

# Biofísica - Física Biológica

2o cuatrimestre 2021

<http://materias.df.uba.ar/fba2021c2/>

## Aprobación

Todxs: Entrega de ejercicios (en grupo) . Final

Grado: Trabajo final en grupo\*

Posgrado: Presentación oral individual.

Simulaciones numéricas: Python. (Empezamos con Jupyter Ntbk)

La materia se enfoca sobre procesos que ocurren a nivel celular

Si bien vamos a mostrar muchos resultados de observaciones experimentales, no nos vamos a enfocar tanto en los métodos experimentales usados sino más en el modelado matemático de los procesos que subyacen a las observaciones.

Así que además de describir algunas de las cosas que pasan en las células, vamos estudiar también las herramientas matemáticas que nos ayudan en la elaboración de modelos.

No va a dar tiempo de ver cómo elegir entre modelos, cómo comparar cuantitativamente predicciones del modelo y observaciones. Lxs interesadxs pueden avanzar con la literatura.

Tal vez tenga ayudante en el futuro y eso va a permitir modificar algunas cosas (iré haciendo camino al andar!).

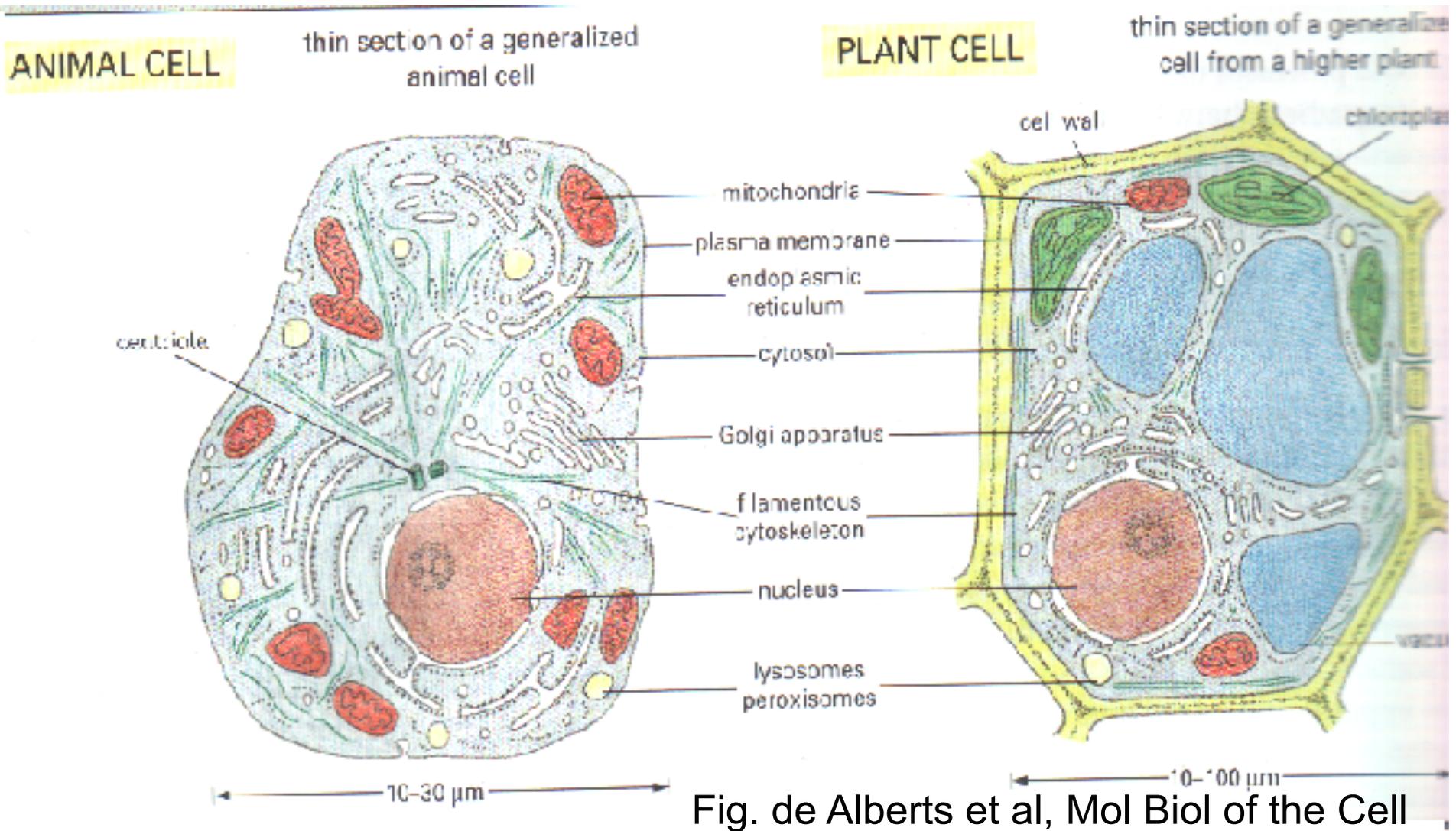
Por ahora, 1.5 horas de teórica, .5 horas de descanso, 1h de práctica.

# Bibliografía

La materia está basada principalmente en los siguientes libros. Indicamos también los capítulos de los que tomamos material (ver abajo del cronograma).

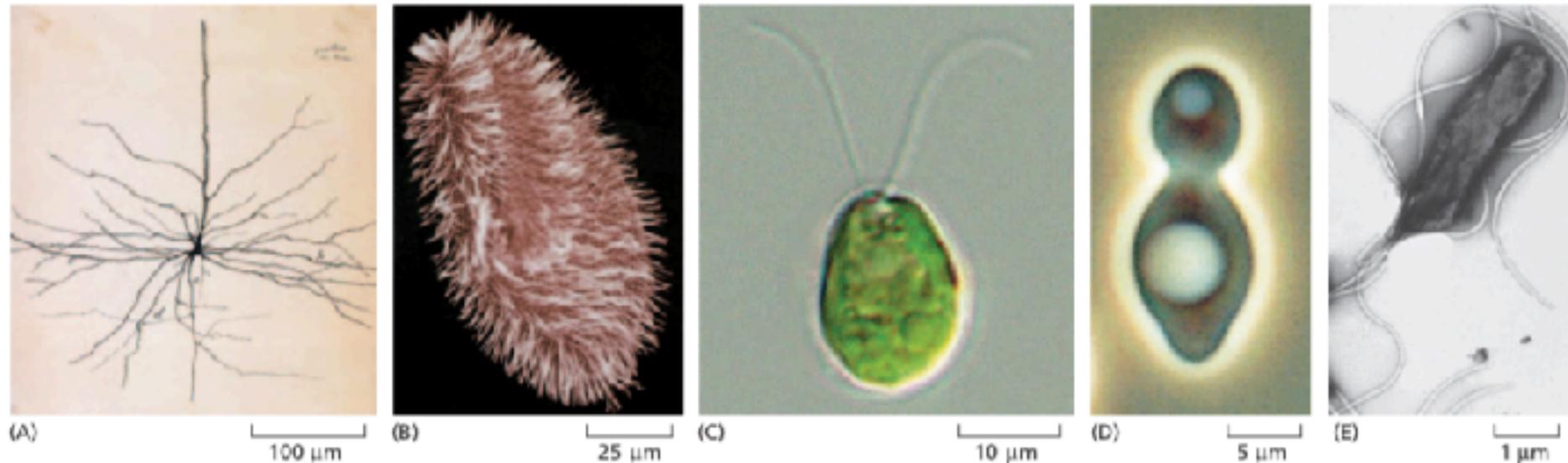
- *Physical Biology of the Cell*, 2nd Edition, Rob Phillips, Jané Kondev, Julie Theriot, Hernan Garcia (Garland Science, New York, 2013) (principalmente, Capítulos 2, 13, 14 y 19)
- *Physical Models of Living Systems*, Philip Nelson with the assistance of Sarina Bromberg, Ann Hermundstad, and Jason Prentice (W.H. Freeman & Co, New York, 2015)
- *Biological Physics: Energy, Information, Life*, Philip Nelson (W.H. Freeman & Co, New York, 2004). (principalmente Capítulos 2, 10 y 11)
- *Mathematical Physiology I: Cellular Physiology*, James P. Keener, James Sneyd (Springer, New York, 2009). (principalmente Capítulos 1, 2 y 3)
- *Random walks in biology*, Howard C. Berg (Princeton Univ. Press, 1993). (principalmente Capítulos 1, 2 y 4)
- *Essential Cell Biology*, 4th Edition, Bruce Alberts, Dennis Bray, Karen Hopkin, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts, Peter Walter (Garland Science, New York, 2013) (principalmente Capítulos 7 y 8).
- *Biophysics. Searching for principles*. William S. Bialek (Princeton University Press, Princeton, 2012). (principalmente Capítulos 4 y 6)
- *Molecular Driving Forces. Statistical Thermodynamics in Biology, Chemistry, Physics and Nanoscience*, 2nd Edition, Ken A. Dill, Sarina Bromberg (Garland Science, New York, 2010). (principalmente Capítulo 1)

# La célula



Todas las criaturas vivientes están formadas por *células*. Las células son pequeños compartimientos, delimitados por una membrana, que contienen una solución acuosa de sustancias químicas.

Las células pueden tener formas y funciones muy distintas entre sí.



**Figure 1-1 Cells come in a variety of shapes and sizes.** Note the very different scales of these micrographs. (A) Drawing of a single nerve cell from a mammalian brain. This cell has a huge branching tree of processes, through which it receives signals from as many as 100,000 other nerve cells. (B) *Paramecium*. This protozoan—a single giant cell—swims by means of the beating cilia that cover its surface. (C) *Chlamydomonas*. This type of single-celled green algae is found all over the world—in soil, fresh water, oceans, and even in the snow at the top of mountains. The cell makes its food like plants do—via photosynthesis—and it pulls itself through the water using its paired flagella to do the breaststroke. (D) *Saccharomyces cerevisiae*. This yeast cell, used in baking bread, reproduces itself by a process called budding. (E) *Helicobacter pylori*. This bacterium—a causative agent of stomach ulcers—uses a handful of whiplike flagella to propel itself through the stomach lining. [A, copyright Herederos de Santiago Ramón y Cajal, 1899; B, courtesy of Anne Fleury, Michel Laurent, and André Adoutte; C, courtesy of Brian Piasecki; E, courtesy of Yutaka Tsutsumi.]

Las hay también de distintos tamaños

Fig. de Essential Cell Biology, Alberts et al

## Tomado de Essential Cell Biology, Alberts et al

Los organismos vivos son reconocibles, pero difíciles de definir. Según un texto de biología popular, los seres vivos:

1. están muy organizados en comparación con los objetos inanimados naturales.
2. muestran “homeostasis”, es decir, mantienen su estado interno relativamente constante.
3. se reproducen
4. crecen y se desarrollan desde un inicio sencillo.
5. toman energía y materia del medio ambiente y lo transforman.
6. responden a estímulos.
7. muestran adaptación a su entorno.

Para discutir:

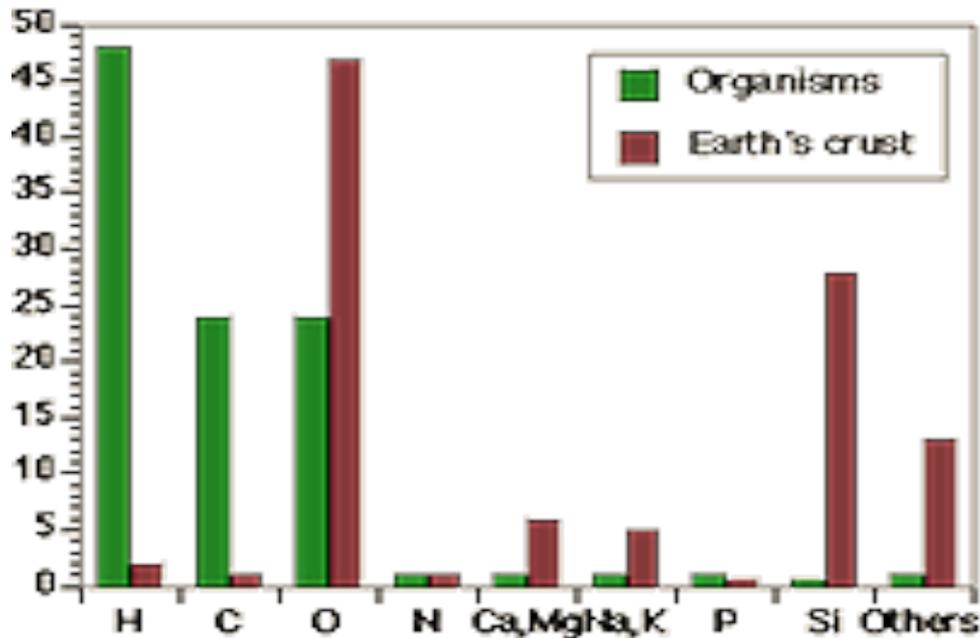
Homeostasis vs crecimiento, adaptación, respuesta a estímulos

¿Qué puntaje le darían a una persona, a una aspiradora y a una papa en relación a estas características?

