

- BIOLOGÍA 2BAC -

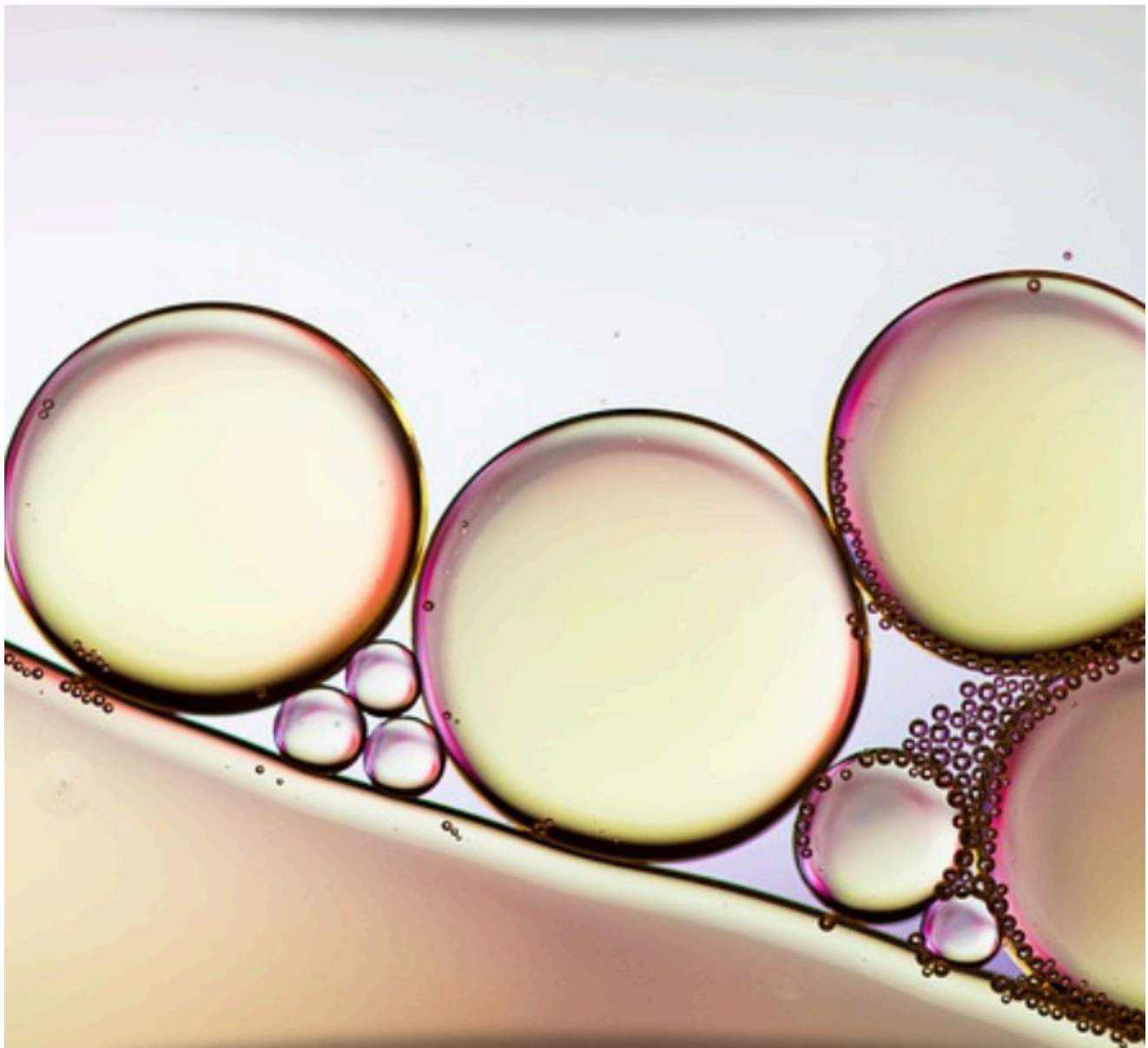


La RuBisCO
es lo más



Apuntes

TEMAS 1-5



**BLOQUE I: BASE MOLECULAR Y
FÍSICO-QUÍMICA DE LA VIDA**

TEMA 1: BIOELEMENTOS Y BIOMOLÉCULAS INORGÁNICAS

1. BIOELEMENTOS

Son los elementos químicos que constituyen la materia viva. Al unirse entre sí forman las biomoléculas. Existe una gran diversidad biológica en nuestro planeta, pero los elementos químicos que componen los seres vivos se repiten siempre.

Sin embargo, los elementos más abundantes en los seres vivos (C, H, O, N, P y S) no son los mismos que los mayoritarios en la litosfera (donde abunda por ejemplo el Si), en la atmósfera o en la hidrosfera.

Los bioelementos se clasifican en base a su proporción o abundancia en los seres vivos:

* **Bioelementos Primarios** (más del 95% del total de la materia viva --> **CHONPS**) (*hay que sabérselos todos*)

Son indispensables para la formación de las biomoléculas orgánicas o principios inmediatos (glúcidos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos). Todos los bioelementos primarios necesitan electrones (e^-) para completar su capa de valencia y tienen baja masa atómica, por lo que forman enlaces que confieren estabilidad.

C	Posee 4 e^- desapareados con posibilidad de formar enlaces covalentes (forma de tetraedro) con átomos como el H, O y N dando lugar a la gran variedad de grupos funcionales. Es capaz de formar cadenas lineales, ramificadas y cíclicas de distintos tamaños y muy estables. Ningún otro elemento químico puede formar moléculas con formas, tamaños y estructuras tridimensionales tan diferentes. Esta diversidad molecular permite que el ser vivo pueda constituir estructuras como la membrana y los demás orgánulos celulares y que, además, pueda reconocer la diversidad de moléculas externas. La estabilidad de las largas cadenas formadas por C permiten que 1 sola molécula, como el ADN, pueda contener toda la información del organismo y que al replicarse, transmita esta información a los descendientes, acción imprescindible para la continuidad de la vida
H	Junto al C forma las cadenas hidrocarbonadas. También forma parte del agua y es uno de los átomos capaz de formar enlaces de H (δ^+) con átomos electronegativos (δ^-) como el O y el N.
O	Tanto el O, N, P y S son elementos electronegativos que forman grupos polares al enlazarse de forma covalente con H. El O forma H_2O , CO_2 y grupos funcionales (-OH, -CHO, -COOH) importantes p.ej. en glúcidos
N	En el grupo $-NH_2$ de los aminoácidos (proteínas) y también forma parte de las bases nitrogenadas (A, C, G, T, U) de ácidos nucleicos.
P	En los grupos fosfato presentes en ácidos nucleicos como el ARN o el ADN. Además, también se almacena energía química en los enlaces entre fosfatos del ATP.
S	Forma el radical -SH de los aminoácidos como la cisteína que mediante el enlace disulfuro estabiliza la estructura terciaria de las proteínas.

* **Bioelementos Secundarios** (alrededor del 4% del total de materia viva → **Na K Cl Ca Mg**) (*entran los 5*)

Están en menor proporción que los bioelementos primarios, aunque desempeñan funciones de vital importancia. Son imprescindibles para la vida de la célula y se encuentran en todos los seres vivos.

Na, K y Cl	Na^+ , K^+ y Cl^- son los iones más abundantes en el medio interno e interior celular. Mantienen el equilibrio de cargas a ambos lados de la membrana, por lo que participan en la transmisión del impulso nervioso
Ca	Participa en contracción muscular y en forma de $CaCO_3$ constituye las conchas, esqueletos y caparazones
Mg	Componente de muchos enzimas y del pigmento clorofila (participa en la fotosíntesis)

* **Oligoelementos** (menos del 0,1% del total de materia viva → *Cu Co Zn Li I F y Fe*)

Son imprescindibles para la vida de la célula y se encuentran en todos los seres vivos. Hay algunos oligoelementos esenciales que aparecen en todos los seres vivos (Fe, Cu, Zn o Co) y otros oligoelementos no esenciales presentes únicamente en ciertos seres vivos y no en otros (I, F, Li...). Suelen ser necesarios para el funcionamiento de algunas proteínas (grupos prostéticos) y, sin ellos, no se pueden dar ciertas reacciones químicas (muchos oligoelementos son cofactores de enzimas implicados en las reacciones metabólicas).

Fe	Forma parte de la hemoglobina, pigmento presente en los glóbulos rojos, que transporta el O ₂ en sangre
Cu	Necesario para formar hemocianina, pigmento respiratorio de invertebrados acuáticos
Co	Uno de los átomos presentes en la vitamina B ₁₂
Zn	Abundante en frutos secos. Está presente en el cerebro, páncreas y órganos sexuales
I	Necesario para formar las hormonas tiroideas, encargadas de regular el metabolismo
F	Se acumula en huesos en forma de F ⁻ y le aporta más resistencia. También previene caries dental
Li	Participa en la liberación de neurotransmisores, estabilizando el estado de ánimo

¡OJO! El Fe en algunos libros aparece como bioelemento secundario, pero normalmente se considera oligoelemento.

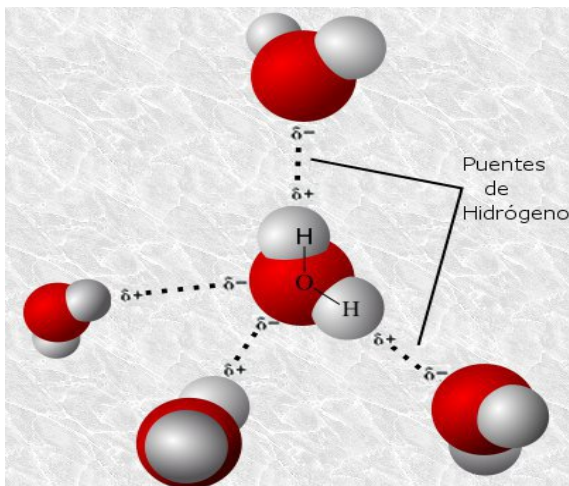
2. BIOMOLÉCULAS

- **SIMPLES** (con átomos del mismo elemento) --> O₂ y N₂ (inorgánicas).
- **COMPUESTAS** (con átomos diferentes) --> Pueden ser inorgánicas (como H₂O, CO₂, CaCO₃, NaCl, etc.) u orgánicas (si tienen C y H, como los glúcidos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos). Suele tratarse de **POLÍMEROS** muy grandes formados por la unión de varias unidades llamadas **MONÓMEROS**.

3. EL AGUA

Es la biomolécula más importante en todos los seres vivos. Podemos encontrar el H₂O en distintas formas: circulante (savia, sangre...), intersticial (entre células y tejidos) o intracelular (dentro de la célula). Su proporción varía entre el 50-95% del peso de los organismos, dependiendo de: la especie (medusas hasta el 99%), la edad del individuo (más jóvenes mayor proporción) o el tipo de tejido /órgano (el cerebro posee mucha mayor % de agua que los huesos). Es por esta razón que, aunque el C es la base de la vida, los bioelementos más abundantes en los seres vivos son mayoritariamente el H y O.

Estructura química y formación de enlaces de H

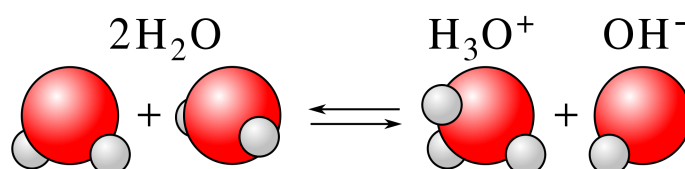


La molécula de H₂O está formada por 2 átomos de H y 1 de O, unidos mediante enlaces covalentes que forman un ángulo entre sí de 104,5°. El O es más electronegativo que el H, por lo que atrae hacia sí los electrones compartidos del enlace y, gracias a su geometría angular, se crea un **dipolo** con una región electronegativa cercana al O (δ^-) y otra zona electropositiva cerca de los H (δ^+). Por tanto, el H₂O es una molécula polar debido a su distribución desigual de los e⁻.

La existencia de estos dipolos en las moléculas de H₂O hace que las fuerzas de atracción establezcan entre ellas un tipo de uniones débiles llamadas **enlaces de hidrógeno** (también *puentes de H*). Gracias a los enlaces de H, el agua presenta unas características únicas e imprescindibles para los seres vivos.

* **Propiedades del H₂O** (Muchas de ellas se deben a la capacidad de formación de enlaces de H)

- **Líquida a T^a ambiente** (elevado punto de fusión y ebullición): Los enlaces de H mantienen una elevada fuerza de cohesión entre las moléculas de H₂O lo que permite que se mantenga líquida a T^a ambiente (a diferencia de otras moléculas similares como el NH₃ o CO₂ que son gases). Esta propiedad es fundamental en determinadas funciones del agua como por ejemplo la de servir de disolvente de moléculas hidrofílicas y de medio de transporte.
- **Alto poder disolvente:** gracias a la polaridad de la molécula de H₂O (elevada constante dieléctrica) es capaz de disolver compuestos iónicos como las sales minerales y moléculas polares como la glucosa. Las moléculas de H₂O, gracias a su distribución desigual de electrones, se disponen alrededor de los grupos polares del soluto, los átomos de O (δ⁻) se sitúan cerca de los cationes y los de H (δ⁺) cerca de los aniones, produciendo el fenómeno de solvatación. De hecho, se considera al H₂O como “el disolvente universal”.
- **Elevada cohesión interna y alta capacidad de adhesión:** Las moléculas de H₂O están fuertemente cohesionadas entre sí, gracias a la formación de enlaces de H. Estas fuerzas de cohesión oponen resistencia a romperse y le confieren al H₂O las siguientes características:
 - Es un **líquido incompresible** porque debido a la elevada fuerza de cohesión entre sus moléculas, es necesario altas presiones para comprimir el H₂O. Por ello, funciona como esqueleto hidrostático en vegetales, invertebrados, etc.
 - **Alta capilaridad** porque las fuerzas de cohesión con los enlaces de H y la elevada adhesión del H₂O a los conductos, causa que pueda ascender por conductos estrechos sin que participe otra fuerza (p.ej. la absorción en raíces).
 - **Alta tensión superficial:** La cohesión entre las moléculas de la superficie del agua opone una resistencia a romperse. De hecho, la superficie del agua se comporta como una membrana elástica tensa. Esto posibilita que muchos seres vivos, como los zapateros, floten sobre la superficie del agua.
- **Elevado calor específico:** Es el calor necesario para elevar 1°C la T^a de 1 gramo de sustancia. Para poder romper los enlaces de H, se necesita muchísimo calor. Esto permite que el agua se comporte como un regulador térmico de los cambios bruscos de T^a. Este efecto termorregulador ocurre en el citosol de las células y, también, en ambientes cercanos al mar, donde existen menos fluctuaciones de T^a y un clima más suave que en zonas de interior.
- **Alto calor de vaporización:** Al ser necesario romper los enlaces de H, se necesita mucha energía para que el H₂O pase a vapor. Cuando las moléculas de agua consiguen pasar a vapor roban esa energía del entorno, teniendo un poder refrigerante. Es lo que ocurre con el sudor, que al pasar a vapor actúa como refrigerante corporal.
- **Menor densidad del hielo que el agua líquida.** El agua cuando se congela aumenta su volumen, por lo que disminuye su densidad. De este modo, en los medios acuáticos solo se congela la parte superficial permitiendo la vida por debajo.
- **Bajo grado de ionización:** Solo 1 de cada 10 millones de moléculas de H₂O se encuentra ionizada, lo que hace que al añadir una pequeña cantidad de un ácido o de una base, el pH del agua varíe drásticamente.



*** Importancia biológica de las propiedades del H₂O y su relación con las funciones del H₂O**

PROPIEDAD	FUNCIONES RELACIONADAS / IMPORTANCIA BIOLÓGICA
Gran capacidad disolvente (elevada constante dieléctrica) y líquida a T ^a ambiente (altos puntos de fusión y ebullición)	<p>Función de transporte: como es líquida a temperatura ambiente y tiene gran capacidad disolvente, es el medio de transporte de sustancias entre el medio externo y el organismo y dentro del propio organismo, por ejemplo, el transporte a través de la sangre.</p> <p>Función disolvente: al ser líquida a temperatura ambiente y ser un dipolo, facilita la disociación de las sales (iónicas) y de otros compuestos polares (glúcidos, proteínas) por lo que es el medio en el que se realizan todas las reacciones biológicas (reacciones metabólicas).</p> <p>Función bioquímica: gracias a su gran reactividad química, interviene en muchas reacciones químicas como la <u>hidrólisis</u> (en las que el H₂O se disocia en los iones H₃O⁺ y OH⁻ que rompen enlaces moleculares de tipo covalente) o la <u>fotosíntesis</u> (utiliza el H₂O como fuente de átomos de H).</p>
Elevada cohesión interna y alta capacidad de adhesión	<p>Función estructural: La elevada cohesión entre moléculas hacen que sea un líquido incompresible, lo que hace que sea utilizada como esqueleto hidrostático por algunos seres vivos. Muchos organismos unicelulares y las células que no poseen una pared celular rígida mantienen su forma gracias a la presión que ejerce el agua (presión osmótica).</p> <p>Función de amortiguador mecánico: Evita golpes o rozaduras (líquido sinovial, líquido cefalorraquídeo, líquido amniótico).</p> <p>Capilaridad: permite el ascenso de la savia bruta por el xilema desde las raíces al resto de la planta, que es fundamental para la vida de las plantas terrestres.</p>
Elevado calor específico	<p>Función termorreguladora (tampón térmico): Debido a su alto calor específico, el H₂O puede absorber calor sin aumentar mucho su temperatura, por lo que es capaz de amortiguar los cambios de temperatura y regula la temperatura del planeta (mares y océanos) y mantener a los organismos (el citosol de las células) en unos límites de temperatura adecuados incluso con grandes variaciones en el medio.</p>
Elevado calor de vaporización	<p>Función refrigerante: Debido a su elevado calor de vaporización, el H₂O permite disminuir la temperatura corporal a través de la sudoración. Las gotas de sudor, para evaporarse en la superficie corporal, deben romper todos los enlaces de H, y para ello necesitan energía que roban del entorno, refrescando el cuerpo.</p>
Mayor densidad en estado líquido	<p>Supervivencia en masas de agua de climas muy fríos: Las grandes masas de H₂O se congelan en la superficie y, al ser el hielo menos denso, flota sobre el agua líquida. El hielo aísla las masas de agua por debajo de él, permitiendo que la vida siga desarrollándose en su interior.</p>

4. DISOLUCIONES Y DISPERSIONES ACUOSAS

Los compuestos iónicos y las moléculas orgánicas polares de pequeño tamaño suelen disolverse en agua formando **DISOLUCIONES**. Ej: Cuando se disuelve la sal de mesa (NaCl), los iones Na^+ y Cl^- se disocian y quedan rodeados de una capa de moléculas de H_2O (capa de solvatación). El etanol ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$) también es hidrosoluble porque sus moléculas forman puentes de hidrógeno con las moléculas de H_2O adyacentes.

Las macromoléculas como las proteínas o los polisacáridos, debido a su mayor tamaño, no forman disoluciones verdaderas. No obstante, sus grupos polares también establecen puentes de H con las moléculas de H_2O que se disponen en capas a su alrededor. Se trata de **DISPERSIONES COLOIDALES**, que suelen tener aspecto translúcido y en las que las partículas de soluto dispersas pueden separarse del disolvente por centrifugación.

Las dispersiones coloidales presentan una elevada viscosidad y pueden presentarse o bien en estado de **sol** (estado líquido) o en estado de **gel** (semisólido y gelatinoso). P.ej. el citosol posee numerosas macromoléculas dispersas normalmente en estado de sol. Pero en ocasiones puede pasar al estado de gel (gelificarse). Esta transición entre ambos estados es la responsable de la emisión de pseudópodos y de movimientos celulares como el de las amebas.

5. SALES MINERALES

En los seres vivos, las sales minerales se pueden encontrar de las siguientes formas:

- **Sales precipitadas:** Constituyen estructuras sólidas, insolubles y con **función esquelética** como el CaCO_3 de las conchas o unido al $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (fosfato cálcico) en los huesos.
- **Sales disueltas:** Gracias a la capacidad de solvatación iónica del agua y a su elevada constante dieléctrica, al disolverse en H_2O , las sales se disocian en iones. Por tanto, están en forma de cationes (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , etc.) o aniones (PO_4^{3-} , HCO_3^- , Cl^- , etc.). Sirven a la célula para mantener constante el medio interno (HOMEOSTASIS).
- **Asociadas a moléculas orgánicas:** como el Fe en el grupo *hemo* de la hemoglobina, el Cu en la hemocianina...

5.1. FUNCIONES DE LAS SALES MINERALES DISUELTAS EN LOS SERES VIVOS:

Además de las funciones fisiológicas y bioquímicas concretas de cada uno de los distintos aniones y cationes en la que las sales minerales se disocian en disolución (p.ej. el Ca^{2+} en la contracción muscular o el N^+ y K^+ en la transmisión del impulso nervioso), las principales funciones de las sales minerales disueltas son:

- **Mantener la homeostasis**, es decir, las sales disueltas mantienen un grado de salinidad constante en el organismo y, por tanto, intervienen en la **regulación de la presión osmótica y el volumen celular**.
- **Estabilizar las dispersiones coloidales**, es decir, aseguran la estabilidad de los coloides que se encuentran en las células, generalmente de macromoléculas como proteínas, polisacáridos o ácidos nucleicos.
- **Regular la actividad enzimática**, ya que determinados iones actúan como cofactores necesarios para el funcionamiento de enzimas que participan en las reacciones metabólicas. De hecho, la presencia de determinados iones (Zn^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} o Mg^{2+}) activa las reacciones bioquímicas (función catalítica) asociándose al sustrato o a la enzima. Un ejemplo es el rol imprescindible que tiene el Mg^{2+} para la RuBisCO, la enzima más abundante de la naturaleza, encargada de fijar CO_2 en la fase oscura de la fotosíntesis.
- **Generan potenciales eléctricos**, creando una diferencia de cargas a un lado y otro de la membrana. Esta diferencia de iones entre la parte externa de la membrana y la que está en contacto con el citosol, es el denominado **potencial de membrana**, de vital importancia en muchos procesos celulares relacionados.
- **Regulan el pH** ya que algunas sales **poseen capacidad amortiguadora o tampón** frente a los cambios de acidez o alcalinidad del medio.

A continuación, veremos con detalle dos de las anteriores funciones de las sales minerales disueltas: el efecto amortiguador de los cambios del pH y la regulación del equilibrio osmótico.

5.2. IMPORTANCIA DEL pH EN LOS SERES VIVOS

El H_2O puede ionizarse en H_3O^+ y OH^- . Por tanto, aunque la gran mayoría son moléculas de H_2O sin ionizar, también aparecen algunos iones OH^- e iones H_3O^+ que, por convenio, se simplifican como H^+ .

El pH está relacionado con la concentración de iones de H^+ presentes en la solución y es una medida de la acidez o alcalinidad de una disolución. Al ser el número de moléculas ionizadas tan pequeño, por comodidad, se utiliza la escala de pH, donde $\rightarrow pH = -\log [H^+]$. Debido a ese signo menos, si hay mucha $[H^+]$ el valor de pH será bajo (ÁCIDO) y si hay poca $[H^+]$, el valor de pH será alto (BÁSICO o ALCALINO).

La escala de pH siempre tiene valores entre **0 y 14**, siendo:

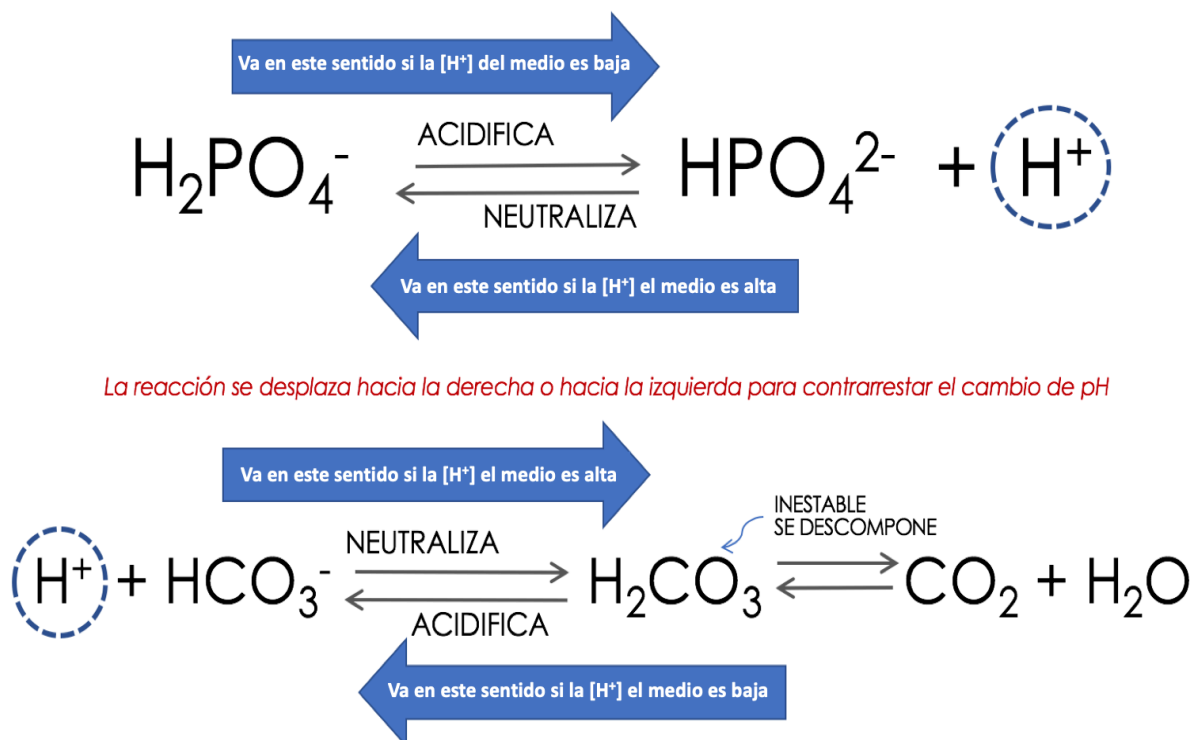
- **pH ácidos** son pH que oscilan del **1** (ácidos fuertes) al **6** (ácidos débiles).
- **pH neutros** son los valores cercanos a **7**.
- **pH básicos** son pH que oscilan del **8** (bases débiles) al **14** (bases fuertes).

¿Cómo afecta el pH a las células y las reacciones metabólicas?

