeños. Forma enlaces sencillos, dobles y triples.
- El dióxido de carbono (CO_2) es un componente secundario de la atmósfera. Contribuye al llamado efecto invernadero. Es la fuente de C para todas las moléculas orgánicas halladas en los organismos.
- El monóxido de carbono (CO) es un gas tóxico porque interfiere en la capacidad de la hemoglobina de unirse al oxígeno.

BIOMOLÉCULAS



- La mayoría son **compuestos orgánicos** (esqueleto carbonado).
- Los C pueden formar cadenas lineales, ramificadas y circulares.
- Al esqueleto carbonado se le añaden grupos de otros átomos, llamados **grupos funcionales**.
- Las propiedades químicas vienen determinadas por los grupos funcionales.

H de carbono, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos.

GRUPOS FUNCIONALES EN QUÍMICA ORGÁNICA

Hydroxyl
(alcohol)
 $R-O-H$

Carbonyl
(aldehyde)
 $R-C(=O)H$

Carbonyl
(ketone)
 $R^1-C(=O)R^2$

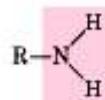
Carboxyl
 $R-C(=O)OH$

Methyl
 $R-C(H)H$

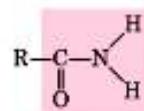
Ethyl
 $R-C(H)_2C(H)H$

Phenyl
 $R-C_6H_4-CH_3$

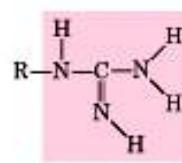
Amino



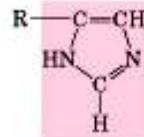
Amido



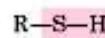
Guanidino



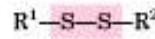
Imidazole



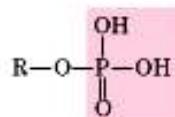
Sulphydryl



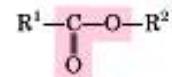
Disulfide



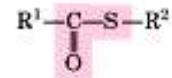
Phosphoryl



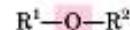
Ester



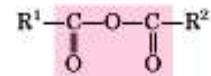
Thioester



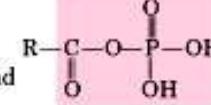
Ether



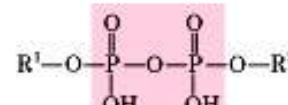
Anhydride
(two carboxylic acids)



Mixed anhydride
(carboxylic acid and
phosphoric acid;
also called acyl phosphate)



Phosphoanhydride



(Lehninger)

Jesús Navas Méndez

PRINCIPALES GRUPOS FUNCIONALES

- Hidroxilo.
- Carbonilo.
- Carboxilo.
- Amino.
- Sulfhidrilo.
- Fosfato.

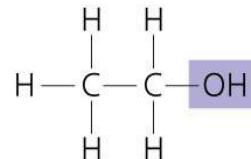
HYDROXYL

ESTRUCTURA



(puede escribirse HO—)

EJEMPLO



Etanol, el alcohol presente en las bebidas alcohólicas.

NOMBRE DE LOS COMPUESTOS

Alcoholes (sus nombres específicos normalmente terminan en *-ol*).

PROPIEDADES FUNCIONALES

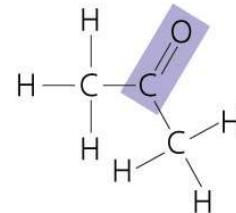
- ▶ Es polar, como resultado del átomo de oxígeno electronegativo que arrastra electrones hacia sí mismo.
- ▶ Atrae moléculas de agua, lo que ayuda a disolver compuestos orgánicos, como los azúcares.

CARBONYL

ESTRUCTURA



EJEMPLO

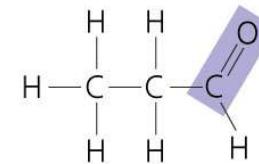


Acetona, la cetona más simple.

NOMBRE DE LOS COMPUESTOS

Cetonas, si el grupo carbonilo está dentro del esqueleto carbonado.

Aldehídos, si el grupo carbonilo está al final del esqueleto carbonado.



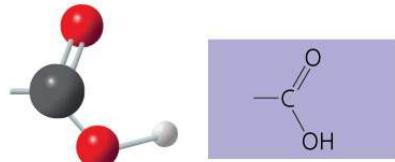
Propanal, un aldehído

PROPIEDADES FUNCIONALES

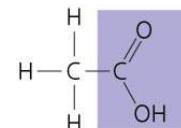
- ▶ Una cetona y un aldehído son isómeros estructurales con diferentes propiedades, como es el caso de la acetona y el propanal.

CARBOXYL

ESTRUCTURA



EJEMPLO



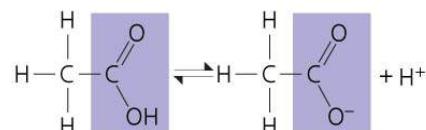
Ácido acético, que le da al vinagre su gusto agrio.

NOMBRE DE LOS COMPUESTOS

Ácidos carboxílicos, o ácidos orgánicos.

PROPIEDADES FUNCIONALES

- ▶ Tiene propiedades ácidas porque es una fuente de iones hidrógeno.
- ▶ El enlace covalente entre el oxígeno y el hidrógeno es tan polar que los iones hidrógeno tienden a disociarse de forma reversible.



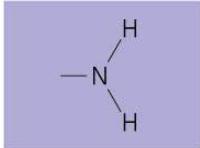
Ácido acético Ión acetato

- ▶ En las células se encuentra en forma iónica y se denomina grupo carboxilato.

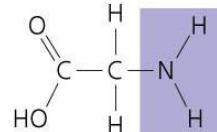
Tema 1. Estructura y propiedades de las principales biomoléculas

AMINO

ESTRUCTURA



EJEMPLO



Glicina.

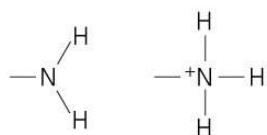
Debido a que también tiene un grupo carboxilo, la glicina es tanto una amina como un ácido carboxílico; los compuestos con ambos grupos se denominan aminoácidos.

NOMBRE DE LOS COMPUESTOS

Amina.

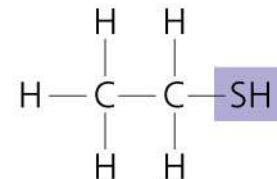
PROPIEDADES FUNCIONALES

- ▶ Actúa como una base; puede captar un protón de la solución circundante:



(no ionizado) (ionizado)

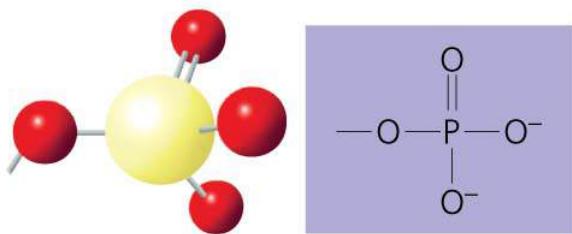
- ▶ Ionizado, con carga 1+, en condiciones celulares.

SULFHIDRYL**ESTRUCTURA****EJEMPLO****Etanotiol.****NOMBRE DE LOS COMPUESTOS****Tioles.****PROPIEDADES FUNCIONALES**

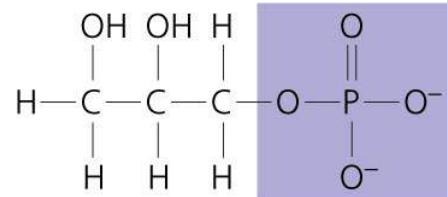
- ▶ Dos grupos sulfhidrilos pueden interactuar para ayudar a estabilizar la estructura proteica.

PHOSPHATE

ESTRUCTURA



EJEMPLO



Glicerol fosfato.

NOMBRE DE LOS COMPUESTOS

Fosfatos orgánicos.

PROPIEDADES FUNCIONALES

- ▶ Forma un anión en la molécula de la que forma parte.
- ▶ Puede transferir energía entre moléculas orgánicas.

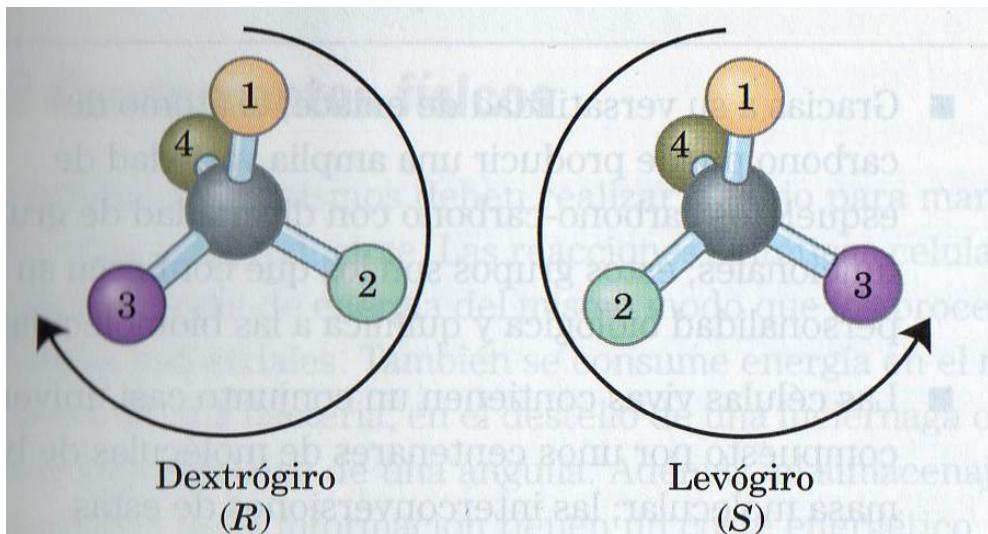
NIVELES DE COMPLEJIDAD DE LAS BIOMOLÉCULAS

- Moléculas sencillas: metabolitos y unidades estructurales (glucosa, piruvato, ácidos grasos).
- Macromoléculas: ácidos nucleicos, lípidos, proteínas, polisacáridos.