Los estudios de la bioquímica y la biología molecular permitieron responder qué es un organismo vivo de un modo más preciso

Todas las células están compuestas por más o menos el mismo tipo de moléculas que, a su vez, participan en reacciones químicas similares.

## Composición química



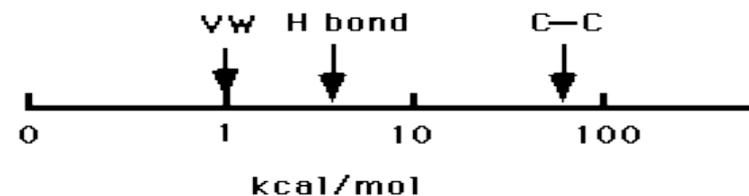
**TABLE 9.1 A Comparison of Elements Present in Non-living and Living Matter\***

Element	% Weight of	
	Earth's crust	Human body
Hydrogen (H)	0.14	0.5
Carbon (C)	0.03	18.5
Oxygen (O)	46.6	65.0
Nitrogen (N)	very little	3.3
Sulphur (S)	0.03	0.3
Sodium (Na)	2.8	0.2
Calcium (Ca)	3.6	1.5
Magnesium (Mg)	2.1	0.1
Silicon (Si)	27.7	negligible

\* Adapted from CNR Rao, *Understanding Chemistry*, Universities Press, Hyderabad.

Energía térmica: 0.6 kcal/mol.

### Biological Energies



Las células están formadas, principalmente, por compuestos orgánicos (que contienen carbono).

Los compuestos que contienen carbono, hidrógeno, oxígeno o nitrógeno constituyen el 99% de la masa celular. Si descartamos el agua, prácticamente todas las moléculas dentro de una célula contienen carbono.

Los átomos de carbono son pequeños y pueden formar uniones *covalentes* muy estables.

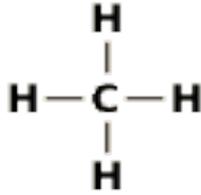
Energía de una unión covalente: entre 15 y 70 kcal/mol .  
Energía térmica: 0.6 kcal/mol (1joule=0.2389cal)

Los procesos que suceden en los organismos vivos son una consecuencia de la competencia entre la estabilidad de estas uniones y la habilidad de los catalizadores biológicos (llamados *enzimas*) para reorganizarlas.

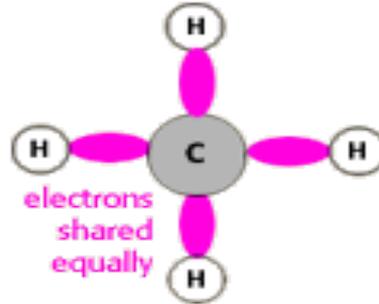
Muchas de las características de los organismos vivos se derivan de las propiedades del agua y de las de los componentes de carbono.

# Metano (Unión covalente)

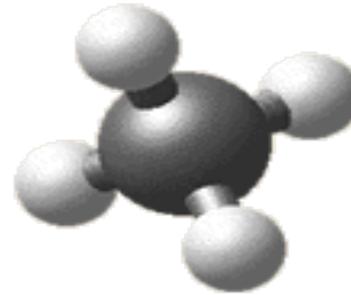
structural formula



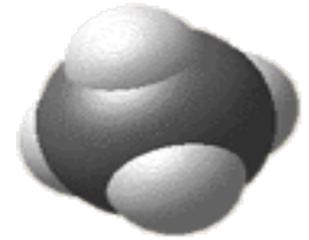
covalent bond diagram



ball & stick model



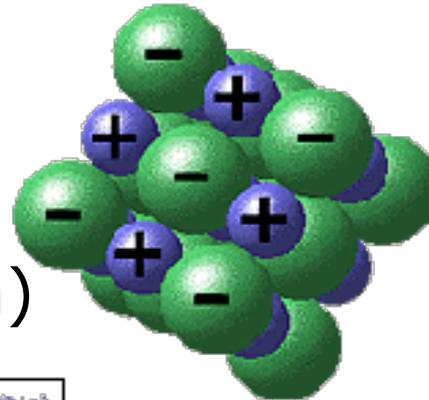
space-filling model



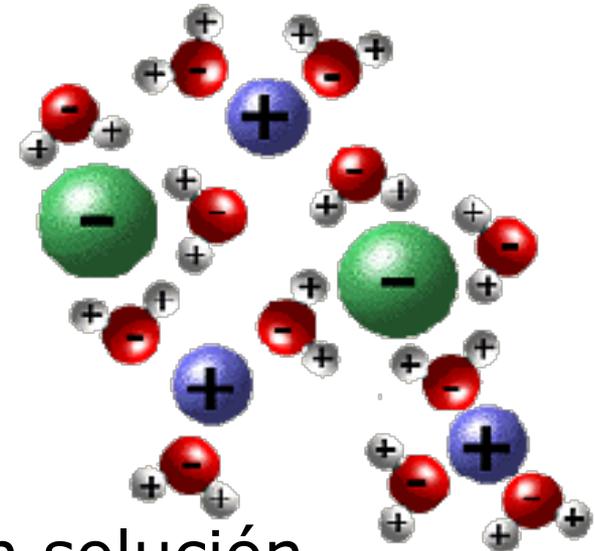
# Cloruro de sodio

## Cristal (Unión iónica)

NaCl crystal structure

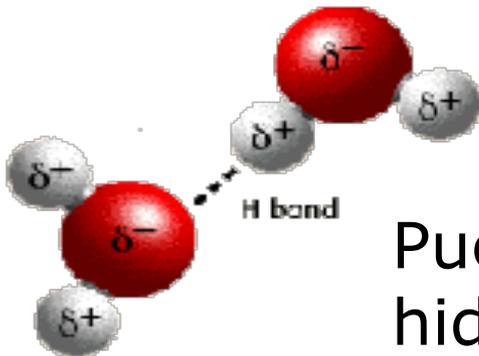


NaCl in water



En solución

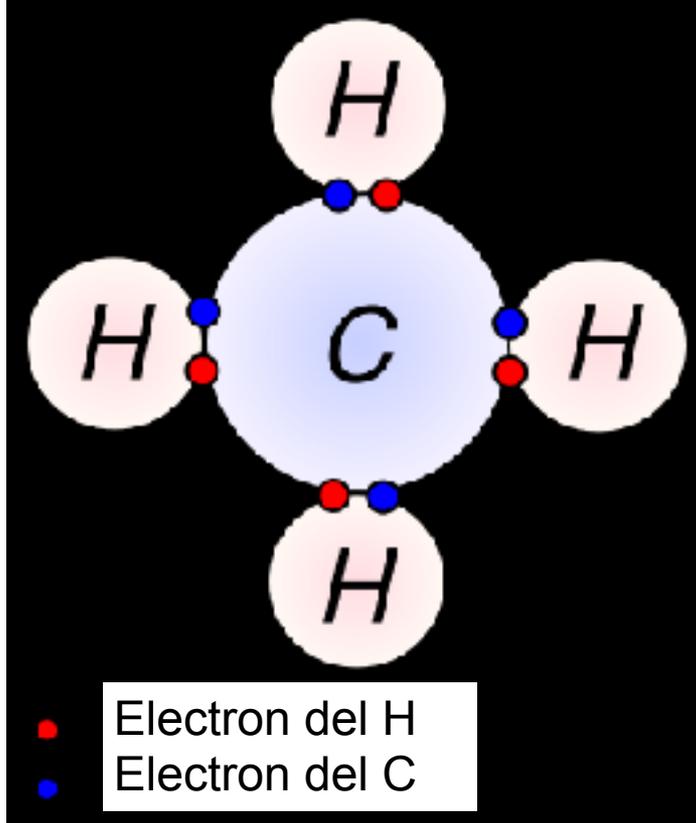
Hydrogen bonding between water molecules



Puente de hidrógeno

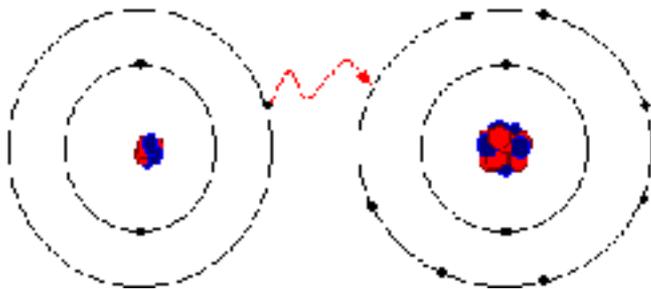
sodium (Na)  
chlorine (Cl)

Ejemplos de uniones químicas (relevantes en los organismos vivos)

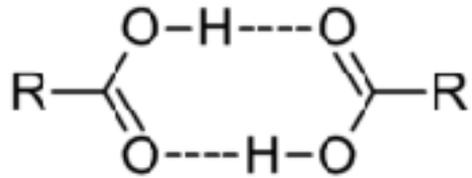


Uniones covalentes: se comparten electrones.

Actualmente este tipo de interacción se describe en términos de modelos de orbitales moleculares. Los orbitales moleculares son un cruce entre los orbitales atómicos originales.

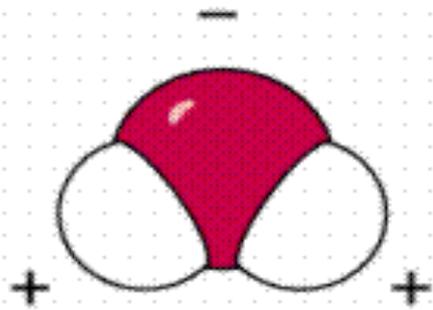


Unión iónica: se basa en la interacción electrostática entre iones con cargas de distinto signo. Se forman cuando una sustancia dona un electron y queda cargado positivamente. Ejemplo: NaCl

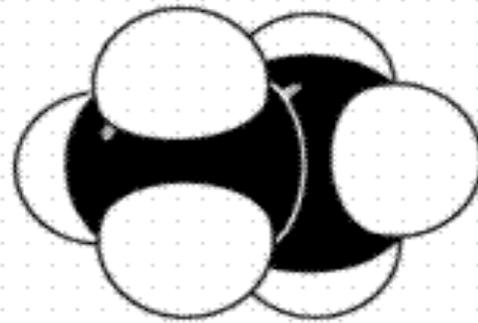


Un puente de hidrógeno es un tipo especial de interacción atractiva que existe entre un átomo electronegativo y un átomo de H ligado a otro átomo electronegativo. La fuerza involucrada es mayor que la de van der Waals pero menor que la de las uniones covalentes o iónicas. Habitualmente se lo describe como una interacción dipolo-dipolo pero tiene algunas características de las uniones covalentes.

El agua constituye el 70% de la masa de las células y la mayoría de las reacciones químicas que ocurren en la célula lo hacen en un ambiente acuoso.



Water, a polar molecule

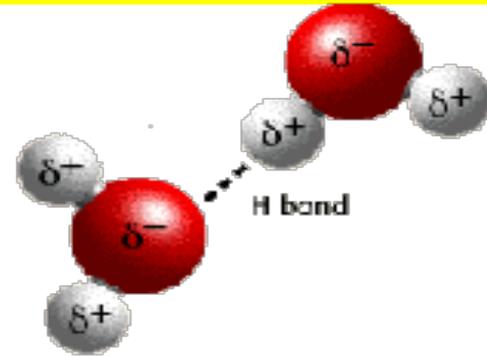
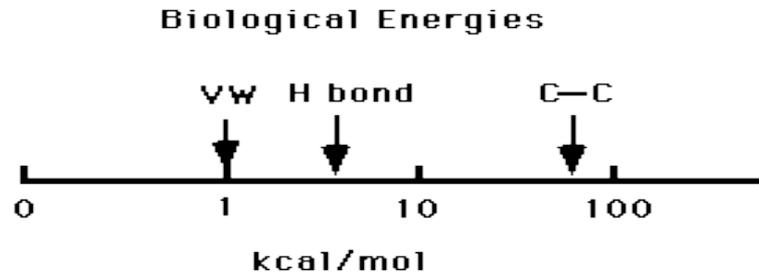


Ethane, a nonpolar molecule

Las características del agua, en particular, su carácter polar, su alta tensión superficial y su habilidad para formar puentes de hidrógeno, juegan un rol muy importante en la determinación de las interacciones que tienen lugar en las células.

Las moléculas de agua tienden a unirse entre sí en redes de puentes de hidrógeno.

Hydrogen bonding  
between water molecules



A 37C, el 15% de las moléculas de agua están unidas a otras cuatro formando aglomerados que cambian permanentemente.

Las moléculas de agua se acumulan alrededor de iones o de otras moléculas polares.