- Si el pH variase, muchas reacciones químicas cambiarían el sentido de la reacción.
- Las proteínas pueden desnaturizarse y perder su función debido a cambios de pH. Cada enzima de nuestro cuerpo tiene un pH óptimo, en el cual desarrolla su máxima actividad. Si el pH varía, los enzimas pueden reducir su velocidad, modificar su estructura tridimensional o dejar de funcionar (p.ej. si se desnaturaliza y precipita).
- El organismo mantiene una concentración de electrolitos determinada, si varía el pH se puede desencadenar una acidosis o alcalosis metabólica con graves consecuencias sobre la salud.

El organismo intenta evitar estos cambios y mantener una condición interna estable a través de los mecanismos de **HOMEOSTASIS**, entre los que destacan la regulación del CO_2 , la reabsorción y excreción renal y las disoluciones amortiguadoras o tampón.

Las **DISOLUCIONES AMORTIGUADORAS O TAMPÓN** están formadas por un **ácido débil y su base conjugada**, o una **base débil y su ácido conjugado**. Estas disoluciones tienen la capacidad de minimizar el cambio de pH cuando se añaden al medio pequeñas cantidades de ácidos o bases. ¿Cómo lo hacen? Pueden ionizarse en menor o mayor grado para contrarrestar el cambio, p.ej. liberando más H^+ si el pH sube por la adición de una base o viceversa. Los ejemplos más característicos son el **tampón fosfato** y el **tampón bicarbonato**. *¡Hay que saberse las dos reacciones!*



El tampón bicarbonato se encarga de amortiguar los cambios de pH en el líquido extracelular y, especialmente, en la sangre. Si la sangre se vuelve demasiado ácida, significa que hay exceso de H^+ , con lo cual el bicarbonato HCO_3^- capta ese exceso de H^+ transformándose en H_2CO_3 y luego en CO_2 y H_2O . Si la sangre tiene un pH demasiado básico, es que la concentración de H^+ es baja, así que ocurre lo contrario, el H_2CO_3 libera un H^+ transformándose en HCO_3^- .

El tampón fosfato es importante para mantener un pH sin variaciones bruscas en el citosol. Capta H^+ si el pH intracelular es muy ácido transformándose en $H_2PO_4^-$ y, en el caso contrario, libera ese H^+ si el pH se alcaliniza, quedándose como HPO_4^{2-} .

5.3. ÓSMOSIS Y DIFUSIÓN

DIFUSIÓN: reparto homogéneo de las partículas de un fluido (sea un gas o un líquido) cuando se introducen en un medio en el que inicialmente no estaban. Ej: un ambientador difunde por toda la habitación.

ÓSMOSIS: capacidad de paso de un **disolvente** a través de una **membrana semipermeable** entre dos disoluciones de diferente concentración, desde la menos concentrada a la más concentrada, hasta igualar concentraciones.

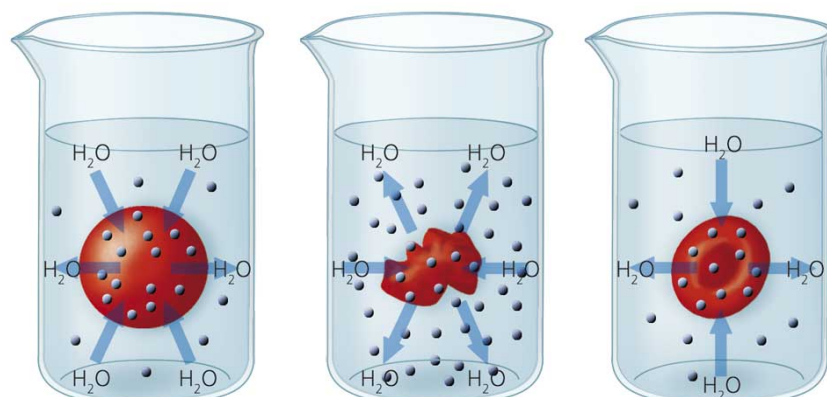
La ósmosis es un tipo de difusión pasiva (pasiva porque no requiere gasto de energía) pero en la que son las moléculas de H_2O las que se mueven de un lado a otro de la membrana. El término difusión se emplea para cualquier soluto.

* **Presión osmótica:** Presión o resistencia que sería necesaria para detener el flujo de agua a través de la membrana semipermeable.

La membrana plasmática de las células se comporta como una membrana semipermeable, por lo que las células vivas sufren ósmosis, dependiendo del medio en el que se encuentren:

- **MEDIO ISOTÓNICO** (concentración externa = interna) --> Cuando la concentración de solutos del medio extracelular es igual a la concentración intracelular, no ocurre nada ya que el agua entra y sale de la célula en la misma proporción. Hay un equilibrio entre la salida y entrada de agua a ambos lados de la membrana.
- **MEDIO HIPOTÓNICO** (concentración externa < interna) --> cuando el líquido extracelular está más diluido que el interior celular, el H_2O tiende a pasar al citoplasma a favor de gradiente hasta que se igualan las concentraciones, la célula se hincha (**turgencia**) y en algunos casos incluso llega a romperse (**lisis celular**).
- **MEDIO HIPERTÓNICO** (concentración externa > interna) --> cuando el líquido extracelular está más concentrado en solutos que el interior celular, el H_2O intracelular tiende a salir a favor de gradiente hasta igualar las concentraciones externa e interna, la célula pierde agua, se deshidrata y se encoge hasta morir (**plasmólisis**).

Por tanto, el agua pasará de los medios hipotónicos a los hipertónicos, ejerciendo una presión sobre la membrana que es la que conocemos como presión osmótica.



En los glóbulos rojos, el fenómeno de ósmosis es muy importante a la hora de inyectar soluciones en sangre (debe ser suero fisiológico isotónico con el interior de los hematíes) ya que la membrana plasmática de los eritrocitos actúa como una membrana semipermeable. Puesto que inyectar fármacos en agua podría llevar a la hemólisis (el medio hipotónico hace que las células se llenen de agua, se pongan turgentes e incluso se rompan en pocos minutos). El fenómeno contrario, la plasmólisis, en el caso concreto de los glóbulos rojos se denomina **crenación**.

En las células vegetales, así como en las algas, la presencia de una pared celular rígida impide que las células lleguen a romperse en medios hipotónicos aunque sí se observa la turgencia (aumenta muy poco su volumen total por la barrera que presenta la pared). En el caso de medios hipertónicos, aunque la pared celular sigue en su sitio y aparentemente no parece que haya sucedido gran cosa, sí que se da la plasmólisis.

** En algunos libros, podéis encontrar los términos isosmótico, hiposmótico o hiperosmótico con el mismo significado.*

***DIÁLISIS:** La diálisis es un proceso relacionado con la ósmosis. Pero, en este caso, además del H₂O, la membrana semipermeable de diálisis también permite el paso de moléculas (solutos) de baja masa molecular por difusión desde la disolución en la que la molécula está más concentrada hacia donde está más diluida. Un ejemplo conocido de esta técnica es la hemodiálisis, en la que “se filtra” la sangre de enfermos del riñón haciéndola pasar por un circuito de diálisis en máquinas que generalmente reciben el nombre de “riñón artificial”. En el proceso, las moléculas más pequeñas presentes en la sangre del paciente (desechos como la urea) atraviesan la membrana de diálisis, por lo que se separan y se eliminan. Sin embargo, otras partículas de mayor tamaño, como las células sanguíneas, no son capaces de atravesar la membrana y no se eliminan.

6. TÉCNICAS DE SEPARACIÓN DE BIOMOLÉCULAS

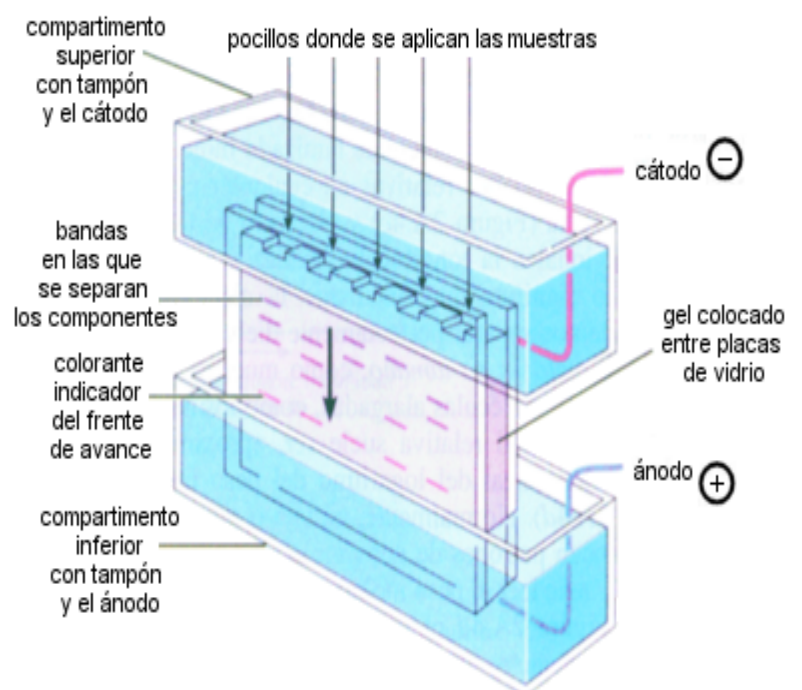
Además de la diálisis, existen otras técnicas de separación de biomoléculas muy utilizadas en biología:

***CENTRIFUGACIÓN:** técnica utilizada para sedimentar de forma rápida orgánulos celulares o incluso células enteras gracias al uso de fuerza centrífuga. Para ello se usan aparatos llamados centrifugas o ultracentrifugas con rotores que al girar facilitan la sedimentación y posterior separación de los componentes de la muestra.

***CROMATOGRAFÍA:** Método físico de separación de mezclas que consiste en hacer pasar una fase móvil por una fase estacionaria que separa los componentes en base a su afinidad por cada fase. El ejemplo más típico es separar los pigmentos en una cromatografía en papel (por ejemplo las clorofilas de las hojas de las plantas).

***ELECTROFORESIS:** Utilizando un gel en el que se introducen las muestras y al que se somete a un campo eléctrico, se separan biomoléculas como ADN (con carga -) o proteínas (tratadas con detergente para que tengan carga -) en distintas bandas de distintos tamaños, que se comparan con un patrón de tamaños conocidos. Las moléculas más pequeñas atraviesan más rápidamente el gel desde el electrodo negativo hacia el positivo.

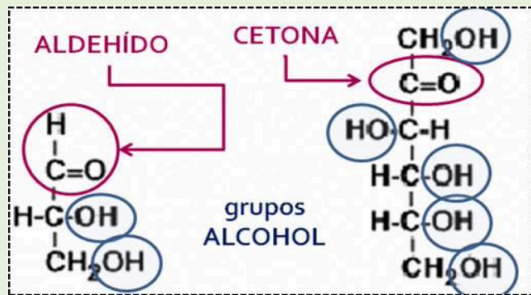
***ESPECTROFOTOMETRÍA:** Distintos métodos basados en la cantidad de luz que absorbe o emite una sustancia a una determinada longitud de onda. Puede servir para hallar concentraciones de sustancias comparando con patrones. Para ello se utiliza un aparato denominado espectrofotómetro.



TEMA 2: LOS GLÚCIDOS

¿Qué entendemos por GLÚCIDO?

Son biomoléculas formadas por C, H y O en la proporción $(CH_2O)_n$. También se les denomina azúcares porque los más sencillos son dulces, o hidratos de C.



En todos los glúcidos siempre aparece:

- una serie de átomos de C unidos a radicales -H y a grupos alcohol o hidroxilo (-OH), por ello se dice que son polialcoholes
- un grupo carbonilo (C=O) que puede ser o bien un aldehído (-CHO) formando un polihidroaldehído o bien una cetona (-C=O) formando una polihidroxiacetona.

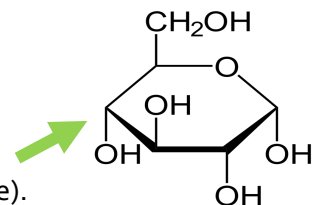
* CLASIFICACIÓN DE LOS GLÚCIDOS:

-OSAS monosacáridos	ALDOSAS (el carbonilo es un aldehído)			<i>Gliceraldehído, Ribosa, Glucosa</i>
	CETOSAS (el carbonilo es una cetona)			<i>Dihidroxiacetona, Ribulosa, Fructosa</i>
-ÓSIDOS monosacáridos unidos entre sí por enlaces O-glucosídicos	HOLÓSIDOS (solo glúcidos)	OLIGOSACÁRIDOS (2-10 monosacáridos)	DISACÁRIDOS (2 monosacáridos)	<i>Maltosa, Sacarosa Lactosa, Celobiosa</i>
		POLISACÁRIDOS (+ de 10 monosacáridos)	HOMOPOLISACÁRIDOS (mismo monosacárido)	<i>Almidón, Celulosa, Glucógeno, Quitina</i>
	HETEROPOLISACÁRIDOS (distintos monosacáridos)		<i>Pectina, Hemicelulosa, Agar-agar</i>	
	HETERÓSIDOS (combinados con otras biomoléculas)	GLUCOLÍPIDOS (glúcido + lípido)		<i>Cerebrósidos, Gangliósidos</i>
		GLUCOPROTEÍNAS, PROTEOGLUCANOS, PEPTIDOGLUCANOS (glúcido + proteína)		<i>Glucoproteínas de membrana (glucocálix)</i>

1. MONOSACÁRIDOS (osas):

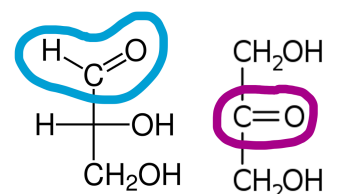
Son los glúcidos más simples, constituidos por una sola cadena de 3 a 9 carbonos, y se caracterizan por:

- ser sólidos cristalinos de color blanco.
- tener sabor dulce.
- ser solubles en H_2O gracias a la polaridad que le otorgan los grupos -OH.
- ser reductores debido a la presencia de un grupo carbonilo.
- adoptar estructura cíclica en solución acuosa (solamente si el ciclo es estable).



Se nombran de forma genérica según el grupo funcional y el número de carbonos que tengan en su cadena:

ALDOSA (aldehído)	TRIOSA (3 C)	→ aldotriosa / cetotriosa
	TETROSA (4 C)	→ aldotetrosa / cetotetrosa
	PENTOSA (5 C)	→ aldopentosa / cetopentosa
CETOSA (cetona)	HEXOSA (6 C)	→ aldohexosa / cetohehexosa

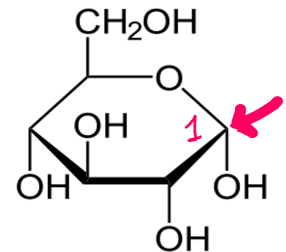


Oxidarse es perder e⁻
Reducirse es ganar e⁻

Todos los monosacáridos pueden oxidarse ya que poseen un grupo carbonilo (aldehído o cetona), que puede desprender sus electrones (e⁻). Por eso, se dice que tienen poder reductor, ya que los e⁻ que pierden, los ganan otras sustancias reduciéndose.

Esta capacidad se utiliza en el laboratorio para identificar su presencia utilizando la reacción de Fehling. Todos los monosacáridos y la mayoría de disacáridos (excepto la sacarosa) son capaces de reducir el reactivo de Fehling, haciendo que los iones Cu²⁺ de una disolución azul de CuSO₄ ganen un e⁻, reduciéndose a Cu⁺ y formando Cu₂O, un precipitado de color rojizo. En cambio, los polisacáridos dan negativo en la reacción de Fehling, pues no son reductores y el líquido permanece azul.

En la forma cíclica, el C=O desaparece como tal y pasa a llamarse C anomérico. No obstante, mantiene su poder reductor siempre que el C anomérico esté libre, como ocurre siempre en los monosacáridos. En el caso de un disacárido, será reductor siempre que alguno de los dos C anoméricos de los dos monosacáridos que se unen no forme parte del enlace y quede libre.

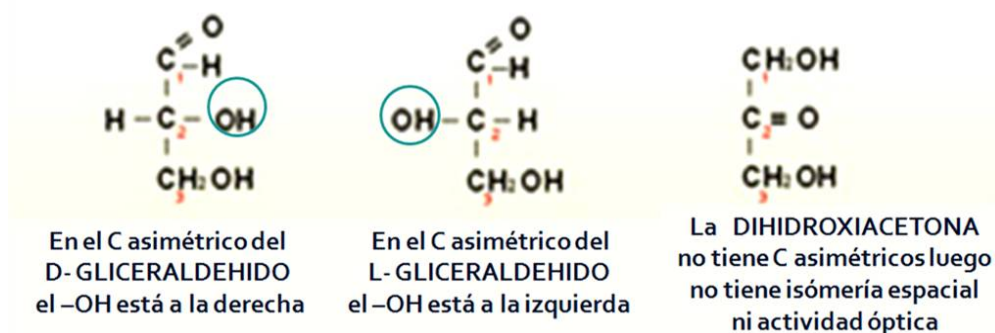


*** ISOMERÍA Y ACTIVIDAD ÓPTICA** → siempre que haya C asimétricos (=con los 4 radicales distintos).

Los estereoisómeros o isómeros espaciales tienen la misma fórmula molecular y justo la misma secuencia de átomos enlazados entre sí (y los mismos grupos funcionales), pero no son superponibles por tener distinta disposición de los átomos en el espacio. Para que una molécula presente estereoisómeros y, por ello, actividad óptica, debe tener un C asimétrico o C quiral, es decir, unido a cuatro radicales diferentes (en cada uno de los 4 enlaces del C se tiene que mirar todo el resto de molécula a lo que está unido, no solo si es otro C, un O o un H). De hecho, el nº de estereoisómeros que presenta un monosacárido depende del nº de carbonos asimétricos. Una molécula con n C asimétricos puede tener 2ⁿ estereoisómeros.

Existen varios tipos de estereoisómeros o isómeros espaciales en los monosacáridos: los enantiómeros, los diastereoisómeros (y dentro de ellos los epímeros) y, en las estructuras cíclicas, los anómeros.

Cuando un isómero espacial o estereoisómero es la imagen especular del otro (como si se mirara en un espejo) ambos se denominan **ESTRUCTURAS ENANTIÓMORFAS o ENANTIÓMEROS**. Hay dos tipos de enantiómeros, la serie D- y la serie L-. Para determinar si un enantiómero es D o es L hay que fijarse en la posición del grupo -OH (a la derecha: D y a la izquierda: L) del C asimétrico más alejado del grupo funcional (que en la proyección lineal o proyección de Fischer debe estar siempre arriba). En las aldotriosas no hay problema porque sólo hay un C asimétrico (2¹: 2 estereoisómeros).



*;Recuerda El L-gliceraldehído y el D-gliceraldehído son enantiómeros. Si el monosacárido tuviera más C asimétricos, para ser enantiómeros, tendrían que tener los -OH de todos los C asimétricos en posición opuesta.

Los estereoisómeros que no son superponibles pero tampoco son la imagen especular uno del otro se denominan **DIASTEREOISÓMEROS**. Un tipo especial de diastereoisómeros son los **epímeros**, que son moléculas casi iguales que solo **se diferencian en la posición de los sustituyentes de uno de los C asimétricos** y los otros son completamente iguales.

Los monosacáridos que poseen C asimétricos o quirales, además de presentar isomería espacial o estereoisomería, presentan actividad óptica, es decir son capaces de desviar la luz polarizada:

- DEXTRÓGIROS (+): desvían la luz polarizada a la derecha.
- LEVÓGIROS (-): desvían la luz polarizada a la izquierda.

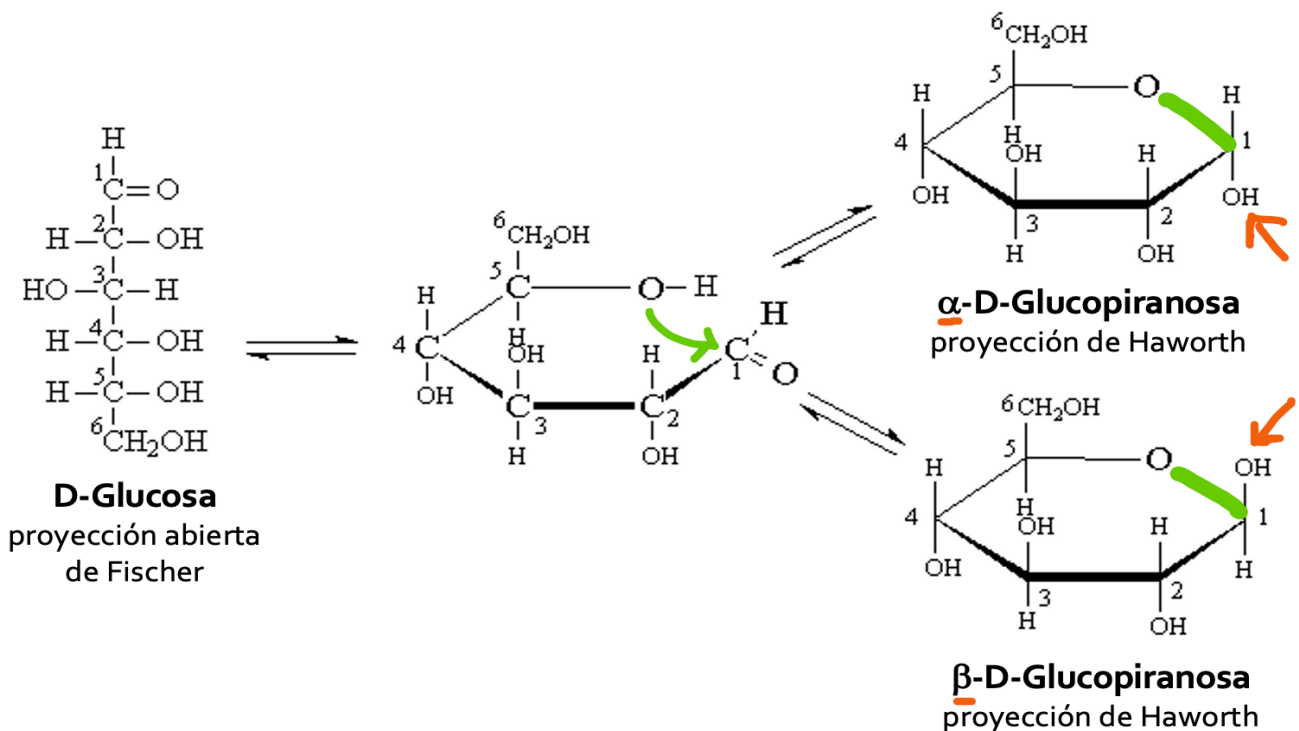
¡OJO! Ser dextrógiro o levógiro NO TIENE NADA QUE VER con ser un enantiómero D- /L-. A diferencia de lo que ocurre con las formas enantiomorfas D-/L-, es imposible saber si un monosacárido es dextrógiro (+) o levógiro (-) solo mirando la fórmula → Necesitas utilizar un polarímetro (un aparato especial que envía luz polarizada a una solución del azúcar) y observar si se desvía la luz o no, y si lo hace, si es hacia la derecha (+) o hacia la izquierda (-).

1.1 Ciclación de las pentosas y de las hexosas: ENLACE HEMIACETAL/ HEMICETAL

Las triosas y tetrasas siempre presentan estructuras abiertas, pero a partir de 5 átomos de C las osas suelen formar estructuras cíclicas al disolverse.

Se llama C anomérico al C que, en la estructura abierta formaba parte del $-C=O$ (C1 en aldosas y C2 en cetosas) y que al formarse el ciclo, queda unido a través de un O al penúltimo C de la cadena.

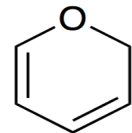
En la ciclación, reacciona el -OH del penúltimo carbono de la cadena atacando al C del grupo carbonilo y se quedan ambos unidos mediante el enlace hemiacetal (si es una aldosa) o hemicetal (si es una cetosa). Ese C ya no puede mantener el doble enlace con el O del carbonilo así que pasa a ser un enlace simple, y el O del carbonilo se convierte en -OH al ganar un H^+ del medio.



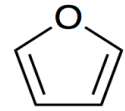
Tras la ciclación, el C1 anomérico (que antes no era asimétrico porque era un aldehído o una cetona) se transforma en asimétrico y, por tanto, se generará una mezcla de dos estereoisómeros dependiendo de si el grupo -OH queda en el mismo plano o no que el $-CH_2OH$ de la posición 6 que queda fuera del ciclo. Estos estereoisómeros se denominan **anómeros** y pueden ser:

- Si el -OH queda en distinto plano que el $-CH_2OH$, es decir, si el monosacárido está en la proyección de Haworth y el -OH queda hacia abajo, entonces es el anómero α .
- Si el -OH queda en el mismo plano que el $-CH_2OH$, es decir, si el monosacárido está en la proyección de Haworth y el -OH queda hacia arriba, entonces es el anómero β .

Además, los monosacáridos cambian de nomenclatura tras la ciclación tomando el nombre de los anillos de pirano y furano, según sean un hexágono o un pentágono respectivamente.



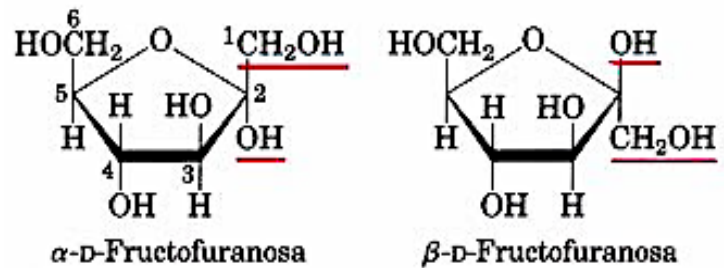
PIRANO



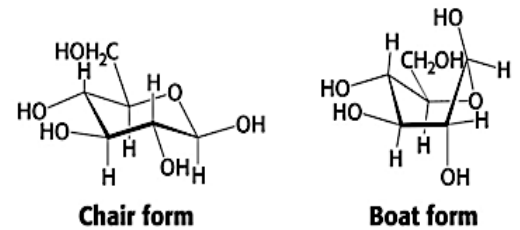
FURANO

- Las CETOPENTOSAS, como las TETROSAS y TRIOSAS, no se ciclan porque no son estables.
- Las ALDOPENTOSAS suelen ciclarse en pentágonos: FURANOSAS. Ej: ribosa → ribofuranosa.
- Las HEXOSAS serán furanosas o piranosas dependiendo de si poseen un aldehído o cetona:
 - ALDOHEXOSA (Ej: glucosa) → enlace hemiacetal → PIRANOSA (Ej: glucopiranosas).
 - CETOHEXOSA (Ej: fructosa) → enlace hemiacetal → FURANOSA (Ej: fructofuranosa).