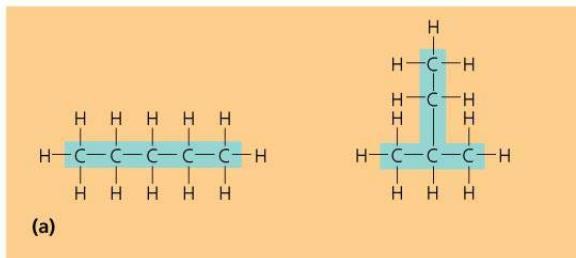
ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL

Estereoquímica: distribución de los átomos de una molécula en el espacio tridimensional.

Estereoisómeros: moléculas que contienen los mismos enlaces químicos pero con diferente configuración o distribución espacial.

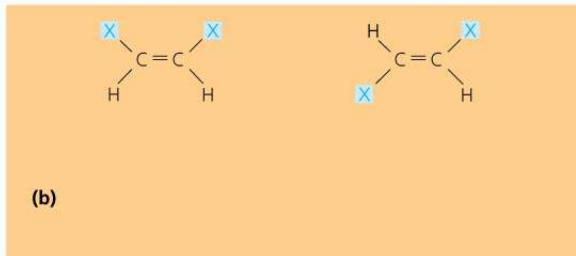


Isómeros estructurales



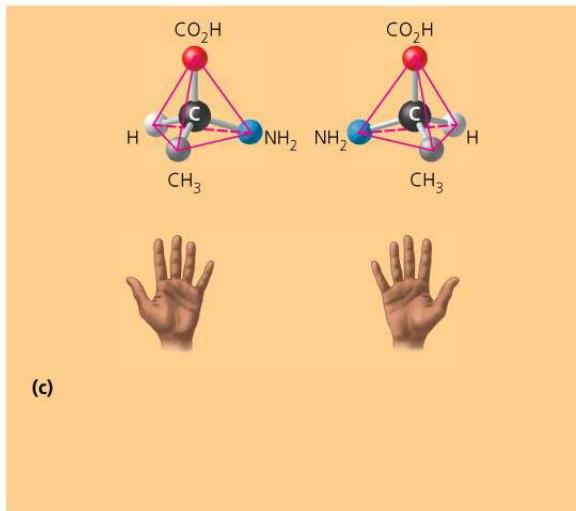
(a)

Isómeros geométricos



(b)

Enantiómeros

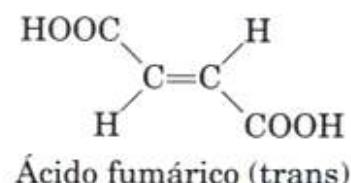
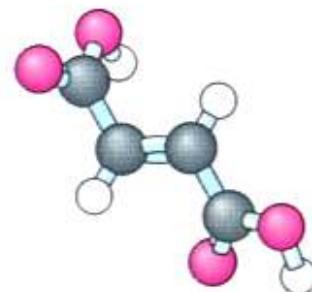
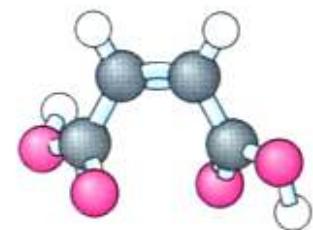


(c)

Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

CONFIGURACIÓN MOLECULAR

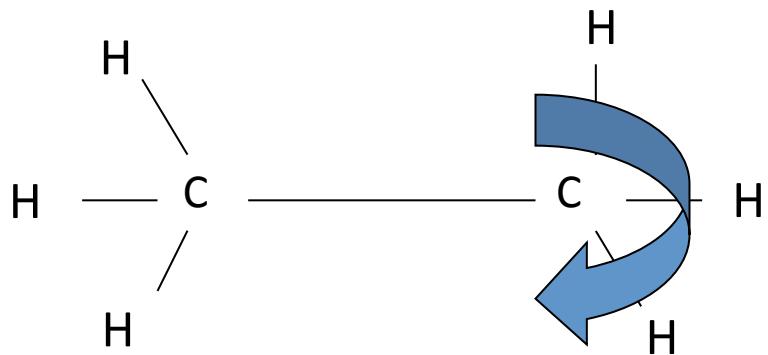
Relación espacial entre los grupos sustituyentes de un C. Viene definida por la presencia de **dobles enlaces** o **centros quirales**. La única manera de **cambiar** la configuración es mediante la **rotura** de enlaces covalentes.



(a)

CONFORMACIÓN MOLECULAR

Posición de los átomos en el espacio resultante de la rotación alrededor de enlaces simples y sin que implique rotura de enlaces covalentes.



LAS ESTRUCTURAS DE LAS BIOMOLÉCULAS ESTÁN DEFINIDAS POR SU CONFIGURACIÓN Y CONFORMACIÓN

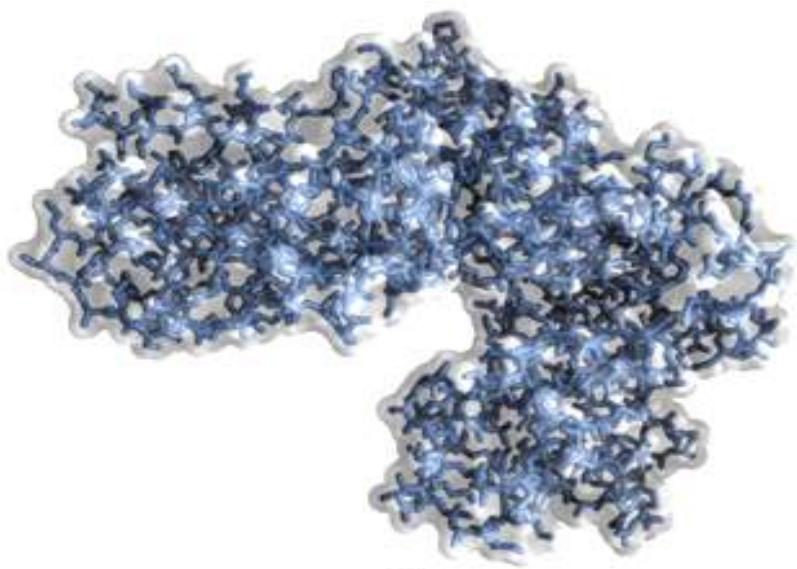
La estructura tridimensional de las biomoléculas (combinación de configuración y conformación) es clave para sus interacciones biológicas.

Ejemplo: uniones enzima-sustrato y hormona receptor.

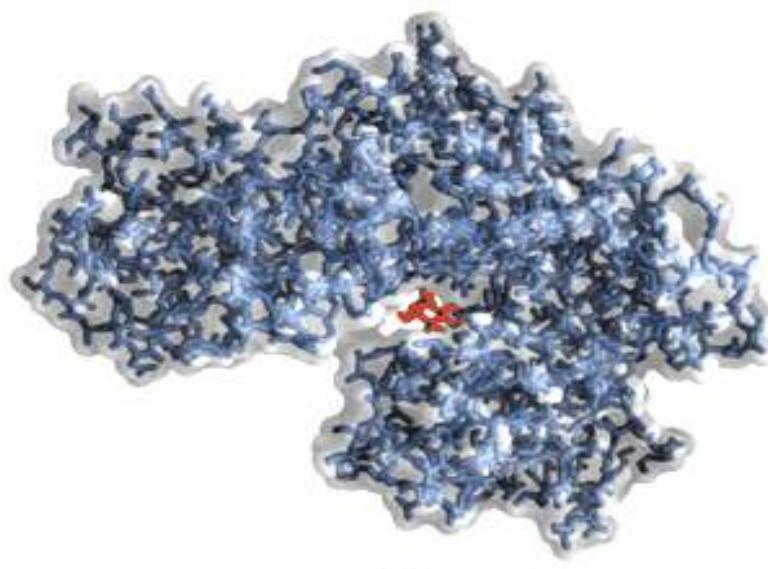
Cristalografía de rayos X.

En el citoplasma las moléculas están disueltas o asociadas con otros componentes celulares.

LAS INTERACCIONES ENTRE BIOMOLÉCULAS SON ESTEREOOESPECÍFICAS



HEXOKINASA



D-glucosa

IMPORTANCIA DE LA BIOQUÍMICA EN LAS CIENCIAS DE LA SALUD

- Todas las enfermedades (excepto las traumáticas), tienen un componente molecular.
- Los modernos métodos de diagnóstico y las nuevas terapias han sentado las bases de la **Patología Molecular**.