Algunas sustancias polares pueden "acomodarse" dentro de la red de puentes de hidrógeno. Se las llama *hidrofílicas*.

Las moléculas no polares, interrumpen los puentes de hidrógeno y no sufren interacciones importantes con las moléculas de agua. Son *hidrofóbicas*.

Las moléculas son “pequeñas”; ¿cuán pequeñas?

## **De Biological Physics de Philip Nelson:**

Alrededor de 1773, Benjamín Franklin empezó a preguntarse por qué una cierta cantidad de aceite sólo podía esparcirse hasta cierto punto en el agua. Si intentaba extenderlo más, la película se partía en parches. Franklin notó que una determinada cantidad de aceite de oliva siempre cubría aproximadamente la misma área de agua; específicamente, encontró que una cucharadita de aceite ( $\approx 5 \text{ cm}^3$ ) cubría medio acre de estanque ( $\approx 2000 \text{ m}^2$ ). Franklin razonó que si el aceite estuviera compuesto de pequeñas partículas irreducibles, entonces solo podría esparcirse hasta que estas partículas formaran una sola capa, o "monocapa", en la superficie del agua.

Tratemos de calcular el tamaño de las moléculas con el razonamiento de Franklin, ¿cuánto da?

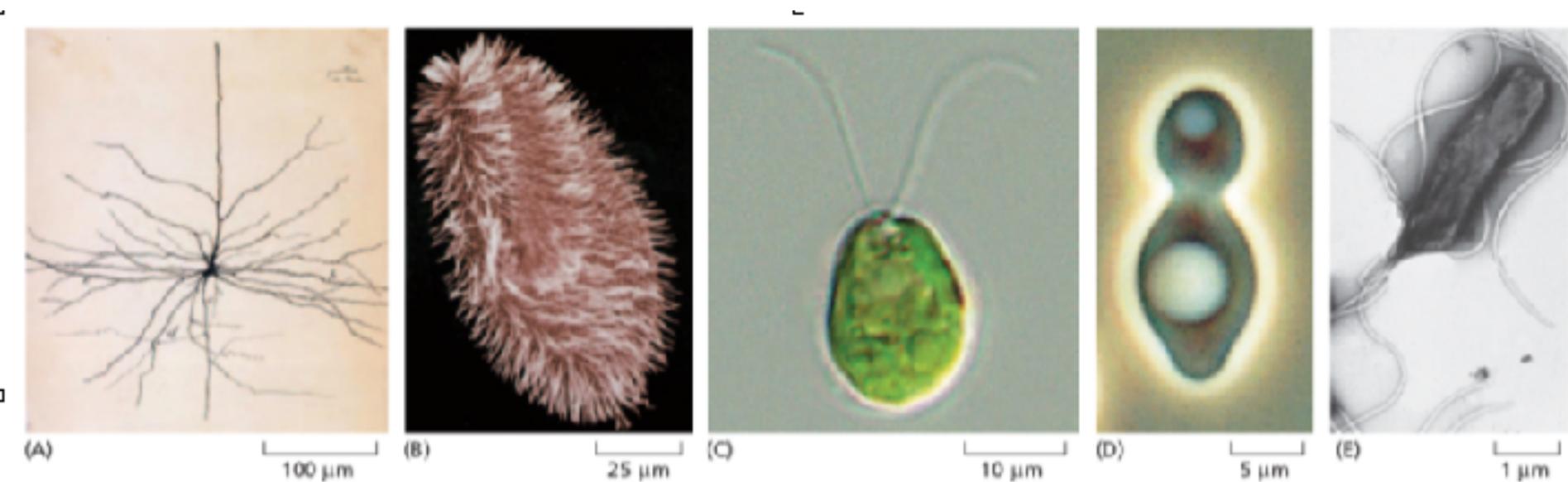
Longitud característica  $\sim 2.5 \text{ nm}$ . ¡Sorprendentemente, el experimento de Franklin del siglo XVIII da una estimación razonable de la escala de tamaño molecular!

# ¿Cuántas moléculas entran en algunos volúmenes?

Longitud característica  $\sim 2.5$  nm.

Conclusión: hay muchas moléculas en cualquier volumen macroscópico (o incluso en una célula). En lugar de contarlas “de a una” las contamos de “a muchas” (en términos de moles, en 1 mol de cualquier cosa numerable, hay un número de Avogadro,  $6 \cdot 10^{23}$ , de esa cosa numerable, e.g., moléculas).

El mol es grande para las células (¿cuántos moles de una molécula de 2.5nm de lado entran en una célula como las de la figura de la 2a transparencia?)



En célula de  $(10\mu\text{m})^3$  entran  $\sim 6.4 \cdot 10^{10} \sim 10^{-13}$  moles  $\sim 0.1$  pmol

El número de Avogadro,  $N_A$ , en realidad se introduce como el número de átomos de  $^{12}\text{C}$  que hay en 12g de  $^{12}\text{C}$  (12 es la masa atómica del  $^{12}\text{C}$  en alguna unidad,  $12 =$  suma de los protones y neutrones en  $^{12}\text{C}$ , que es proporcional a la masa del átomo sumando las masas individuales y despreciando la diferencia entre la masa del neutrón y la suma de las masas del electrón y el protón).

**Masa del neutrón:  $1.67492749804(95) \times 10^{-24}$  g;**

**Masa del protón:  $1.67262192369(51) \times 10^{-24}$  g;**

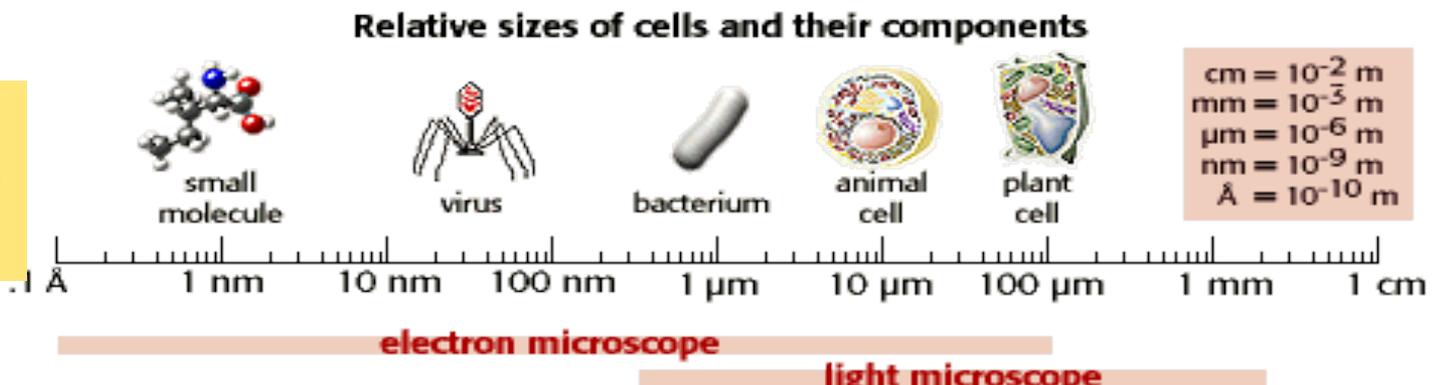
**Masa del electrón:  $9.109\ 383\ 7015 \times 10^{-28}$  g**

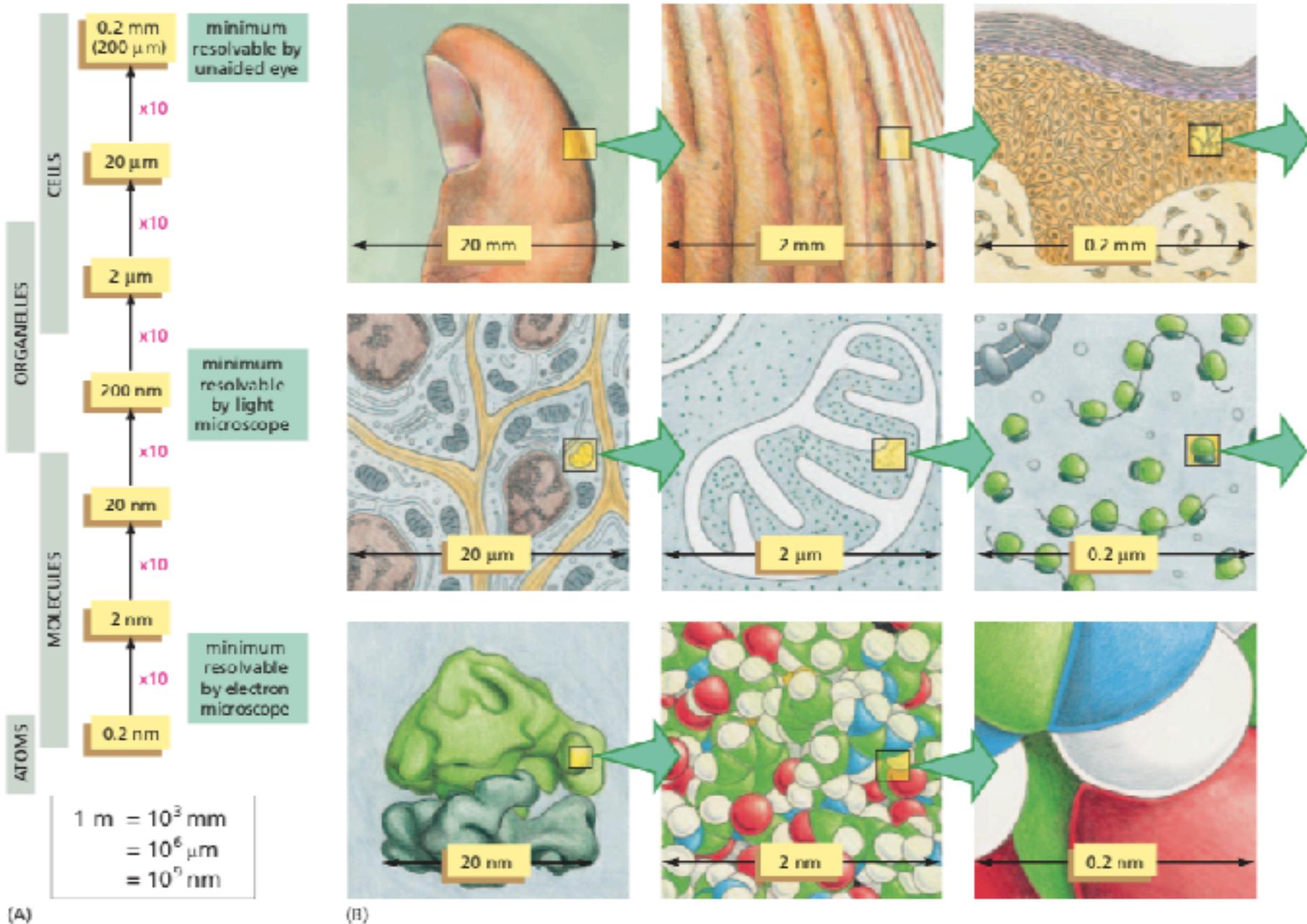
En esas unidades de masa (unidad de masa atómica,  $m_u$ ), la masa de la molécula de agua es  $\sim 18$ . Y la masa de un mol de agua, es decir, de una cantidad de agua que contiene un número de moléculas igual al  $N_A$  es  $\sim 18\text{g}$  (la masa de 1mol de agua es 18.01528g).

Estimamos también que  $N_A \sim 12\text{ g}/(12 * 1.67 \cdot 10^{-24}\text{g}) \sim 6 \cdot 10^{23}$

¿Qué dato sobre el agua podemos usar para calcular el volumen que “ocupa” cada molécula de agua? ¿Cuánto da?  $3 \cdot 10^{-23}\text{ cm}^3 = 3 \cdot 10^{-23} \cdot 10^{21}\text{ nm}^3 = 0.03\text{ nm}^3$

Distancia entre moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$   
 $\sim 0.3\text{ nm}$





(A)

(B)

# Números, unidades, concentraciones.

Concentración de una sustancia, A,  $[A] = \text{número de moléculas de A/Volumen}$

Como la densidad de masa, pero en términos del número de moléculas o partículas, lo que corresponda a A.

¿Cuáles son las unidades de concentración?

1/Volumen. ¿Y si trabajamos contando moléculas de a moles?

mol/volumen. Volumen se suele medir en litros. M=molar=mol/litro

Calculemos concentración del agua en M sabiendo que su densidad de masa es 1kg/litro =  $10^3\text{g/litro}$  y que un mol de agua tiene una masa de 18g.  $\sim 56\text{M}$

Otras sustancias presentes en la célula están en concentraciones mucho menores. Según [la base de datos de números útiles para la biología](#), concentraciones típicas de proteínas son: 150-260 mg/ml. ¿Y en número?

Según [Cell biology by the numbers](#), algunas proteínas típicas tienen masas de entre 50 y 600kDa (kiloDalton). 1Da=masa  $^{12}\text{C}/12=1.66053906660(50)\times 10^{-27}\text{kg}$ .