***CICLACIÓN DE LA FRUCTOSA:** La fructosa puede tener dos formas cíclicas. En la ciclación, reacciona el alcohol del C₅ con el grupo cetona del C₂ (formando un enlace hemiacetal). La reacción puede producir dos estereoisómeros: los anómeros α y β, según si el grupo -OH del C₂ está en distinto plano que el grupo -CH₂OH de la posición 6 que queda fuera del ciclo (α-D-fructofuranosa) o en el mismo plano que el C₆ (β-D-fructofuranosa).

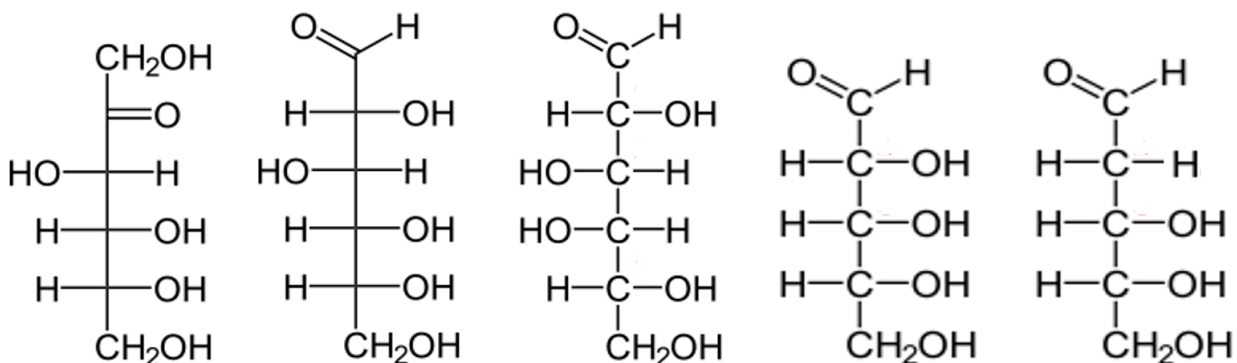


*¡OJO! En el espacio, las estructuras cíclicas de la glucosa no son planas sino que suelen adoptar dos conformaciones en el espacio: conformación "en silla" (la más estable) y "en nave".



1.2. Los monosacáridos más representativos (HAY QUE SABER RECONOCER LAS FÓRMULAS)

Proyección de Fischer (ESTRUCTURA ABIERTA)



D-Fructosa D-Glucosa D-Galactosa D-Ribosa D-Desoxirribosa

La D-fructosa y D-glucosa son iguales pero una es aldosa y otra cetosa. Tienen todos los -OH a la derecha menos el C₃

La D-galactosa es la "mano heavy". Es como la glucosa, solo cambia el -OH del C₄

La D-ribosa y D-desoxirribosa son aldopentosas. La D-ribosa tiene todos los -OH a la derecha. La D-desoxirribosa no tiene el -OH en 2 (des-oxi): tiene -H

* Tal y como se aprecia en las figuras, todos los monosacáridos (y, por tanto, todos los glúcidos en general) que forman parte de los seres vivos y tienen importancia en su metabolismo son siempre los enantiómeros D-

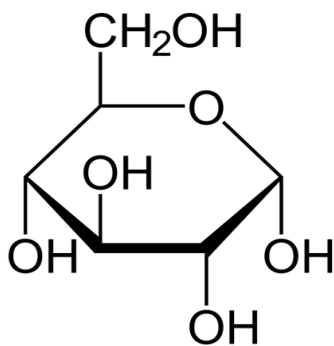
* **D-GLUCOSA:** Es una aldohexosa que en disolución acuosa se encuentra como glucopiranososa. Es tan pequeña que puede atravesar las membranas celulares y aporta la mayor parte de la energía que necesitan las células. Su concentración en sangre es la glucemia, especialmente importante en diabéticos. Forma polisacáridos estructurales (celulosa) y de reserva energética (almidón y glucógeno).

* **D-FRUCTOSA:** Es una cetohexosa que en disolución acuosa se encuentra como fructofuranosa. Se encuentra libre en las frutas y unida a la glucosa en el disacárido sacarosa. En el hígado se transforma en glucosa, por ello los diabéticos pueden utilizarla como sustitutivo.

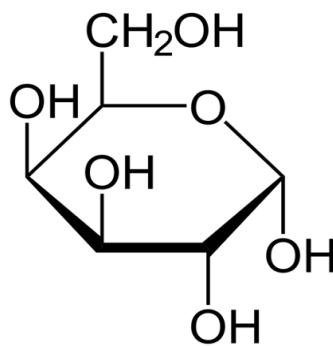
* OTRA ALDOHEXOSA es la **D-GALACTOSA** que con la glucosa forma el disacárido lactosa de la leche.

* En cuanto a las PENTOSAS, destaca la cetopentosa RIBULOSA (importante en la fase oscura de la fotosíntesis ya que es el sustrato de la enzima RuBisCO) y, por supuesto, las aldopentosas **D-RIBOSA** y la **D-DESOXIRRIBOSA** que forman parte del ARN y ADN respectivamente.

Proyección de Haworth (ESTRUCTURA CÍCLICA)

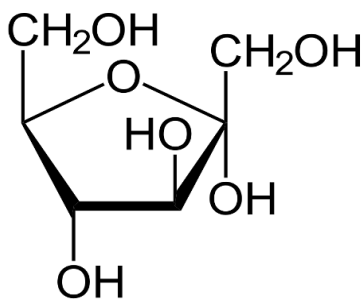


α -D-Glucopiranososa

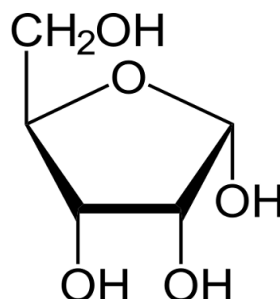


α -D-Galactopiranososa

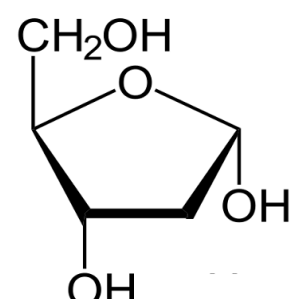
Para diferenciar las estructuras cíclicas de la D-glucopiranososa de la D-galactopiranososa, recordad que en la D-glucopiranososa el -OH del C4 va hacia abajo. En cambio, en la D-galactopiranososa va hacia arriba



α -D-Fructofuranosa



α -D-Ribofuranosa



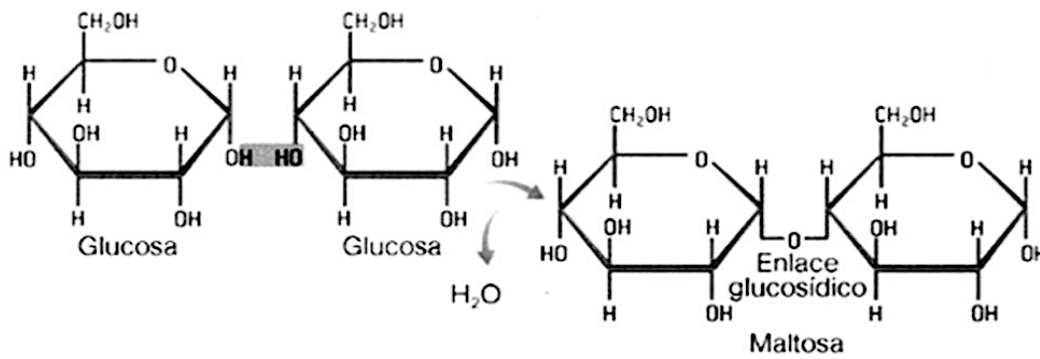
α -D-Desoxirribofuranosa

Para diferenciar la D-fructofuranosa de la D-ribofuranosa y la D-desoxirribofuranosa, hay que fijarse en que la D-fructofuranosa tiene un grupo -CH₂OH en el C anomérico (que al ser una cetosa no es el C1 como en las aldosas sino es el C2). Recordad también que la D-desoxirribofuranosa no tiene el -OH en el C2 como la D-ribofuranosa.

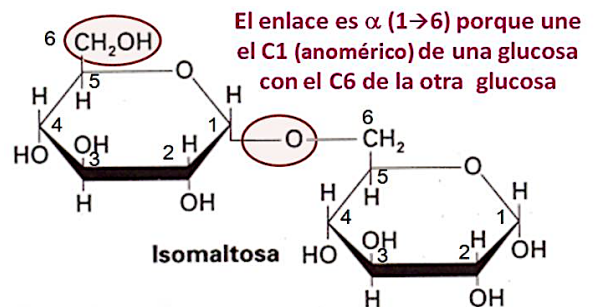
2. EL ENLACE O-GLUCOSÍDICO

Es un enlace covalente en el que el grupo -OH del C anomérico (C₁) de un monosacárido reacciona con un -OH. Quedan unidos mediante un O y se libera una molécula de H₂O.

El enlace O-glucosídico se denomina α -glucosídico cuando el 1º monosacárido es el anómero α y se llama β -glucosídico cuando es el anómero β . El 2º monosacárido no importa. En el ejemplo anterior, la maltosa, el enlace es $\alpha(1 \rightarrow 4)$. Entre paréntesis aparece el nº de los dos C que intervienen en el enlace.



Los enlaces más comunes en los glúcidos importantes en los seres vivos son los enlaces O- glucosídicos $\alpha(1-4)$ y $\alpha(1-6)$ en el caso de los glúcidos de reserva energética. Los enlaces $\alpha(1-4)$ forman cadenas y los enlaces $\alpha(1-6)$ permiten que haya ramificaciones. También abundan los enlaces O- glucosídicos $\beta(1-4)$, que debido a su mayor resistencia, son comunes en glúcidos estructurales.

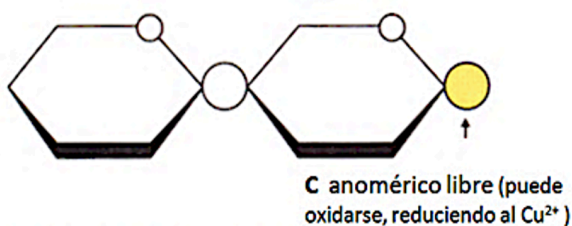


*¡OJO! En todos los enlaces anteriores, solamente interviene el $-\text{OH}$ del C anomérico (también llamado C carbonílico) del 1º monosacárido. Por esta razón, se les denomina **enlaces monocarbonílicos**.

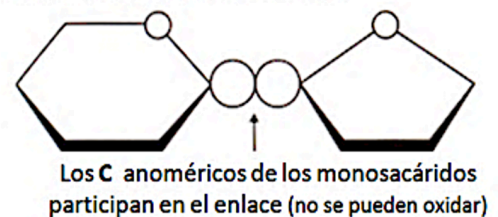
No obstante, existen casos en los que los grupos $-\text{OH}$ que reaccionan son los de ambos C anoméricos. Por tanto, como en el enlace están implicados tanto el C carbonílico del 1º monosacárido como el C carbonílico del 2º monosacárido, se dice entonces que son **enlaces dicarbonílicos**.

Cuando se produce un enlace dicarbonílico no queda ningún C anomérico libre y, como consecuencia, ese disacárido no será capaz de reducir el reactivo de Fehling, dando negativo en esa reacción. Es el caso de la sacarosa que presenta un enlace O- glucosídico $\alpha(1-2)$ en el que reacciona el C1 de la glucopiranososa (es el C anomérico) y el C2 de la fructofuranosa, que al ser una cetosa es también su C anomérico. Por tanto, la sacarosa es el único disacárido de los que estudiaremos que no es reductor.

DISACÁRIDO REDUCTOR

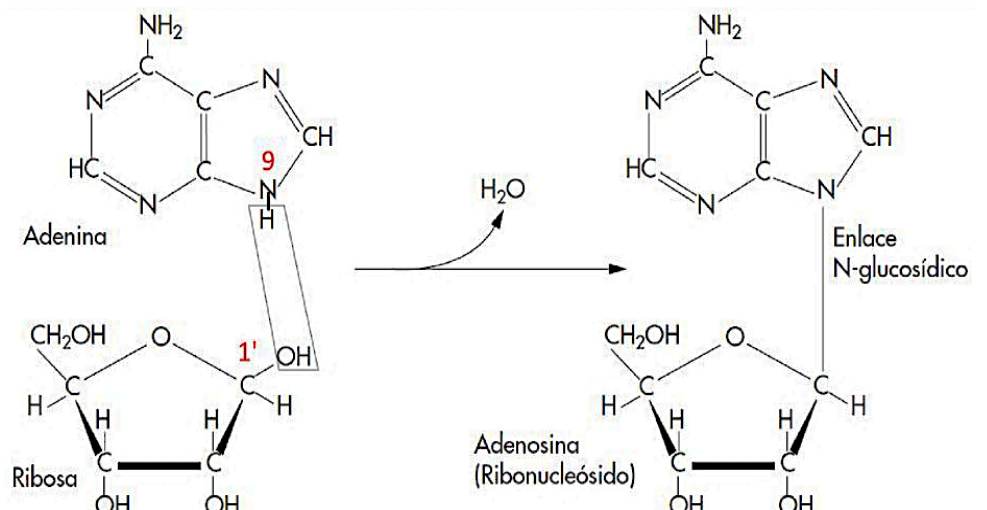


DISACÁRIDO NO REDUCTOR



* ENLACE N-GLUCOSÍDICO

Cuando el grupo alcohol ($-\text{OH}$) de un monosacárido reacciona con una amina, y ambos carbonos quedan unidos por un N. Aparece en los nucleótidos del ARN y ADN pues es el enlace que une la base nitrogenada a la pentosa (sea la ribosa o la desoxirribosa). También está en la QUITINA (en la N-acetilglucosamina).



2.1. Los disacáridos más representativos, tipo de enlace y su función

* **MALTOSA:** Son 2 moléculas de glucosa (glucopiranosas en realidad) unidas por enlace O-glucosídico $\alpha(1\rightarrow4)$. Se obtiene por hidrólisis del almidón. En la naturaleza se encuentra sobre todo en la cebada. La cebada se utiliza principalmente para elaborar cerveza y malta.

* **LACTOSA:** Una galactosa (galactopiranosas) unida a una glucosa (glucopiranosas) por enlace O-glucosídico $\beta(1\rightarrow4)$. Se encuentra en la leche de mamíferos. Durante la digestión se hidroliza en galactosa y glucosa gracias a una enzima denominada **lactasa**. El déficit de esta enzima produce la "intolerancia a la lactosa". Todos los recién nacidos expresan la lactasa para poder hidrolizar la lactosa de la leche materna, pero pueden perder la capacidad de producir lactasa si no continúan tomando leche en su dieta.

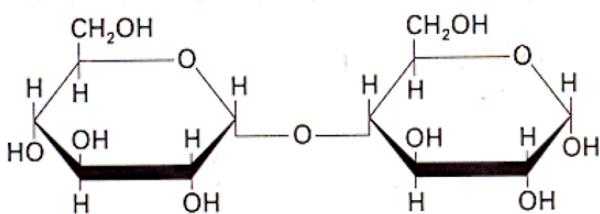
* **SACAROSA:** Una glucosa (glucopiranosas) unida a una fructosa (fructofuranosa) por enlace O-glucosídico $\alpha(1\rightarrow2)$. Se encuentra en la caña de azúcar y en la remolacha. En el enlace $\alpha(1\rightarrow2)$ no queda ningún C anomérico libre (enlace dicarbonílico) por lo que la sacarosa es un disacárido sin carácter reductor.

Otros disacáridos importantes, aunque no tanto como los anteriores, son los siguientes:

* **ISOMALTOSA:** Son 2 moléculas de glucosa (glucopiranosas en realidad) unidas por enlace $\alpha(1\rightarrow6)$.

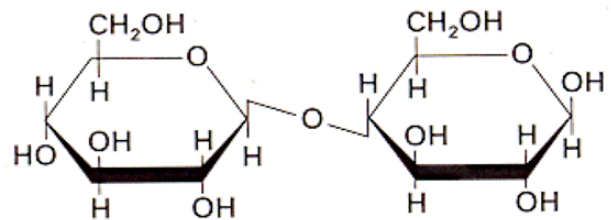
* **CELOBIOSA:** Son 2 glucopiranosas unidas por enlace $\beta(1\rightarrow4)$. Se obtiene por hidrólisis de la celulosa

¡El enlace O-glucosídico también puede romperse! Existen enzimas hidrolasas que rompen de forma específica los disacáridos o polisacáridos liberando sus monosacáridos → es la llamada **HIDRÓLISIS**. (Ej: la **lactasa** hidroliza la lactosa, la **celulasa** hidroliza la celulosa o la **amilasa** que hidroliza el almidón).



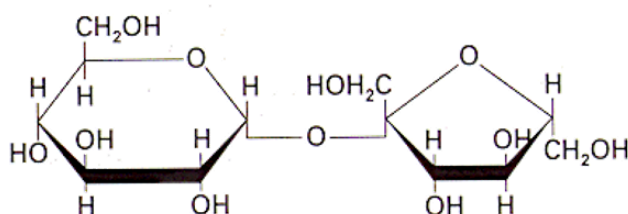
maltosa $\alpha(1-4)$

α -D-glucopiranosil (1-4) α -D-glucopiranosas



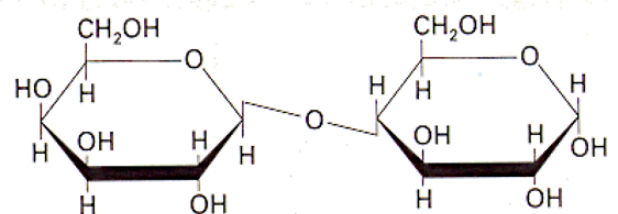
celobiosa $\beta(1-4)$

β -D-glucopiranosil (1-4) β -D-glucopiranosas



sacarosa $\alpha(1-2)$

α -D-glucopiranosil (1-2) β -D-fructofuranosa



lactosa $\beta(1-4)$

β -D-galactopiranosil (1-4) α -D-glucopiranosas

2.2. Resto de oligosacáridos

Los oligosacáridos son la unión de 2 hasta 10 monosacáridos a través de enlaces O-glucosídicos. Por tanto, dentro de los oligosacáridos se incluirían tanto los disacáridos anteriores como los trisacáridos, tetrasacáridos, etc.

3. POLISACÁRIDOS

Los polisacáridos son glúcidos complejos formados por más de 10 monosacáridos (incluso 1000) o derivados de ellos, unidos entre sí mediante enlaces O-glucosídicos. Se caracterizan por ser macromoléculas de peso molecular elevado, y eso hace que no sean solubles en H₂O (la celulosa es completamente insoluble pero otros polisacáridos como el almidón sí que forman dispersiones coloidales). No son dulces ni cristalizan y carecen de poder reductor (pues poseen un C anomérico al final de cada cadena pero al ser moléculas muy grandes, el poder reductor de estos pocos C anoméricos es despreciable).

En los polisacáridos, la presencia de enlaces α o β determina su función (de reserva de glucosas para obtener energía o polisacárido con función estructural):

- ♦ Los **enlaces α** son fácilmente hidrolizables y los polisacáridos con enlaces α suelen ser de reserva, porque pueden almacenar y luego liberar monosacáridos cuando sea necesario.
- ♦ En cambio, las enzimas que hidrolizan los enlaces β no son frecuentes y los polisacáridos con **enlaces β** suelen ser resistentes a la hidrólisis: función estructural.

Se distinguen dos clases de polisacáridos: los **homopolisacáridos** constituidos por un único tipo de monosacáridos y los **heteropolisacáridos**, formados por más de un tipo de monosacárido.

3.1. Homopolisacáridos importantes (excepto en la quitina siempre formados por glucosas)

- **POLISACÁRIDOS DE RESERVA ENERGÉTICA:** con enlaces $\alpha(1-4)$ y a veces ramificaciones $\alpha(1-6)$
Entre los homopolisacáridos que almacenan glucosas como reserva energética destacan el almidón en células vegetales y el glucógeno en células animales y hongos.

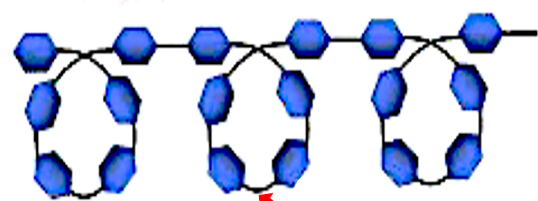
▪ ALMIDÓN:

Es un homopolisacárido de reserva presente en **células vegetales** concentrado en gránulos de almidón o en el interior de amiloplastos. Es abundante en semillas, cereales y tubérculos (patatas).

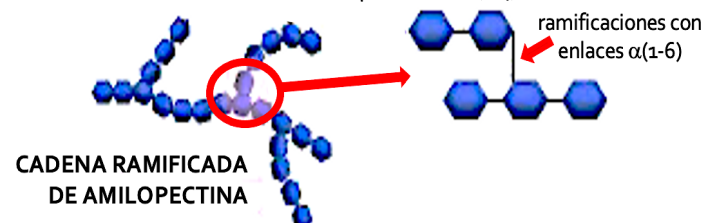
El almidón está formado por una mezcla de dos polímeros o moléculas:

- **Amilosa:** Muchas **glucopiranosas** que se unen con enlaces $\alpha(1-4)$. Estas maltosas (pareja de glucosas) forman **cadena sin ramificar** que se disponen **enrolladas helicoidalmente**.
- **Amilopectina:** Está formada por **cadena lineales** de **glucopiranosas** unidas mediante enlace $\alpha(1-4)$ que se disponen **helicoidalmente**. De estas cadenas salen ramificaciones también de cadenas de **glucopiranosas** unidas entre ellas por enlaces $\alpha(1-4)$. Las **ramificaciones** se unen a la cadena principal mediante enlaces $\alpha(1-6)$.

CADENA LINEAL DE AMILOSA



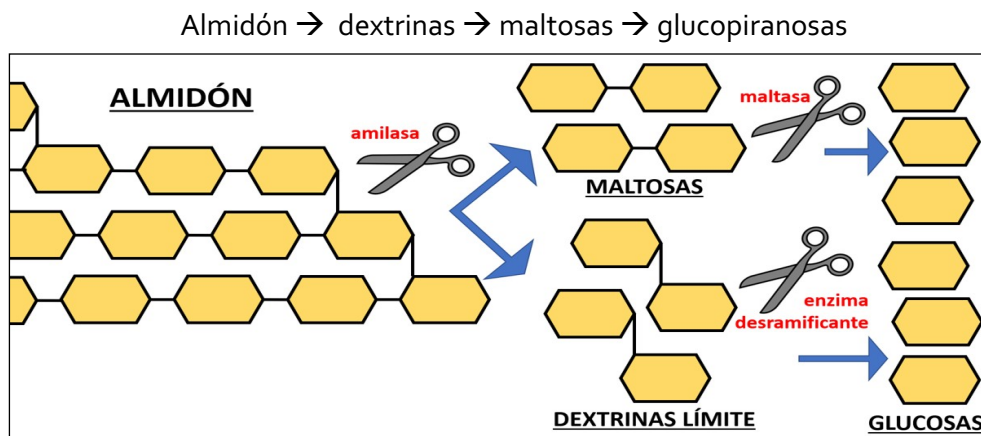
glucopiranosas unidas por enlaces $\alpha(1-4)$



CADENA RAMIFICADA DE AMILOPECTINA

El almidón puede detectarse en el laboratorio porque reacciona con el lugol (mezcla de yodo y yoduro potásico de color ocre o marrón) dando un color violeta / azul intenso muy característico. El lugol no reacciona con azúcares más simples (monosacáridos, disacáridos, etc.).

La **hidrólisis** del almidón se lleva a cabo por unas enzimas específicas, presentes en la saliva y en el jugo pancreático, denominadas **amilasas**. El producto de la hidrólisis son maltosas y dextrinas (con ramificaciones). Finalmente se obtienen glucopiranosas libres como resultado de la acción de otras enzimas como la maltasa (que hidroliza la maltosa) y la enzima desramificante (que hidroliza las dextrinas límite).



La formación de almidón a partir de glucosas en las células vegetales se llama AMILOGÉNESIS.

▪ GLUCÓGENO:

Es un homopolisacárido de reserva presente en **células animales** concretamente en hígado y músculo (en gránulos citoplasmáticos). También es el polisacárido de reserva en hongos.

El glucógeno es un polímero de **glucopiranosas** similar a la amilopectina, es decir, con enlaces $\alpha(1-4)$ y $\alpha(1-6)$, aunque con ramificaciones mucho más frecuentes.

La formación de glucógeno a partir de glucosas en el citosol de los hepatocitos y, en menor medida, de las células musculares se denomina GLUCOGENOGÉNESIS.

➤ POLISACÁRIDOS CON FUNCIÓN ESTRUCTURAL: con enlaces $\beta(1-4)$

El polisacárido estructural más importante es la celulosa, presente en la pared celular de las plantas, pero también destaca la quitina, presente en la pared celular de los hongos y exoesqueletos de artrópodos. Ambos poseen enlaces $\beta(1-4)$, más estables y difíciles de hidrolizar que los enlaces α .

▪ CELULOSA:

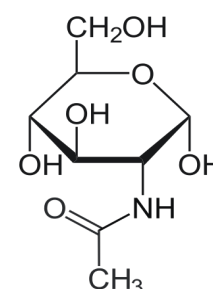
Es un homopolisacárido estructural de **células vegetales**, especialmente en el tejido de **sostén de la pared celular**. Es un polímero de **glucopiranosas** unidas mediante enlace O-glucosídico $\beta(1-4)$ formando **cadena lineales sin ramificaciones** que se disponen paralelamente unidas por enlaces de H. Cada pareja de glucosas constituye una **celobiosa** y todas unidas, la celulosa.



Mientras que la mayoría de los organismos sí que tienen enzimas que permiten descomponer el almidón en glucosa (por ello el almidón es una biomolécula de función energética para todos los seres vivos), muy pocos organismos tienen enzimas capaces de romper los enlaces $\beta(1\rightarrow4)$ de la celulosa, y entre ellos no se encuentran las personas. Solo los rumiantes y otros herbívoros son capaces de hidrolizar la celulosa ya que poseen una microbiota en el tubo digestivo que produce los enzimas capaces de hidrolizarla además de un tubo digestivo con una longitud considerable. En nuestro caso, que no tenemos celulasas capaces de hidrolizar el enlace β , la celulosa es expulsada en las heces al no ser digerida. Es lo que en nutrición se conoce como **fibra alimentaria**.

▪ **QUITINA:**

Es un homopolisacárido estructural que forma parte del exoesqueleto de los artrópodos y de la pared celular de los hongos. Es el único hasta ahora que no está formado por glucopiranosas sino por un derivado nitrogenado de la glucosa, la N-acetil-glucosamina, unida mediante enlaces O-glucosídicos $\beta(1-4)$ en cadenas no ramificadas.