Jesús Navas Méndez

EJEMPLOS DE ENFERMEDADES MOLECULARES

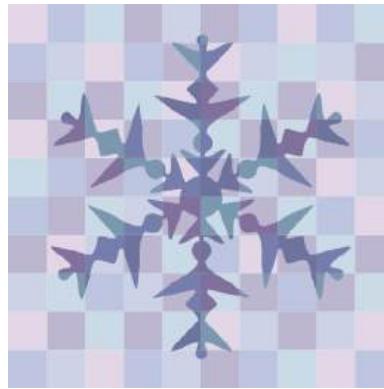
- Enfermedades de origen hereditario (hemofilia, anemias hemolíticas).
- Grandes enfermedades somáticas (diabetes, cáncer).
- Enfermedades de etiología exógena (infecciones, déficits de vitaminas).
- Enfermedades neurológicas (esquizofrenia, enfermedades neurodegenerativas).

AVANCES EN PATOLOGÍA MOLECULAR

- Las lesiones moleculares que originan la **anemia falciforme, fibrosis quística, hemofilia** y otras enfermedades genéticas han sido determinadas a nivel bioquímico.
- Se han identificado algunos de los **mecanismos moleculares** que contribuyen al desarrollo del **cáncer** (entre ellos, mutaciones en algunos enzimas del CTC).
- Diseño racional de **nuevos fármacos**, por ejemplo, inhibidores de enzimas necesarios para la replicación o el ciclo vital de los virus, como el VIH, o inhibidores de protein-kinasas como anticancerosos.
- Bacterias y otros organismos pueden usarse como factorías para producir proteínas de gran valor, como la insulina y estimuladores del desarrollo de células sanguíneas.

DIAGNÓSTICO

- Modificaciones del pH de fluidos biológicos (orina y sangre) reflejo de una patología.
- Detección de microorganismos (bacterias y virus) mediante ensayos enzimáticos, moleculares (proteínas y AN) e inmunológicos (anticuerpos).
- Prevención y diagnóstico de malformaciones congénitas por análisis de células fetales.
- Detección de marcadores de células tumorales.



**El agua es el medio biológico de la Tierra y,
posiblemente, de otros planetas también.**

El agua es el disolvente de la vida.

IMPORTANCIA DEL AGUA PARA LOS SERES VIVOS

- Adaptación de los organismos vivos al medio acuoso y aprovechamiento de las propiedades del agua.
- El agua constituye el 60% del peso total de nuestro organismo.

COMPARTIMENTOS LÍQUIDOS EN EL ORGANISMO DE UN VARÓN MEDIO (70 KG)

- **Agua corporal total (40 litros):**
 - 25 litros de líquido intracelular.
 - 15 litros de líquido extracelular.

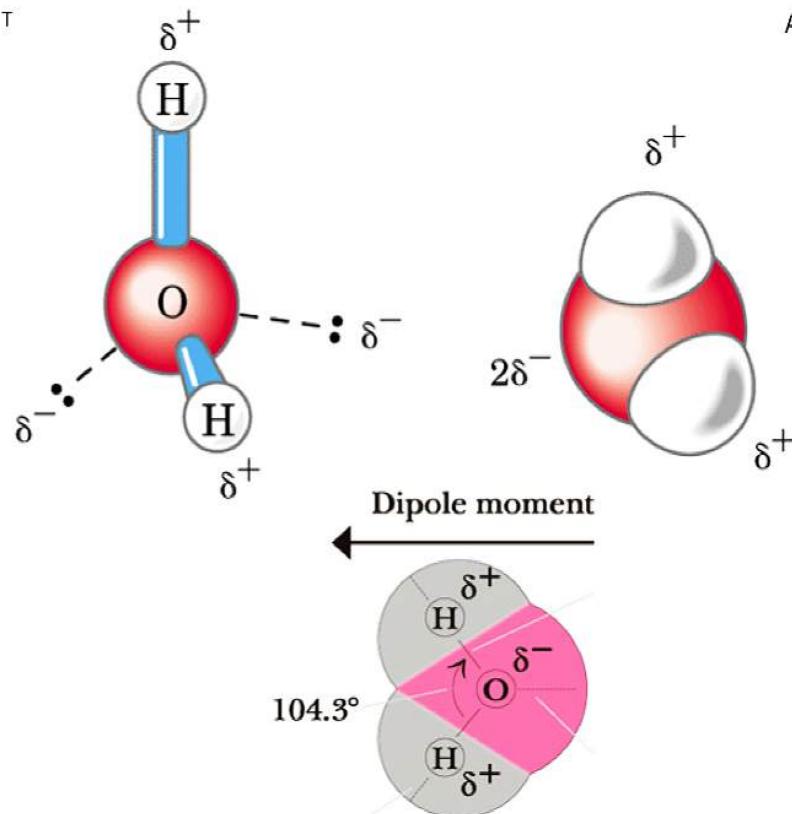
- **Líquido extracelular (15 litros):**
 - 10 litros de líquido intersticial.
 - 5 litros de sangre.

EL AGUA ES EL DISOLVENTE DE LA VIDA

- Baña nuestras células.
- Disuelve y transporta compuestos en la sangre.
- Proporciona un medio para el transporte de moléculas al interior de la célula y por los compartimentos celulares.
- Separa las moléculas cargadas.
- Disipa el calor.
- Participa en las reacciones químicas.

	Pto. Fusión °C	Pto. Ebull. °C	Q vaporiz. (J/g)
Agua	0	100	2.260
Metanol	-98	65	1.100
Acetona	-95	56	523
Butano	-135	-0,5	381
CHCl₃	22	-21	317

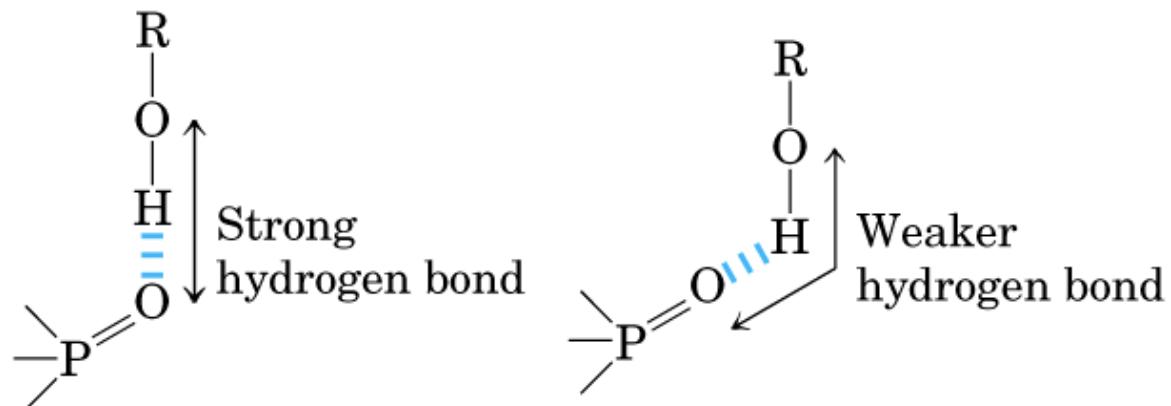
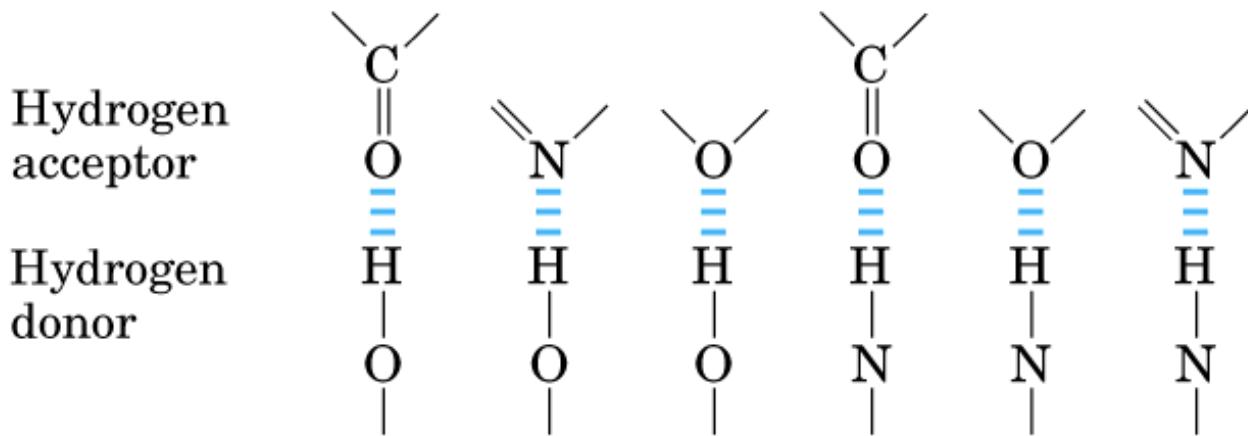
PROPIEDADES DEL AGUA



- Elevados calor específico y de vaporización.
- Elevada conductividad térmica.
- Máxima densidad a 4°C.
- Cohesión. Elevada tensión superficial.