E.g., hemoglobina 14-18g/dL y la masa de una molécula es  $\sim 64\text{kDa}$  (la masa de un mol es  $\sim 64 \cdot 6 \cdot 1.66 \cdot 10^{-1}\text{kg} \sim 64\text{kg}$ ).  $[\text{Hb}]=14\text{g/dL}=0.14\text{kg/L}$

equivale a  $1.3 \cdot 10^{21}\text{moléculas/L} = 1.3 \cdot 10^{21} \text{ mol}/(6 \cdot 10^{23} \text{ L}) = 0.00217\text{M}=2.17\text{mM}$ .

Una de las propiedades principales del agua es que se puede disociar en  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$ . En el caso de agua pura, 1 de cada  $10^7$  moléculas se separan así.

Este proceso se ve afectado por la presencia de otras sustancias que ligan  $\text{H}^+$  o  $\text{OH}^-$ . Cuando están en una solución acuosa se dice que estas sustancias alteran el pH de la solución,  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$  (concentración en molar).

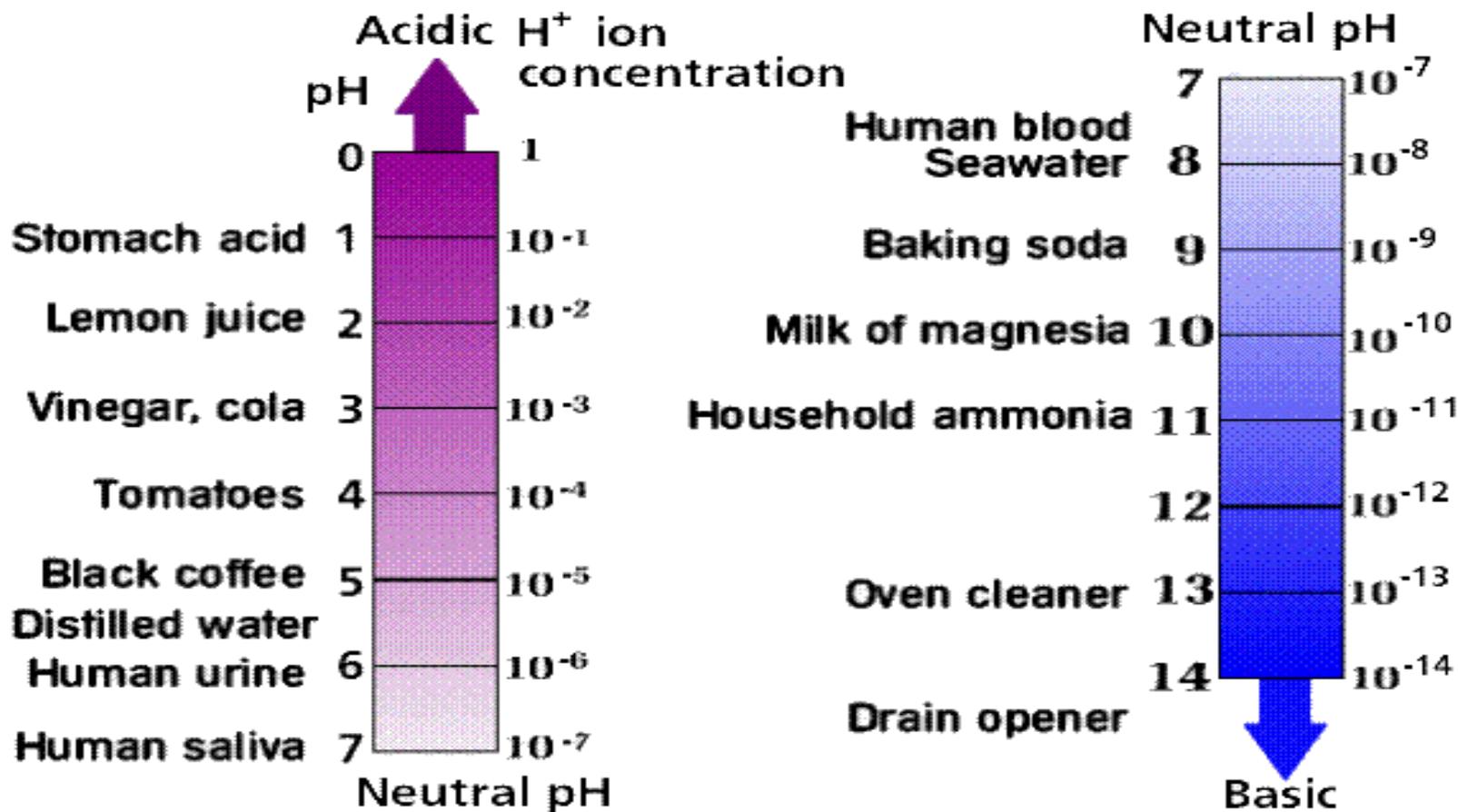
El pH es usado por las células como un mecanismo regulatorio. En la sangre humana,  $\text{pH}=7.3$ , y un cambio de uno puede causar la muerte. Distintos compartimientos dentro del organismo pueden tener pHs muy distintos. Las células manipulan el pH transportando  $\text{H}^+$  a través de membranas.

# Clasificaciones varias

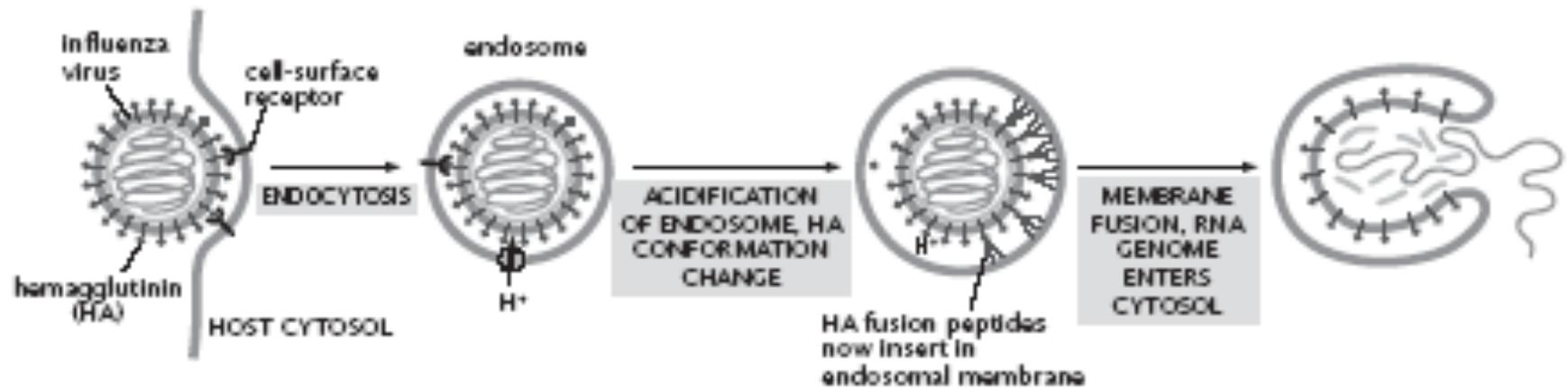
**Acido:** sustancia que, en solución acuosa, tiende a liberar protones

**Base:** sustancia que, en solución acuosa, tiende a ligar protones.

$\text{pH} = -\log ([\text{H}^+])$  (con  $[\text{H}^+]$  medido en mol/litro).



# Manipulación del PH y cambios



Virus de la influenza.

Tiene hemoglutinina en su superficie. HA permite reconocer las células que son el blanco del virus. Después ayuda a que entre la carga viral.

(B) Luego de la endocitosis comienza el transporte de  $H^+$  desde el citoplasma, bajando el pH. (C) La disminución del pH causa un cambio conformacional en la proteína HA (hemoglutinina) lo que permite que catalice la fusión de la membrana del virus con la del endosoma liberando los virus en el citoplasma celular.

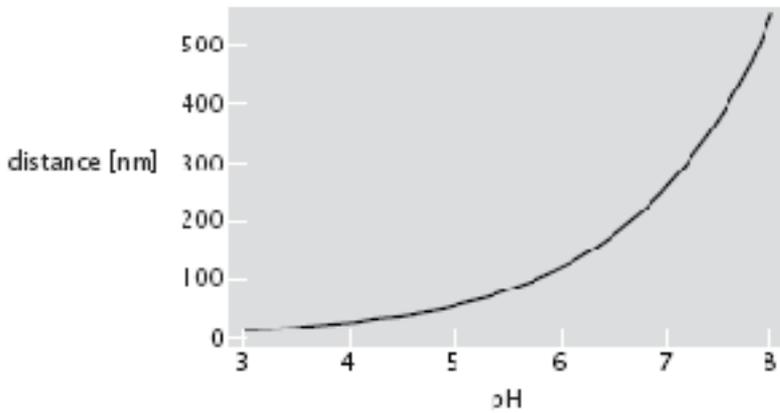


Figure 9.2: Distance between  $H^+$  ions as a function of pH.

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 D l_B} = k_B T,$$

Considerando  $D$ =constante dieléctrica del agua=80, vemos que ambas energías se igualan para  $l_B=0.7\text{nm}$



En solución acuosa las cargas pueden separarse más fácilmente que en vacío. En la separación de cargas opuestas hay una competencia entre la atracción coulombiana y la energía térmica.

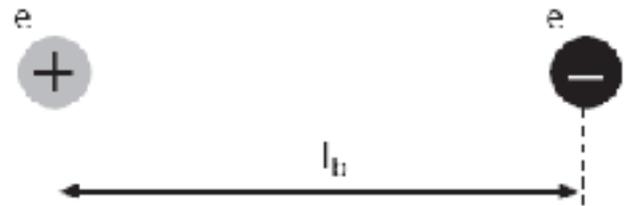
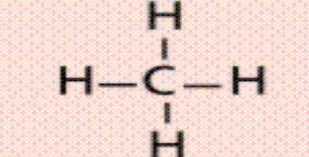
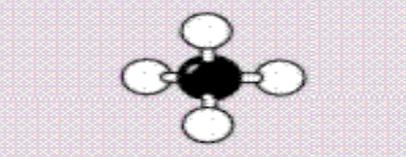
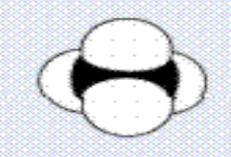
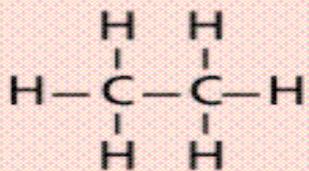
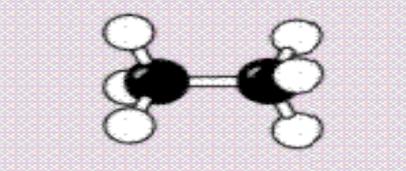
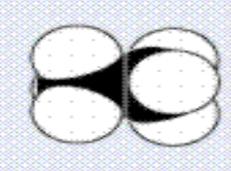
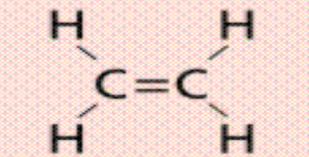
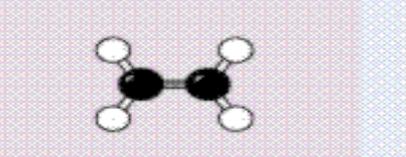
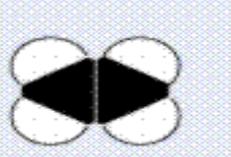
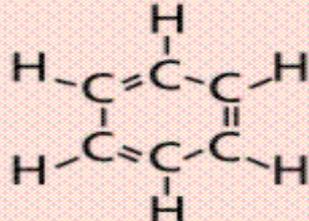
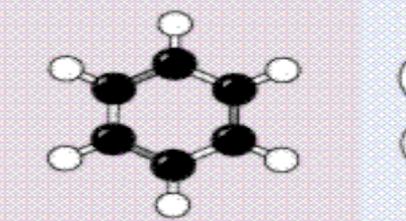
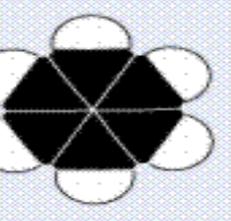


Figure 9.11: Illustration of the Bjerrum length. Two equal and opposite charges can drift apart by a distance  $l_B$  with an energetic cost of  $k_B T$ .