3.2. Heteropolisacáridos importantes (formados por monosacáridos distintos)

Muchos heteropolisacáridos forman parte de la pared celular de las plantas y otros suelen usarse en la industria alimentaria por sus propiedades gelificantes:

- **PECTINA:** Está formada por ácido galacturónico entre otros. Forma parte de la pared celular vegetal, siendo el principal componente de la lámina media. Abunda en manzanas, peras, ciruelas, etc. En nutrición, es la llamada fibra alimentaria soluble y se usa en la industria alimentaria como gelificante p.ej. en mermeladas.
- **HEMICELULOSA:** También forma parte de las paredes celulares, pero además de glucosa contiene otros monosacáridos como la galactosa.
- **AGAR- AGAR:** Se extrae de algas rojas. Se usa en medios de cultivo y en industria alimentaria.
- **GOMA ARÁBIGA:** Exudado de las plantas que las protege de heridas/grietas. También se usa en la industria alimentaria.
- **MUCOPOLISACÁRIDOS:** Se trata de heteropolisacáridos segregados por glándulas mucosas. Los mucopolisacáridos aportan viscosidad a diversos líquidos corporales y contienen ácido glucurónico y N-acetil-glucosamina. También se denominan glucosaminoglicanos (GAGs). Los mucopolisacáridos más importantes son:
 - **Ácido hialurónico:** heteropolisacárido en el que uno de los monosacáridos que se repite en su estructura posee un grupo ácido $-\text{COO}^-$. Estas cargas negativas le permiten interactuar con otros compuestos de la matriz extracelular. Se encuentra en el tejido conectivo, en el humor vítreo del ojo y en el líquido sinovial de las articulaciones.
 - **Sulfato de condroitina,** está presente principalmente en tejidos que poseen una gran matriz extracelular como los tejidos conectivos. De hecho, es el componente básico del cartílago (le aporta resistencia a la compresión y sus propiedades mecánicas y elásticas).
 - **Heparina,** sustancia anticoagulante que se localiza en los pulmones, hígado, etc. En clínica la heparina es muy utilizada como anticoagulante inyectable.

3.3. Heterósidos y glúcidos asociados a otras moléculas

A veces encontramos glúcidos asociados a otras moléculas. Entre ellos destacan:

- Si los mono u oligosacáridos se unen a moléculas de bajo peso molecular → se llaman HETERÓSIDOS p.ej. algunos antibióticos y principios activos de plantas medicinales (digitalina).
- Si los monosacáridos u oligosacáridos se unen a lípidos → GLUCOLÍPIDOS de la membrana plasmática, entre los que destacan los cerebrósidos y gangliósidos.
- Por último, las moléculas que poseen una fracción glucídica y otra proteica se denominan:
 - GLUCOPROTEÍNAS (Fracción proteica >>> glucídica): muy importantes en la cara externa de la membrana plasmática (glucocálix), abundantes en las mucinas de secreción. Otros ejemplos relevantes son las glucoproteínas de la sangre y, por supuesto, las inmunoglobulinas (=anticuerpos).
 - PROTEOGLUCANOS (Fracción proteica < glucídica): cuya parte glucídica son heteropolisacáridos, concretamente mucopolisacáridos como el ácido hialurónico o la condroitina. De hecho, la mayor parte de los mucopolisacáridos se encuentran asociados a proteínas en forma de proteoglicanos.
 - PEPTIDOGLUCANO (Fracción proteica << glucídica): constituye la pared celular bacteriana

4. FUNCIONES DE LOS GLÚCIDOS *(ver también las funciones de los monosacáridos)*

- **Función energética:** Mediante la oxidación de monosacáridos (glucosa) y disacáridos, la célula obtiene energía para realizar sus funciones. El valor energético de los glúcidos es de 4 Kcal/gr. Los polisacáridos de reserva como el almidón y glucógeno constituyen un sistema perfecto para acumular gran cantidad de glucosa en el interior de la célula, sin aumentar en exceso la presión osmótica. Cuando la célula necesita energía se hidrolizan y se obtienen glucosas.

No obstante, los animales necesitamos disponer de gran cantidad de energía para realizar nuestras funciones vitales y, en este sentido, la densidad de las grasas es menor que la de los polisacáridos y eso favorece la movilidad en los animales. Además, a igualdad de volumen, las grasas tienen mayor rendimiento energético (9 kcal/g) que los polisacáridos. Es por esta razón que almacenar la mayor parte de energía en forma de lípidos responde de forma más eficiente a las necesidades metabólicas de los animales.
- **Función estructural:** Los seres vivos los utilizan para fabricar estructuras, así tenemos:
 - Celulosa y la pectina forman la pared de las células vegetales.
 - Quitina forma el exoesqueleto de los artrópodos y la pared de los hongos.
 - Peptidoglucano forma la pared celular bacteriana.
 - Ribosa y desoxirribosa formando parte de los ácidos nucleicos.
- **Especificidad en la membrana plasmática:** Las glucoproteínas y glucolípidos de la cara externa de la membrana plasmática (en la superficie celular) forman parte del **glucocálix**. Contribuyen a la selección de determinadas sustancias que pueden entrar a la célula, actúan como receptores, etc.
- **Otras funciones específicas:** por ejemplo dentro del grupo de los heterósidos hay antibióticos y otros principios activos de plantas medicinales como la digitalina. También hay proteoglicanos con propiedades anticoagulantes de la sangre como la heparina, etc.

TEMA 3: LOS LÍPIDOS

¿Qué entendemos por LÍPIDO?

Son biomoléculas orgánicas formadas siempre por C y H de forma mayoritaria y en menor cantidad O. En determinadas grupos, como en los fosfolípidos también aparece P y N; y en algunas lipoproteínas S.

Constituyen un grupo muy heterogéneo desde el punto de vista químico, pero todos tienen en común:

- Son poco o nada solubles en H₂O (algunos lípidos forman estructuras llamadas micelas) pero sí que se disuelven en disolventes orgánicos (apolares), como el éter, cloroformo, acetona, etc.
- Son poco densos (son menos densos que el H₂O por lo que flotan en ella).
- Son untuosos al tacto.

Poseen diversas funciones, son los principales componentes de la membrana plasmática, actúan como reserva energética, protegen mecánicamente de los golpes, aislantes térmicos, etc.

1. CLASIFICACIÓN DE LOS LÍPIDOS

* Los **LÍPIDOS SAPONIFICABLES** contienen ácidos grasos en su composición y, por tanto, dan la reacción de saponificación. Dentro de los lípidos saponificables diferenciamos:

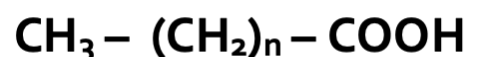
- **Lípidos saponificables simples o lípidos neutros** (solamente ÁCIDOS GRASOS + ALCOHOL):
 - **Acilglicéridos** (glicerina + 1,2 ó 3 ácidos grasos unidos mediante enlace éster).
 - **Céridos** (éster de ácido graso y un alcohol de cadena larga).
- **Lípidos saponificables complejos** (ÁCIDOS GRASOS + ALCOHOL + OTRAS MOLÉCULAS):
 - **Fosfoglicéridos** (aminoalcohol + grupo fosfato + glicerina + 2 ácidos grasos).
 - **Fosfoesfingolípidos** (aminoalcohol + grupo fosfato + esfingosina + 1 ácido graso).
 - **Glucoesfingolípidos** (glúcido + esfingosina + 1 ácido graso)

* Los **LÍPIDOS INSAPONIFICABLES** no tienen ácidos grasos así que es imposible que haya saponificación.

- **Terpenos**: cadenas de ISOPRENOS polimerizados. Desde el mentol hasta el caucho.
- **Esteroides**: derivados del ESTERANO. Son esteroides (p.ej. colesterol) y hormonas esteroideas.
- **Prostaglandinas**: anillo ciclopentano con 2 cadenas alifáticas. Median en la inflamación.

2. LOS ÁCIDOS GRASOS

Los ácidos grasos son ácidos orgánicos monocarboxílicos (con un solo grupo -COOH) que contienen un número par de carbonos (los más abundantes tienen 16-18 C) y que están formados por:



- Un grupo carboxílico terminal (situado en un extremo) que tiene carácter ácido.
- Una cadena hidrocarbonada más o menos larga que adopta la forma de zigzag.

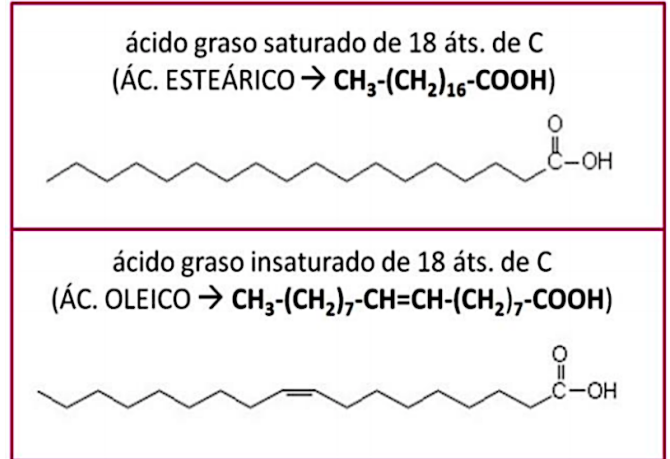
En función de que los ácidos grasos (AG) tengan o no dobles enlaces en la cadena se clasifican en:

- **AG saturados:** No tienen dobles enlaces, solo enlaces simples. En las grasas animales, los más abundantes son el ácido palmítico de 16 C (16:0) y el ácido esteárico de 18 C (18:0).
- **AG insaturados:** Tienen dobles enlaces o insaturaciones. Cuando aparecen dobles enlaces la cadena presenta cambios de dirección o codos. Según el número de dobles enlaces pueden ser:

- **monoinsaturados:** tienen un solo doble enlace como p.ej. el ácido oleico de 18:1 (9,12) presente en el aceite de oliva.

- **poliinsaturados:** tienen varios enlaces dobles como p.ej. el ácido linoleico 18:2 (9,12) y el ácido α -linolénico 18:3 (9, 12, 15). Abundan en pescados azules y en grasas vegetales como maíz, soja, girasol, nueces, etc. Tanto el ácido linoleico como el ácido α -linolénico son

ácidos grasos esenciales, imprescindibles para el funcionamiento del organismo. Los mamíferos no los podemos sintetizar y, por tanto, debemos ingerirlos en la dieta.



** Independientemente de si son saturados o no, los AG siempre tienen un nº PAR de átomos de C (mayor que 8 y que oscila entre 12 y 24) y se numeran empezando por el grupo carboxilo. Respecto a la nomenclatura, se suele poner el nº C: Nº insaturaciones (entre paréntesis se ponen los C donde están los dobles enlaces). En el caso de los AG insaturados, dependiendo de donde se encuentre el último doble enlace, también se les puede llamar omega-3, omega-6, etc.*

* Propiedades de los ácidos grasos:

- Los AG no suelen encontrarse libres, sino que están formando parte de otros lípidos y se pueden obtener por hidrólisis.
- Los AG son **moléculas bipolares** o **anfipáticas**, diferenciándose en ellos 2 regiones:
 - Una cola **hidrófoba apolar**, representada por la cadena hidrocarbonada.
 - Una cabeza **hidrófila polar** representada por el grupo carboxílico que se puede ionizar en medio acuoso como cualquier ácido ($-\text{COOH} \rightarrow -\text{COO}^-$).

"Dios los crea y ellos se juntan"

*¡OJO! Recordad que a lo polar le gusta lo polar (el H_2O es polar) \rightarrow las moléculas polares son hidrófilas. Las moléculas apolares huyen del H_2O (son hidrófobas) pero están cómodas con otras sustancias apolares. En el caso de los **ÁCIDOS GRASOS** (y también los **fosfolípidos**) la cadena hidrocarbonada apolar se puede unir con otras semejantes por **fuerzas de Van der Waals**. El grupo $-\text{COOH}$ polar puede unirse con otros grupos semejantes y con moléculas de H_2O mediante **enlaces de H**.*

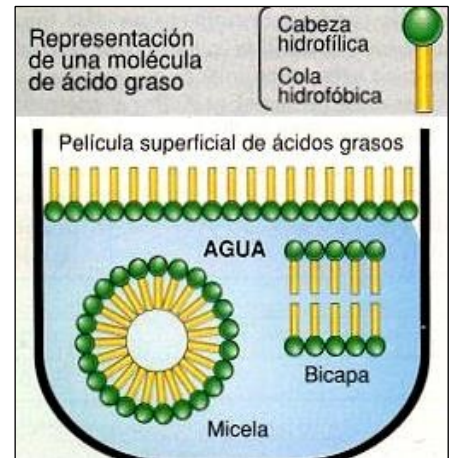
Cuando los AG (o cualquier molécula anfipática como los fosfolípidos) se introducen en **medio acuoso** se **orientan** de modo que siempre:

- las cabezas hidrófilas se sitúan en el exterior en contacto con el H_2O .
- las colas hidrófobas se intentan alejar del H_2O .

Para ello pueden disponerse formando:

- o una **monocapa superficial** sobre el H₂O con las colas hidrófobas dirigidas hacia fuera y las cabezas polares interaccionando con enlaces de H con el medio acuoso (2 fases).

- o **micelas monocapa**: pequeñas esferas con las colas hidrófobas dirigidas hacia dentro y las cabezas polares interaccionando con el H₂O. En su interior pueden almacenarse otros lípidos o incluso aire (formación de espuma). Si las micelas monocapa atrapan lípidos en su interior, tienen un efecto emulsionante o detergente (*jabones y sales biliares que emulsionan las grasas en medio acuoso*).



- o **bicapas lipídicas** en las que las moléculas anfipáticas, como los fosfolípidos de membrana, se disponen enfrentadas en una bicapa, de modo que las cabezas polares interaccionan con el medio acuoso por ambos lados y las colas hidrófobas evitan entrar en contacto con el H₂O.

- o **micelas bicapa o liposomas** en las que la bicapa se cierra sobre sí misma formando una esfera. Las cabezas polares se orientan hacia el exterior acuoso, pero también hacia el interior, por lo que estas micelas bicapa pueden encerrar contenido acuoso. Los liposomas suelen formarse con fosfolípidos, no con ácidos grasos simples.

- El **punto de fusión de los ácidos grasos** es más bajo cuanto más corta sea la cadena y cuanto mayor sea el número de insaturaciones (dobles enlaces).

- El **punto de fusión aumenta con la longitud de la cadena hidrocarbonada**, debido a que aumenta el nº de enlaces de Van der Waals entre las cadenas de los ácidos grasos próximos y entonces más se atraen entre sí, se empaquetan y tienden a constituir sólidos.
- La presencia de **dobles enlaces disminuye el punto de fusión**, ya que estos provocan una inclinación en las cadenas ("CODOS") que dificulta la formación de enlaces de Van der Waals. Por esta razón, los AG saturados y de cadena larga tienen una T^a de fusión más alta que los insaturados y a T^a ambiente son sólidos mientras que los AG insaturados son líquidos.

- Existen dos tipos de reacciones muy importantes en los AG y en todos los lípidos saponificables en general: la **esterificación** y la **saponificación**.

- 1) **Esterificación**: Se produce al reaccionar el **ác. graso** con un **alcohol**, formándose un **éster** y **agua**. La reacción contraria se denomina **hidrólisis**, mediante ella, el éster se rompe.



- 2) **Saponificación**: Se produce al reaccionar un **ác. graso** (o éster) con una **base fuerte** formándose la **sal** de dicho ácido graso y una molécula de **H₂O** (o un alcohol). A estas sales se las llama **jabones**.

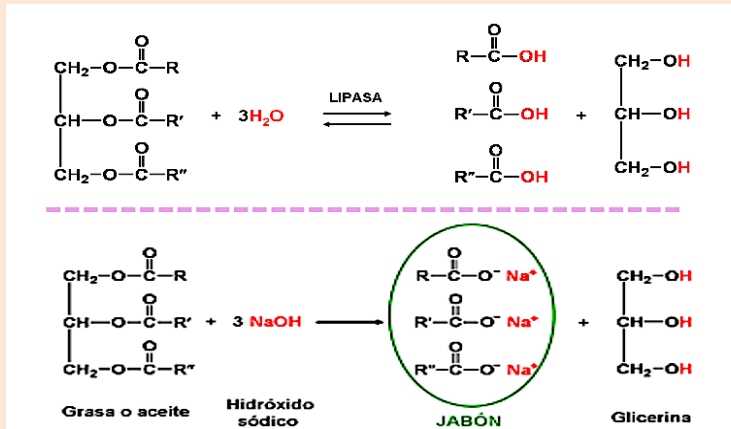


La reacción contraria a la esterificación se denomina **hidrólisis**. Puede ser:

- **Hidrólisis enzimática:** Es la que ocurre en el tubo digestivo de los animales, sirve para digerir las grasas ingeridas en la alimentación. Se realiza gracias a la acción de unas enzimas llamadas **lipasas**:



- **Hidrólisis química o saponificación:** Se utiliza en la industria. Consiste en tratar a las grasas en caliente con **bases fuertes sódicas o potásicas**, entonces se rompen los enlaces éster y se origina 1 molécula de glicerina y 3 moléculas de la sal sódica o potásica de cada ác. graso (**jabones**). Los jabones emulsionan las grasas, separándolas en pequeñas gotas e impidiendo que vuelvan a juntarse.



- Los dobles enlaces de los AG insaturados pueden oxidarse y romperse, originando aldehídos volátiles responsables de olor y sabor a rancio. Estas oxidaciones en las células y, por tanto el enranciamiento, se pueden evitar gracias a sustancias antioxidantes como la vitamina E.

3. LIPIDOS SAPONIFICABLES

Son lípidos que tienen ácidos grasos en su composición, por lo tanto, pueden dar la **reacción de saponificación**. Dentro de ellos, atendiendo a su complejidad molecular, se diferencian dos grupos:

- **Lípidos simples o neutros (hololípidos):** solamente ÁCIDOS GRASOS + ALCOHOL.
- **Lípidos complejos (heterolípidos):** ÁCIDOS GRASOS + ALCOHOL + OTRAS MOLÉCULAS.

3.1. Lípidos simples o neutros (hololípidos)

Se trata de ésteres formados por la unión de ácidos grasos y un alcohol. Son moléculas muy poco reactivas al no tener ningún otro tipo de componentes. Como no interviene ningún otro tipo de molécula, únicamente contienen C, H y, en menor cantidad, también O.

Dependiendo de si el alcohol es el glicerol o un alcohol de cadena larga, se clasifican en:

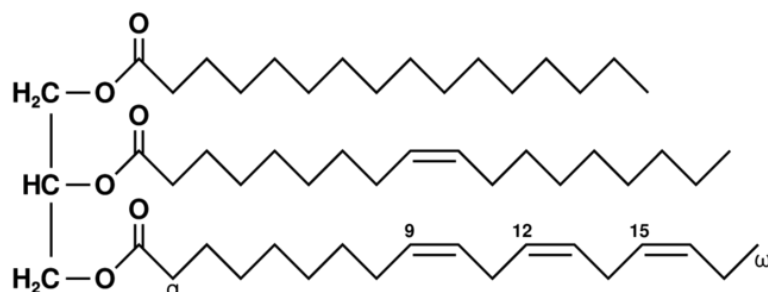
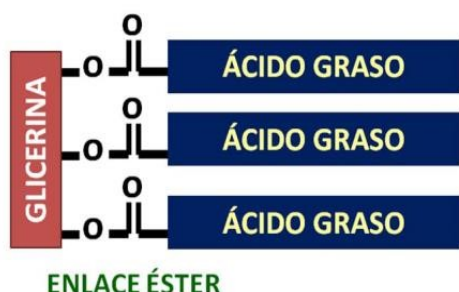
* ACILGLICÉRIDOS O GRASAS:

Son los más importantes, se forman al esterificarse **3 ácidos grasos**, que pueden ser iguales o diferentes, con los tres grupos alcohol del **glicerol** o **glicerina**, formándose 3 enlaces éster que unen a los ácidos grasos con la glicerina y liberándose 3 moléculas de H₂O. Pueden ser *grasas simples* (AG

iguales como la triestearina con 3 ácidos esteáricos a la trioleína con 3 ácido oleicos) o *grasas mixtas* (un glicerol unido a tres AG diferentes).

Se diferencian tres tipos según cuántos AG se esterifiquen al glicerol:

- **Monoacilglicéridos:** 1 ác. graso unido a la glicerina mediante enlace éster.
- **Diacilglicéridos:** 2 ác. grasos unidos a la glicerina mediante enlaces éster.
- **Triacilglicéridos:** 3 ác. grasos unidos a la glicerina mediante enlaces éster.



Los triacilglicéridos (o TRIGLICÉRIDOS) son sin duda los más abundantes, son moléculas **apolares** y por lo tanto **insolubles en agua**, ya que no tienen ningún grupo -OH de la glicerina libre, por ello también se les denomina GRASAS NEUTRAS. No son anfipáticas por lo que no forman micelas.

A temperatura ambiente los triacilglicéridos o grasas pueden ser:

- **Líquidas:** Cuando contienen AG insaturados en la molécula, se las llama **aceites**, abundan en los vegetales bien en el fruto (olivo) o en la semilla (girasol). También en pescados.
- **Sólidas:** Cuando los AG son saturados, se denominan **sebos** (sólidos) y **mantecas** (semisólidas) y abundan en los tejidos animales.

Las grasas son sustancias de **reserva energética** que se acumulan en vacuolas de células vegetales (en frutos y semillas, sobre todo) y en adipocitos de animales. Además, tienen función **aislante y protectora**. La LIPOGÉNESIS es la reacción bioquímica por la que se sintetizan AG (normalmente a partir de glúcidos) y se esterifican al glicerol para almacenarse como triglicéridos.

* **CÉRIDOS O CERAS:**

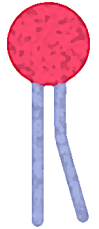
Son ÉSTERES de un ácido graso con un alcohol (con un solo grupo -OH que es el que participa en el enlace éster) de cadena larga. Se trata de moléculas fuertemente hidrófobas, no son solubles en H₂O ni forman micelas. Las ceras realizan funciones de protección y revestimiento en animales y vegetales. Forman la película que impermeabiliza la superficie de las hojas y frutos de muchas plantas. Además, en los animales integran las cubiertas protectoras de la piel, pelo y plumas, y recubren el exoesqueleto de muchos artrópodos. Son ejemplos de céridos la cera de abeja (palmitato de miricilo), el cerumen del oído y la lanolina de la lana.



3.2. **Lípidos complejos (heterolípidos)**

Se caracterizan porque se componen de otras moléculas además de los ácidos grasos y los alcoholes. Por tanto, además de C, H y O, también contienen otros bioelementos primarios como el P y el N.

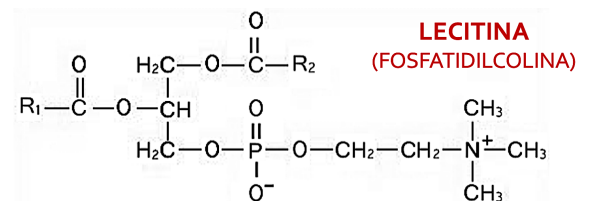
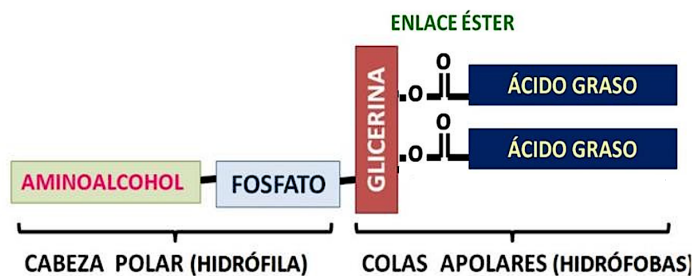
Los lípidos complejos son anfipáticos, con una cabeza polar y dos colas apolares. Se disponen en forma de bicapas lipídicas en solución acuosa y forman parte de las membranas celulares, por lo que también se les llama **lípidos de membrana**.



**¡OJO! Se llama FOSFOLÍPIDOS a todos aquellos lípidos que poseen un grupo fosfato: fosfoglicéridos y fosfoesfingolípidos. Pero al hablar de fosfolípidos muchas veces se da por hecho que hablamos de los fosfoglicéridos (mucho más abundantes).*

* FOSFOGLICÉRIDOS (FOSFOLÍPIDOS):

Constan de 2 ácidos grasos, normalmente uno saturado y otro insaturado, unidos a la GLICERINA (la unión de ambos forma el ácido fosfatídico) pero en vez de unirse a un 3º ácido graso como los triglicéridos, la glicerina también se une a un grupo fosfato y un aminoalcohol. Ej: la **lecitina** (cuyo aminoalcohol es la colina) y la **cefalina** (su aminoalcohol es la etanolamina) muy abundantes en las membranas celulares. **En algunos libros, también los podéis encontrar llamados glicerofosfolípidos.*



Los fosfoglicéridos son moléculas anfipáticas en las que se puede diferenciar dos regiones:

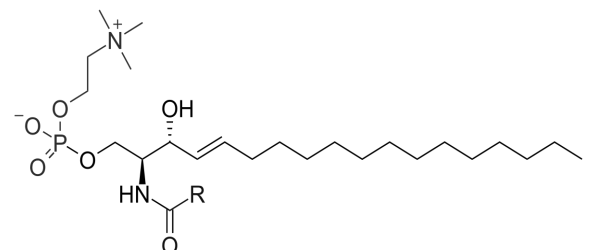
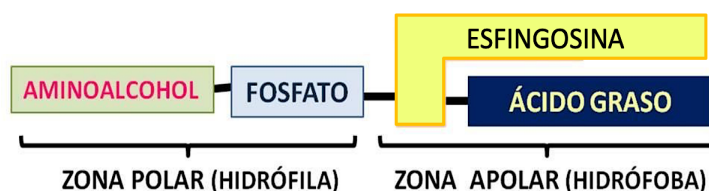
- Una **cabeza hidrófila** polar, soluble en H₂O, que son el **aminoalcohol** y el **fosfato**.
- Dos **colas hidrófobas** apolares, insolubles en H₂O, que corresponden al glicerol unido mediante enlace éster a **dos ácidos grasos** (generalmente uno saturado y otro insaturado).

Este carácter anfipático les permite desempeñar un papel fundamental en la formación de las membranas biológicas, ya que en un medio acuoso tienden a formar espontáneamente bicapas enfrentando sus extremos hidrófobos apolares y dejando en contacto con el agua las regiones hidrófilas polares. Estas bicapas constituyen la estructura básica de las membranas celulares.