(Lehninger + Garret)

ENLACES POR PUENTE DE HIDROGENO



(Lehninger)

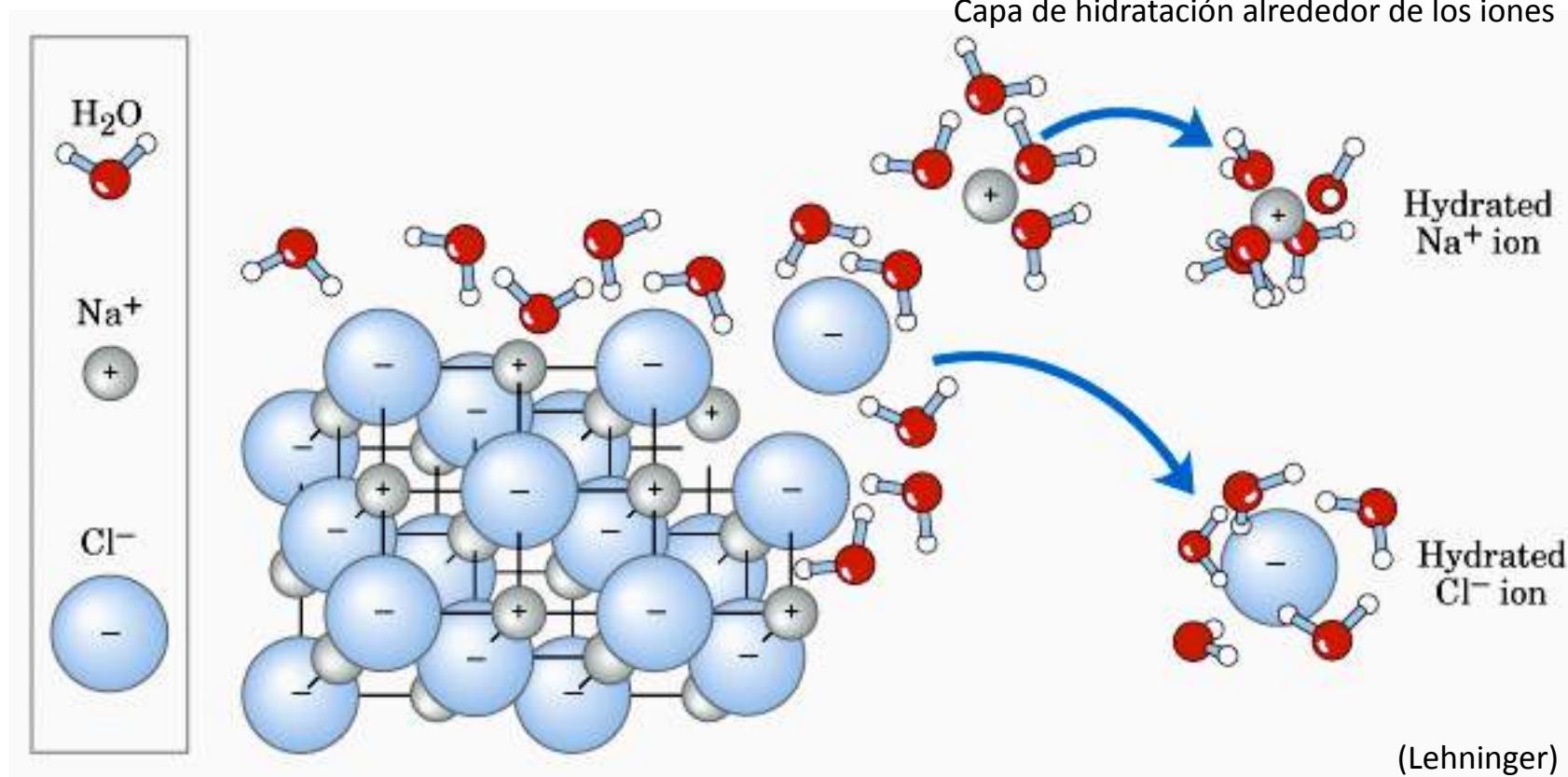
ORDEN DE ELECTRONEGATIVIDAD ENTRE ELEMENTOS

F (4,0) > O (3,5) > N, Cl (3,0) > C, S, (2,5) ~ H (2,2), P (2,1)

EL AGUA COMO DISOLVENTE

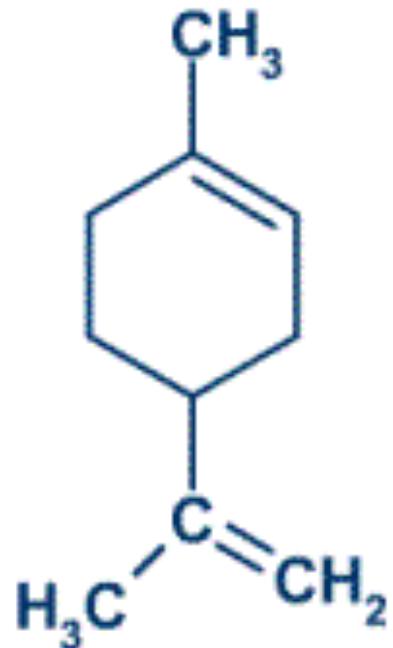
- Compuestos polares no cargados: son solubles, debido a los puentes de H en los que participan otros átomos electronegativos como O o N.
- Compuestos iónicos: son solubles.
- Compuestos lipídicos: se asocian entre sí alejados del agua.
- Moléculas anfipáticas: forman micelas.
- Los gases apolares (O_2 y CO_2) se disuelven mal en agua.
- Los gases NH_3 , NO y H_2S son solubles en agua.

EL AGUA DISUELVE SALES CRISTALINAS HIDRATANDO SUS IONES

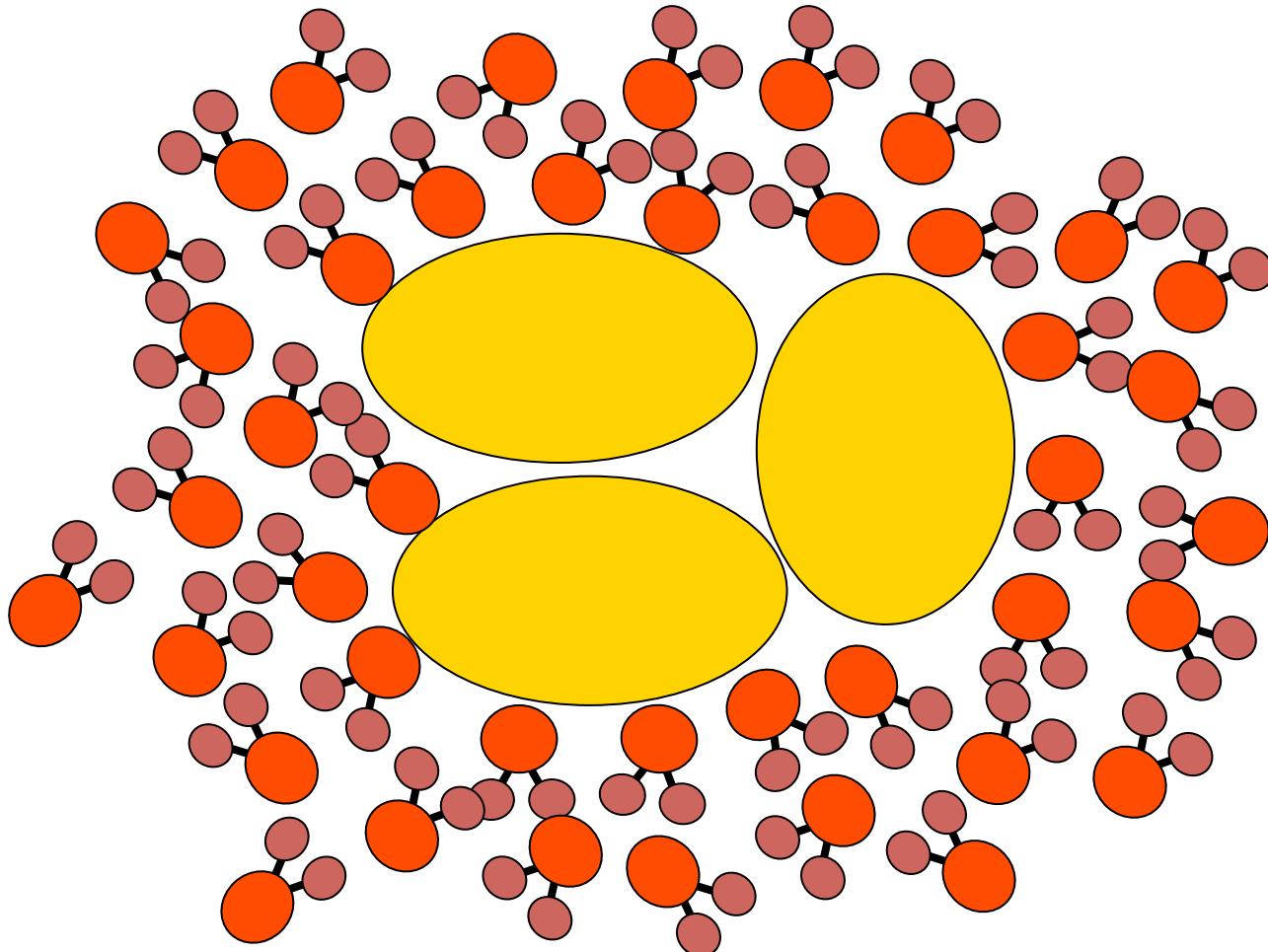


(Lehninger)