DNA en una solución iónica.  
Las cargas positivas de la solución apantallan a las negativas de la molécula

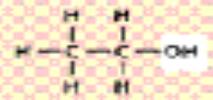
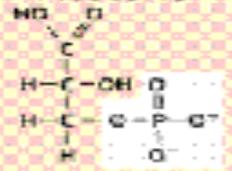
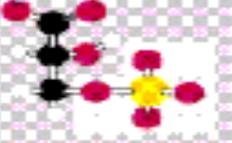
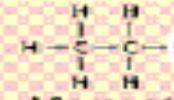
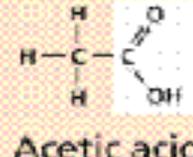
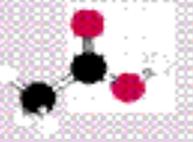
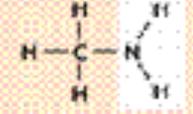
# Moléculas distintas del agua

Las moléculas orgánicas contienen C

Compound (molecular formula)	Structural formula	Ball-and- stick model	Space- filling model
Methane CH <sub>4</sub>			
Ethane C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>			
Compound (molecular formula)	Structural formula	Ball-and- stick model	Space- filling model
Ethylene (Ethene) C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>			
Benzene C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>			

# Grupos funcionales: determinan las propiedades químicas

Una molécula inorgánica importante es el ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ); en agua esta molécula se separa en un fosfato inorgánico cargado negativamente ( $\text{HPO}_4^{2-}$ , también llamado  $\text{P}_i$ ) y 2  $\text{H}^+$  (protones).

Functional group	Class of compounds	Structural formula	Example	Ball-and-stick model
Hydroxyl -OH	Alcohols	$\text{R}-\text{OH}$	 Ethanol	
Carbonyl -CHO	Aldehydes	$\text{R}-\text{C}(=\text{O})\text{H}$	 Acetaldehyde	
Carbonyl -CO-	Ketones	$\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}$	 Acetone	
Phosphate - $\text{OPO}_3^{2-}$	Organic phosphates	$\text{R}-\text{O}-\text{P}(=\text{O})(\text{O}^-)_2$	 3-Phosphoglyceric acid	
Sulfhydryl -SH	Thiols	$\text{R}-\text{SH}$	 Mercaptoethanol	
Carboxyl -COOH	Carboxylic acids	$\text{R}-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$	 Acetic acid	
Amino -NH2	Amines	$\text{R}-\text{N}(\text{H})_2$	 Methylamine	

# Familias de macromoléculas donde cada polímero está formado por moléculas más pequeñas unidas por uniones covalentes

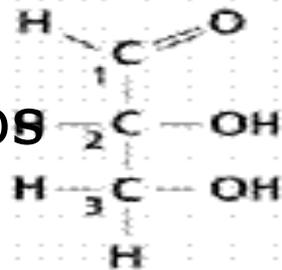
Subunidad	Macromolécula
Azúcar	Polisacárido
Amino-ácido	Proteína
Nucleótido	Acido nucleico

Las macromoléculas constituyen la mayor parte de la masa seca de las células

**Azúcares:** reservorios de energía Sustancias con fórmula  $C_nH_{2n}O_n$

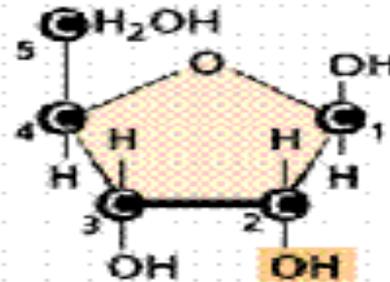
Monosacáridos

Three-carbon sugar

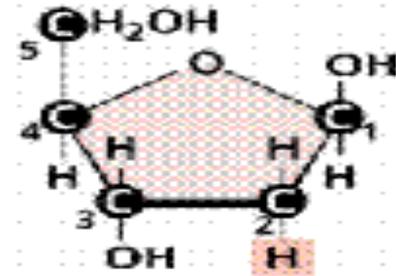


Glyceraldehyde

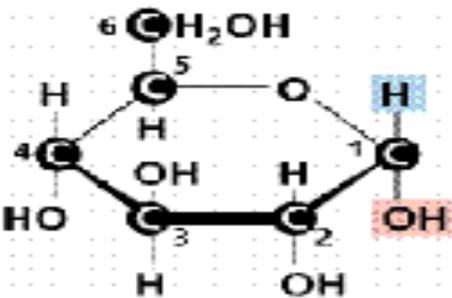
Five-carbon sugars



Ribose

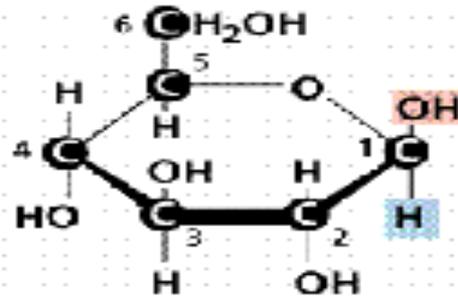


Deoxyribose

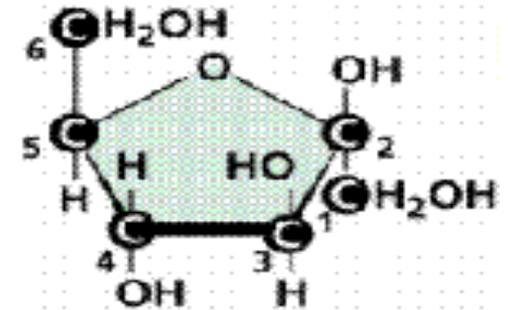
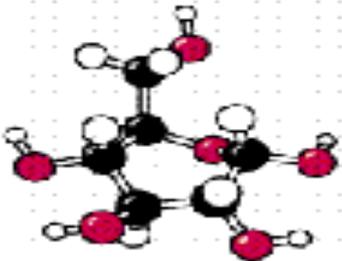


(c)  $\alpha$ -Glucose

OR



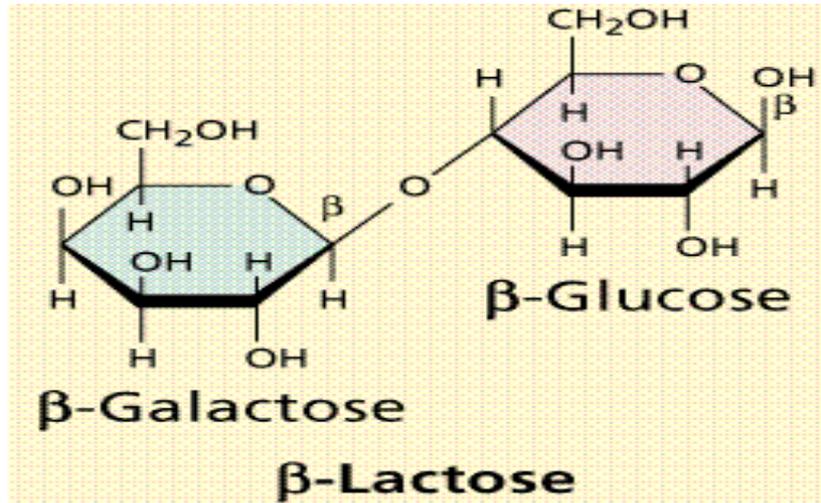
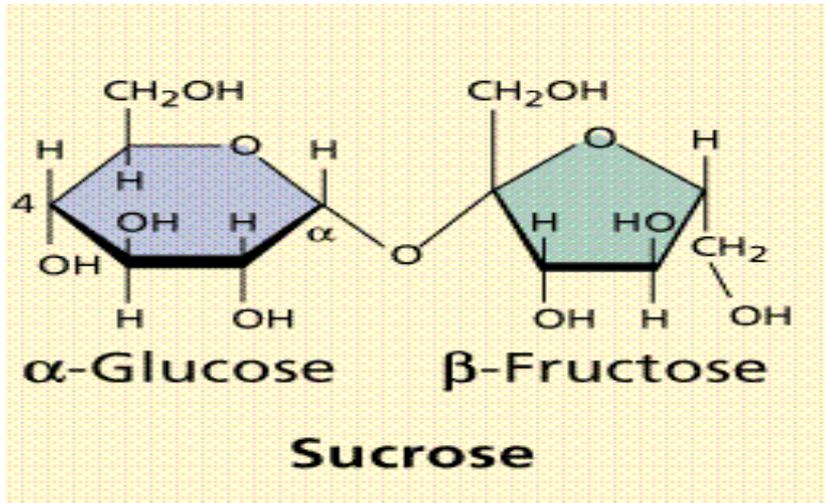
(d)  $\beta$ -Glucose



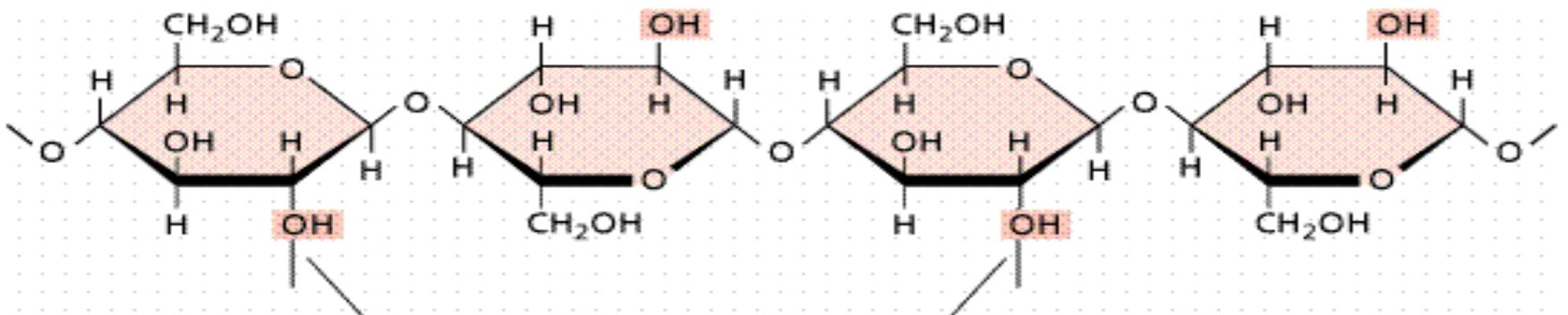
Fructose

Un mol de glucosa provee 673Kcal

# Disacáridos



# Polisacáridos



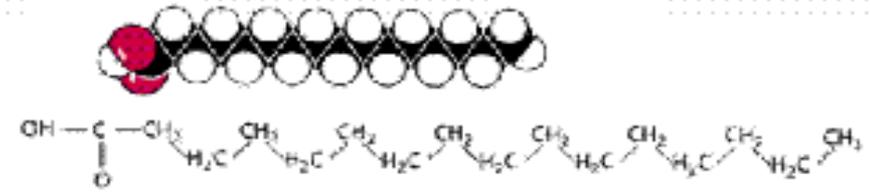
Hydrogen bonding to other cellulose molecules can occur at these points

**Lípidos:** reservorios de energía a largo plazo. Generalmente son insolubles en agua. Cumplen funciones estructurales o funcionan como mensajeros. Compuestos por 3 ácidos grasos.

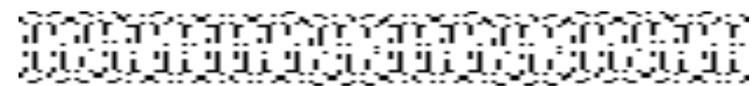
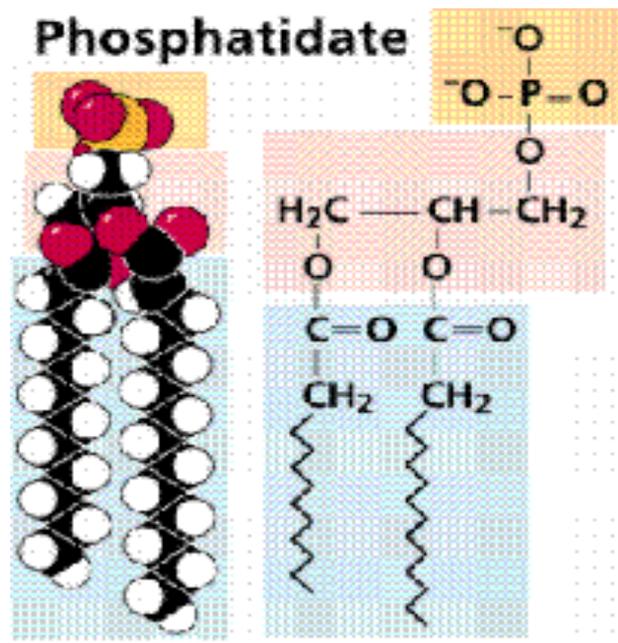
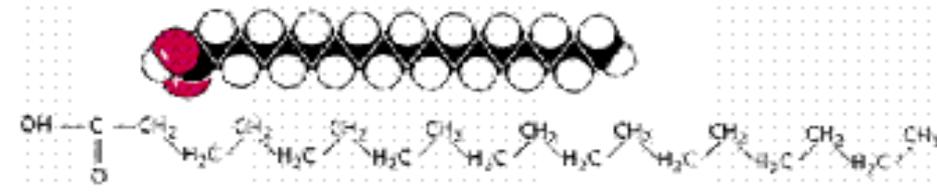
**Ácidos grasos:** compuestos por unidades de  $\text{CH}_2$