**¡OJO! Si preguntan los fosfolípidos en las PAU, completadlo con el cuadro sobre la membrana (ver el apartado 5-Funciones de los lípidos: función estructural) y haced siempre un dibujo esquemático.*

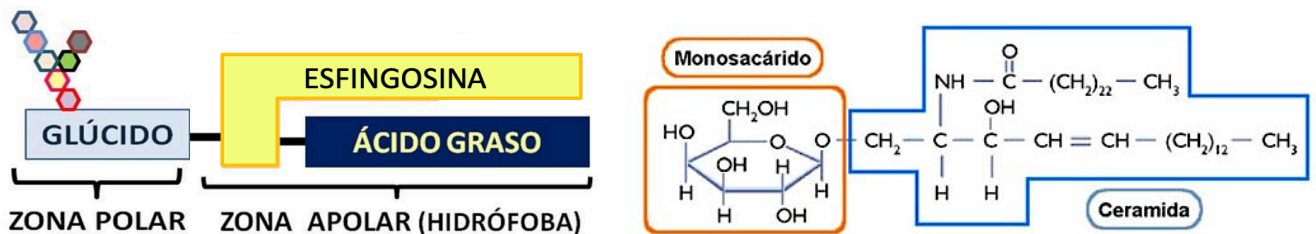
* FOSFOESFINGOLÍPIDOS

Son ÉSTERES formados por la unión de un ácido graso a la ESFINGOSINA, ambos en conjunto se denominan CERAMIDA, y ésta a un grupo fosfato y un aminoalcohol como la colina. Son moléculas anfipáticas que forman parte de las membranas y son especialmente importantes en el tejido nervioso. La esfingosina y el ácido graso constituyen las dos colas apolares y, al igual que en los fosfoglicéridos, el fosfato y el aminoalcohol constituyen la cabeza polar. El fosfoesfingolípido más representativo es la **esfingomiélin** (cuyo aminoalcohol es la colina) que abunda en las vainas de mielina que recubren a los axones de las neuronas.



* **GLUCOESFINGOLÍPIDOS:** (en general se denominan glucolípidos)

Son ÉSTERES formados por la unión de un ácido graso a la ESFINGOSINA (= CERAMIDA) y ésta a un GLÚCIDO. Son moléculas anfipáticas que forman parte de la membrana plasmática (como los fosfoesfingolípidos), abundantes en el cerebro. Las dos colas apolares son, al igual que en los fosfoesfingolípidos, la esfingosina y el ácido graso. En cambio, la cabeza polar es un GLÚCIDO que puede ser un monosacárido (p.ej. en **cerebrósidos**) o un oligosacárido (p.ej. en **gangliósidos**). En glucolípidos (y también en glucoproteínas) la parte glucídica está relacionada con la especificidad y el reconocimiento celular (forman parte del glucocáliz, actuando como receptores y como antígenos celulares: es una especie de "DNI celular" que "pide" y controla el sistema inmunitario).



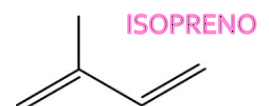
Los tres tipos de lípidos de membrana o lípidos complejos se parecen dos a dos. Los fosfoglicéridos y los fosfoesfingolípidos coinciden en su cabeza polar (fosfato y aminoalcohol) a diferencia de los glucoesfingolípidos donde la cabeza polar es un glúcido (monosacárido en cerebrósidos o un oligosacárido en gangliósidos). Por otro lado, los fosfoesfingolípidos y los glucoesfingolípidos tienen las mismas dos colas apolares, una cola es la esfingosina y la otra cola el ácido graso, a diferencia de los fosfoglicéridos que tienen dos ácidos grasos esterificados al glicerol como colas apolares.

4. LÍPIDOS NO SAPONIFICABLES

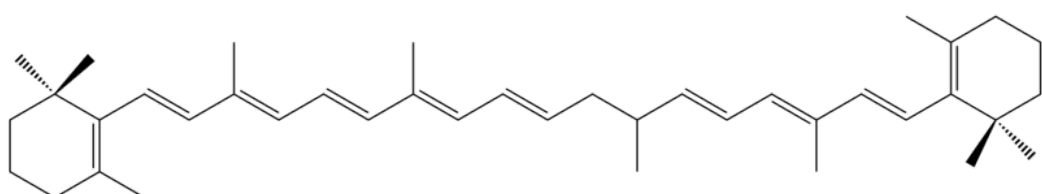
No contienen AG ni son ésteres. Se trata de un grupo de moléculas con estructuras químicas y funciones muy variadas (gran actividad biológica). No forman micelas al carecer de grupos polares significativos.

4.1. Terpenos

Son polímeros del ISOPRENO, presentan dobles enlaces alternos por lo que frecuentemente son moléculas coloreadas. Los terpenos se clasifican en:



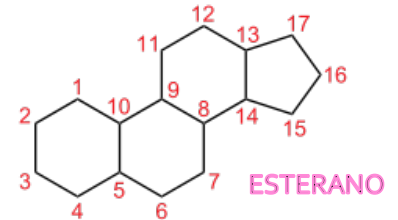
- **Monoterpenos** (2 isoprenos): Esencias vegetales (geraniol, mentol, eucaliptol, etc.).
- **Diterpenos** (4 isoprenos): vitaminas liposolubles **A** (importante para el crecimiento, buena visión y el sistema inmunitario), **E** (antioxidante) y **K** (participa en coagulación).
- **Tetraterpenos** (8 isoprenos): Pigmentos como los carotenoides (rojo/anaranjado) y xantofilas (amarillo). Se hallan en frutos maduros y en otras partes de la planta pero el verde de la clorofila los enmascara (solo se pueden ver en otoño o en hojas secas). Los carotenoides forman parte de ciertos pigmentos y vitaminas.



- **Politerpenos** (+ de 1000 isoprenos) como el caucho.

4.2. Esteroides

Son derivados del ESTERANO (=ciclopentanoperhidrofenantreno). Se diferencian unos de otros en el nº y posición de dobles enlaces y en el tipo, nº y posición de los grupos funcionales sustituyentes.

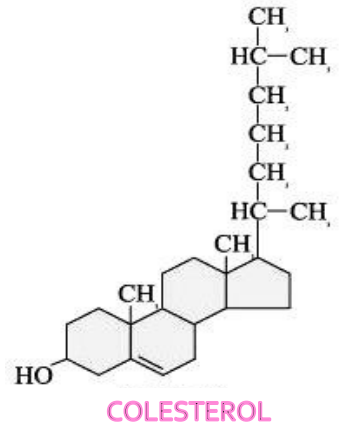


4.2.1. Esteroles (tienen un grupo -OH en 3 y una cadena alifática en el extremo opuesto, el C 17):

- El COLESTEROL es el precursor de otros muchos esteroides, entre ellos las hormonas esteroideas, sexuales y no sexuales. Se encuentra en las membranas celulares de las células animales, intercalándose entre los fosfolípidos y estabilizando la estructura de la bicapa.

Aunque siempre se habla del colesterol de manera negativa, el colesterol es imprescindible por su papel en las membranas y como precursor de otros esteroides. Es el exceso de colesterol en la dieta lo que no es recomendable.

Se transporta en las lipoproteínas del plasma sanguíneo: lipoproteínas LDL (transportan colesterol hacia los tejidos: colesterol malo) y lipoproteínas HDL ("sacan" el colesterol de vasos y tejidos llevándolo al hígado: colesterol bueno). Su acumulación en las paredes de los vasos sanguíneos es responsable de la aterosclerosis. El colesterol alto también puede desencadenar otras enfermedades coronarias como el infarto de miocardio.



- Los ÁCIDOS BILIARES son derivados del colesterol (de hecho, son una forma de eliminarlo del organismo) que facilitan la emulsión de las grasas en la digestión. Las sales biliares presentes en la bilis secretada por el hígado al duodeno son moléculas anfipáticas, de ahí que "rompan" la grasa en gotitas muy pequeñas para facilitar que sea hidrolizada por las lipasas.
- El grupo de las VITAMINAS D, imprescindibles para la absorción de calcio, que pueden sintetizarse gracias a la luz solar y cuyo déficit causa raquitismo (enfermedad caracterizada por deformaciones óseas debidas a la falta de mineralización en los huesos).

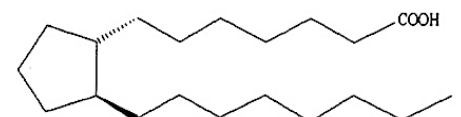
4.2.2. Hormonas esteroideas (tienen un grupo C=O en alguno de los ciclos del esterano y se sintetizan a partir del colesterol)

- Hormonas sexuales como la TESTOSTERONA (hormona masculina que incrementa masa muscular, vello, etc.) o los ESTRÓGENOS y la PROGESTERONA (hormonas femeninas que participan en el ciclo menstrual y el embarazo).
- No sexuales (sintetizadas por las glándulas suprarrenales) como el CORTISOL (liberado como respuesta al estrés, aumenta la glucosa en sangre y suprime el sistema inmunitario) o la ALDOSTERONA (regula la función renal y la reabsorción de Na⁺).



4.3. Prostaglandinas

Su estructura suele contener un anillo ciclopentano con 2 cadenas alifáticas (= cadenas hidrocarbonadas que no son aromáticas, es decir, sin dobles enlaces conjugados).



* ;OJO! El ácido acetilsalicílico (aspirina) **inhibe** la síntesis de prostaglandinas así que, para acordaros de las funciones de las prostaglandinas, recordad qué padecemos cuando necesitamos una aspirina!

Las prostaglandinas tienen funciones muy variadas, entre ellas destaca que:

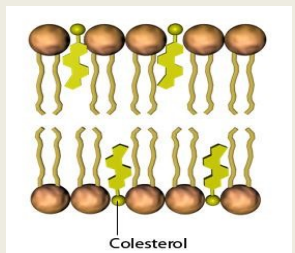
- Sensibilizan los receptores del dolor e inducen la vasodilatación de capilares → Inflamación.
- Intervienen en la aparición de la fiebre como mecanismo de defensa.
- Regulan la presión sanguínea y provocan la agregación de las plaquetas, etc.

5. FUNCIONES DE LOS LÍPIDOS: (SÚPER IMPORTANTE)

- * **Reserva energética:** Algunos lípidos, como las grasas, son utilizados como combustible para obtener energía mediante su oxidación. Los lípidos tienen mayor valor energético que otras biomoléculas pues proporcionan más de 9 Kcal/gr (los glúcidos y proteínas solo proporcionan alrededor de 4 Kcal/gr). Las grasas se almacenan como reserva energética en el tejido adiposo de animales (en los adipocitos) y en los frutos y semillas de vegetales. Los animales almacenamos la mayor parte de la energía en forma de grasas y muy poca en forma de glucógeno, porque la grasa es más energética y necesitamos menor cantidad de masa de grasa para almacenar la misma energía (esto facilita la movilidad del cuerpo porque el peso es menor que si almacenáramos la energía como glucógeno).
- * **Función estructural:** Muchos lípidos como los fosfolípidos, los glucolípidos y el colesterol (en animales) están formando parte de las membranas celulares (lípidos de membrana).

Las membranas celulares son bicapas lipídicas cuyo componente principal son los fosfolípidos (fosfoglicéridos mayoritariamente y algunos fosfoesfingolípidos).

La bicapa separa dos medios acuosos (el líquido extracelular y el citoplasma) ya que las colas hidrofóbicas de los fosfolípidos (moléculas anfipáticas) se orientan hacia el interior y las cabezas polares son las que entran en contacto con el medio acuoso de dentro y fuera de la célula. En células animales, el colesterol se intercala entre los fosfolípidos, los fija, les confiere estabilidad y mantiene la fluidez de la membrana.



El único grupo polar de todo el colesterol (el -OH) tenderá a situarse hacia el exterior (afinidad por el H₂O) y el ciclo de esterano hacia el interior de la bicapa. En células no animales existen otro tipo de esteroides que realizan la misma función, como p.ej. los fitoesteroides en células vegetales o el ergosterol en hongos. Es importante recalcar que en la membrana aparecen otra serie de moléculas, como las **glucoproteínas** y los **glucolípidos**, que permiten a la célula reconocer y unirse a ciertos receptores y que actúan como una etiqueta de identificación que permite al cuerpo distinguir sus propias células sanas de tejidos trasplantados, de organismos invasores y de células enfermas o cancerosas. Se trata de glucocálix.

- * **Función aislante y protectora:** Las ceras forman cubiertas que revisten distintas partes de los organismos como pelos, piel, hojas, frutos, etc. protegiéndolas e impermeabilizándolas. Las grasas (acilglicéridos) que se acumulan en el tejido adiposo proporcionan aislamiento térmico. Además, se acumulan alrededor de algunas vísceras y las protegen mecánicamente de los golpes.
- * **Función biocatalizadora:** Algunos lípidos regulan procesos bioquímicos de gran importancia como las hormonas esteroideas, las vitaminas A, D, E, K, etc.
- * **Función transportadora:** Para llegar desde el intestino al resto del organismo, el colesterol, los triglicéridos y otros lípidos se asocian a proteínas para facilitar su transporte (lipoproteínas). Existen varios tipos de lipoproteínas, p.ej. las lipoproteínas de alta densidad (*High Density Lipoproteins: HDL*) son "buenas" porque retiran el colesterol de las arterias para llevarlo al hígado. En cambio, las lipoproteínas de baja densidad (*Low Density Lipoproteins: LDL*) son "las malas" porque favorecen la acumulación del colesterol en las paredes de las arterias, la denominada aterosclerosis.

TEMA 4: LAS PROTEÍNAS

¿Qué entendemos por PROTEÍNA?

Son biomoléculas formadas por C, O, H, N y S y, en menor proporción, también pueden presentar P e incluso, como grupos prostéticos, pueden contener iones como el Fe, Cu, Mg, etc. Las proteínas son las moléculas más abundantes en las células, de hecho, constituyen el componente principal de los seres vivos (hasta el 50% del peso seco) y desempeñan una gran variedad de funciones. Las proteínas son macromoléculas de elevado peso molecular y están formadas por la unión de otras moléculas más sencillas denominadas aminoácidos. Por consiguiente, las proteínas son polímeros y los aminoácidos son los monómeros que las forman.

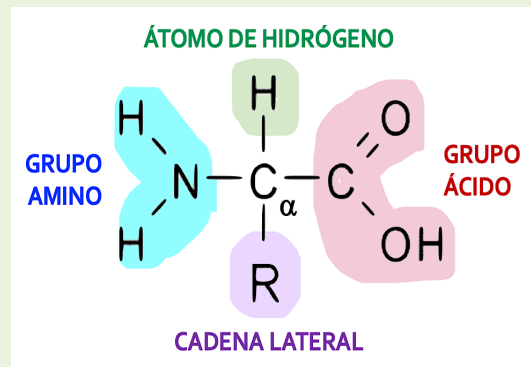


CADA PROTEÍNA TIENE UNA SECUENCIA CONCRETA DE AMINOÁCIDOS

¿Qué entendemos por AMINOÁCIDO?

Los aminoácidos que constituyen las unidades estructurales de las proteínas siempre tiene en común:

- Un **grupo ácido o carboxilo** (-COOH).
- Un **grupo amino** (-NH₂), en los aminoácidos proteicos se une al C_α (es el carbono que se sitúa a continuación del carbono carboxílico), por eso se llaman **α-aminoácidos**.
- Un **átomo de H** que se une también al C_α.
- Una **cadena lateral** (-R) más o menos compleja que también se une al C_α. Esta cadena lateral es lo que varía de unos aminoácidos a otros determinando sus propiedades (polaridad, enlaces, etc.).



En solución acuosa, el grupo ácido suele perder un H⁺ y quedarse cargado negativamente (-COO⁻) y el grupo amino, en cambio, se comporta como base y capta un H⁺ del medio quedando cargado positivamente (-NH₃⁺). Al tener una carga negativa y otra positiva, la carga neta del aa es cero.

Para designar los aa (= aminoácidos) suelen usarse abreviaturas, generalmente las 3 primeras letras del nombre del aa en inglés. Ej: Gly (glicina), Met (metionina), Cys (cisteína) y Ser (serina). También puede utilizarse un código de una sola letra. Ej: A (alanina), L (leucina), P (prolina) y W (triptófano).

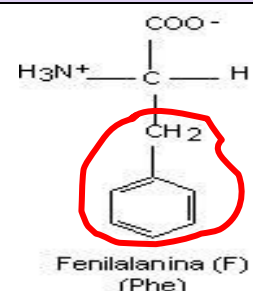
1. CLASIFICACIÓN DE LOS AMINOÁCIDOS:

Los aa se clasifican en varios grupos atendiendo a las características de la cadena lateral -R:

AMINOÁCIDOS NEUTROS (SIN CARGA NETA a pH 7: puesto que -NH₃⁺ y -COO⁻ se neutralizan)

AMINOÁCIDOS CON -R HIDROFÓBICOS O APOLARES

Son aminoácidos en los que el radical -R es **apolar** (aunque el aa completo es anfipático por la presencia de los grupos ácido y amino). Esta clasificación se refiere solo a la polaridad de -R no a la del aa completo. A pH 7 su carga es cero. Pueden ser cadenas alifáticas (cadenas hidrocarbonadas lineales) como el caso de la **alanina** (Ala; R: -CH₃) o un radical -R **aromático** como en el caso de la **fenilalanina** (Phe). Otros aminoácidos apolares de este grupo como la **prolina** (Pro) tienen ciclos voluminosos que impiden formar ciertas estructuras.

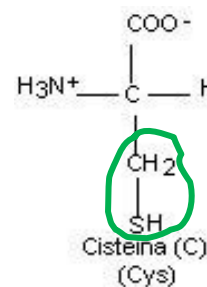


AMINOÁCIDOS CON -R HIDROFÍLICOS O POLARES

En estos aminoácidos, los radicales -R son **grupos polares sin carga** como la serina (Ser) que tiene un grupo -OH que le permite formar enlaces o puentes de H con el agua. A pH 7 su carga es cero.

Cabe destacar la **cisteína (Cys)** que posee un **grupo -SH** que además de polaridad, permite la formación de **enlaces disulfuro (S-S)** en la estructura terciaria.

Como las cadenas laterales presentan grupos polares capaces de formar enlaces de H con el H₂O, son más solubles que los aminoácidos hidrofóbicos.



AMINOÁCIDOS CON CARGA (tienen algún grupo amino o algún grupo ácido adicional)

AMINOÁCIDOS ÁCIDOS → con carga -

Tienen **carga negativa a pH=7**.

El radical -R posee algún grupo **-COO⁻ adicional** (aparte del propio del aa).

Ej: Ácido aspártico (Asp).

AMINOÁCIDOS BÁSICOS → con carga +

Tienen **carga positiva a pH=7**.

El radical -R posee algún grupo **-NH₃⁺ adicional** (aparte del propio del aa).

Ej: Lisina (Lys).

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS AMINOÁCIDOS:

Los aminoácidos proteicos, es decir, los aa que forman las proteínas, son solamente 20. Son siempre α -aminoácidos porque el grupo -NH₂ y el -COOH se unen al mismo C, llamado C α . Existen otros muchos tipos de aa pero no se asocian formando macromoléculas.

Los **aminoácidos esenciales** son aquellos que los seres vivos heterótrofos no pueden sintetizar y deben incorporarlos a través de la dieta como por ej. la valina (Val) y la fenilalanina (Phe).

Los aa presentan bajo peso molecular, punto de fusión elevado y son sólidos, solubles en agua, cristalizables, incoloros, presentan estereoisomería, actividad óptica y comportamiento anfótero.

- * **Actividad óptica:** Todos los aminoácidos excepto la glicina (en la que -R es otro -H) poseen un C asimétrico, el C α . La presencia del C asimétrico les confiere actividad óptica, es decir en disolución son capaces de desviar el plano de la luz polarizada.

Al igual que en los glúcidos, podemos clasificarlos en:

- Si desvían la luz polarizada hacia la derecha se llaman **dextrógiros (+)**.
- Si desvían la luz polarizada hacia la izquierda se llaman **levógiros (-)**.

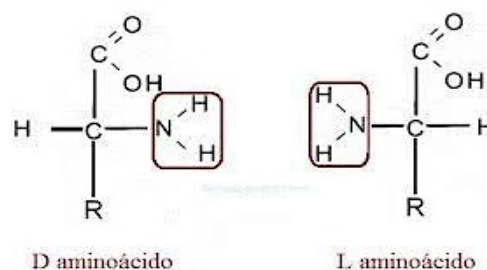
Al igual que ocurría en los glúcidos, no se debe confundir actividad óptica con la isomería D/L.

Un L-aminoácido podría ser dextrógiro. La actividad óptica no es posible dilucidarla con la fórmula.

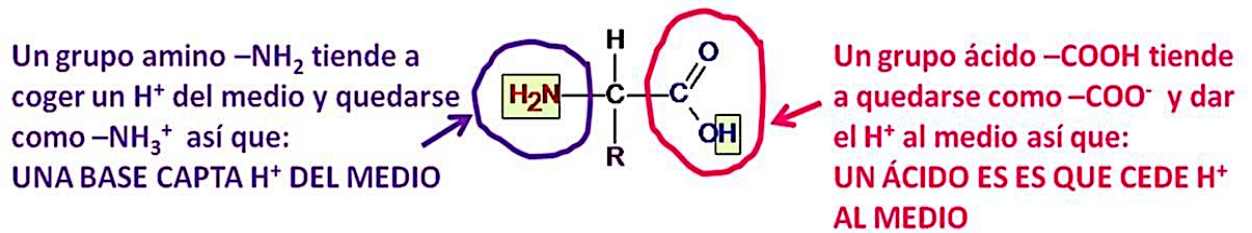
- * **Estereoisomería:** La presencia del carbono asimétrico, el C α posibilita que cada aa posea dos estereoisómeros D-/L. Para saber de cuál se trata, se debe situar la cadena lineal con el grupo -COOH hacia arriba (proyección de Fischer):

- Si el NH₂ se sitúa **a la derecha: configuración D**.
- Si el NH₂ se sitúa **a la izquierda: configuración L**.

Los aminoácidos que forman las proteínas son todos de configuración L-. De hecho, se llaman **L-aminoácidos**.



- * **Comportamiento químico:** Los aminoácidos son sustancias anfóteras, es decir, en disolución acuosa se pueden comportar como ácidos o como bases dependiendo del pH. Son anfóteros porque el grupo carboxílico tiene carácter ácido y el grupo amino tiene carácter básico.



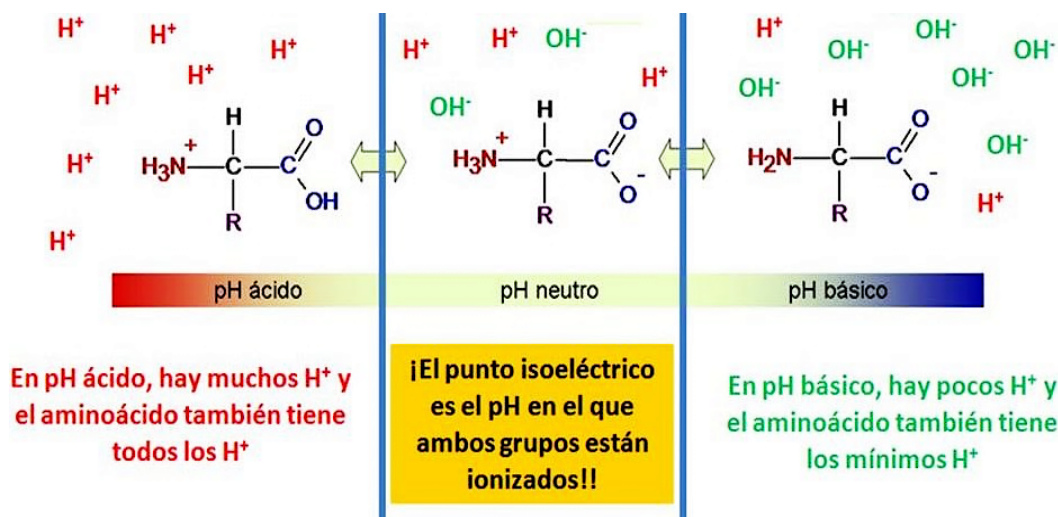
Cuando están en disolución acuosa a pH próximo a la neutralidad los aa están ionizados formando un **ion dipolar** o **zwitterion**, esto es así porque el grupo $-COOH$ pierde un protón H^+ (actúa como ácido) y el grupo $-NH_2$ gana un H^+ (actúa como base). En algunos aa en las cadenas laterales existen otros grupos aminos y carboxílicos que también se ionizan.

Gracias a este carácter anfótero, los aminoácidos mantienen constante el pH del medio: tienen **efecto amortiguador o tampón:**

- Si disminuye el pH, el medio se hace ácido, aumenta la concentración de H^+ . El aa tiende a neutralizar la acidez captando H^+ y se carga positivamente, se comporta como base.
- Si aumenta el pH el medio se hace básico, disminuye la concentración de H^+ . El aa tiende a neutralizar la basicidad, libera H^+ y se carga negativamente, comportándose como un ácido.

¿Qué entendemos por PUNTO ISOELÉCTRICO?

El pH en el cual el aminoácido tiene forma dipolar neutra, es decir está ionizado pero tiene igual número de cargas positivas que negativas, se denomina punto isoeléctrico (**pI**).



- Cuando en el medio el $pH > pI \rightarrow$ el aminoácido se encuentra **cargado negativamente**.
- Cuando en el medio el $pH < pI \rightarrow$ el aminoácido se encuentra **cargado positivamente**.

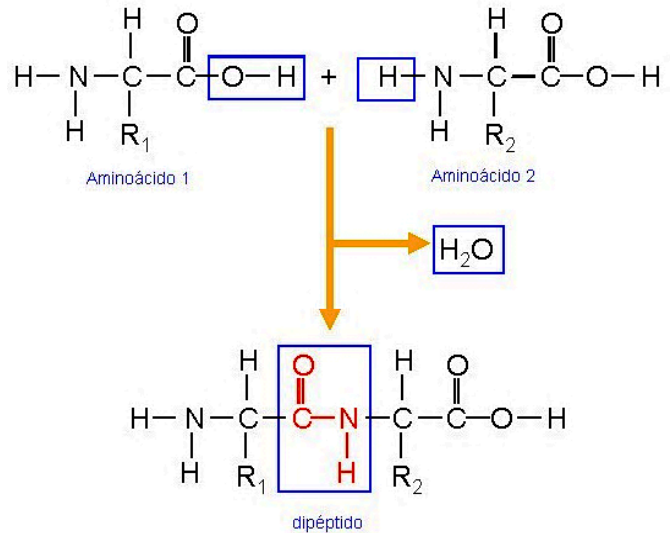
3. EL ENLACE PEPTÍDICO:

El enlace peptídico es el enlace que une entre sí a los aminoácidos para formar péptidos y proteínas. Se produce por la condensación entre el **grupo carboxilo** ($-COOH$) de un aminoácido y el **grupo amino** ($-NH_2$) del siguiente, formándose un **enlace amida** y perdiéndose una molécula de H_2O . La molécula de H_2O que se libera procede del $-OH$ del carboxilo del 1º aminoácido y uno de los H del grupo amino del 2º aminoácido.