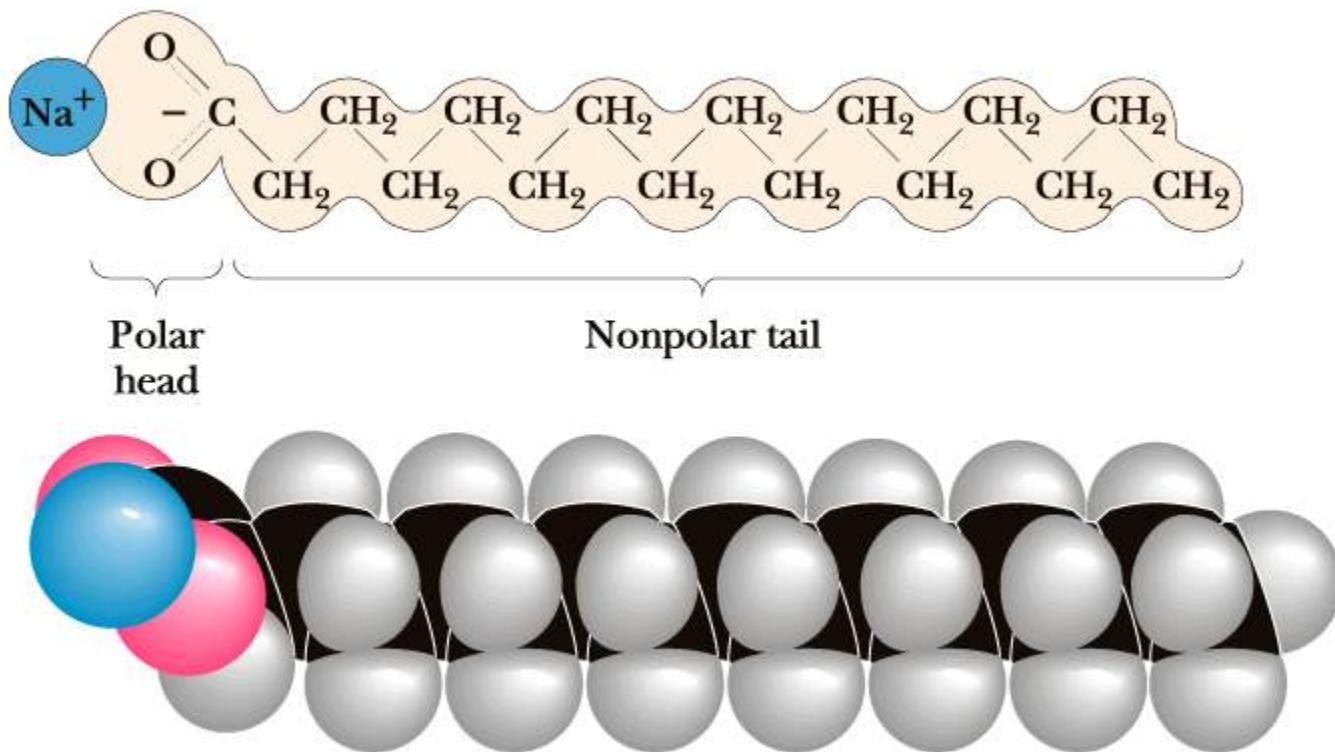
UNA MOLÉCULA APOLAR: LIMONENO



UNIÓN ENTRE MOLÉCULAS HIDROFÓBICAS EN MEDIO ACUOSO

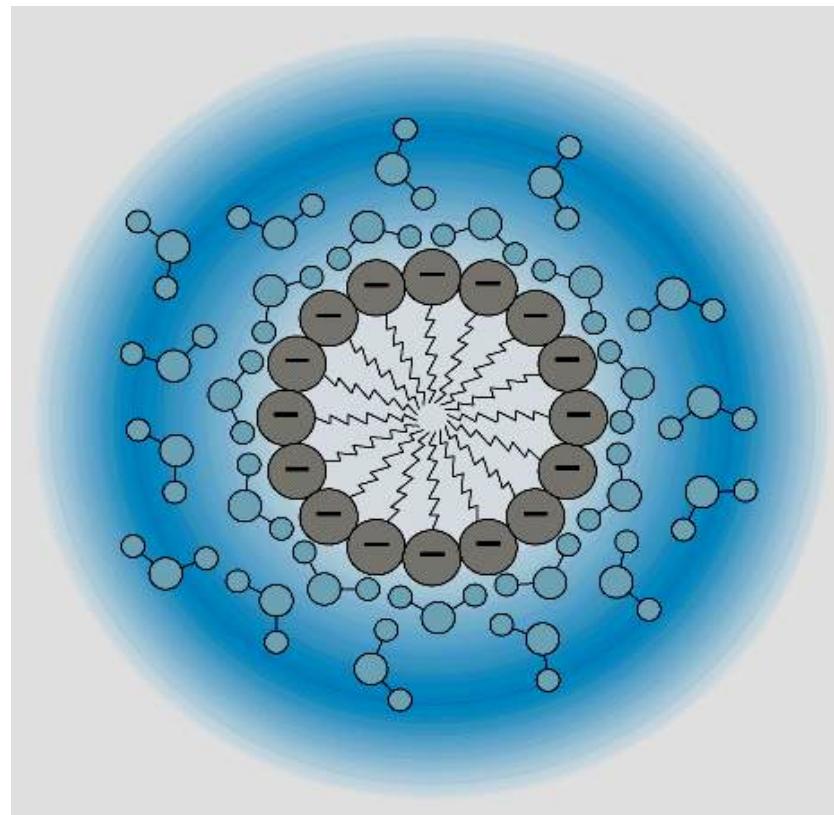


UNA MOLÉCULA ANFIPÁTICA: PALMITATO SÓDICO



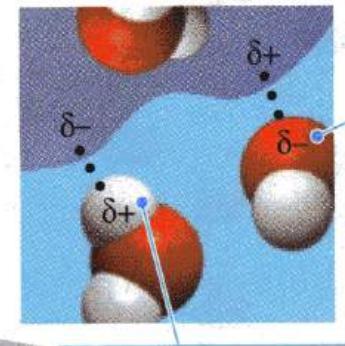
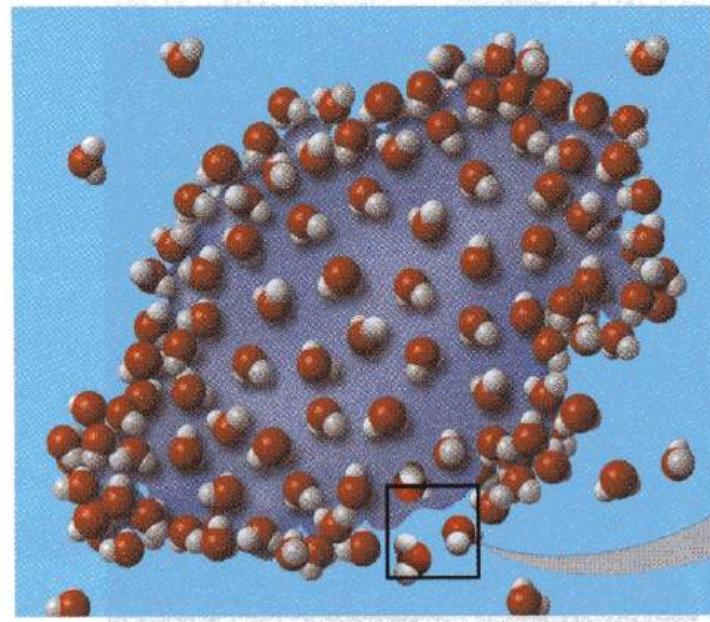
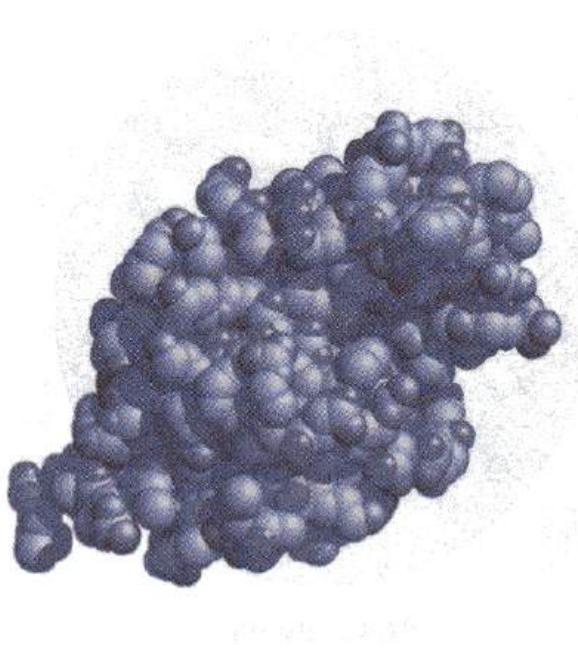
(Lehninger)

FORMACIÓN DE MICELAS POR MOLÉCULAS ANFIPÁTICAS EN SOLUCIÓN ACUOSA



- El agua es una molécula **polar**, forma puentes de H consigo misma y con otros solutos. El agua es un buen disolvente para moléculas polares y solutos cargados.
- Los compuestos no polares se disuelven mal en agua.
- En contacto con ese líquido forman **micelas**.
- Las interacciones o **enlaces débiles** son fundamentales para el plegamiento de macromoléculas como ácidos nucleicos y proteínas.
- Algunas sustancias hidrófilas no se disuelven realmente en el agua. Grandes moléculas o estructuras del citoplasma no se disuelven sino que forman un **coloide** (suspensión estable de partículas sólidas en un líquido).