**Fosfolípidos:** forman la membrana celular. Tienen una cabeza hidrofílica y dos colas hidrofóbicas.

(a) Palmitic acid



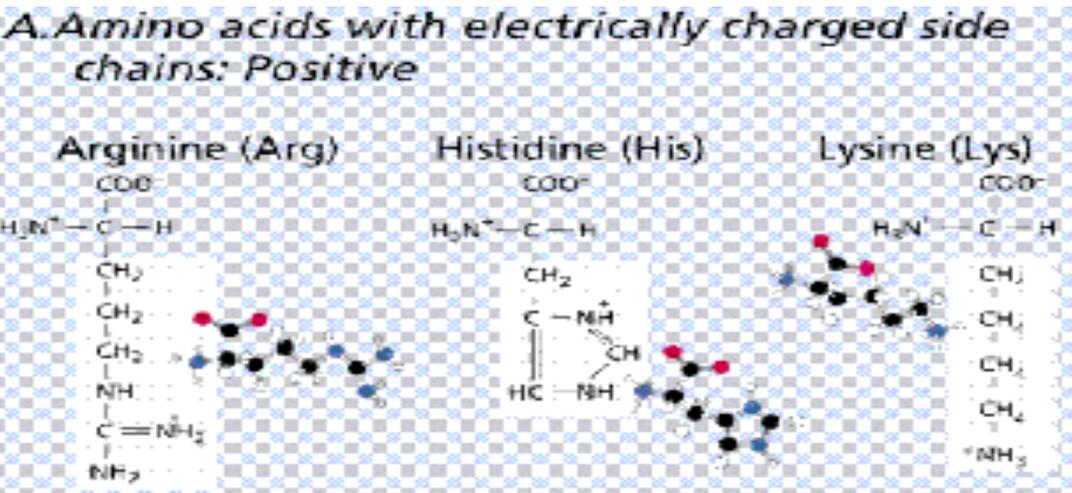
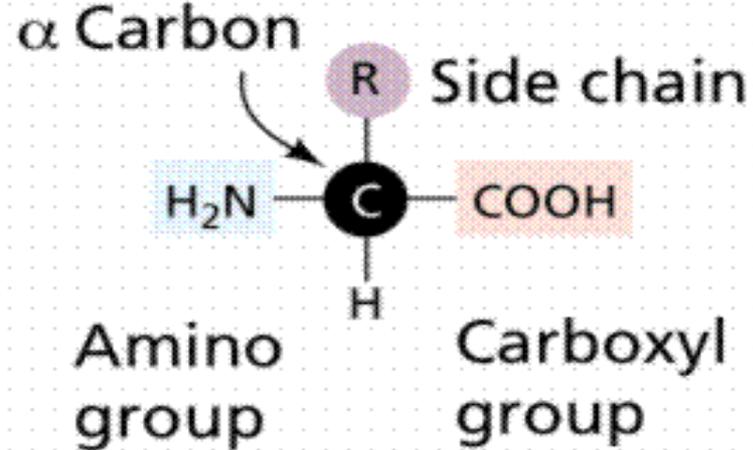
(b) Stearic acid



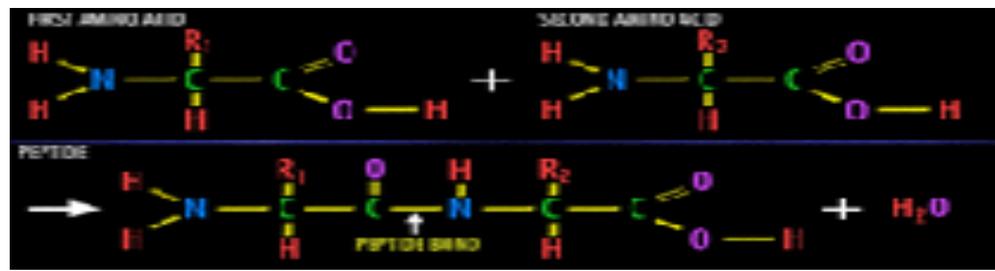
Bicapa lipídica

**Aminoácidos:** Tienen un terminal amino (NH<sub>2</sub>) y otro carboxilo (COOH). Todos los organismos vivos usan distintas combinaciones de los mismos 20 aminoácidos.

**Conventional depiction**



Los aminoácidos forman cadenas que se se mantienen unidas ligando el terminal amino de una molécula con el carboxilo de otra.



Puente peptídico: se forma al extraer el agua

**Proteínas:** macromoléculas formadas por aminoácidos. Cumplen muchas funciones: estructurales y de control. Un conjunto de aminoácidos ligados entre sí forman un polipéptido. La secuencia de aminoácidos en él determina la estructura primaria de las proteínas.



primary structure  
(amino acid sequence)



secondary structure  
( $\alpha$ -helix)



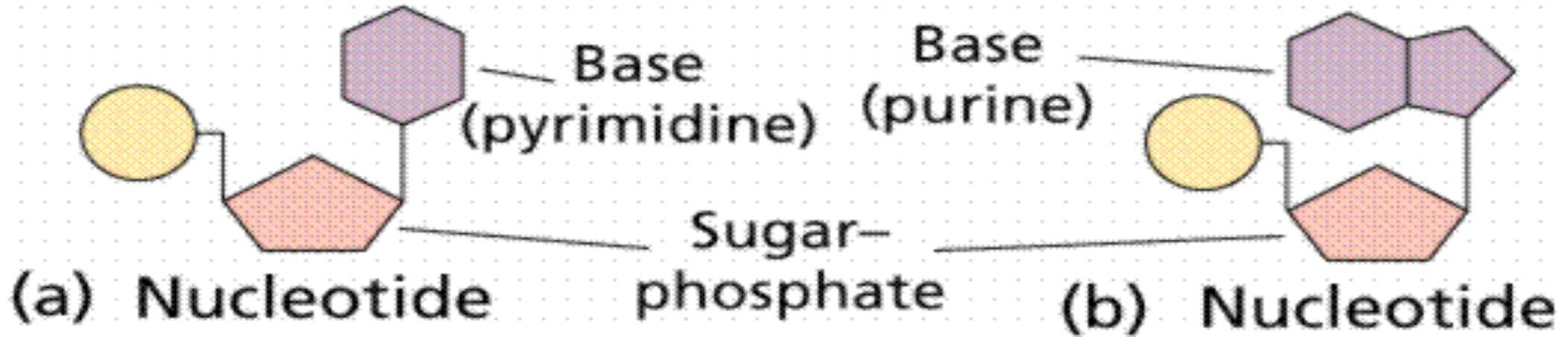
tertiary structure  
(folded individual peptide)



quaternary structure  
(aggregation of two or more peptides)

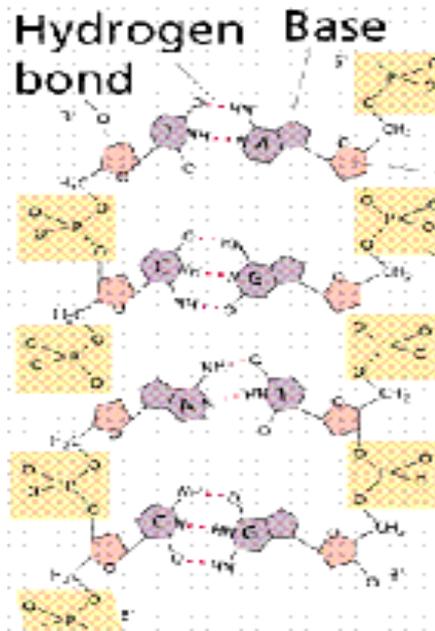
Video sobre proteínas: <https://www.youtube.com/watch?v=wwTv8TqWC48>

**Nucleótidos:** formados por un azúcar (ribosa o deoxi-ribosa), una base de N y un fosfato. Hay cinco tipos de bases de N (adenina, guanina, citosina, timina, uracilo).



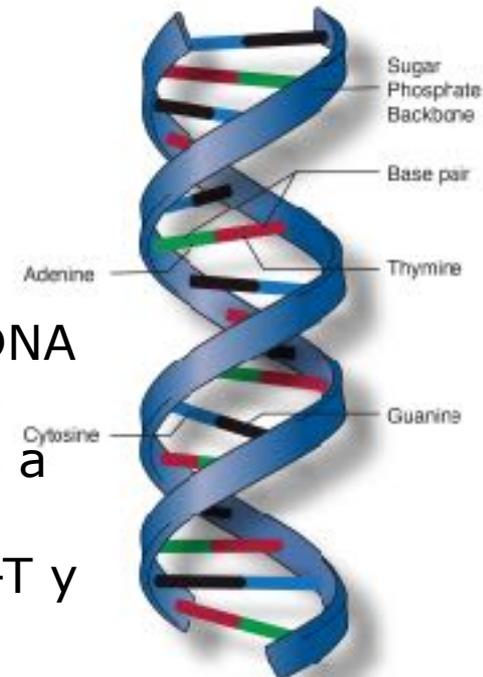
**Ácidos nucleicos:** polímeros formados por nucleótidos.

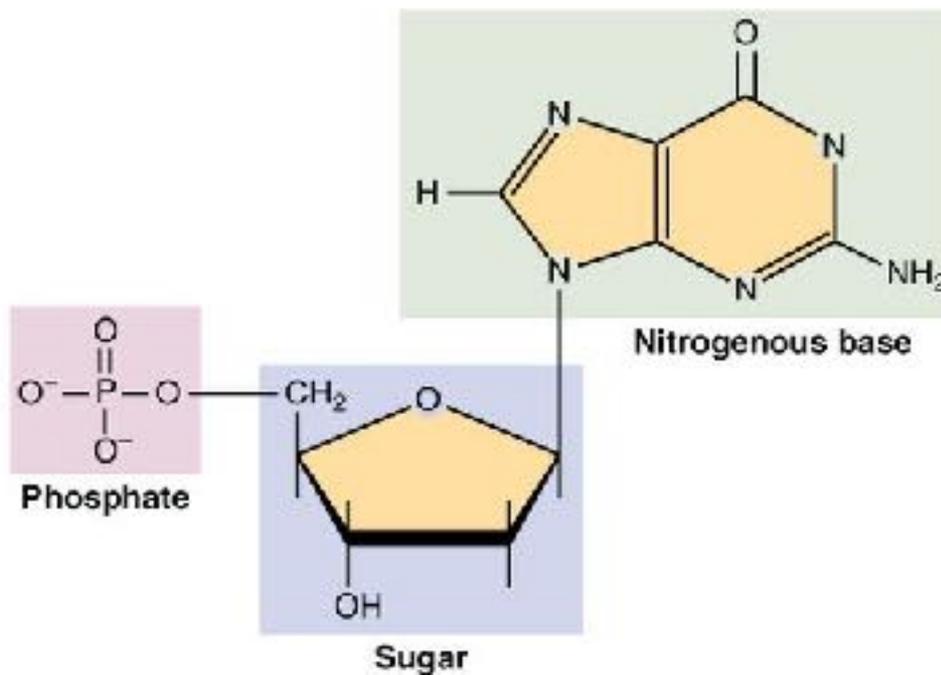
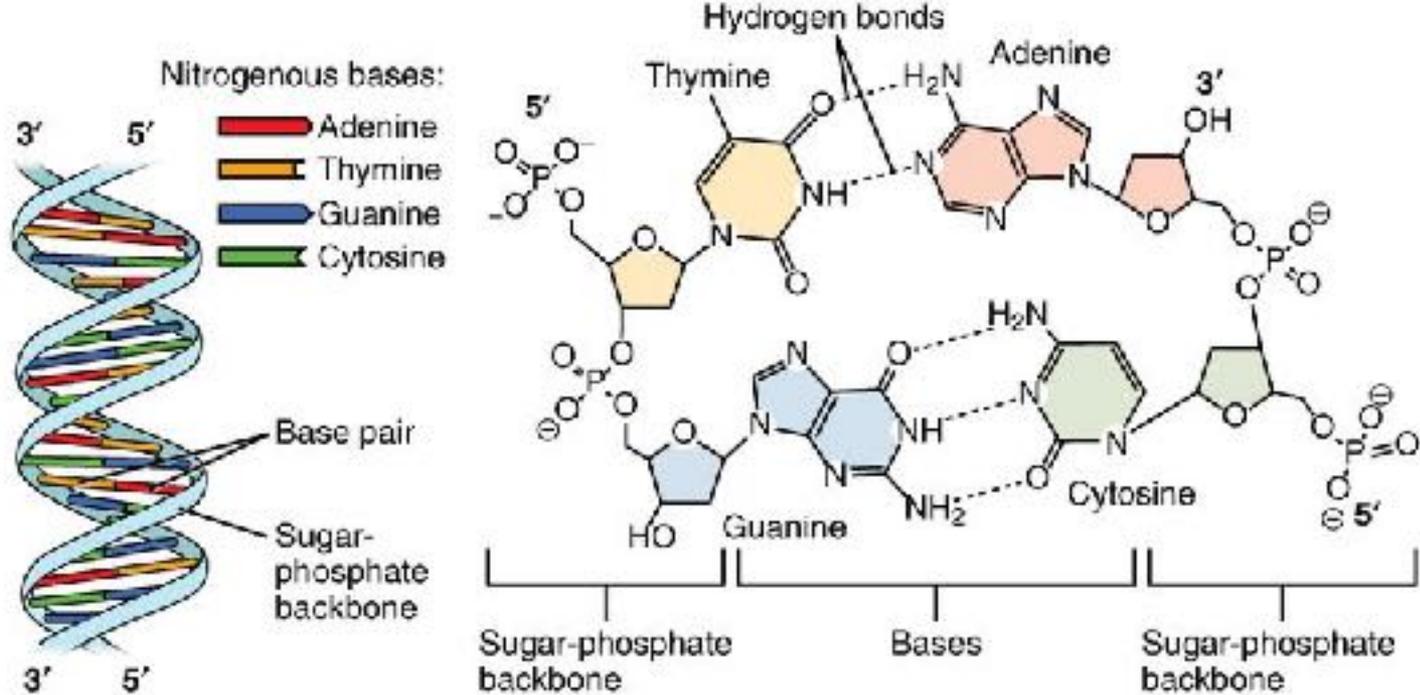
Funciones: almacenamiento de información, síntesis de proteínas, transferencia de energía.