El enlace peptídico se caracteriza por:

- ❖ Es un **enlace covalente tipo AMIDA**.
- ❖ Debido a la deslocalización electrónica tiene **carácter parcial de doble enlace**, esto hace que sea rígido no permitiendo rotaciones entre los átomos que lo forman. La razón es que el C=O y el -NH- que van unidos en el enlace están en un mismo plano.

¡OJO! Para dibujar un enlace peptídico es recomendable poner los aminoácidos con el grupo amino a la izquierda y el grupo carboxilo a la derecha. Así, no os equivocaréis y en el principio siempre estará el extremo N-terminal.



Según el nº de aa que se unan podemos distinguir:

- La unión de **dos aminoácidos** mediante un enlace peptídico se denomina **dipéptido**.
- Si el **nº de aminoácidos** es **< 10** es un **oligopéptido**.
- Cuando se unen **entre 10 y 100 aminoácidos**, hablamos de un **polipéptido**. Una **proteína** tiene elevado peso molecular y **más de 100 aminoácidos** unidos por enlace peptídico.

** La clasificación anterior varía según autores, algunos consideran que > 50 aa ya son una proteína.*

En la hidrólisis (química o enzimática) de las proteínas, el enlace peptídico se rompe y se obtienen los aminoácidos que las forman. En el caso de que se trate de una hidrólisis enzimática, las enzimas específicas que hidrolizan proteínas reciben el nombre de proteasas.

4. ESTRUCTURA DE PROTEÍNAS:

La función de las proteínas está relacionada con su estructura tridimensional. De hecho, la función que desempeñan depende de esta forma que adoptan en el espacio o **conformación nativa**.

La configuración espacial de las proteínas viene determinada por cuatro niveles estructurales o estructuras: primaria, secundaria, terciaria, cuaternaria.

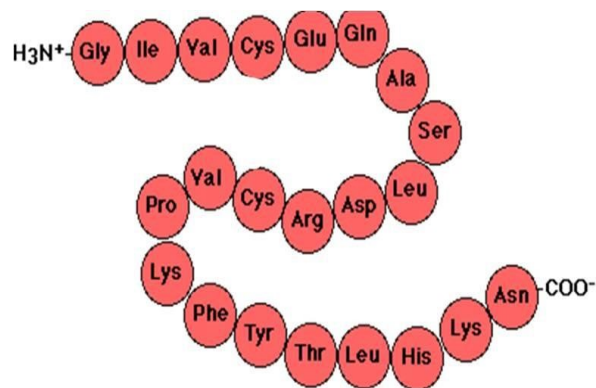
4.1. Estructura primaria

Es la secuencia de aminoácidos de la proteína, indica qué aminoácidos componen la cadena y el orden en el que dichos aminoácidos se encuentran (viene determinado en el ADN).

El tipo de aminoácido condiciona los niveles estructurales siguientes. P.ej. una secuencia rica en aminoácidos con radicales muy voluminosos como la prolina impedirá que se forme una estructura secundaria α -hélice. Cualquier cambio en la secuencia daría lugar a proteínas diferentes. De hecho, tan solo un único cambio en la secuencia de aminoácidos o estructura primaria de la hemoglobina (*en concreto un ácido glutámico en vez de una valina*) es la causa de la anemia falciforme. En esta enfermedad los glóbulos rojos tienen forma de hoz y ello conlleva diversas complicaciones.

La cadena polipeptídica se dispone en **zigzag** debido a la rigidez del enlace peptídico (C=O y NH en el mismo plano) y a que el O del grupo carbonilo y el H del grupo amino presentan configuración TRANS, que es aquella en la que se sitúan en lados opuestos del enlace. Las **cadena laterales** de los aminoácidos (R) salen de los C α y se disponen **alternativamente** a uno y otro lado del eje.

Todas las cadenas llevan en un extremo un aminoácido con el grupo amino libre, a este extremo se le llama **N-inicial, N-terminal o amino-terminal** y en el otro extremo un aminoácido con el grupo carboxílico libre, a este extremo se le llama **C-terminal o carboxi-terminal**. Por convenio, los aminoácidos se numeran desde el extremo N-terminal hacia el C-terminal. Esto es debido a que en el ARNm, el primer codón que se traduce en su extremo 5' da lugar al aminoácido metionina en eucariotas, que al enlazarse con los siguientes aminoácidos mantiene su grupo amino libre.



4.2. Estructura secundaria

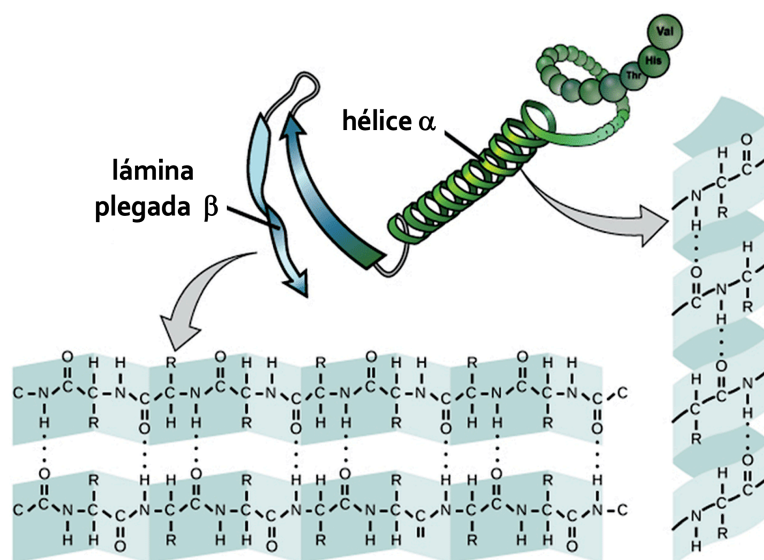
Es la **disposición espacial** en la que se dispone la cadena de aminoácidos (estructura primaria) al establecerse **enlaces** o puentes de H entre los grupos carbonilo (**C=O**) y grupos amino (**NH**) de los **enlaces peptídicos**.

Todos los enlaces de la cadena polipeptídica, excepto los enlaces peptídicos, permiten la rotación de la molécula. De todas las conformaciones posibles solo algunas son estables. La mayoría de las proteínas presentan los siguientes tres tipos de estructura secundaria:

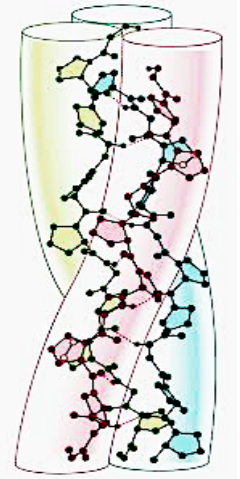
- * **α-Hélice**: La cadena polipeptídica se enrolla en espiral sobre sí misma en el sentido de las agujas del reloj (**dextrógira**) gracias a la rotación del $C\alpha$. La hélice se mantiene estable gracias a que se establecen enlaces de H entre el grupo -NH de un aa y el -C=O del cuarto aa que sigue en la secuencia. Por tanto, la α -hélice presenta 3,6 aa por cada vuelta. Las cadenas laterales (-R) quedan hacia el exterior de la α -hélice. Estos **enlaces de H son intracatenarios** (se forman entre grupos de la misma cadena) y hacen que la cadena se enrolle formando una hélice dextrógira. (¡Ojo! no tiene nada que ver con la luz polarizada, en este caso se refiere simplemente a que gira hacia la derecha). *Ej.: la α -hélice es predominante en proteínas como la miosina de los músculos y la α -queratina de lana, uñas y cabello.*

- * **Conformación β / Hoja plegada β** :

Esta estructura se produce cuando varios segmentos de la misma cadena polipeptídica (que se pliega sobre sí misma a nivel del $C\alpha$ en los extremos) o segmentos procedentes de distintas cadenas polipeptídicas se disponen uno sobre otro en forma de **zigzag**. La lámina β se estabiliza también mediante **puentes de H** entre los distintos segmentos de la cadena polipeptídica (si se trata de la misma cadena que se pliega son **intracatenarios** pero también pueden ser **intercadenarios** si se dan entre cadenas distintas). En todos los casos los grupos -R se alternan hacia arriba y abajo. La hoja plegada β es **paralela** si cada segmento tiene el mismo sentido (p.ej. todos van de N-terminal a C-terminal) y **antiparalela** si tienen sentido contrario (una va de N-terminal a C-terminal y la otra de C-terminal a N-terminal alternativamente). *Ej.: la lámina plegada β es predominante en proteínas como la β -queratina o fibroína de la seda.*

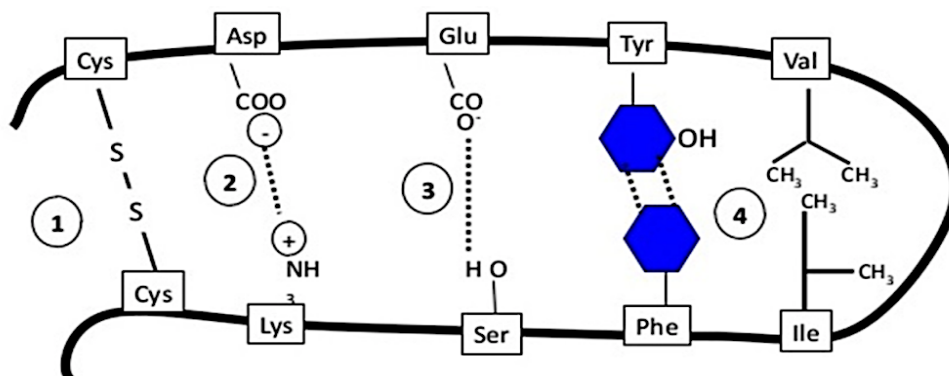


* **Hélice de colágeno:** Es una **hélice más abierta** que la hélice- α debido a la presencia de **cadena laterales voluminosas** que desestabilizan la estructura. La razón es que los -R poseen un gran nº de aminoácidos como la **prolina** que no pueden formar α -hélices por su gran volumen \rightarrow a esto se le llama en química *impedimento estérico*. Una hélice de colágeno se enrolla en sentido contrario a las agujas del reloj (es una hélice **levógira**). Para complicarlo todo un poco más, las hélices no están aisladas, se asocian formando fibras de colágeno. Una **fibra de colágeno** está formado por **3 hélices levógiras enrolladas hacia la derecha**. Ej.: como su propio nombre indica la hélice de colágeno es característica de la proteína **colágeno**.



4.3. Estructura terciaria

Es la disposición que adopta en el espacio la estructura 2^{aria} al plegarse sobre sí misma. Por tanto, nos indica como es la configuración tridimensional o conformación de la proteína. La estructura 3^{aria} se mantiene gracias a diferentes **enlaces** que se establecen principalmente **entre las cadenas laterales** (radicales -R) de los aa que forman la cadena polipeptídica. Estos enlaces son:



- 1) **Enlaces disulfuro** (-S-S-): unión covalente entre grupos tiol o sulfhidrilo -SH de 2 cisteínas (Cys).
- 2) **Interacciones iónicas** (fuerzas electrostáticas): Enlace débil entre grupos con carga opuesta. Generalmente se dan en los aminoácidos ácidos (con carga negativa) y básicos (con carga positiva); en su -R tienen grupos -NH₃⁺ y -COO⁻ adicionales.
- 3) **Enlaces de H:** en los que participan aa que tengan -R con grupos polares no iónicos.
- 4) **Fuerzas de Van der Waals e interacciones hidrofóbicas:** Uniones débiles entre grupos apolares hidrófobos (cadenas hidrocarbonadas) de las cadenas laterales (-R) de los aa.

A veces aparecen combinaciones o subestructuras estables, que se repiten y aparecen en diferentes proteínas, son los llamados DOMINIOS ESTRUCTURALES de las proteínas. Son especialmente importantes en proteínas con actividad enzimática.

Enzimas con una función similar pueden tener en común ciertos dominios estructurales.



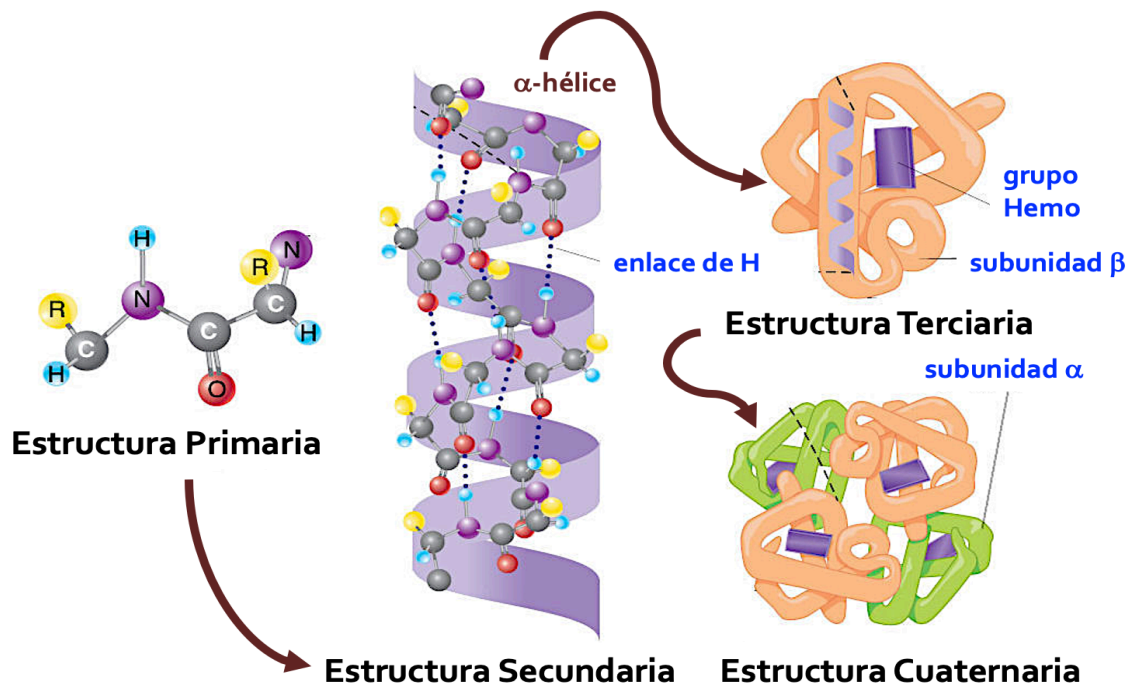
4.4. Estructura cuaternaria (solamente en proteínas oligoméricas)

Solo se presenta en las proteínas que están formadas por más de una cadena polipeptídica. A cada una de estas cadenas se las denomina subunidades o protómeros y pueden ser iguales o no.

Las proteínas que tienen estructura cuaternaria se denominan oligoméricas, y según el número de subunidades o protómeros que las formen serán: dímeros, trímeros, tetrameros, etc.

La estructura se mantiene mediante enlaces similares a los que mantienen la estructura 3^{aria} pero en este caso se establecen entre los -R de aa pertenecientes a subunidades diferentes.

Un ejemplo de proteína oligomérica es la **HEMOGLOBINA**, tetramero formado por 4 subunidades iguales dos a dos (dos subunidades α y 2 subunidades β). La hemoglobina está implicada en el transporte de oxígeno en sangre, gracias a que cada una de las 4 subunidades o protómeros está unida a un grupo hemo, cuyo átomo de Fe es capaz de unirse de forma reversible a una molécula de O₂. El Fe es un **grupo prostético**, es decir, una parte no proteica que poseen algunas proteínas unida mediante interacciones fuertes (enlaces covalentes) y que es imprescindible para que la proteína sea biológicamente activa. Si la hemoglobina perdiera su grupo prostético dejaría de ser funcional, es decir, no podría transportar oxígeno.



* ¡OJO! El colágeno se caracteriza por tener la estructura secundaria hélice de colágeno, pero en la fibra de colágeno aparecen 3 hélices levógiras enrolladas hacia la derecha, por lo que tiene estructura 4^{aria}.

* **CONFORMACIÓN DE LA PROTEÍNA** (MUY IMPORTANTE: LOS EJEMPLOS HAY QUE SABERLOS TODOS)

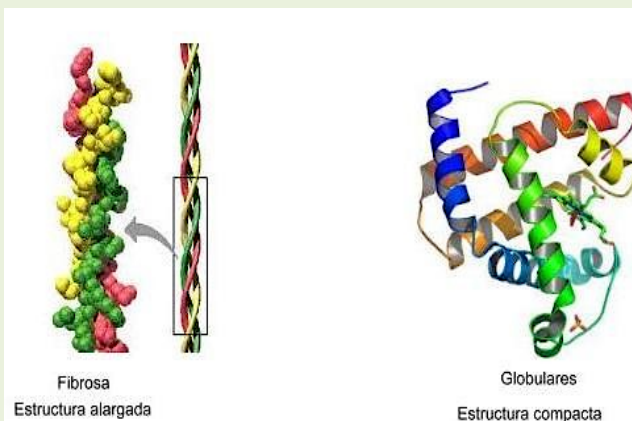
En su estado nativo, la proteína adopta una forma característica o configuración tridimensional que recibe el nombre de **conformación**. Esta conformación es una combinación de la estructura primaria, secundaria, terciaria y, en el caso de que la tenga, también de la estructura cuaternaria. No obstante, es la estructura terciaria la que tiene más peso en la conformación de la proteína y la que permite clasificar las proteínas en dos tipos: las globulares y las fibrosas o filamentosas.

Normalmente, si en las proteínas predomina solo un tipo de estructura secundaria que se repite (p.ej. la hélice α en la α -queratina, la lámina β en la β -queratina o fibroína, y las hélices de colágeno en el colágeno), las proteínas no sufren grandes modificaciones en la estructura terciaria y dan lugar a proteínas fibrosas o filamentosas. En cambio, si hay diversidad de estructuras, se favorece la

compactación y un alto grado de plegamiento en la estructura terciaria, haciendo que las proteínas adopten una forma tridimensional compacta bastante esférica, como ocurre en proteínas globulares.

¿Qué diferencia una PROTEÍNA FILAMENTOSA de una PROTEÍNA GLOBULAR?

Las **proteínas fibrosas** tienen conformación filamentosa, son alargadas y bastante resistentes, insolubles en H₂O debido a los grupos -R hidrófobos y, generalmente, desempeñan una función estructural. Destacan el colágeno del tejido conjuntivo, cartilaginoso y óseo, la α -queratina del cabello y uñas, la fibroína o β -queratina de la seda, la fibrina que participa en la coagulación sanguínea o la miosina, proteína fibrosa que interviene en la contracción muscular.



Las proteínas globulares suelen estar muy plegadas y adoptan una forma tridimensional compacta más o menos esférica. Las proteínas con conformación globular son solubles en H₂O y en disoluciones acuosas (porque los -R apolares se sitúan hacia el interior huyendo del contacto con el medio acuoso y los grupos polares se disponen hacia el exterior favoreciendo la solubilidad). Las proteínas globulares desempeñan funciones dinámicas. Por ejemplo, son proteínas globulares enzimas como la hexoquinasa que participa en la glucólisis; las histonas que se asocian al ADN; las inmunoglobulinas o anticuerpos con función de defensa; la hemoglobina que tiene estructura cuaternaria y posee grupos HEMO con Fe que transporta el O₂; la albúmina, proteína que transporta sustancias por sangre y actúa como reserva de aminoácidos; la caseína de la leche, etc.

5. PROPIEDADES DE LAS PROTEÍNAS:

- **Solubilidad:** La solubilidad depende de diversos factores como: grupos ionizados a dicho pH, conformación globular o filamentosa, disposición de los -R en el espacio, etc. Las proteínas que tienen **conformación fibrosa** (=filamentosa) son **insolubles** mientras, que las que tienen **conformación globular** son **solubles** en H₂O. Debido a su elevado peso molecular, las proteínas globulares suelen formar **dispersiones coloidales** no disoluciones verdaderas (*como le ocurre al polisacárido almidón*).
- **Desnaturalización:** Es el proceso mediante el cual las proteínas **pierden su conformación nativa** (configuración espacial característica) y **como consecuencia de la pérdida de la estructura tridimensional**, pierden también sus propiedades y **dejan de realizar su función**. Una proteína se desnaturaliza cuando se ve sometida a **variaciones de T^a, variaciones de pH**, radiación, presencia de disolventes orgánicos, etc. Se rompen los enlaces que mantienen las estructuras 2^{aria}, 3^{aria} y, en el caso de proteínas con varias cadenas polipeptídicas, la estructura 4^{aria} (es decir, se rompen los enlaces de H, las atracciones electrostáticas, las interacciones hidrofóbicas, las fuerzas de Van der Waals y los enlaces S-S, que aunque son covalentes son sensibles a los agentes desnaturalizantes) mientras que los enlaces peptídicos al ser más fuertes (son de tipo covalente) no se ven afectados y, por tanto, no se destruye la estructura primaria. Cuando la proteína se desnaturaliza, normalmente adopta una conformación lineal y precipita (es insoluble).
Existen **dos tipos** de desnaturalización: **reversible** e **irreversible**. En las ocasiones en que la desnaturalización es reversible, las condiciones desnaturalizantes son poco intensas o duran poco tiempo y la proteína puede recuperar de nuevo su conformación original. A este proceso se le

denomina **renaturalización**. En la desnaturalización irreversible, la proteína no puede recuperar su estructura tridimensional original y no puede renaturalizarse ni recuperar su función.

P.ej. es una desnaturalización reversible la que ocurre en la queratina del cabello al moldear el pelo con secador o plancha pero es de tipo irreversible la coagulación al calentar la albúmina de la clara del huevo o la desnaturalización de la caseína al "cortarse la leche" debido a cambios de pH.

- ❖ **Especificidad:** Al contrario que los glúcidos y lípidos (que son iguales en todos los seres vivos), la mayoría de proteínas son características de cada especie e incluso pueden variar de unos individuos a otros. Se puede decir que las proteínas nos caracterizan y nos diferencian de los demás. De hecho, cuando una proteína de un organismo se introduce en otro, actúa como un cuerpo extraño y el organismo que la recibe se defiende atacándola (p.ej. en los rechazos de órganos). Se denomina **proteínas homólogas** a aquellas que realizan una misma función pero en especies diferentes (normalmente serán similares, pero pocas veces idénticas). La mayoría de veces son proteínas con la misma función y una estructura tridimensional muy semejante, pero suelen tener una secuencia de aminoácidos con alguna diferencia según el organismo del que se trate. Estos pequeños cambios tienen gran relevancia a la hora de establecer parentescos evolutivos entre especies.

*La especificidad cobra especial importancia en un tipo de proteínas, **las enzimas**, ya que cada enzima solo reacciona con un sustrato determinado. P.ej. las enzimas son tan específicas que únicamente atacarían a una L-prolina y no a su enantiómero, una D-prolina. En las enzimas, el conjunto de aminoácidos que reconoce y contacta con el sustrato se denomina **SITIO** o **CENTRO ACTIVO**. Al ser la región estructural de la enzima donde tiene lugar la unión de los sustratos y la catálisis, cualquier cambio en la conformación del centro activo inactivaría la enzima.*

- **Capacidad amortiguadora:** Las proteínas, al estar formadas por aminoácidos, son también anfóteras, es decir se pueden comportar como ácidos o como bases dependiendo del pH del medio. Ello se debe a la presencia de grupos ionizables ($-\text{NH}_3^+$ y $-\text{COO}^-$) que pueden captar y ceder H^+ , amortiguando las variaciones de pH.

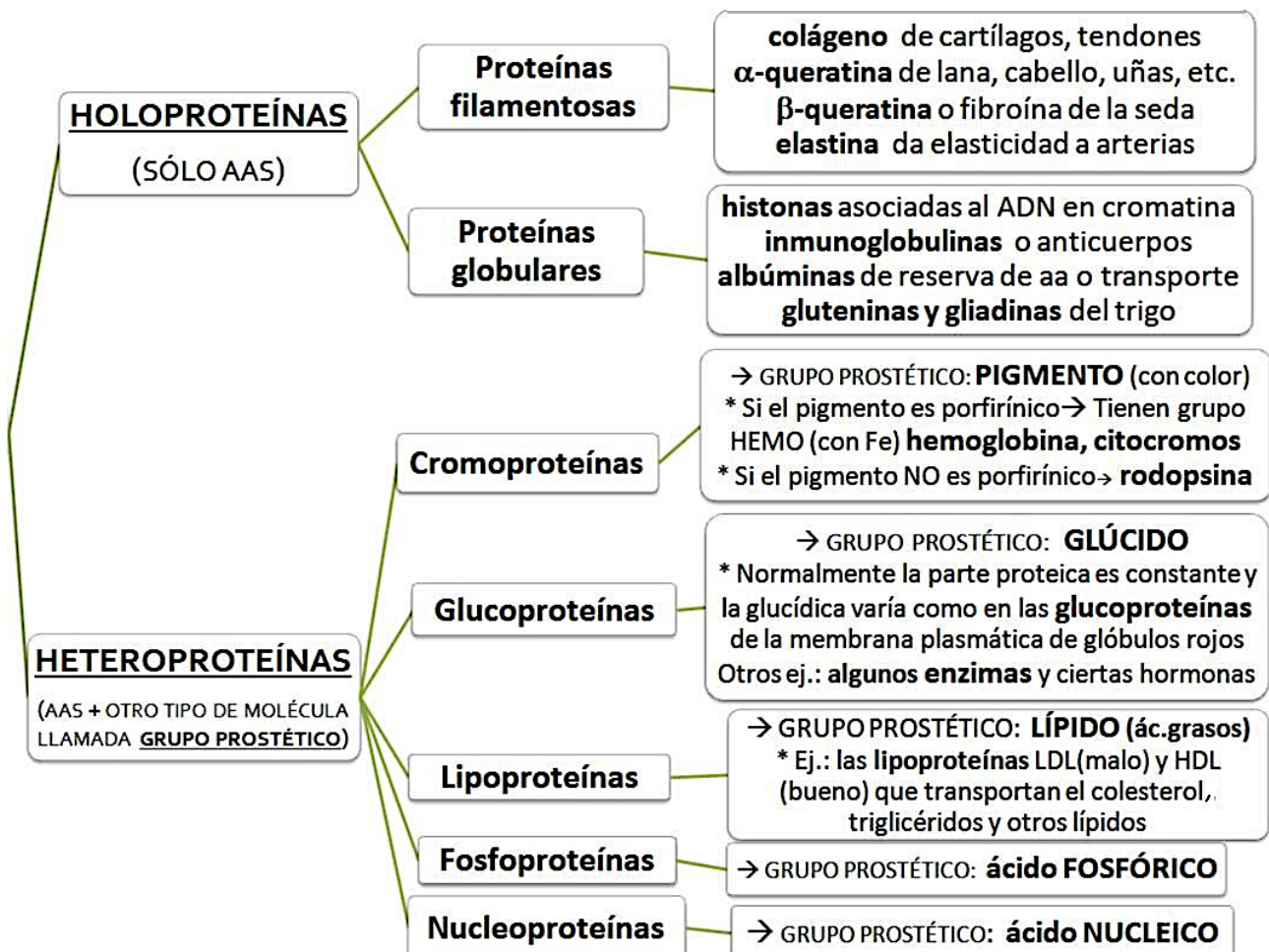
6. **FUNCIONES DE LAS PROTEÍNAS** (¡OJO! Hay que saberse todas las funciones con todos los ejemplos)

- **Función estructural:** Las proteínas, sobre todo las filamentosas, forman la mayoría de las estructuras celulares. Las **glucoproteínas** forman parte de las membranas celulares (el famoso glucocálix). Las **histonas** son imprescindibles para que el ADN se empaquete en cromatina y en los cromosomas. El **colágeno** forma parte del tejido conjuntivo, cartilaginoso y óseo, es decir de tendones, cartílagos, huesos etc.; la **elastina** forma parte de la pared de las arterias y de ciertos órganos; la **α -queratina** forma estructuras dérmicas como la epidermis, el cabello, uñas, plumas y cuernos; la **β -queratina** o **fibroína** confiere resistencia a la seda de los gusanos de seda o de las telas de araña.
- **Función de transporte:** Muchas proteínas se unen con otras moléculas e intervienen en su transporte. Existen proteínas en las membranas celulares (**proteínas transmembrana** o **permeasas**) que transportan sustancias entre el exterior y el interior de la célula. La **hemoglobina** transporta el O_2 en la sangre de los vertebrados, los **citocromos** transportan electrones en la cadena respiratoria (en el interior de las mitocondrias) y en la fase luminosa de la fotosíntesis (en los cloroplastos); las **lipoproteínas** LDL y HDL transportan por la sangre el colesterol, triglicéridos y otros lípidos; etc.