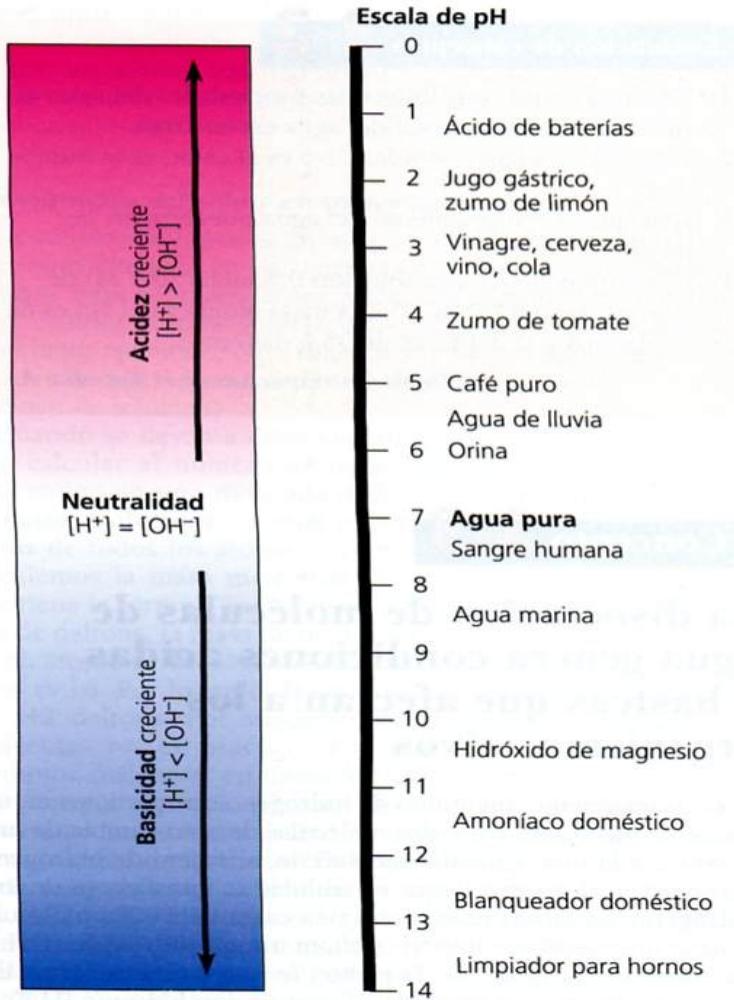
LA LISOZIMA ES UNA PROTEÍNA SOLUBLE EN AGUA



El oxígeno es atraído
negativa leve de la

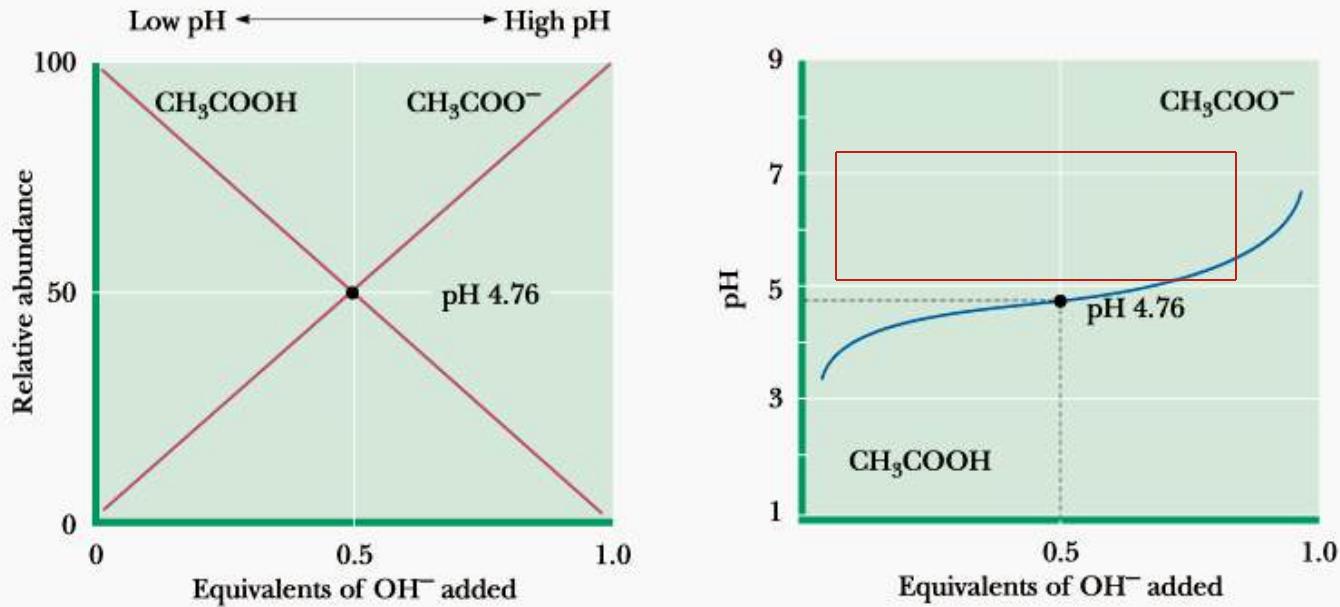
EN CONDICIONES NATURALES EL AGUA SE ENCUENTRA DISOCIAADA

- $\text{H}_2\text{O} = \text{OH}^- + \text{H}^+$
- En el agua pura se disocia solamente una molécula de cada 554 millones.
- $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ M}$
- Aunque la disociación del agua es reversible y estadísticamente rara, es muy importante para la vida, ya que los iones producto son muy reactivos.



Escala de pH y valores de pH de algunas soluciones acuosas.

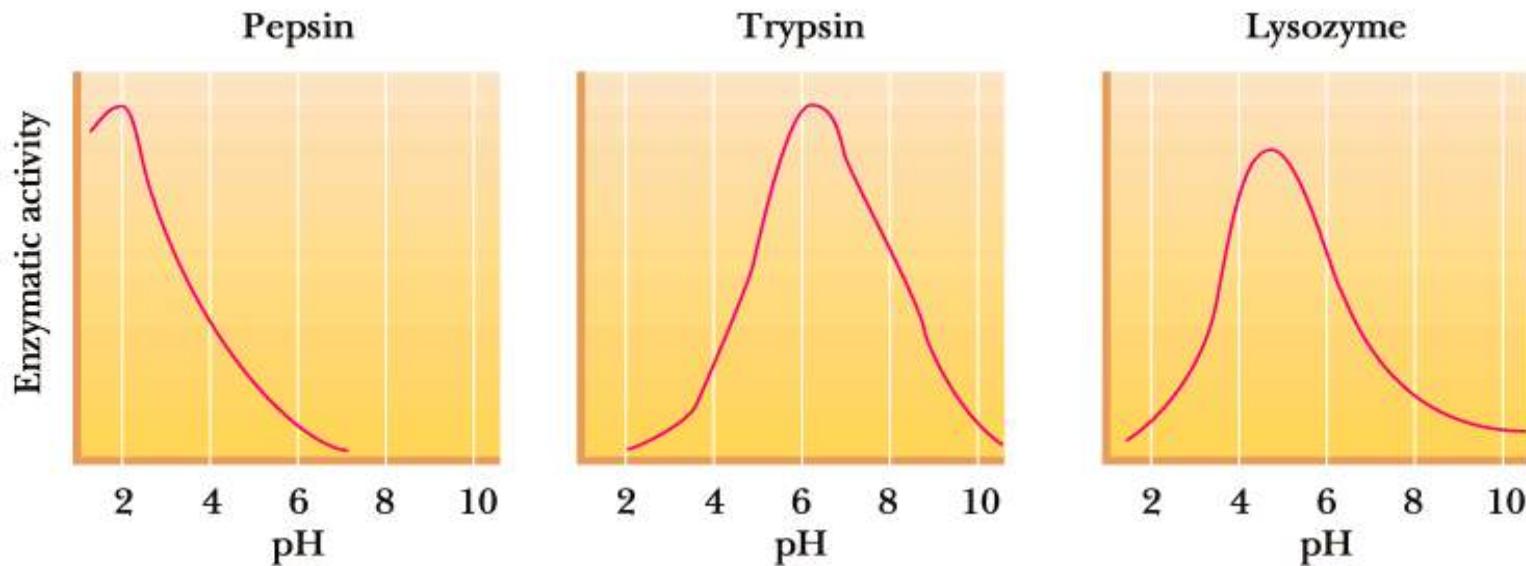
CURVA DE TITULACIÓN DEL ÁCIDO ACÉTICO



Intervalo de tamponamiento: pH 3,76 - 5,76

- La **regulación del pH** es una actividad universal y esencial de los seres vivos.
- **Tampones biológicos:** sistemas acuosos que amortiguan las variaciones en el pH cuando se añaden pequeñas cantidades de ácido o de base.