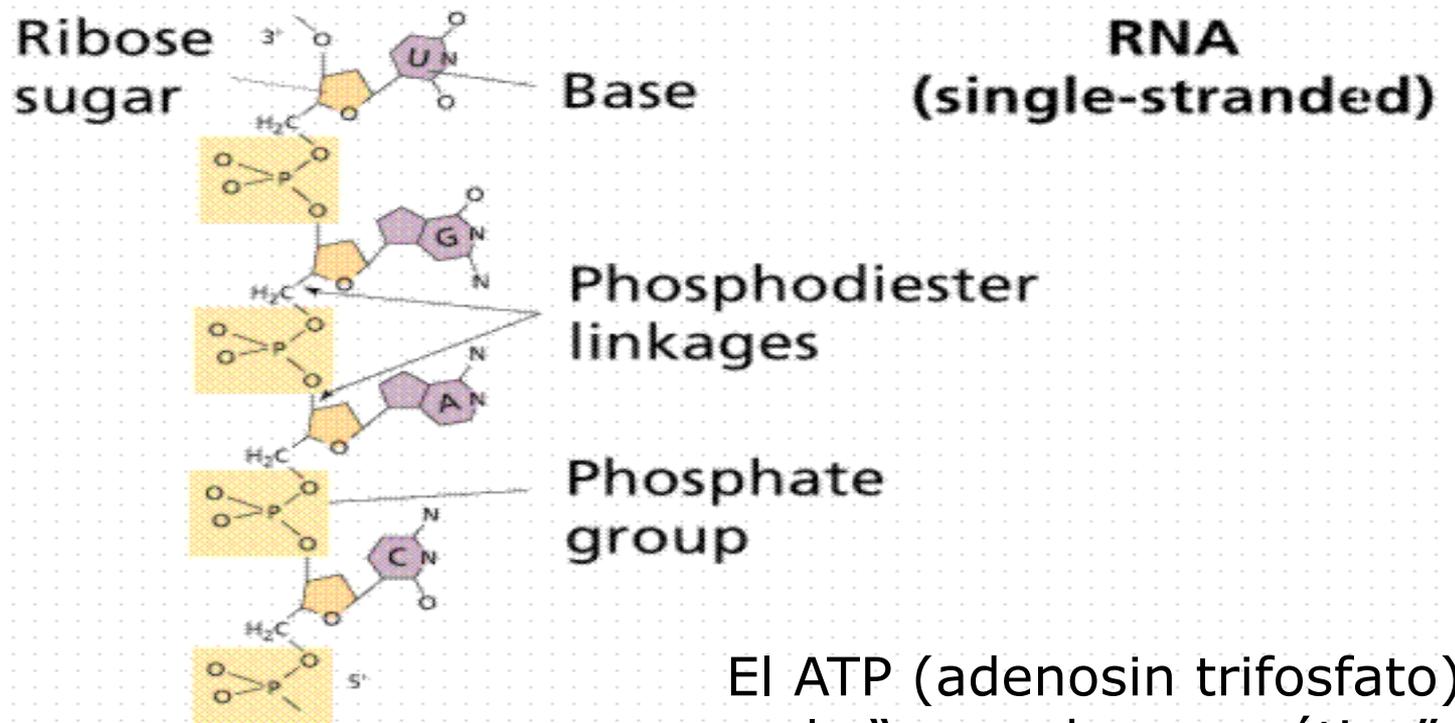


**DNA (double-stranded)**

Doble hélice del DNA  
Las dos hebras se mantienen unidas a través de uniones entre las bases A-T y C-G







El ATP (adenosin trifosfato) es la "moneda energética" de las células. La hidrólisis de ATP en ADP más Pi libera una gran cantidad de energía que es usada para permitir que ocurran reacciones desfavorables.

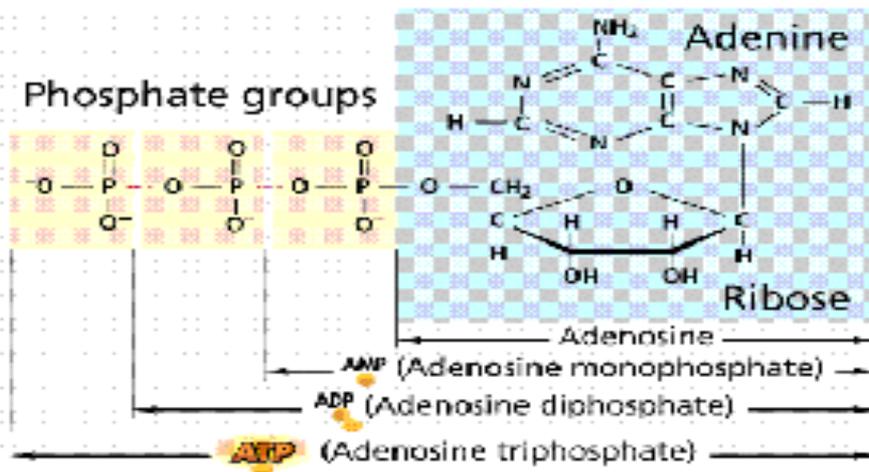


Figure 7.2 (2)

El proceso inverso a la hidrólisis es la fosforilación.

Table 2.1: Composition of bacterial cells, by weight. [From (Alberts *et al.*, 1997)]

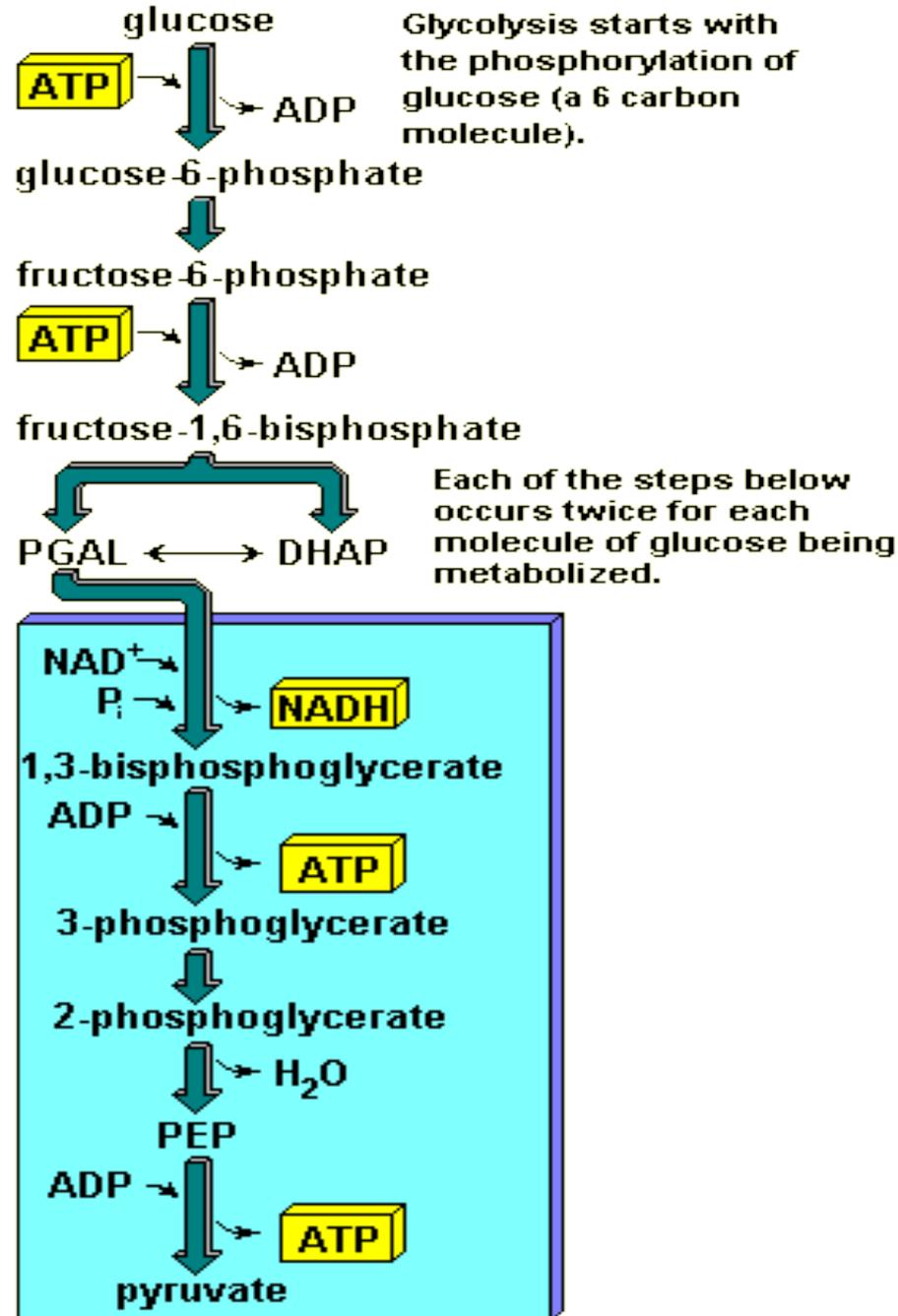
<b>Small molecules (74%):</b>	
Ions, other inorganic small molecules	1.2%
Sugars	1%
Fatty acids	1%
Individual amino acids	0.4%
Individual nucleotides	0.4%
Water	70%
<b>Medium and big molecules (26%):</b>	
Protein	15%
RNA	6%
DNA	1%
Lipids	2%
Polysaccharides	2%

¿De dónde salen todas estas moléculas (grandes y pequeñas)?

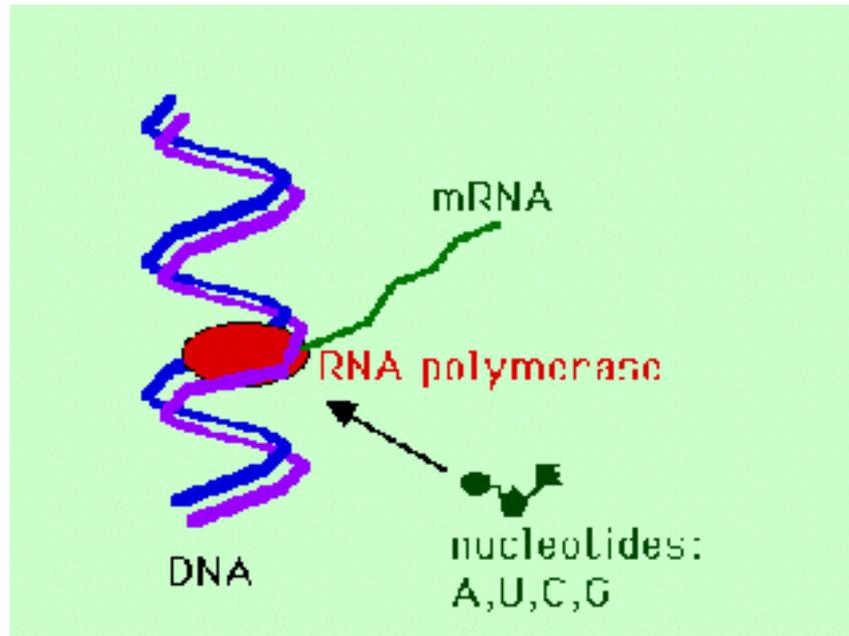
Los azúcares se obtienen rompiendo las macromoléculas contenidas en los alimentos (catabolismo).

A partir de los azúcares se obtienen moléculas más pequeñas, en particular, el ATP.