Por otro lado, tenemos las **proteínas motoras** como la **dineína** y la **kinesina**, que están asociadas a los microtúbulos y participan en el movimiento de cilios y flagelos así como en el movimiento de los cromosomas a lo largo del huso acromático en la división celular.

- **Función enzimática:** Algunas proteínas actúan como *biocatalizadores* (facilitando y acelerando las reacciones químicas que tienen lugar en los seres vivos). Estas proteínas se denominan **enzimas** y constituyen el grupo más numeroso de proteínas y posiblemente el más importante. P.ej. la enzima RuBisCO implicada en la fotosíntesis; la hexoquinasa que participa en la glucólisis; las amilasas que hidrolizan el almidón; la lactasa que rompe la lactosa; la ADN-polimerasa, etc.
- **Función contráctil:** Los movimientos y la locomoción de los organismos tanto unicelulares como pluricelulares se deben a la acción de algunas proteínas. P.ej. la **actina** y la **miosina** son responsables de la contracción muscular y la **flagelina** forma parte del flagelo bacteriano.
- **Función de defensa:** Algunas proteínas realizan una función protectora para el organismo como un tipo de globulinas, las **inmunoglobulinas**, que constituyen los anticuerpos. También las **mucinas** que son unas glicoproteínas que crean una especie de red que retiene organismos patógenos o partículas perjudiciales en la superficie de las mucosas o en fluidos como la saliva.
- **Función hormonal:** Algunas hormonas son proteínas y actúan regulando diversos procesos metabólicos. Una hormona proteica es la **insulina** que regula el metabolismo de los glúcidos.
- **Función homeostática:** Las proteínas contribuyen a mantener constantes las condiciones del medio interno. Intervienen en el mantenimiento del equilibrio osmótico y debido a su carácter anfótero actúan como sistemas amortiguadores de pH (tampones orgánicos).
- **Función de reserva:** Algunas proteínas como la **albúmina** de la clara de huevo o la **caseína** de la leche actúan como reserva de aminoácidos.

7. CLASIFICACIÓN DE LAS PROTEÍNAS



8. ENZIMAS (este apartado continuará y se desarrollará con mucho más detalle en el tema 9)

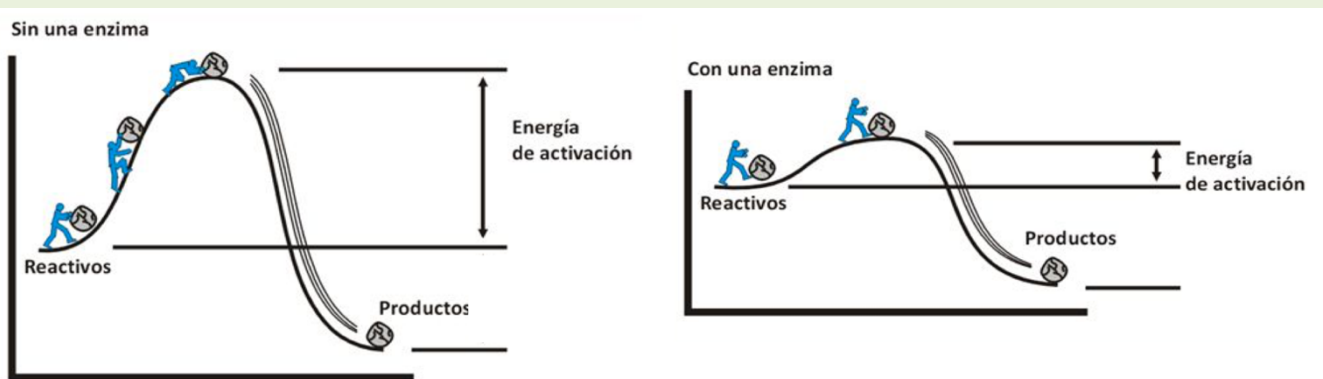
¿Qué entendemos por ENZIMA?

Los enzimas son **biocatalizadores**, es decir, aumentan la velocidad de las reacciones bioquímicas al disminuir la energía de activación. Son de vital importancia en las reacciones metabólicas, pues catalizan reacciones que sin enzimas, no podrían darse o se darían a una velocidad extremadamente lenta.

Respecto a su estructura química, la gran mayoría son **proteínas globulares** aunque también existen algunos enzimas formados por ARN llamados ribozimas. Pero, en general, se trata de proteínas sintetizadas por las propias células, que actúan sobre una reacción específica sin afectar a otras. Funcionan de manera óptima a pH y temperatura fisiológicos (en estas condiciones poseen una conformación tridimensional activa). Los enzimas son regulables por la célula, haciendo que su actividad sea mayor o menor en función de las necesidades.

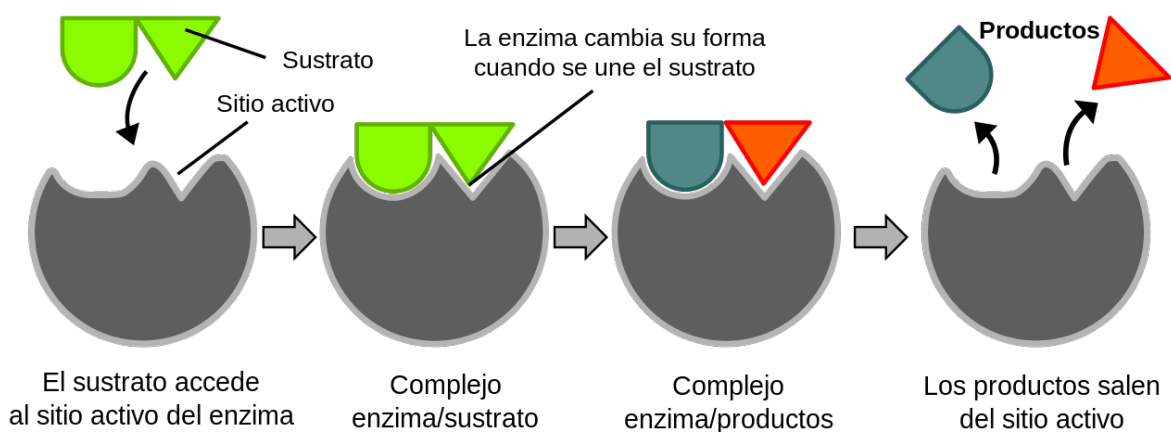
Una reacción química se produce porque se rompen los enlaces de los reactivos y se forman nuevos enlaces en los productos. El momento en el que se han roto enlaces, pero todavía no se han formado otros nuevos, se denomina **estado de transición**. Se necesita una cantidad de energía llamada **energía de activación** para conseguir alcanzar ese estado de transición y que la reacción se produzca.

Tal y como se explica en la imagen, los enzimas aceleran las reacciones porque consiguen disminuir la energía de activación para que los reactivos logren transformarse en los productos.

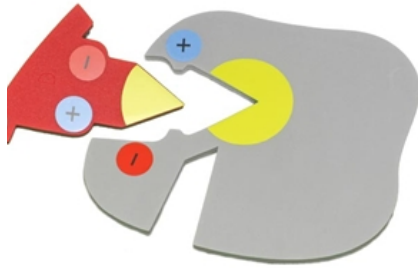


8.1. Mecanismo y características de las ENZIMAS

Los enzimas actúan sobre unas moléculas determinadas llamadas SUSTRATOS. Al unirse enzima y sustrato forman el complejo enzima-sustrato que luego dará lugar al enzima (listo para actuar otra vez) y al producto: $E + S \rightarrow ES \rightarrow E + P$



Los enzimas poseen un **centro activo** (también llamado sitio activo) que es la zona específica de la molécula a la que se une el sustrato y donde se produce la catálisis. La disposición de aminoácidos en el centro activo es la que determina la especificidad del enzima.

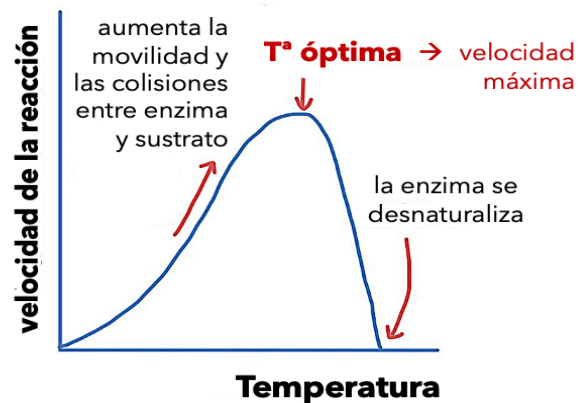
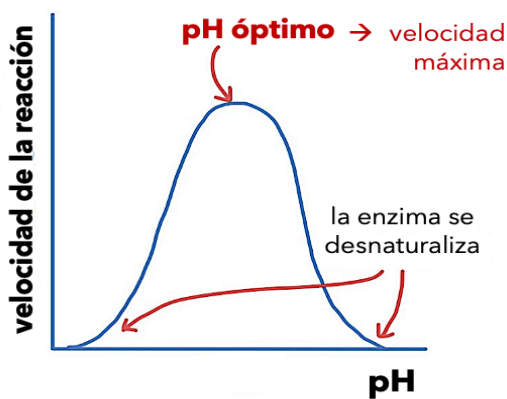


El sustrato se unirá al centro activo por interacciones electrostáticas, enlaces de H, interacciones hidrofóbicas, fuerzas de Van der Waals, etc. Y para ello, el sustrato debe encajar perfectamente en el centro activo (se trata de una reacción con una elevada especificidad). Cambios en la conformación del sitio activo normalmente llevarán consigo una pérdida de actividad.

Existen varios modelos para explicar la unión entre enzima y sustrato, pero las más importantes son el **modelo de la llave y cerradura** (formas complementarias donde centro activo y sustrato encajan a la perfección) y el **modelo del ajuste inducido** (la más aceptada, en la que la forma del centro activo se adapta a la del sustrato cuando se produce la unión). También existe el **modelo del apretón de manos** (tanto el sustrato como el enzima modifican su forma para acoplarse). Estos modelos no son incompatibles; puede darse una mezcla entre ellos, dependiendo del grado de especificidad del enzima.

Las **CARACTERÍSTICAS** principales de los **enzimas** son:

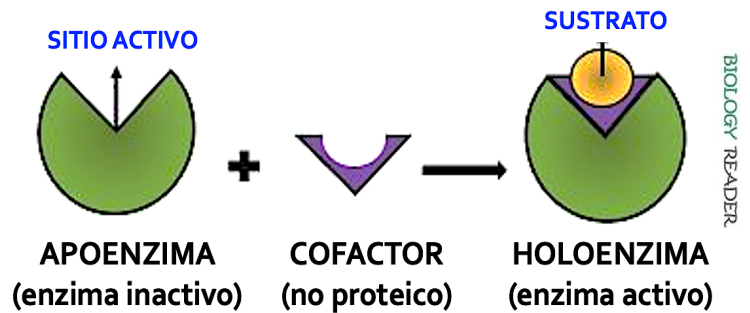
- **Gran poder catalítico:** son muy activos. Una pequeña cantidad de enzima es capaz de catalizar la transformación de una gran cantidad de sustrato. La **catálisis enzimática** se define como el aumento de velocidad de una determinada reacción química gracias a la acción de un enzima específico.
- **Aceleran la reacción** porque **reducen la energía de activación**. Permiten que ciertas reacciones transcurran de forma rápida y a T^a relativamente bajas (compatibles con la vida). De hecho, su T^a óptima de actuación suele ser la del ser vivo donde se encuentran.
- Tienen una **alta especificidad**, ya que solo reaccionan sobre un determinado sustrato. Para cada sustrato hay una enzima diferente y cada reacción que se produce en el organismo es catalizada por un enzima específico.
- **No se consumen** en la reacción por lo que pueden actuar repetidamente (se van reutilizando).
- Como son proteínas **se desnaturalizan**, es decir pierden su conformación nativa y por tanto, su estructura tridimensional y su función. Por ello, son sensibles a los **cambios de T^a y pH**. Aunque esos 2 factores son los más importantes, los cambios en la presión atmosférica, presencia de detergentes y algunos disolventes orgánicos también pueden causar la desnaturalización. De hecho, se considera que cada enzima tiene una temperatura y un pH óptimos en los que su actividad catalítica es máxima. Si los valores se alejan de dicha T^a o pH óptimos, la actividad disminuye hasta desaparecer.



- Algunos enzimas presentan formas moleculares distintas, llamados **ISOENZIMAS**, que suelen catalizar la misma reacción metabólica pero en distintas partes del cuerpo.
- Existen enzimas con una forma inactiva, llamada **PROENZIMA** o **ZIMÓGENO**, que necesita activarse. P.ej. el pepsinógeno (inactivo) se activa con el HCl del estómago, transformándose en pepsina (activa).

8.2. Clasificación de ENZIMAS

- ❖ **Enzimas estrictamente proteicos** (*no necesitan nada más, simplemente son una proteína globular*).
- ❖ **Holoenzimas constituidos por el APOENZIMA (parte proteica) + COFACTOR/GRUPO PROSTÉTICO (parte no proteica)**. La parte proteica de un holoenzima, es decir el apoenzima, por sí solo es inactivo, necesita unirse a un cofactor o un grupo prostético para activarse y poder catalizar las reacciones.



Hay 2 tipos de cofactores:

- **Cofactores inorgánicos:** Son iones metálicos. Ej.: Fe^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , etc.
- **Cofactores orgánicos:** La gran mayoría son moléculas orgánicas de bajo peso molecular llamadas **coenzimas** que son sintetizadas a partir de vitaminas en la mayoría de los casos y cuya presencia es requerida por algunas enzimas para poder activarse y catalizar la reacción. P.ej. el NADP^+ , el FAD o el coenzima A (CoA).

Mientras que un cofactor se une al centro activo del enzima por enlace no covalente (más débil) colaborando en que la reacción se lleve a cabo, el **grupo prostético**, sea orgánico o inorgánico, se encuentra fuertemente unido al apoenzima mediante un enlace covalente.

- ❖ **Ribozimas** (*un tipo especial de enzimas que no son proteínas sino ARN con capacidad catalítica*).

7.3. Nomenclatura y clases de ENZIMAS

Para nombrar los enzimas se suele aludir al sustrato y/o al tipo de reacción catalizada. A este término se le añade el sufijo **-asa**. Por ejemplo, la *lactasa* cataliza la hidrólisis de la lactosa (es el sustrato) en glucosa y galactosa (su déficit causa la intolerancia a la lactosa, ya que ésta no se puede hidrolizar). Según el tipo de reacción que catalizan, las enzimas se clasifican en 6 clases:

- **OXIDO-REDUCTASAS** (catalizan reacciones *redox*)
- **TRANSFERASAS** (transfieren grupos)
- **HIDROLASAS** (reacciones de hidrólisis)
- **LIASAS** (separan grupos pero sin que intervenga el H_2O como en las hidrolasas)
- **ISOMERASAS** (transforman un isómero en otro).
- **LIGASAS** o **SINTETASAS** (unen moléculas, forman enlaces utilizando ATP)

* Actualmente, se conocen un gran número de enzimas (unos 2000 aprox.) y para su clasificación se utiliza un sistema de nomenclatura especial, indicada por las letras **EC** (*Enzyme Commission number*) seguidas de varias cifras. En este catálogo de enzimas, el 1º número indica que la enzima corresponde a una de las seis clases principales de enzimas mencionadas anteriormente, seguidas de otros tres números que identifican al enzima concreto. Ej: la hexoquinasa de la glucólisis es el E.C.2.7.1.1.

TEMA 5: LOS ÁCIDOS NUCLEICOS

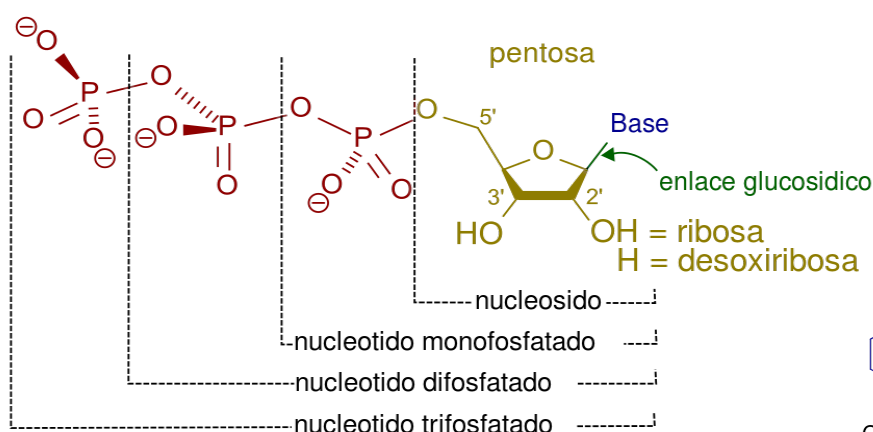
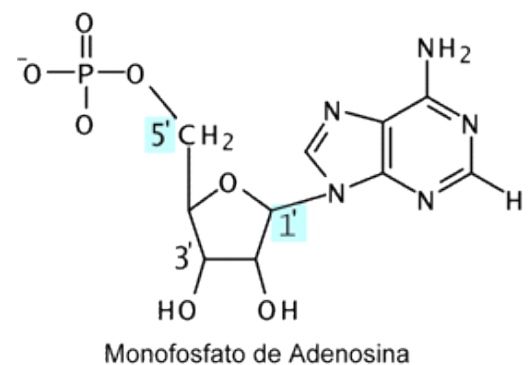
¿Qué entendemos por ÁCIDOS NUCLEICOS?

Son biomoléculas de elevado peso molecular formadas por C, H, O, N y P. Se encargan del almacenamiento, interpretación y transmisión de la información genética. Los ácidos nucleicos son polinucleótidos (polímeros formados por monómeros llamados nucleótidos). Normalmente se encuentran asociados a proteínas, como las histonas o las protaminas presentes solo en los espermatozoides.

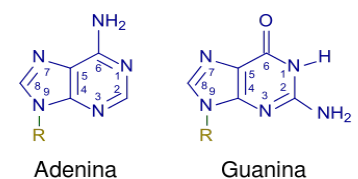
1. Estructura de los NUCLEÓTIDOS y NUCLEÓSIDOS:

Los **nucleótidos** están formados por una pentosa, un ácido fosfórico y una base nitrogenada:

- **Pentosa:** Sus carbonos se numeran del 1' al 5' para diferenciarlos de los carbonos de la base nitrogenada. La ribosa tiene un -OH en el carbono 2' y está en el ARN. La desoxirribosa pierde ese -OH, presentando solo dos -H en 2' y forma parte del ADN.
- **Ácido fosfórico:** En los nucleótidos del ADN y ARN hay un fosfato que se une a la pentosa por un enlace FOSFOÉSTER al carbono 5' de la pentosa. El ácido fosfórico, suele comportarse como ácido, liberando H⁺ y quedando cargado negativamente (por eso a los ácidos nucleicos se les llama polianiones y se desplazan hacia el polo positivo en la electroforesis de agarosa). En otras moléculas, puede haber hasta 3 fosfatos como en el ATP (Adenosín-trifosfato/ Adenosina-5'-trifosfato).
- **Base Nitrogenada:** A / G son bases púricas (nombre pequeño → fórmula grande: 2 ciclos con N) y las bases pirimidínicas (nombre largo → fórmula pequeña con 1 solo ciclo) son C, T (ADN) y U (ARN). **Se une al carbono 1' de la pentosa por un enlace N-glucosídico.**



Purinas



Pirimidinas



En cambio, los **nucleósidos** están formados solo por la pentosa y la base nitrogenada (NO TIENEN EL FOSFATO COMO LOS NUCLEÓTIDOS). Se denominan timidina, uridina y citidina (*-idina si es base pirimidina*) y adenosina y guanosina (*-osina si son purinas*). Además se le añade el prefijo desoxi- si la pentosa es la desoxirribosa por tanto:

- **Ribonucleósidos** : Adenosina, Guanosina, Citidina y Uridina.
- **Desoxirribonucleósidos** : Desoxiadenosina, Desoxiguanosina, Desoxicitidina y Desoxitimidina

Para nombrar el nucleótido correspondiente, se añade el fosfato p.ej. Desoxiadenosin-5'-monofosfato.

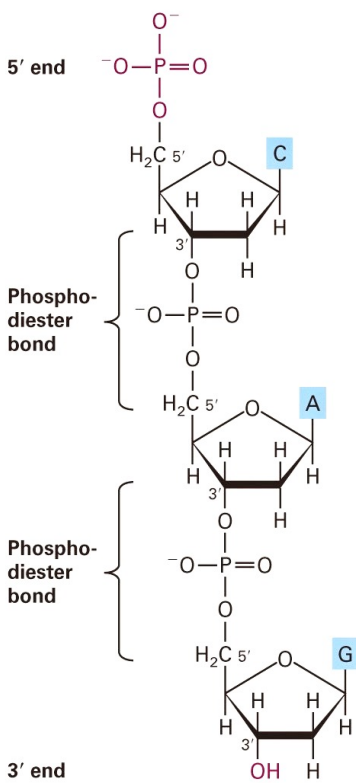
Al hablar de nucleótidos, normalmente pensamos en los que forman parte de los ácidos nucleicos, ADN o ARN. No obstante, existen otros nucleótidos con gran importancia en el metabolismo celular. Se trata de moléculas energéticas como el **ATP** (adenosín-5'-trifosfato) o el **GTP** (guanosín-5'-trifosfato) y de coenzimas y precursores de vitaminas como el **NAD** (nicotinamín adenín dinucleótido), el **NADP** (nicotinamín adenín dinucleótido fosfato) o el **FAD**: (flavín adenín dinucleótido).

¿Qué es un ENLACE FOSFODIÉSTER o ÉSTER FOSFÓRICO?

Se llama también enlace nucleotídico porque une nucleótidos en la cadena de un ácido nucleico. Un mismo grupo fosfato forma un enlace fosfoéster con el -OH en posición 5' de un nucleótido y con el -OH en posición 3' del siguiente nucleótido de la cadena. Por eso se llama enlace **FOSFODIÉSTER**.

Por tanto, en una cadena de nucleótidos habrá siempre un extremo con el grupo 5' libre (el del fosfato) y otro con el grupo-OH libre en el carbono 3'. **SI NO ESPECIFICA LO CONTRARIO, EL ADN SE ESCRIBE EN SENTIDO 5'→3'.**

2. Clasificación de los ÁCIDOS NUCLEICOS:



Los ácidos nucleicos pueden presentarse como una única cadena o hebra (monocatenarios) o, debido a la complementariedad entre bases (C ≡ G y A=T), como una doble cadena/ hebra (bicatenarios). Además pueden ser lineales o circulares. Los virus son los únicos que tienen ADN monocatenario, lineal o circular) y ARN bicatenario. La información genética de varios virus, como los coronavirus, es ARN monocatenario al igual que es ARN monocatenario el ARNm, ARNt y ARNr de organismos eucariotas y procariontas.

DNA o ADN Ácido desoxirribonucleico	Monocatenario 1 hebra	Lineal	Virus
		Circular	
	Bicatenario 2 hebras	Lineal	Núcleo de células eucariotas, virus
		Circular	Bacterias, mitocondrias, cloroplastos, virus
RNA o ARN Ácido ribonucleico	Monocatenario	ARN mensajero (RNAm)	
		ARN transferente (RNAt)	
		ARN ribosómico (RNAr)	
		Virus como el de la gripe, el VIH o los coronavirus	
	bicatenario	Reovirus --> lengua azul de las vacas	

3. Estructura del ADN:

El ADN es una macromolécula de elevado peso molecular (también se llama polinucleótido) formada por desoxirribonucleótidos, con desoxirribosa como pentosa y A, T, G y C como bases nitrogenadas. Al igual que las proteínas presenta varios niveles estructurales, desde la estructura primaria (enlaces fosfodiéster), estructura secundaria (doble hélice con enlaces de H) hasta la terciaria y otros niveles de empaquetamiento.

3.1. Estructura primaria

Es la secuencia ordenada de nucleótidos de una cadena de ADN. Presenta un esqueleto de fosfatos y pentosas del que parten las bases nitrogenadas (A, G, C, T). En la estructura primaria reside la información necesaria para la síntesis de proteínas, por lo que cambios o mutaciones en la secuencia de nucleótidos alterarán la información genética.