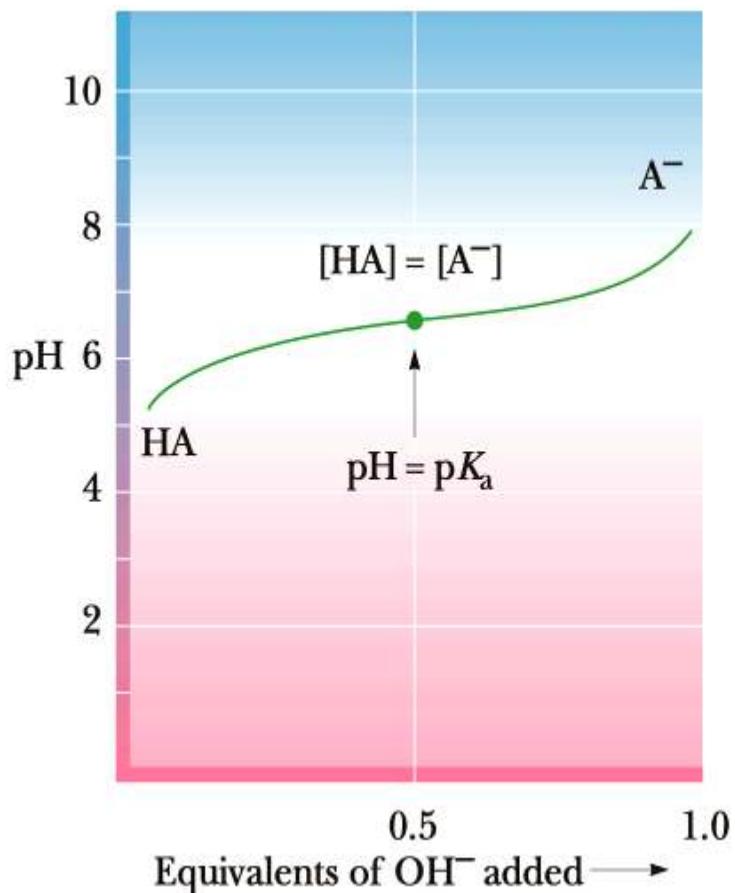
EFECTO DEL pH SOBRE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA



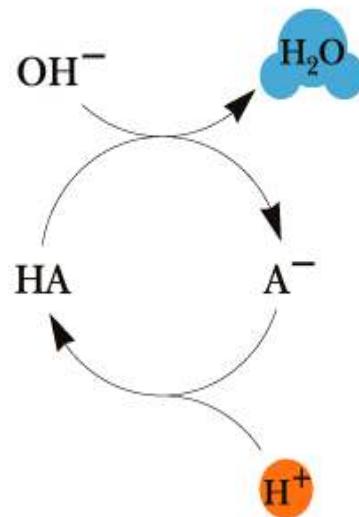
(Garret and Grisham)

VALORES DE pH FISIOLÓGICO

- Sangre: entre 7,36 y 7,44.
- Intracelular: 7,1 (entre 6,9 y 7,4).
- Entre 6,8 y 7,8 pueden mantenerse la actividad metabólica del hígado, los latidos del corazón y la conducción de los impulsos nerviosos.



Buffer action:



(Garret and Grisham)

ÁCIDOS METABÓLICOS Y AMORTIGUADORES

- La actividad metabólica produce H^+ y CO_2 .
- El ácido producido se elimina como CO_2 en el aire expirado y como iones en la orina pero antes necesita amortiguarse.

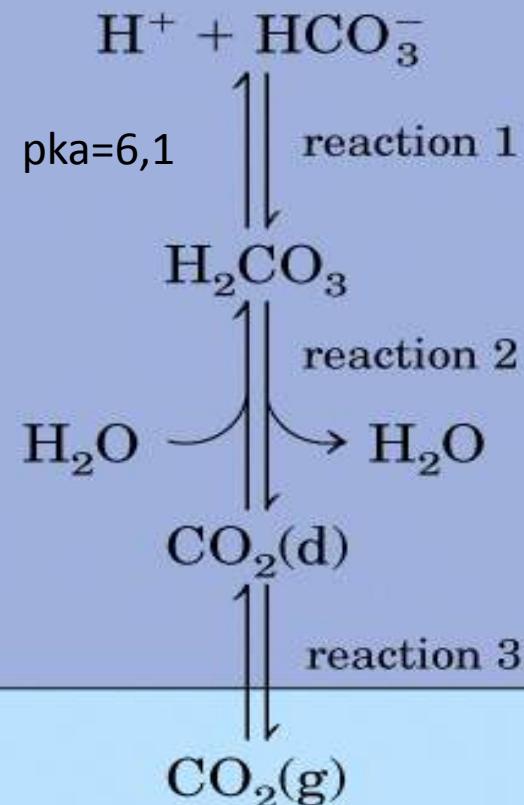
PRINCIPALES SISTEMAS AMORTIGUADORES DEL ORGANISMO

- Bicarbonato (líquido extracelular).
- Hemoglobina (glóbulos rojos).
- Fosfato (intracelular).
- Proteínas (intracelular y plasma).

TAMPÓN BICARBONATO

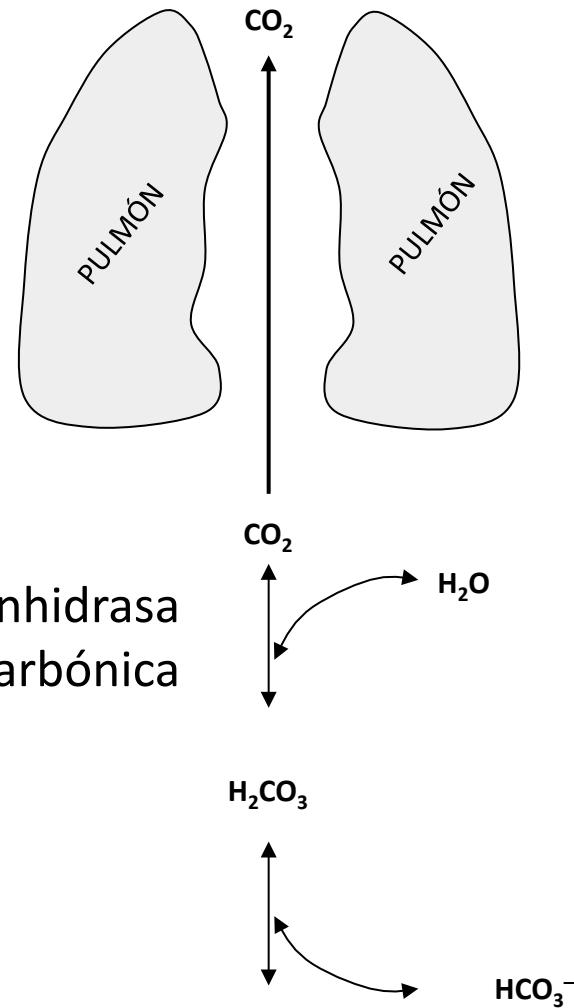
Aqueous phase
(blood in capillaries)

Gas phase
(lung air space)



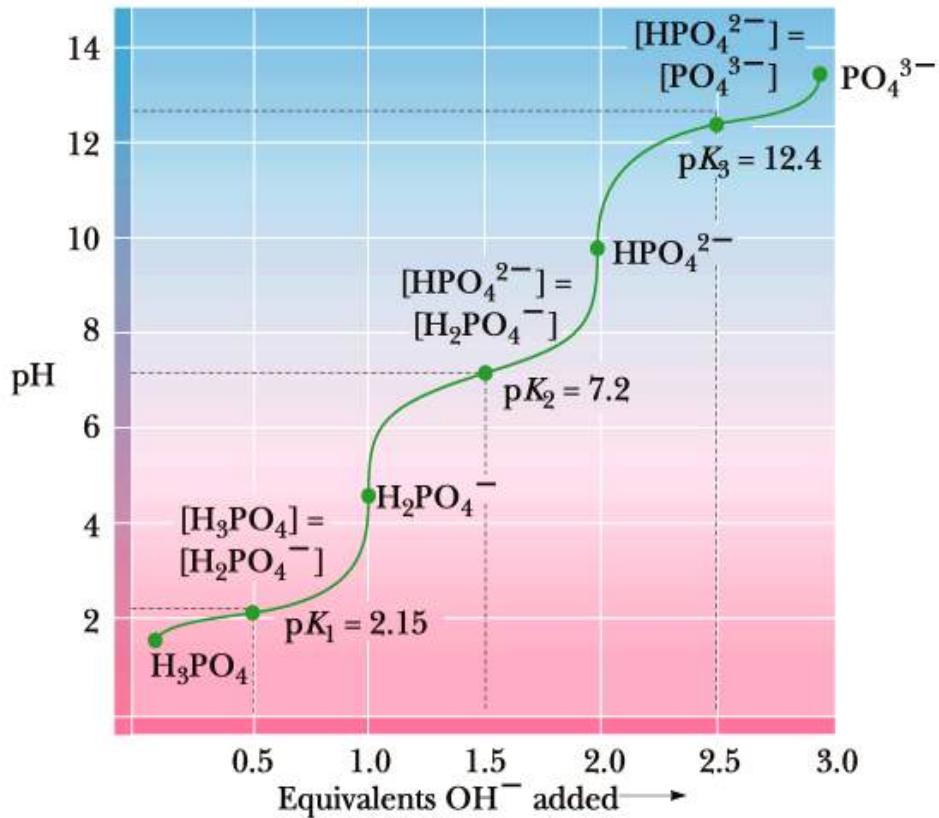
HIPERVENTILACIÓN → baja la conc. H_2CO_3 → alcalosis metabólica.