La glucólisis es un paso importante en este proceso. (de la glucosa al ATP en forma anaeróbica)



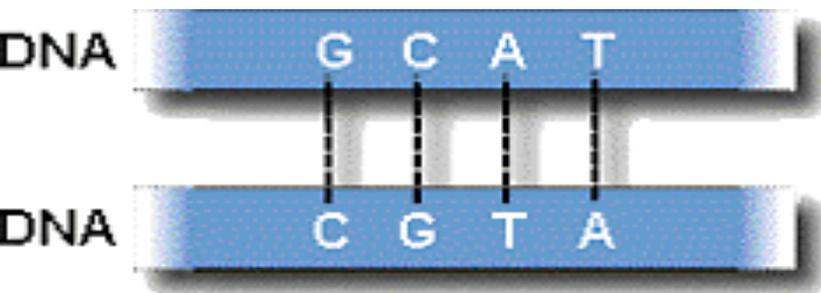
Las proteínas son sintetizadas siguiendo las instrucciones del ADN.



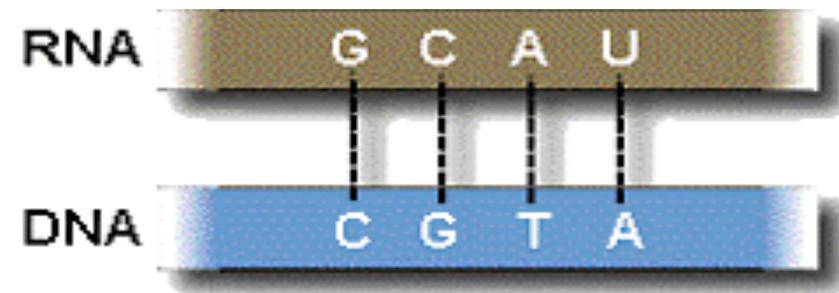
1. Se separan las hebras de DNA y la RNA polimerasa se liga a una de ellas.
2. La polimerasa transcribe la información del DNA en una molécula de RNA.
3. La molécula de mRNA es liberada y puede comenzar la traducción.
4. El tRNA transporta el aminoácido en el proceso de la síntesis de proteínas. Es la molécula "adaptadora" que convierte la secuencia de ácido nucleico en la secuencia de aminoácidos que forman la proteína.

## Dos diferencias entre el ADN y el ARN:

- 1. El azúcar del ADN es la **deoxiribosa**; en el ARN es la **ribosa**
- 2. El ARN usa la base **uracilo (U)** en lugar de la T del ADN (son muy similares entre sí)



base pairing in  
DNA replication



base pairing in  
transcription

# El código genético :

- Los nucleótidos del **mRNA** son leídos de a 3 por vez por los ribosomas. Cada uno de estos tripletes, llamados codones, codifica un aminoácido específico. El ribosoma y las moléculas de tRNA traducen este código para producir proteínas. Un mRNA con 600 nucleótidos codifica para una proteína con 200 aminoácidos
- El código de codones a aminoácidos fue determinado por **Marshall Nirenberg, Robert Holley y Har Khorana** (Premio Nobel)

		Second letter				
		U	C	A	G	
First letter	U	UUU UUC	UCU UCC UCA UCG	UAU UAC	UGU UGC	U
		UUA UUG		UAA UAG	UGA UGG	C A G
	C	CUU CUC CUA CUG	CCU CCC CCA CCG	CAU CAC	CGU CGC CGA CGG	U
				CAA CAG		C A G
A	AUU AUC AUA	ACU ACC ACA ACG	AAU AAC	AGU AGC	U	
	AUG		AAA AAG		A G	
G	GUU GUC GUA GUG	GCU GCC GCA GCG	GAU GAC	GGU GGC GGA GGG	U C A G	



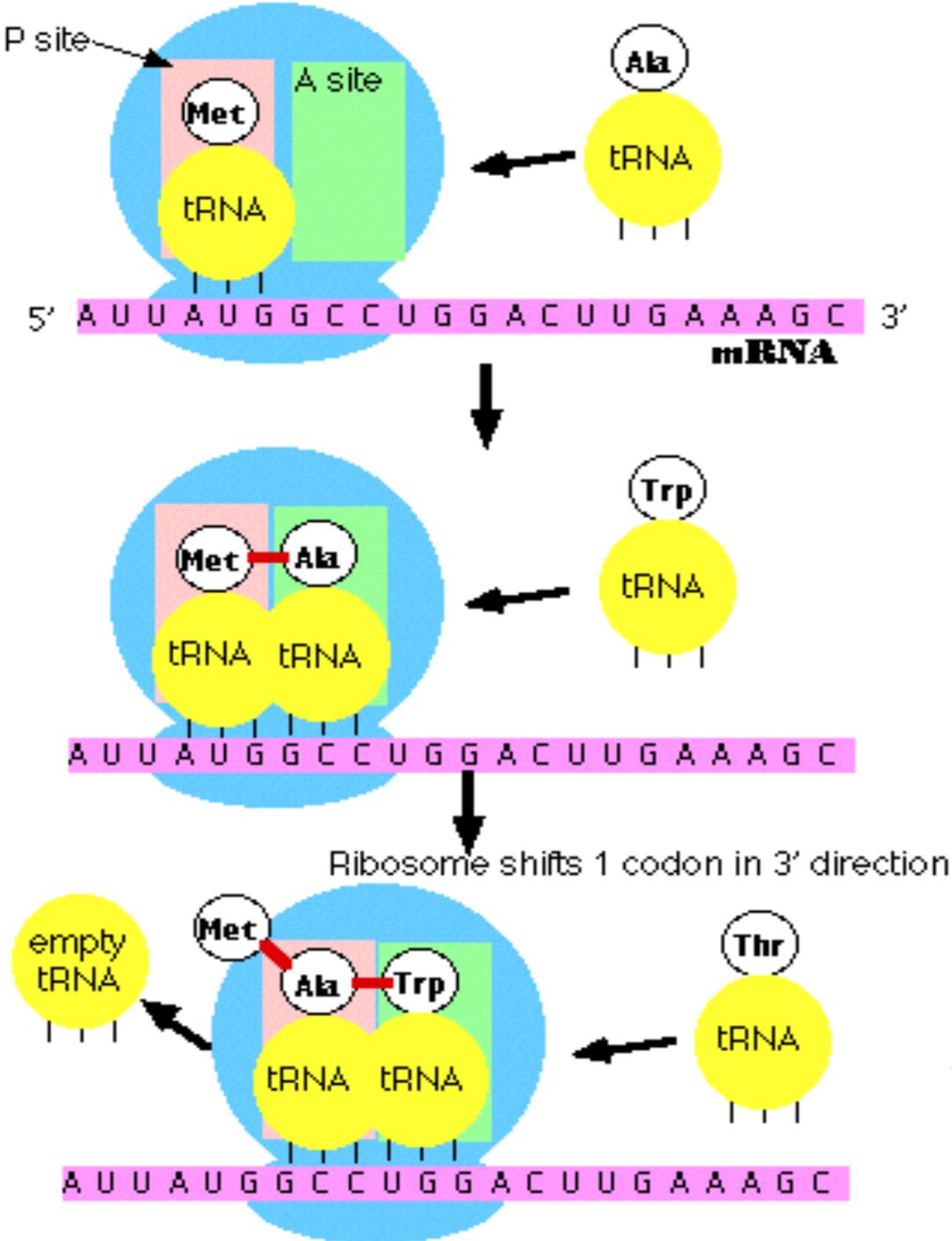
## **Traducción = Del RNA a la proteína**

During translation, the **mRNA** transported to the cytoplasm is "decoded" or "translated" to produce the correct order of amino acids in a protein.

“Participantes clave“:

**rRNA** = RNA ribosomal; se asocian con otras proteínas para formar los **ribosomas**. Cada ribosoma puede aceptar 2 **tRNAs** (acarreadores de aminoácidos) simultáneamente y un **mRNA**.

**tRNA** = RNA de transferencia; pequeñas moléculas de RNA que llevan un **aminoácido específico** en un extremo y un “**anticodón**” que reconoce y se liga al **mRNA** en el otro extremo. El **tRNA** que se liga a ese condón en el mRNA es el que determina qué aminoácido se agrega a la cadena que va a formar la proteína.

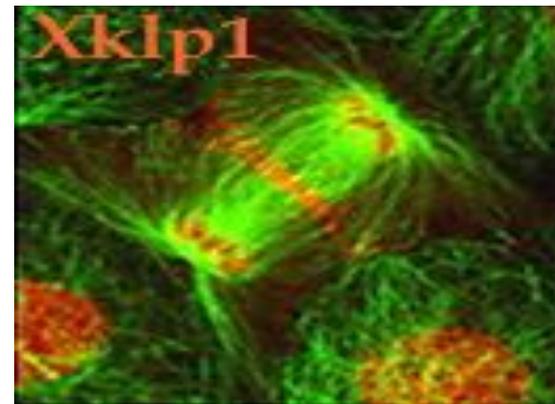
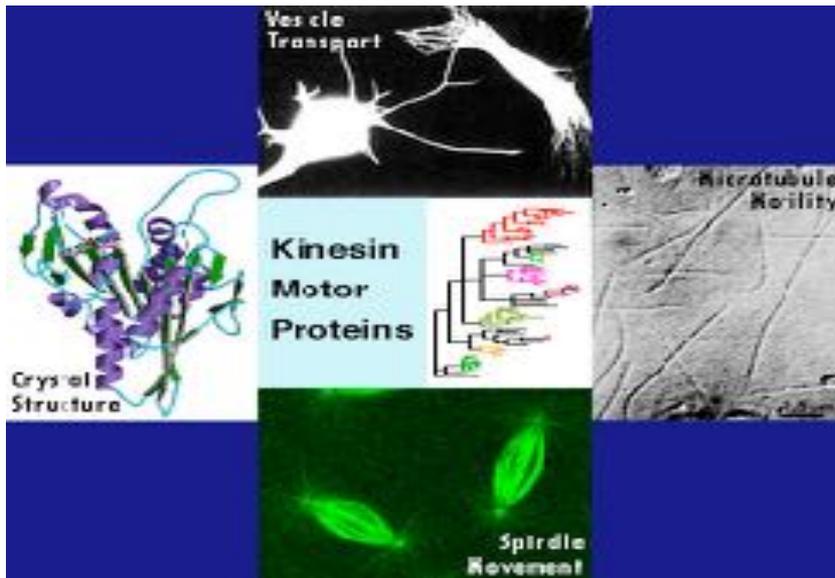


**1. tRNAs**, cada uno lleva un aminoácido específico y se aparea con el codon correspondiente mRNA codones (en los ribosomas). El apareamiento de las bases (A-U, G-C) entre los codones del **mRNA** y los anticodons del **tRNA anticodons** determina el orden los aminoácidos en la proteína.

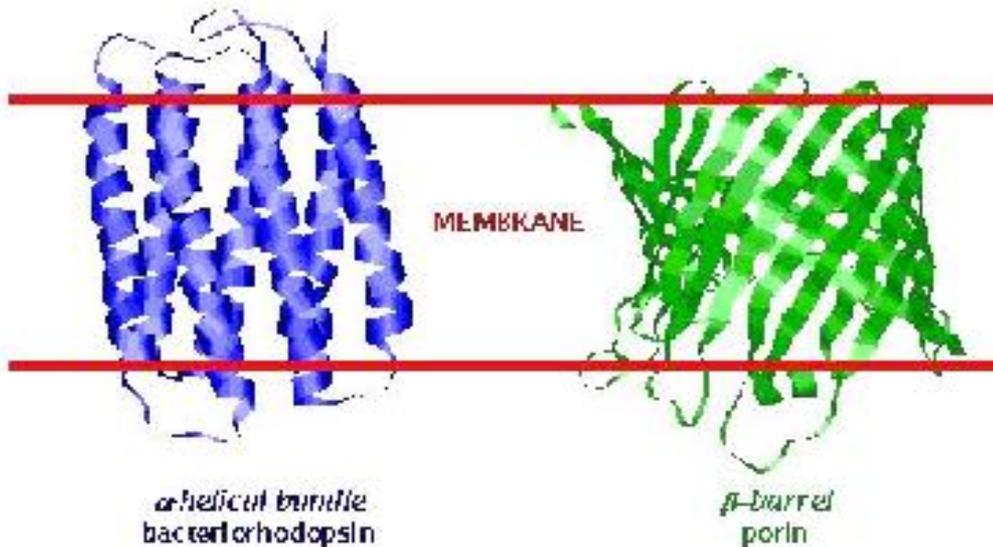
**2. Elongación:** los aminoácidos se agregan de a uno a medida que el **ribosoma** se mueve a lo largo del **mRNA**, cada **tRNA** transfiere su aminoácido a la cadena que forma la proteína.

**3. Terminación:** cuando el **ribosoma** encuentra un codón de stop - UAA, UGA, or UAG - el ribosoma se cae.

Animación del dogma central:  
<https://www.youtube.com/watch?v=9kOGOY7vthk>



*Membrane Proteins: The Two Known Structural Classes*



Las proteínas pueden cumplir roles muy diversos.