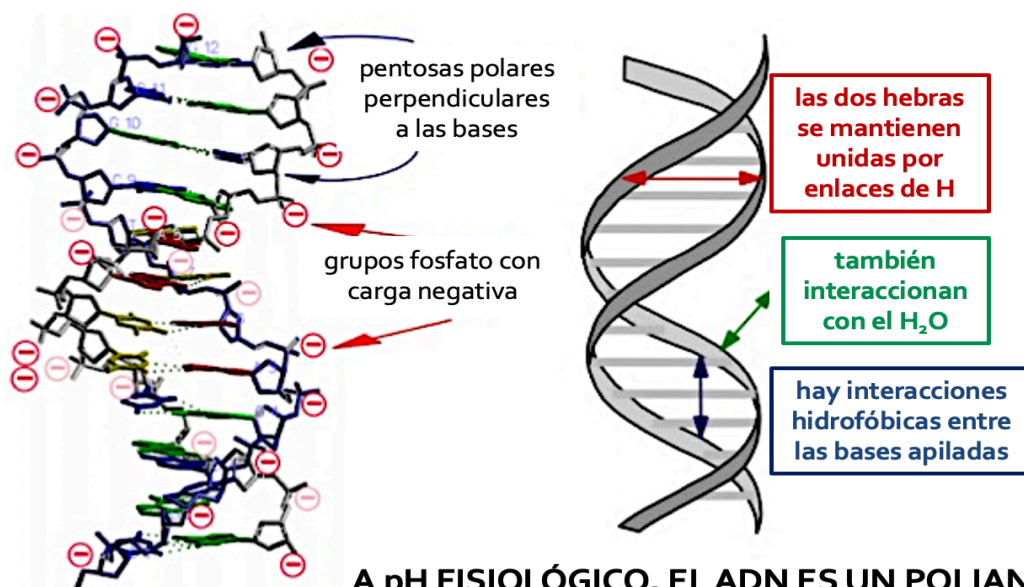
3.2. Estructura secundaria (doble hélice)

Es la disposición espacial que adoptan las dos cadenas de nucleótidos dispuestas en doble hélice y con las bases enfrentadas y unidas mediante enlaces de H. Se trata de una especie de escalera de caracol, siendo los lados de la escalera las cadenas lineales de nucleótidos unidos por enlaces fosfodiéster mientras que los peldaños de la escalera son las bases nitrogenadas que sobresalen de ambas cadenas unidas mediante enlaces de H (siempre se une una base púrica con una pirimidínica).

Esta estructura se dedujo a partir de los siguientes datos:

- En 1950, Chargaff llegó a la conclusión de que existe una regla constante en el ADN eucariota: la proporción de bases púricas y pirimidínicas es siempre la misma y que $A/T=1$, $G/C=1$.
- En ese mismo año (1950) Wilkins y Rosalind Franklin dedujeron, al analizar el ADN mediante difracción de rayos X, que era una molécula helicoidal con un diámetro constante de 2 nm (nanómetros), o lo que es lo mismo 20 Å (Angström), ya que $1 \text{ nm} = 10 \text{ Å} = 1 \times 10^{-9} \text{ m} = 1 \times 10^{-6} \text{ mm}$.
- A partir de esos datos, en 1953, **Watson y Crick** propusieron la estructura de **doble hélice del ADN**:
 - Las cadenas presentan un esqueleto de pentosas y fosfatos hacia el exterior, con las bases nitrogenadas de ambas cadenas hacia el interior y enfrentadas estableciendo enlaces de H.
 - Es una hélice dextrógira (gira hacia la derecha).
 - Las 2 hebras son antiparalelas (si una va en sentido $3' \rightarrow 5'$ y la otra en $5' \rightarrow 3'$).
 - Son complementarias (cada A de una cadena se une mediante dos enlaces de H a una T de la otra cadena y cada G se une mediante tres enlaces de H a una C: $(A=T, G \equiv C)$. *Esta vez la Guardia Civil NO va en pareja.*
 - El enrollamiento es plectonémico (las cadenas giran alrededor de un eje imaginario y no pueden ser separadas sin desenrollar ambas a la vez).
 - Las bases nitrogenadas son estructuras planas perpendiculares al eje de la doble hélice y se encuentran a una distancia entre ellas de 0,34 nm ($=3,4 \text{ Å}$). Cada 10 pares de bases (pb), es decir, cada 3,4 nm ($=34 \text{ Å}$), la doble hélice da una vuelta.
 - El diámetro de la doble hélice es de 2 nm ($=20 \text{ Å}$).
 - Presenta dos surcos de distinto tamaño, un surco mayor y uno menor, que se van repitiendo.

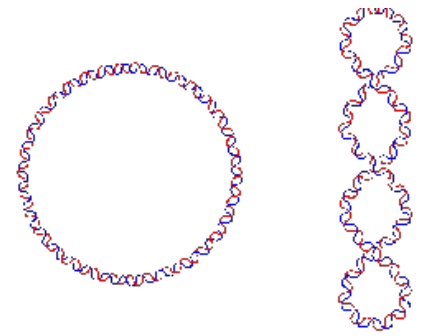
La anterior es la **forma B del ADN**, la más común y mayoritaria en las células. Pero además, el ADN puede encontrarse en forma Z (es levógira e irregular) y en forma A (es como la forma B pero deshidratada, más ancha y corta y solo ha sido observada en el laboratorio).



3.3. Estructura terciaria del ADN y niveles de empaquetamiento

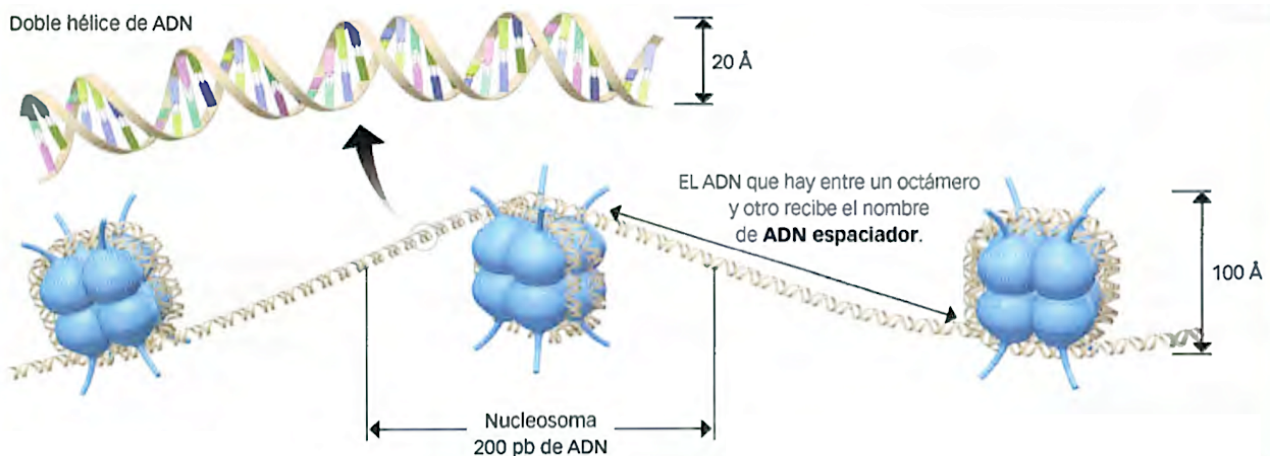
En el ADN circular de las bacterias, la estructura 3^{aria} consiste en un superenrollamiento de la doble hélice para así ahorrar espacio.

En el ADN eucariota, sí que se dan niveles superiores de empaquetamiento gracias a la asociación de ADN con proteínas (llamadas histonas; solo en espermatozoides el ADN se asocia a otras proteínas más pequeñas, las protaminas). Se define la **cromatina** como una estructura fibrilar que se presenta en el núcleo interfásico y que está formada por ADN asociado a proteínas llamadas histonas.



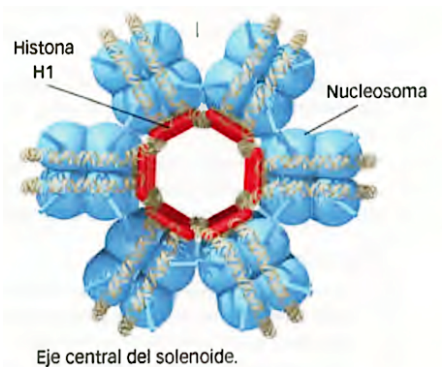
Comenzamos con la doble hélice de ADN que tiene un diámetro de 2nm (=20 Å), esta se empaqueta con ayuda de las histonas para formar la cromatina en el siguiente orden:

1º) Collar de perlas: Fibra de cromatina de 10 nm (100 Å) --> el ADN se encuentra así cuando la célula está en interfase (reposo, pues no se está dividiendo). Consiste en una sucesión de **nucleosomas** (que son como las *perlas* del collar) separadas por un **ADN espaciador**. Cada nucleosoma consta de ADN enrollado a un **octámero de histonas** (2 histonas de tipo H2A, 2 de H2B, 2 de H3 y 2 histonas de tipo H4: en total 8 histonas). Este modelo constituye la fibra de cromatina laxa. No obstante, cada nucleosoma puede asociarse a una nueva histona, la histona **H1**, constituyendo la fibra de cromatina condensada.

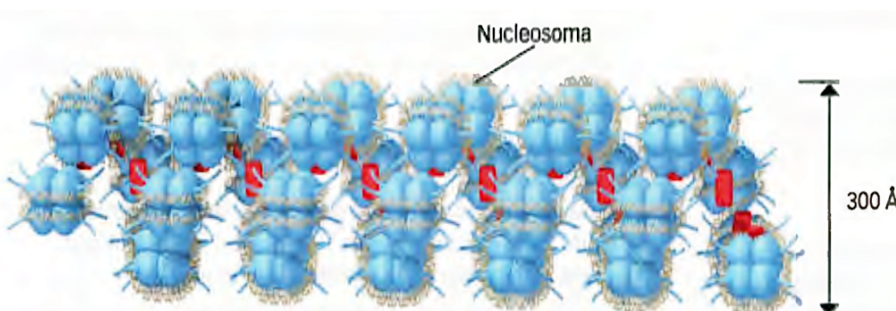


** Por tanto, se define nucleosoma como un nivel de organización de la cromatina que consta de 8 histonas y dos vueltas de ADN espaciador.*

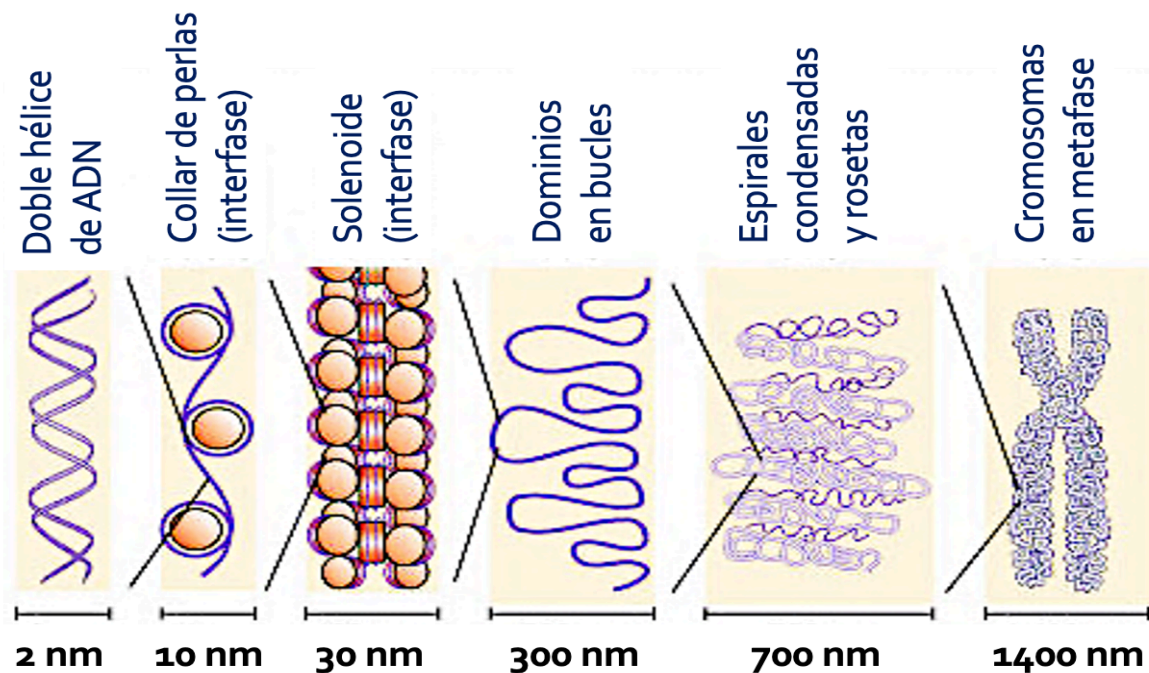
2º) Solenoide: Fibra de cromatina de 30 nm (300 Å) --> La fibra de 10 nm (=100 Å) se enrolla helicoidalmente presentando 6 nucleosomas por vuelta y las H1 se disponen formando el eje de la hélice. En el núcleo de la célula toda la cromatina se encuentra como fibra de 10 nm (=100 Å) y de 30 nm (=300 Å).



Las histonas son proteínas básicas y tienen carga positiva, de ahí su afinidad con los fosfatos con carga negativa del ADN



3º) **Dominios en bucle** --> Con la fibra de 30 nm (=300 Å) se reduce la longitud del ADN unas 40 veces. En los cromosomas, gracias a que la fibra de 30 nm forma una serie de bucles que a su vez se empaquetan en rosetas, la longitud del ADN se logra reducir hasta unas 10000 veces.



La cromatina interfásica, es decir la fibra de 10 nm y de 30 nm, se observa en el núcleo cuando está en interfase (no se está dividiendo), presenta aspecto fibrilar, está poco compactada y es muy activa metabólicamente (los genes se transcriben y se traducen). Sin embargo, cuando la célula va a dividirse, la cromatina sigue condensándose en dominios en bucle y en rosetas hasta llegar a formar cromosomas. Los cromosomas, que presentan el mayor grado de condensación de la cromatina, son ya observables al microscopio óptico, y no son activos metabólicamente. Al dividirse, en la metafase, en los cromosomas metafásicos se observan las dos cromátidas hermanas unidas por el centrómero situados en el plano ecuatorial de la célula.

4. Función del ADN:

El ADN es el portador de la información hereditaria, las instrucciones para la vida que se transmiten de generación en generación. El conjunto de información que cumple esta función en un organismo se denomina genoma, y el ADN que lo constituye, ADN genómico.

4.1. Propiedades del ADN:

Se encuentra en el núcleo celular de los eucariotas, además de pequeñas cantidades en las mitocondrias y cloroplastos. En procariontes, el ADN se encuentra en un cuerpo de forma irregular denominado nucleoide.

- ❖ **Estabilidad:** Aunque a veces se produzcan mutaciones, en condiciones normales, la molécula de ADN es muy estable, ya que contiene la información biológica y, por tanto, no debe poder alterarse con facilidad. Para duplicarse se separa en 2 hebras y cada una sirve de molde para la nueva cadena.
- ❖ **Desnaturalización:** Si el ADN se somete a Tª cercanas a los 90-100°C se rompen los enlaces de H que unen las bases, separándose las dos cadenas (*costará más de romper las uniones G=C que las A=T por el número de enlaces de H que las mantienen unidas*). Ocurre lo mismo con variaciones de pH que también consiguen desnaturalizar el ADN. Los enlaces fosfato-pentosa-base al ser covalentes no se rompen (ni el enlace fosfodiéster ni el enlace N-glucosídico).

- ❖ **Renaturalización:** Si se restablecen las condiciones iniciales, el ADN vuelve a reunirse porque las bases son complementarias y se recupera su estructura. Esta es la base para la técnica de PCR.
- ❖ **Hibridación:** Si se desnaturaliza una mezcla de ADN de distintas especies, en la renaturalización aparecerán formas híbridas. Esto se llama hibridación del ADN.

5. Estructura del ARN:

El ARN es un polinucleótido, de menor peso molecular que el ADN y menos estable, compuesto por ribonucleótidos de adenina (A), guanina (G), citosina (C) y uracilo (U), nunca tiene timina (T). Excepto en algunos virus (como los reovirus), el ARN es monocatenario, es decir, está formado por una sola cadena de ribonucleótidos con estructura primaria que se unen siempre en el sentido 5'→3'. A veces, partes de la cadena se enrollan en doble hélice, presentando estructura secundaria y otras veces el ARN se asocia a proteínas, por lo que también presenta estructura terciaria. El ARN es más corto que el ADN y, dependiendo del tipo de ARN del que se trate, puede localizarse tanto en el núcleo como en el citosol.

Las funciones del ARN están relacionadas con la interpretación del mensaje genético, ya que copia la información del ADN y dirige la síntesis de proteínas a partir de esta información. Por tanto, el ARN participa en los siguientes procesos:

- **Transcripción:** Formación de ARNm a partir del ADN.
- **Traducción:** Síntesis de proteínas según la información del ARNm (en la traducción también participa el ARNr que forma los ribosomas y los ARNt que llevan unidos los aminoácidos que corresponden a cada codón)

5.1. ARN mensajero (ARNm)

Es una molécula lineal que lleva una copia del mensaje genético contenido en el ADN al citoplasma, donde se encuentran los ribosomas que lo emplearán como molde en el proceso de síntesis de proteínas (traducción).

En **procariotas**, la transcripción se realiza en el citosol (porque el ADN no está envuelto de ninguna envoltura nuclear) y el ARNm que se obtiene es traducido directamente por los ribosomas del citosol. Al darse la transcripción y traducción en el citosol, pueden incluso realizarse de forma simultánea.

En el **núcleo de los eucariotas**, se forma primero un **pre-ARNm** (también llamado transcrito primario o ARN heterogéneo nuclear) directamente a partir del ADN por una enzima ARN-polimerasa siguiendo la complementariedad de bases (en la denominada transcripción). Este pre-ARNm o transcrito primario contiene unos segmentos codificantes (con información para sintetizar la proteína) llamados **exones** y otros no codificantes llamados **intrones**. Tras un proceso de **maduración**, se eliminan los intrones (en un proceso llamado de corte o empalme o bien *splicing*) y se forma ya el ARNm, que tiene en su inicio una caperuza (un nucleótido modificado, 7-metil-guanosina con 3 fosfatos) que constituye la señal de inicio de la síntesis proteica, y al final una cola de poli A (muchas adeninas seguidas), que tiene función estabilizadora. **El llamado "splicing alternativo" es una manera que tiene la célula de poder traducir proteínas diferentes de un mismo pre-ARNm, eliminando o no determinados intrones.*



La maduración no es la única diferencia entre el ARNm procarionta y el eucariota. El ARNm de eucariotas es **monocistrónico**, es decir que un ARNm solamente codifica para una única cadena polipeptídica, mientras que en procariontas, el ARNm no tiene intrones y es **policistrónico** (un mismo ARNm puede llevar toda la información para sintetizar varias proteínas seguidas).

5.2. ARN ribosómico (ARNr)

El ARNr es el más abundante y se encuentra asociado a proteínas específicas, las proteínas ribosómicas, formando los ribosomas. El ARNr presenta segmentos con estructura primaria (monocatenarios) y algunos segmentos con estructura secundaria en doble hélice debido a la complementariedad entre las bases que se unen, como siempre, por puentes o enlaces de H (A=U y C≡G).

La función del ARNr consiste en formar las dos subunidades de los ribosomas donde se realizará la síntesis de proteínas.

Los ribosomas se diferencian por su velocidad de sedimentación, que se mide en unidades *Svedberg*.

- ❖ En células procariontas los ribosomas son 70S, formados por dos subunidades, 30S y 50S.
- ❖ En células eucariotas son un poco más grandes, 80S, con las subunidades 40S y 60S. Sin embargo, no hay que olvidar que las mitocondrias y cloroplastos tienen sus propios ribosomas en su interior, y dichos ribosomas son similares en tamaño a los ribosomas procariontas.

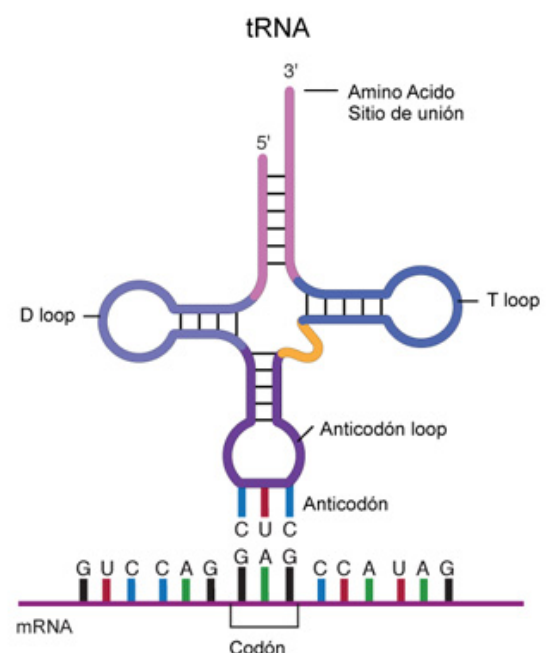
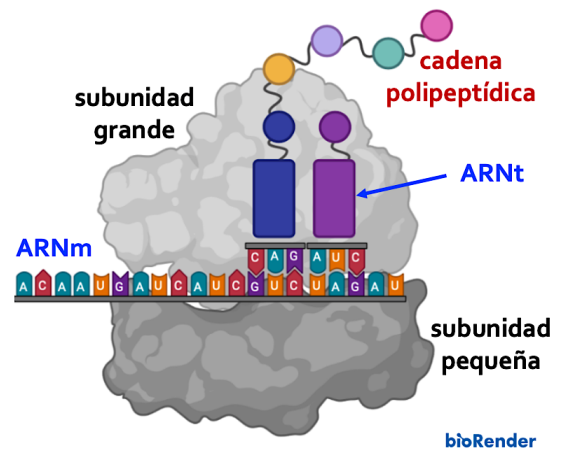
5.3. ARN de transferencia (ARNt)

Su función es captar aminoácidos específicos en el citoplasma y transportarlos hasta los ribosomas, donde, siguiendo la secuencia dictada por el ARNm, se sintetizan las proteínas. Hay un ARNt específico para cada aminoácido.

El ARNt es una molécula lineal pero que presenta zonas complementarias dentro de la misma cadena, lo que hace que se apareen y se forme una estructura secundaria característica con forma de trébol. Las zonas con estructura monocatenaria son los **BUCLES** (=LOOPS) y los segmentos que forman una doble hélice son los **BRAZOS**. Posee, por tanto, 4 brazos, entre los que destacan el brazo del anticodón y el brazo aceptor de aminoácidos en el extremo 3'. Son los siguientes:

- **Brazo D:** se une a los enzimas que catalizan la unión del ARNt con el aminoácido que le corresponde. Se llaman aminoacil-ARNt-sintetasas y gastan energía (1 ATP).
- **Brazo T:** se une al ribosoma durante la traducción.
- **Brazo anticodón:** tiene un triplete anticodón que determina qué aminoácido se unirá a la molécula y es complementario de algún codón del ARNm.
- **Brazo aceptor:** es el único brazo que no tiene bucle. En el extremo 5' siempre hay guanina con el fosfato libre y en el extremo 3' contiene la secuencia CCA sin aparear que actúa como aceptor del aminoácido específico que transportará al ribosoma.

No obstante, el "trébol" se pliega sobre sí mismo formando una estructura terciaria con la forma tridimensional de una L invertida (como un *boomerang*).



Otra característica especial del ARNt es la presencia de hasta un 10% de bases diferentes de las comunes (A, C, G y U) en sus ribonucleótidos como p.ej. las bases *inosina* (I) o *pseudouridina* (Ψ).

5.4. ARN nucleolar (ARNn)

Es una larga molécula de ARN que se encuentra asociado a diferentes proteínas formando el nucléolo de las células eucariotas. Es el precursor de la mayor parte del ARN ribosómico (es una molécula muy grande que se rompe para dar lugar a los diferentes tipos de ARNr).

5.5. Otros tipos de ARN

- **ARN pequeño nuclear (ARNpn)** --> Se encuentra en el núcleo de células eucariotas. Se une a proteínas para formar la ribonucleoproteínas nucleares que eliminan los intrones del pre-ARNm.
- **ARN de interferencia (ARNi)** --> Es bicatenario y muy pequeño (entre 20-25 ribonucleótidos) y reconoce a ciertos ARNm a los que se une, degradándolos e impidiendo que lleguen a los ribosomas y se traduzcan en proteínas. Actualmente se utilizan en tratamientos de infecciones por virus, cáncer y enfermedades hereditarias.

6. Funciones del ARN:

- ✓ El ARNm transmite la información desde el ADN hasta los ribosomas. En la transcripción, las enzimas ARN-polimerasas sintetizan el ARNm por complementariedad de bases con el ADN. Posteriormente este ARNm se traducirá en proteínas en los ribosomas.
- ✓ El ARNpn asociado a proteínas actúa eliminando los intrones del pre-ARNm o transcrito primario en el proceso de maduración del ARNm.
- ✓ En los ribosomas, se traduce la secuencia de ribonucleótidos del ARNm en una secuencia de aminoácidos. En la traducción interviene, además del ARNm, el ARNr que constituye las 2 subunidades de los ribosomas y los ARNt que transportan los aminoácidos hasta los ribosomas.
- ✓ El ARN almacena la información genética en algunos virus que no poseen ADN como p.ej. el virus de la gripe, el coronavirus o el VIH. También hay virus con ARN bicatenario como los reovirus.

*Resumen de las principales diferencias estructurales entre el ADN y el ARN:

	ADN	ARN
Pentosa	Desoxirribosa	Ribosa
Bases nitrogenadas	Sin uracilo	Sin timina
Longitud de la cadena	Generalmente más largas	Generalmente más cortas
Tipo de molécula	Generalmente cadena doble con bases nitrogenadas enfrentadas A=T/C≡G	Generalmente cadena simple, aunque puede plegarse y tener tramos de doble hélice intracatenarios (A=U/C≡G)
Localización en la célula	En el núcleo celular, siendo el componente principal de los cromosomas. También hay en mitocondrias y cloroplastos	En el núcleo, disperso en el nucleoplasma o concentrado en los nucléolos. En el citoplasma, disperso en el citosol o concentrado en los ribosomas
Estabilidad	Más estable debido al enrollamiento en doble hélice	Menos estable, pues sus moléculas no alcanzan grados de organización tan compactos como la doble hélice