HIPOVENTILACIÓN → sube la conc. H_2CO_3 → acidosis metabólica.



Reacciones metabólicas $\longrightarrow \text{H}^+$

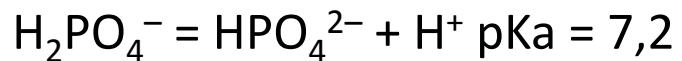
CURVA DE TITULACIÓN DEL ÁCIDO FOSFÓRICO



(Garret and Grisham)

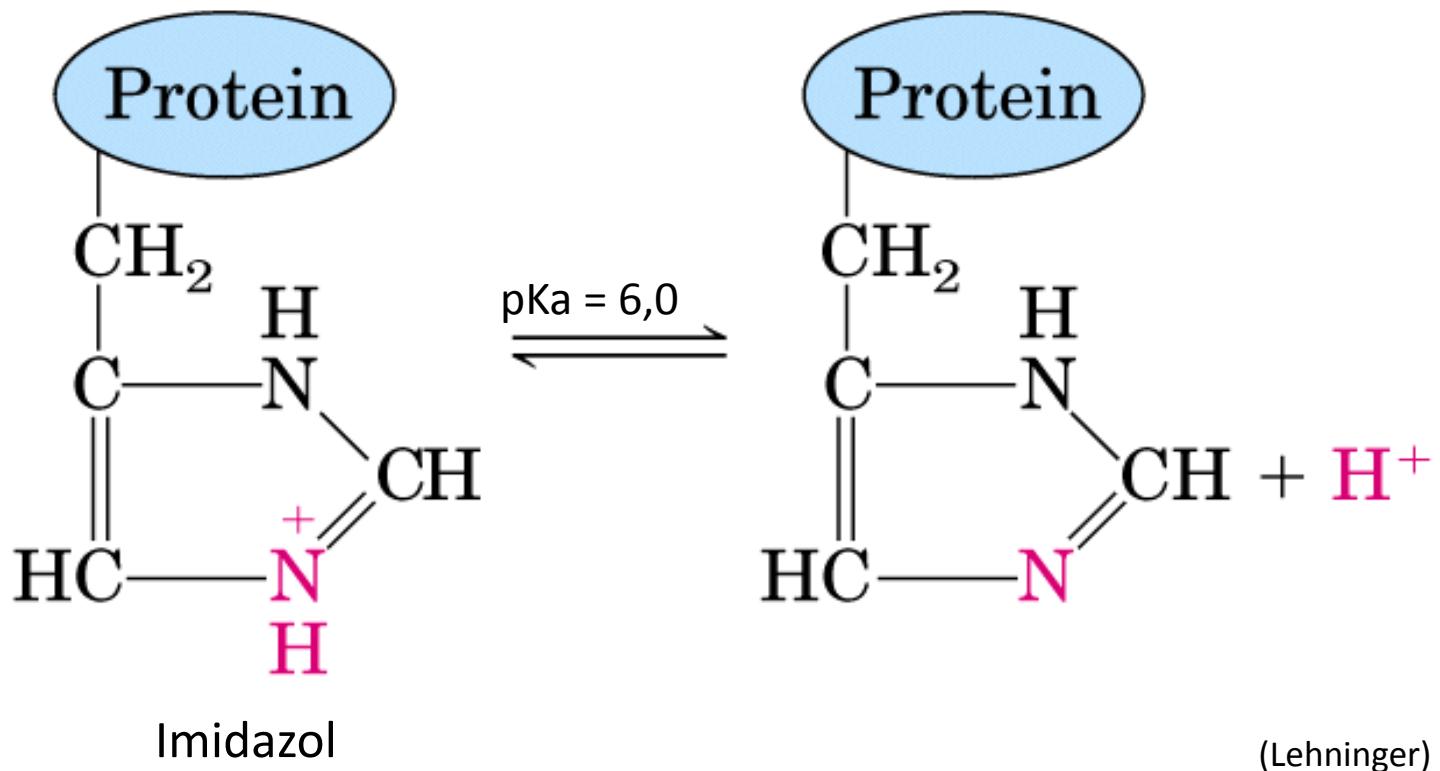
CONTROL DEL pH INTRACELULAR

- Tampón fosfato.



- Proteínas.

EL IMIDAZOL DE LAS HISTIDINAS ACTÚA COMO TAMPÓN



EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE

- **Pulmones.** Controlan el intercambio de dióxido de carbono y oxígeno entre la sangre y la atmósfera exterior.
- **Eritrocitos.** Transportan gases entre los pulmones y los tejidos (hemoglobina).
- **Riñones.** Controlan la concentración de bicarbonato en el plasma y excretan el ión hidrogeno en la orina.

ACIDOSIS Y ALCALOSIS METABÓLICAS

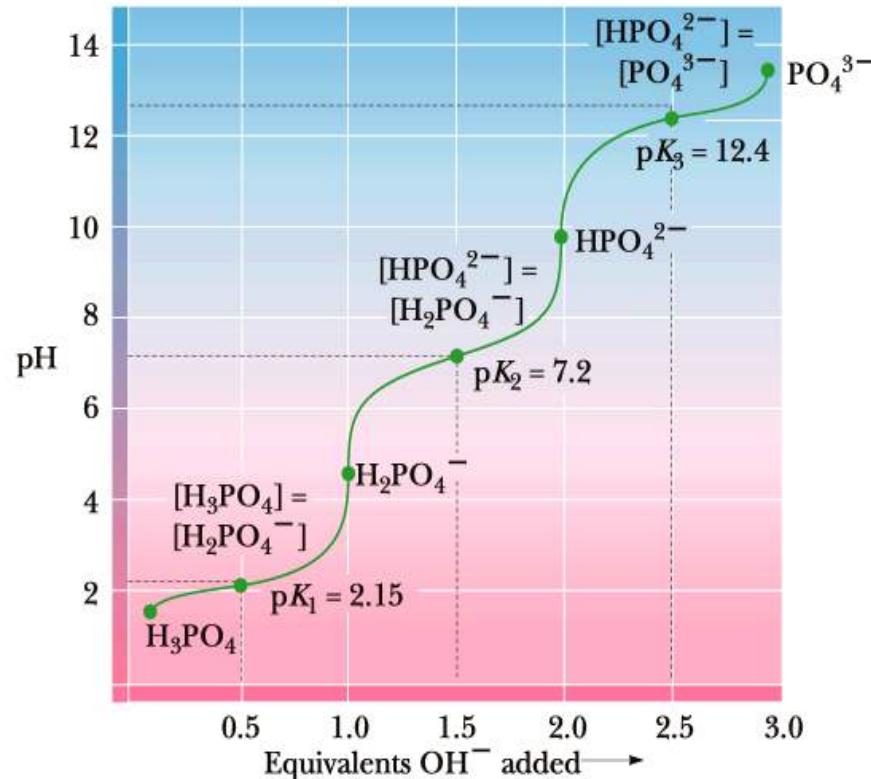
- Acidemia (pH sangre <7,35). Causas:
 - Producción excesiva de ácidos en los tejidos.
 - Pérdida de bases de los líquidos corporales.
 - Fallo de los riñones para excretar ácidos.

En la diabetes mellitus y en situaciones de inanición el pH<7, depresión del SNC que conduce al coma y a la muerte.

- Alcalemia (pH sangre >7,45).
 - Vómitos prolongados.
 - Ingestión de fármacos alcalinos en exceso.

Se sobreexcita el SNC y los músculos entran en estado de espasmo. Si no se corrige, se producen convulsiones y parada respiratoria.

CURVA DE TITULACIÓN DEL ÁCIDO FOSFÓRICO



(Garret and Grisham)

PRINCIPALES SISTEMAS AMORTIGUADORES DEL ORGANISMO

- Bicarbonato (líquido extracelular).
- Hemoglobina (glóbulos rojos).
- Fosfato (intracelular).
- Proteínas (intracelular y plasma).

BIBLIOGRAFÍA

- *Lehninger Principles of Biochemistry*. 5^a ed. Freeman, 2009. Caps 1, 2.
- *Mark's Basic Medical Biochemistry*. A clinical approach. 3^a ed. LWW., 2008. Caps 4, 5.
- Feduchi y cols. *Bioquímica: conceptos esenciales*. Panamericana, 2011. Cap 3.
- Berg, Tymoczko and Stryer. *Biochemistry*. 7^a ed. WH. Freeman, 2011. Cap 1.
- Voet and Voet. *Biochemistry*. 4^a ed. Wiley, 2011. Caps 1, 2.
- Garrett and Grisham. *Biochemistry*. 4^a ed. 2009. Caps 1, 2.
- Devlin. *Textbook of Biochemistry with Clinical correlations*. 7^a ed. Wiley, 2010. Cap 1.